

# UAA6 : Induction électromagnétique (suite)

---

<b>I- INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>II- EXPRESSION DU FLUX MAGNÉTIQUE</b>	<b>3</b>
<b>III- LOI DE FARADAY</b>	<b>5</b>
1) <b>Expérience</b>	<b>5</b>
a) <i>Observations</i>	5
b) <i>Explications</i>	5
<b>IV- LOI DE LENZ</b>	<b>6</b>
<b>V- DIVERSES FAÇONS DE CRÉER LA VARIATION DE FLUX</b>	<b>7</b>
1) <b>Mouvement d'un aimant dans une bobine</b>	<b>7</b>
2) <b>Faire tourner une spire ou un cadre dans un champ magnétique (dynamo à courant continu)</b>	<b>7</b>
3) <b>Le processus inverse : la spire ou le cadre est fixe et le champ tourne (alternateur)</b>	<b>8</b>
4) <b>Faire agir un circuit sur un autre : le transformateur</b>	<b>8</b>
<b>VI- APPLICATIONS</b>	<b>9</b>
1) <b>Loi de Faraday</b>	<b>9</b>
2) <b>Loi de Lenz</b>	<b>10</b>
3) <b>Calcul de la T.E.M. induite</b>	<b>10</b>
<b>VII- LA SELF INDUCTION (OU AUTO-INDUCTION)</b>	<b>11</b>
1) <b>Description du phénomène</b>	<b>11</b>
a) <i>A la fermeture du circuit</i>	11
b) <i>A l'ouverture du circuit</i>	11
2) <b>Expression de la T.E.M. de self induction</b>	<b>11</b>
3) <b>Conséquence de la self induction d'un circuit</b>	<b>12</b>
<b>VIII- LES COURANTS DE FOUCAULT</b>	<b>13</b>
1) <b>Description</b>	<b>13</b>
2) <b>Mise en évidence de courants de Foucault</b>	<b>13</b>
a) <i>Le pendule métallique</i>	13
b) <i>Chute d'un aimant dans un tube de cuivre</i>	14
3) <b>Réduction des courants de Foucault</b>	<b>14</b>
4) <b>Utilisation des courants de Foucault</b>	<b>14</b>

a) <i>Principe de mesure à courants de foucault</i>	14
b) <i>ralentisseurs à courant de Foucault</i>	15
c) <i>La cuisinière à induction</i>	16

**IX- EXERCICES ET PROBLÈMES****17**

# UAA6 : Induction électromagnétique (suite)

## I- Introduction

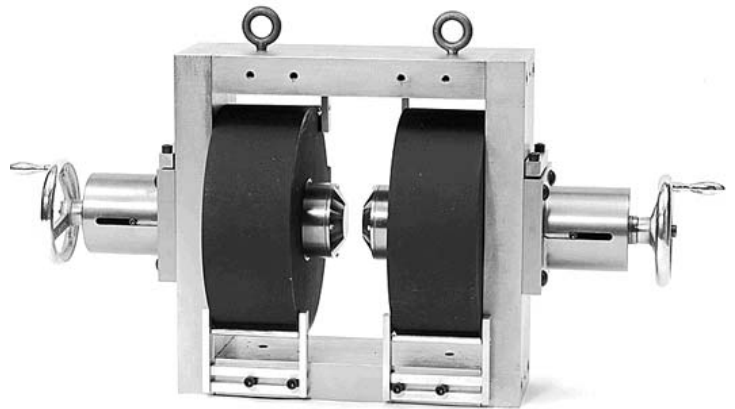
Jusqu'à maintenant, nous nous sommes intéressés essentiellement à la création d'un champ magnétique à partir d'un courant permanent (illustré par l'expérience de Oersted en 1820).

A la même époque, le physicien anglais Michael Faraday (1791-1867) était préoccupé par la question inverse. Puisque ces deux phénomènes sont liés, il émit l'hypothèse **que des champs magnétiques pourraient également produire des courants électriques.**

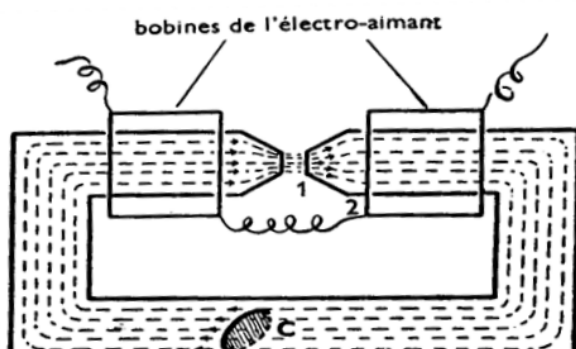
Une conséquence importante de ces effets est l'existence **d'ondes électromagnétiques** qui se propagent à la vitesse de la lumière.

## II- Expression du flux magnétique

Pour des applications industrielles nécessitant l'obtention d'une induction magnétique  $B$  importante, on utilise des électro-aimants comportant un noyau de fer doux de grande section muni de pièces polaires coniques qui obligent les lignes d'induction à se concentrer pour passer dans un entrefer étroit.



On augmente dès lors la valeur de l'induction dans l'entrefer.

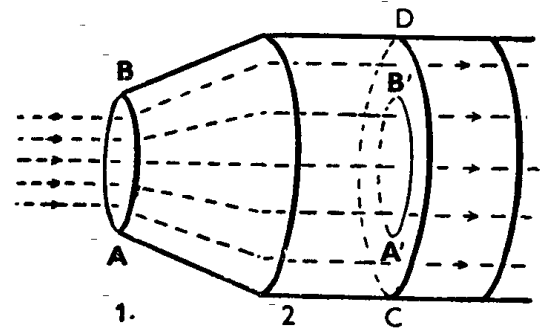


En agrandissant la région 1-2 de l'électro-aimant, nous allons pouvoir définir la notion de flux.

- Le nombre de lignes d'induction qui traversent la surface AB est plus élevé que celui traversant la surface A'B'. Les surfaces sont équivalentes, mais le flux ne l'est pas.

**On dit que le flux d'induction à travers la surface AB est plus grand qu'à travers la surface A'B'.**

- La surface CD est traversée par un plus grand nombre de lignes d'induction que A'B' et reçoit donc un flux plus intense. Le flux traversant CD est le même que celui qui traverse AB.



**Le flux est d'autant plus grand que l'induction est plus grande dans la région considérée.**

**Le flux est d'autant plus grand que la surface considérée est plus grande.**

- Conclusion :**

La mesure  $\Phi$  du flux est proportionnelle à la fois à  $B$  et à l'aire de la surface  $S$  traversée **perpendiculairement** à elle par les lignes d'induction magnétique :

$$\boxed{\Phi = B.S}$$
 Unité du flux : Weber (Wb) ,  $1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$

- Cas de la surface inclinée :**

La surface  $S$  est inclinée d'un angle  $\alpha$  par rapport à la situation précédente.

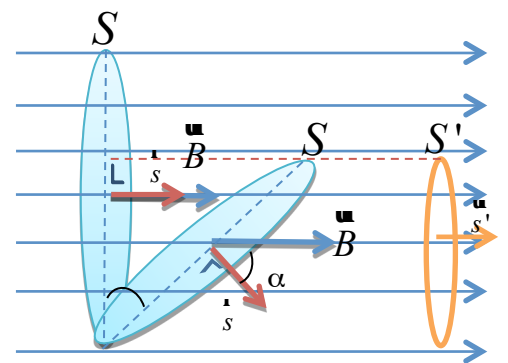
La surface est une grandeur qui possède une direction d'orientation (et un sens) et peut donc être représentée par le vecteur  $\vec{s}$  choisi perpendiculaire à la surface  $S$ . Sa norme est donnée par l'aire  $S$ .

Le flux reçu par la surface inclinée  $S$  est le même que celui qui

traverse  $S'$ . On peut montrer que :  $\cos \alpha = \frac{S'}{S}$

( $S'$  est la projection orthogonale de  $S$  sur la verticale)

$$\boxed{\Phi = B.S' = B.S.\cos \alpha}$$



**Remarque :**

Le flux est une **grandeur scalaire** alors que  $B$  et  $S$  sont des grandeurs orientées. Le flux est le résultat du produit scalaire des vecteurs  $\vec{B}$  et  $\vec{s}$ .

$$\boxed{\Phi = \vec{B} \cdot \vec{s} = B.S.\cos \alpha}$$

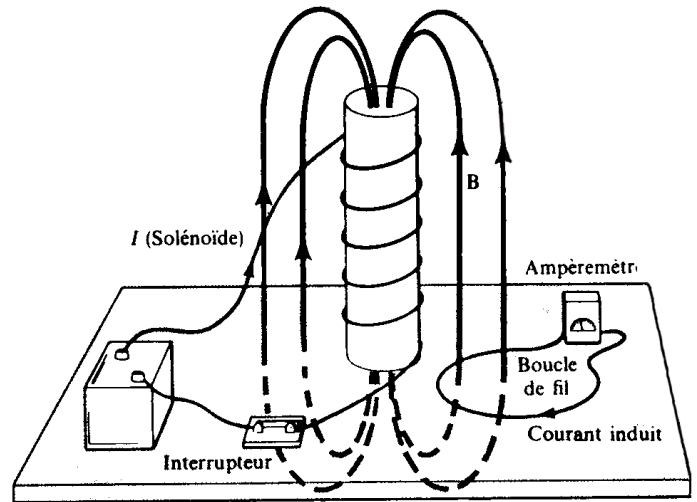
### III- Loi de Faraday

#### 1) Expérience

Plaçons une bobine connectée à une batterie près d'une boucle de fil reliée à un ampèremètre.

##### a) Observations

- Quand on ferme l'interrupteur, l'ampèremètre indique qu'un courant parcourt momentanément la seconde boucle.
- Quand on l'ouvre de nouveau, on observe un bref courant dans le sens opposé.
- Augmenter (ou réduire) la surface de la boucle de fil en déplaçant les fils, produit un courant dans le même sens (ou dans le sens inverse) que lorsqu'on ouvre l'interrupteur.
- Faire tourner la boucle pour l'amener dans un plan non-horizontale induit aussi un courant.



##### b) Explications

Un courant est induit dans la boucle chaque fois qu'il se produit une modification du nombre de lignes d'induction perçant la surface délimitée par la boucle, donc chaque fois qu'il y a variation du flux magnétique dans la boucle.

***Toute variation de flux d'induction à travers un circuit fermé s'accompagne de la production d'un courant induit dans ce circuit.***

Ce courant induit apparaît dès que commence la variation de flux et disparaît dès que cesse cette variation.

On peut alors définir une T.E.M. (tension électromotrice) induite  $\mathcal{E}$  puisqu'un courant est induit dans la boucle et que celle-ci est caractérisée par sa résistance.

***La valeur de la T.E.M. induite va dépendre de la vitesse avec laquelle le flux magnétique varie.***

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

##### Remarque:

La loi de Faraday ne fait intervenir que la vitesse de variation du flux et ne dépend pas de la façon dont on réalise cette variation (éloigner la boucle, réduire sa surface ou la faire tourner produit le même effet).

Le signe « - » donne le sens de la T.E.M. et du courant induit. (Voir loi de Lenz).

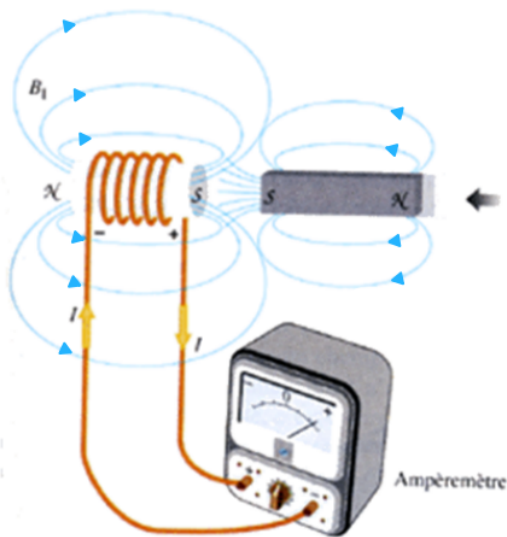
## IV- Loi de lenz

Un courant induit produit à son tour un champ magnétique dont le sens est donné par la règle du tire-bouchon (ou règle de la main droite).

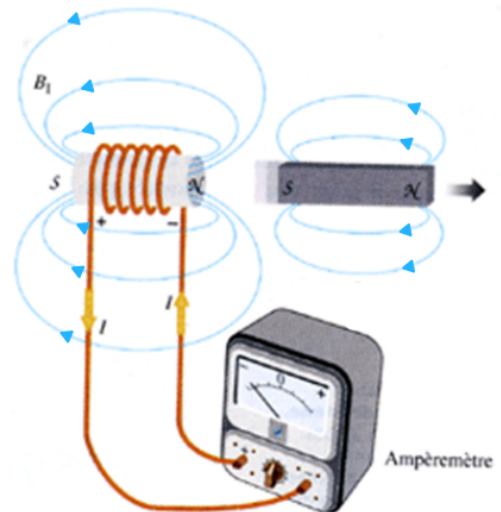
Lorsqu'on coupe le courant dans le circuit électrique de l'expérience précédente, le champ magnétique créé par la bobine a le même sens que celui créé en éloignant la bobine de la boucle. Lorsqu'on rétablit le courant dans la bobine, le champ magnétique dans la boucle est dans le sens contraire.

**Le champ magnétique dû au courant induit s'oppose toujours aux variations de flux du champ qui lui a donné naissance.**

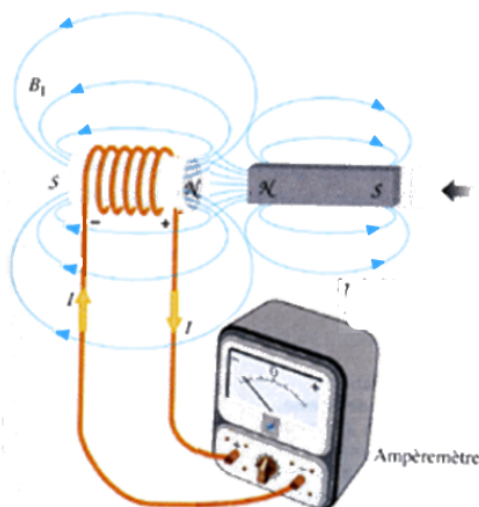
Le courant induit s'oppose aux *changements* de flux et non au flux lui-même.



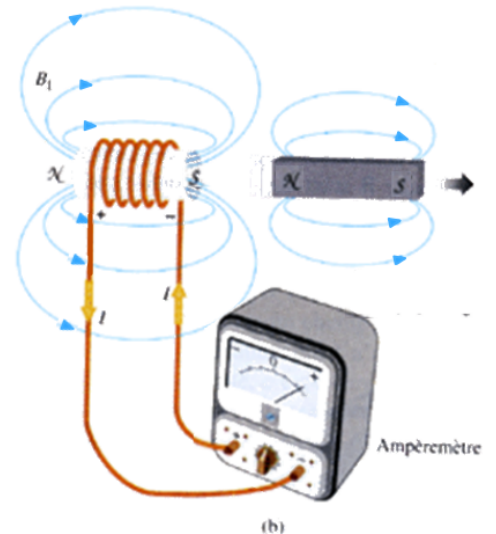
La bobine est traversée par un champ magnétique orienté vers la droite qui augmente.



La bobine est traversée par un champ magnétique orienté vers la gauche qui diminue.



La bobine est traversée par un champ magnétique orienté vers la gauche qui augmente.



La bobine est traversée par un champ magnétique orienté vers la gauche qui diminue.

## V- Diverses façons de créer la variation de flux

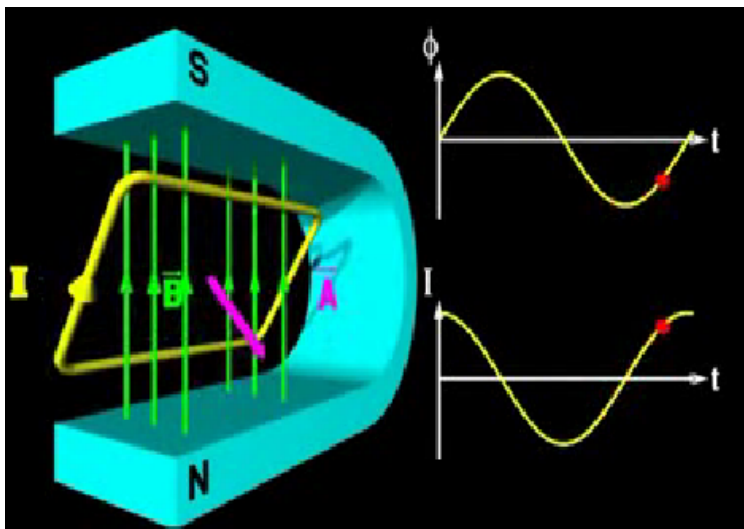
### 1) Mouvement d'un aimant dans une bobine

- **L'introduction de l'aimant** dans le solénoïde crée dans celui-ci une augmentation de flux qui s'accompagne de la production d'un courant induit. Ce courant induit s'oppose à la variation de flux qui lui a donné naissance (pôle N et S du solénoïde).
- L'extraction de l'aimant du solénoïde crée dans celui-ci une diminution de flux qui s'accompagne de la production d'un courant induit. Ce courant s'oppose à la variation de flux qui lui a donné naissance (pôle N et S du solénoïde).

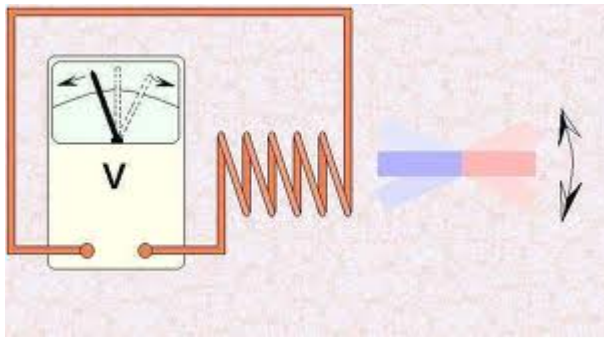


- **Remarque :** autre variante, l'aimant reste fixe et on soulève ou on abaisse la bobine dans l'aimant.

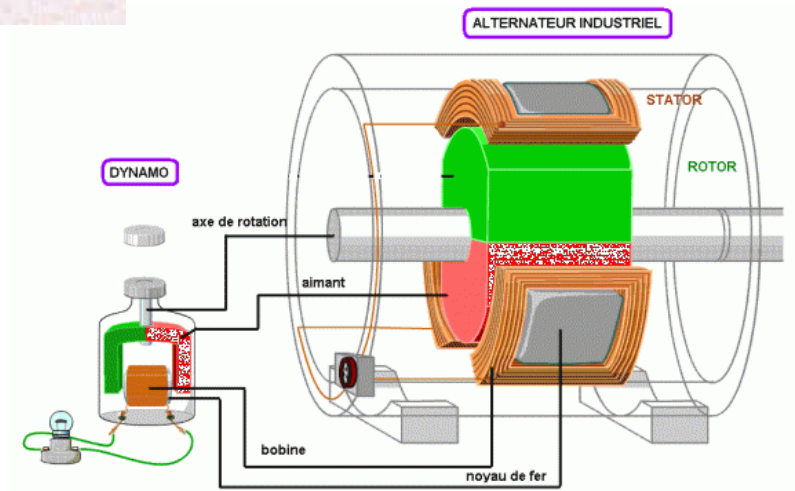
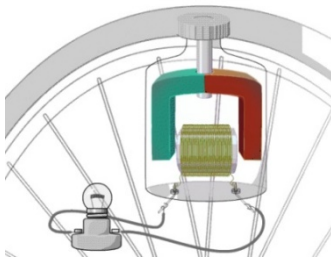
### 2) Faire tourner une spire ou un cadre dans un champ magnétique (dynamo à courant continu)



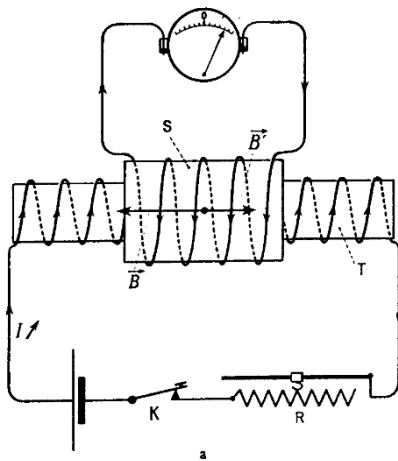
### 3) Le processus inverse : la spire ou le cadre est fixe et le champ tourne



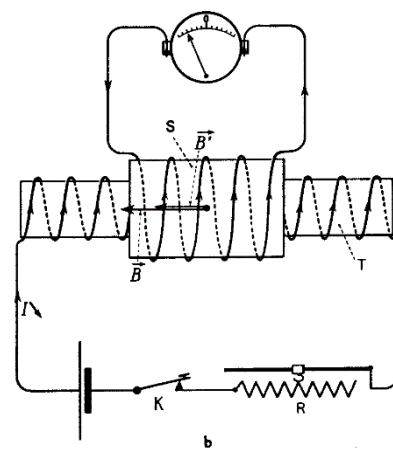
(alternateur)



### 4) Faire agir un circuit sur un autre : le transformateur



En **a)** l'intensité du courant  $I$  du courant inducteur croît,  $\vec{B}'$  se retranche de  $\vec{B}$  qui augmente.

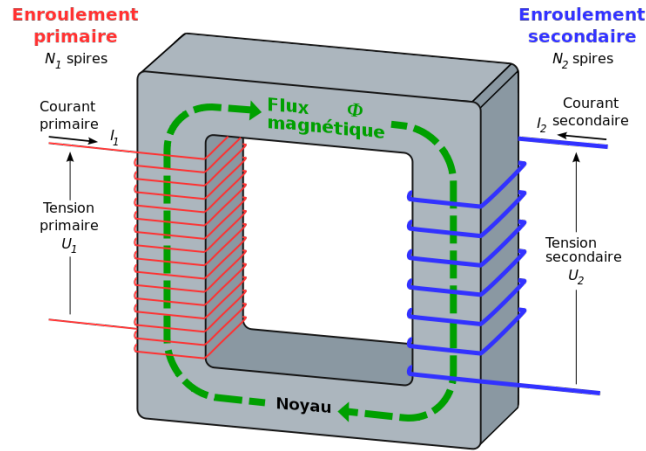


En **b)** l'intensité du courant  $I$  du courant inducteur décroît,  $\vec{B}'$  s'ajoute à  $\vec{B}$  qui diminue.

Le courant induit a un sens tel que le flux d'induction qu'il crée à travers son propre circuit modère la variation du flux inducteur

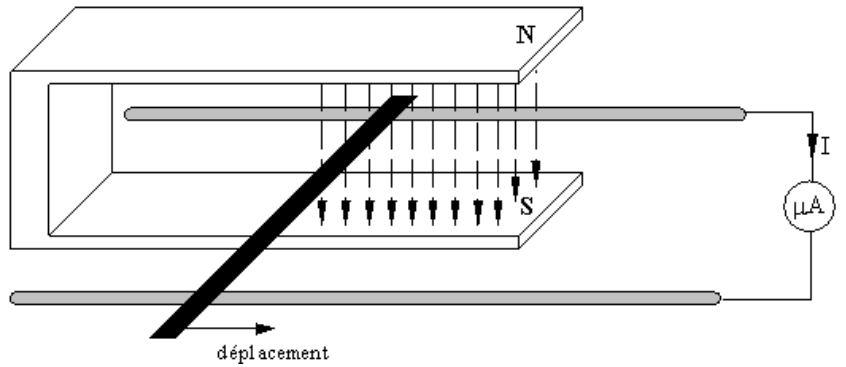


**Exercice :** expliquer le principe du transformateur suivant :

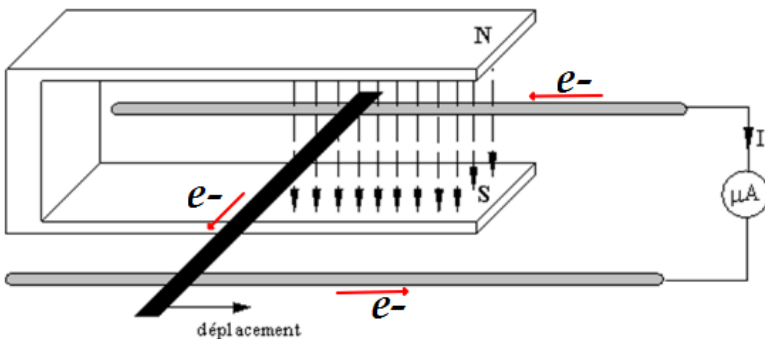


## VI- Applications

Considérons une barre métallique de longueur  $l$  glissant à la vitesse  $v$  sur deux rails conducteurs, le tout formant un circuit fermé de résistance  $R$ . Ce système est plongé dans un champ magnétique uniforme perpendiculaire aux rails.

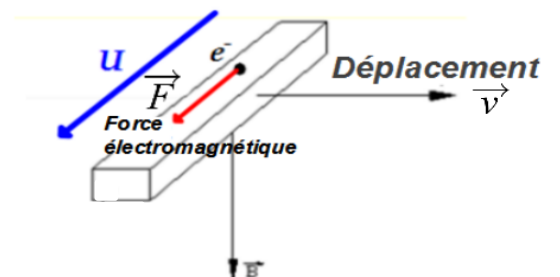


### 1) Loi de Faraday



Le micro-ampèremètre est branché aux bornes des deux tiges conductrices. Lorsque nous déplaçons le conducteur dans un champ magnétique uniforme, le micro-ampèremètre dévie.

Les électrons libres dans la barre sont soumis à une force électromagnétique  $\vec{F}$  dont le sens est donné par la règle de la main gauche comme s'il y avait une différence de potentiel générée entre les extrémités de la barre (appelée T.E.M induite).



Le déplacement d'un conducteur dans un champ d'induction B fait apparaître un courant induit aux bornes de ce conducteur.

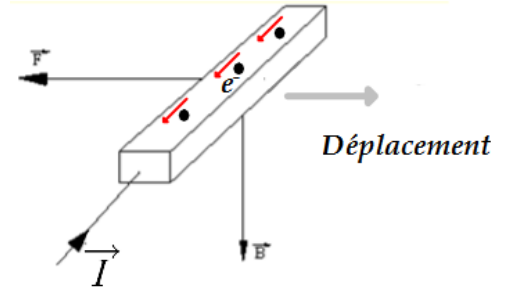
**La barre métallique est le siège d'une T.E.M (en volt) appelée T.E.M. induite «  $\mathcal{E}$  » qui produit un courant induit :**

$$i = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

R : résistance du circuit

### 2) Loi de Lenz

Cette barre parcourue par courant  $i$  étant soumise au champ magnétique  $\vec{B}$  va subir une force électromagnétique  $\vec{F}$  (Laplace) dont le sens (règle de la main gauche) est **opposé** au mouvement du conducteur.



**Lorsqu'un conducteur, appartenant à un circuit fermé, se déplace dans un champ magnétique en coupant les lignes d'induction, le circuit est parcouru par un courant induit.**

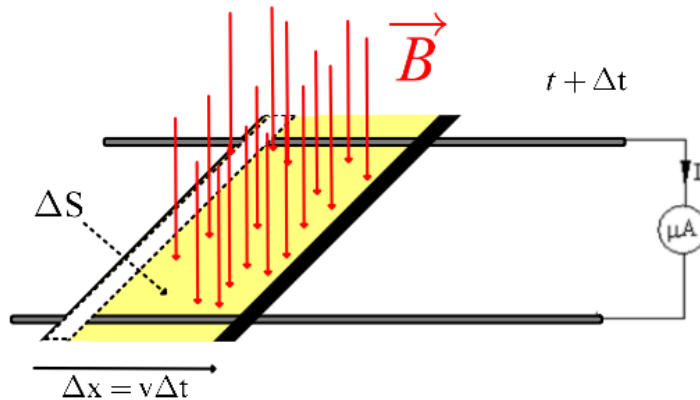
**Le conducteur est alors soumis à une force de Laplace qui s'oppose à son mouvement.**

### 3) Calcul de la T.E.M. induite

Si la surface délimitée par le circuit est  $\vec{S}$ , le flux au travers de la surface est  $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos \alpha$

Un instant  $\Delta t$  plus tard, la barre de longueur  $l$  se sera déplacée d'une distance :  $\Delta x = v \cdot \Delta t$  (voir figure ci-dessous)

La surface aura augmenté de  $\Delta S = l \cdot \Delta x = l \cdot v \cdot \Delta t$



alors  $\mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{B \cdot \Delta S}{\Delta t} = - \frac{B \cdot l \cdot v \cdot \Delta t}{\Delta t} \Leftrightarrow \mathcal{E} = - B \cdot l \cdot v$  et la variation de flux:  $\Delta \Phi = - \mathcal{E} \Delta t = B \cdot l \cdot v \cdot \Delta t$

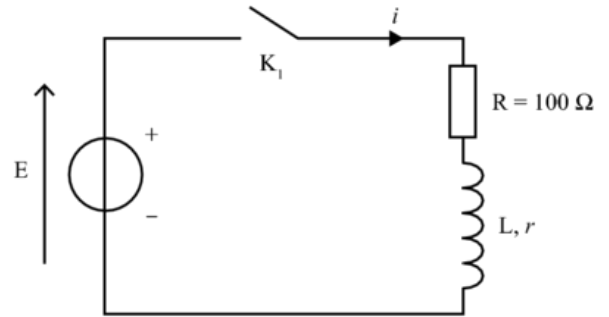
# VII- La self induction (ou auto-induction)

## 1) Description du phénomène

### a) A la fermeture du circuit

Lorsqu'on branche une bobine à un générateur de courant continu, on lui applique une d.d.p.  $U$  qui produit dans le circuit un courant  $i$  qui tend à prendre sa valeur maximale de régime :

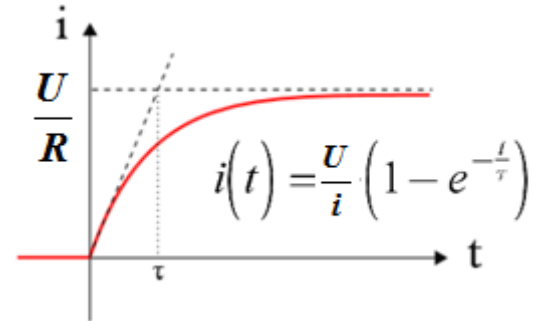
$$i = \frac{U}{R}$$



Ce courant varie de 0 à la valeur  $i$  et crée une variation de flux qui traverse la bobine (qui l'engendre) .Comme ce flux est variable, la bobine est le siège d'une T.E.M. induite.

Conformément à la loi de Lenz, la T.E.M. est dirigée en sens inverse de la tension  $U$  créée par le générateur et agit comme une T.E.M. qui s'oppose à l'installation du courant.

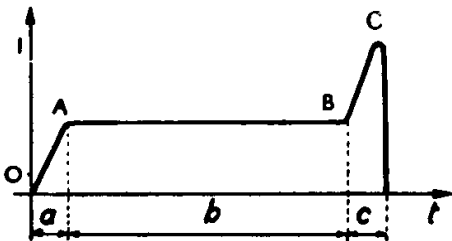
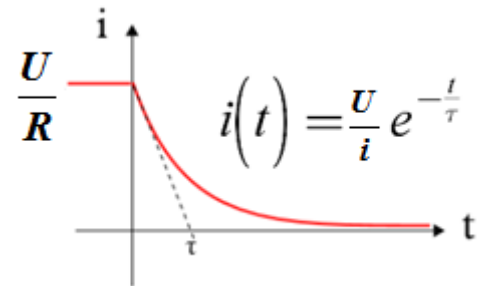
Cette T.E.M. induite va donc créer un courant induit qui va s'opposer au courant  $i$  de départ. Le courant résultant passant dans la bobine mettra un certain temps avant d'atteindre sa valeur maximale.



### b) A l'ouverture du circuit

Inversement à l'ouverture du circuit, le courant et le flux disparaissent. Le flux en variant induit dans sa bobine une T.E.M. de même sens que la tension  $U$  et qui tend à compenser la diminution de courant.

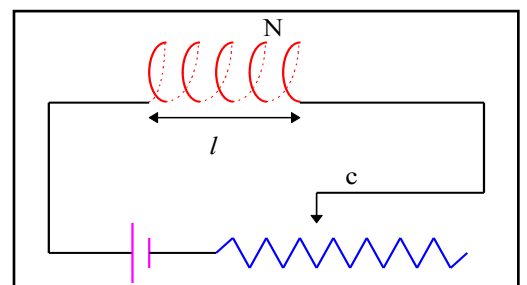
Cette T.E.M. induite va donc créer un courant induit qui va s'ajouter au courant  $i$  . Le courant résultant passant dans la bobine mettra un certain temps avant d'atteindre une valeur nulle.



*Les T.E.M. qui prennent naissance dans les deux cas sont appelées T.E.M. de self induction, car elles prennent naissance à l'intérieur du circuit par suite des variations de son propre flux.*

## 2) Expression de la T.E.M. de self induction

Soit le circuit suivant comportant une bobine et une résistance variable pour faire varier le courant  $\Delta i$  en  $\Delta t$  secondes.



$$\Phi = B.S = \mu \frac{N.i}{l} . S$$

En agissant sur le curseur c, on fait varier le courant  $\Delta i$  en  $\Delta t$  secondes.

- Dans une spire :  $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

- Dans N spires :  $\mathcal{E} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -N \cdot \mu \frac{N.S}{l} \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$

$$\mathcal{E} = -L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

ou

$$\mathcal{E} = -L \cdot \frac{di}{dt}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} L : \text{coefficient de self-induction appelée impédance, unité = le Henri ( H)} \\ \tau : \text{constante de temps du circuit} \quad \tau = \frac{L}{R} \end{array} \right.$$

### Remarque :

Les phénomènes de self-induction sont très importants en courant alternatif où  $i$  varie constamment. Les T.E.M. de self-induction tendent à empêcher les variations rapides de courant dans les circuits.

## 3) Conséquence de la self induction d'un circuit

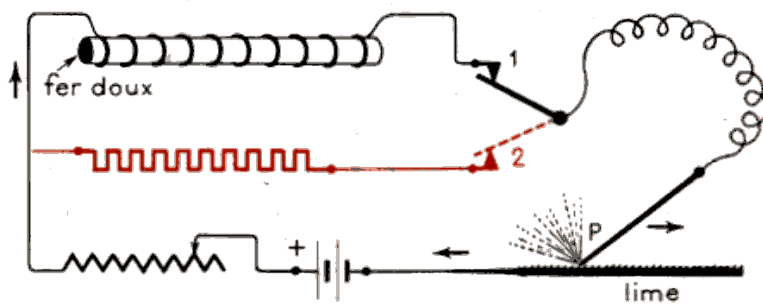
Lorsqu'on débranche (par erreur) un appareil ménager en cours d'utilisation, il se produit souvent une étincelle appelée étincelle de rupture entre les deux pièces métalliques que l'on sépare brusquement.

L'interruption soudaine du courant qui alimente le circuit provoque l'émergence d'une T.E.M. de self-induction qui tend à prolonger ce courant par la création d'un courant induit dans le même sens.

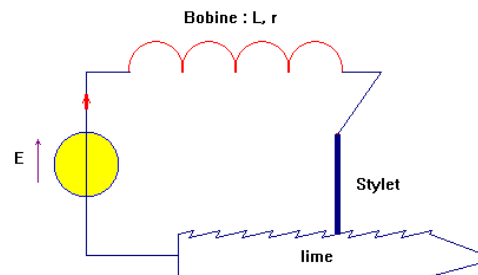
L'étincelle se produit car la T.E.M. induite est élevée et produit un champ électrique suffisamment fort pour ioniser l'air et permettre le passage du courant pendant un temps bref.

On peut atténuer ces problèmes par la mise en place de condensateurs dans le circuit.

Exemple d'expérience de self induction :



Le déplacement de la pointe P sur la lime produit



une suite alternée de fermetures et de ruptures du circuit.

- Le contact est sur 1, l'électro-aimant est dans le circuit et on observe des étincelles de rupture très brillantes.

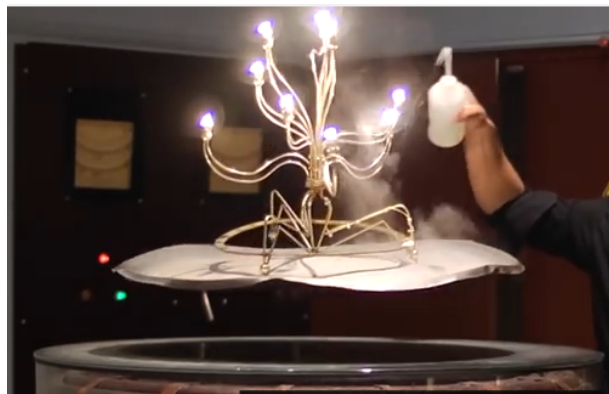
- Le contact sur 2 remplace l'électro-aimant par une résistance à travers laquelle le courant ne crée qu'un flux d'induction très faible. Pour la même intensité du courant les étincelles de rupture sont alors à peine visibles.

## VIII- Les courants de Foucault

### 1) Description

Les courants de Foucault sont des courants électriques qui naissent :

- Soit de la **variation d'un champ magnétique au sein d'une masse conductrice**. La masse conductrice est alors échauffée par effet Joule. Les courants de Foucault, conformément à la self-induction, créent un champ magnétique qui s'oppose à la variation du champ extérieur. C'est le cas des transformateurs, des dynamos et des alternateurs.
- Soit lorsqu'un **conducteur (métal) est en mouvement dans un champ magnétique** et provoque un changement de flux. Ce mouvement relatif provoque une circulation d'électrons, ou courant induit, à l'intérieur du conducteur. Ces courants circulaires de Foucault créent des électroaimants avec des champs magnétiques qui s'opposent à l'effet du champ magnétique appliqué.



Les courants de Foucault et les champs contraires ainsi générés sont d'autant plus forts que :

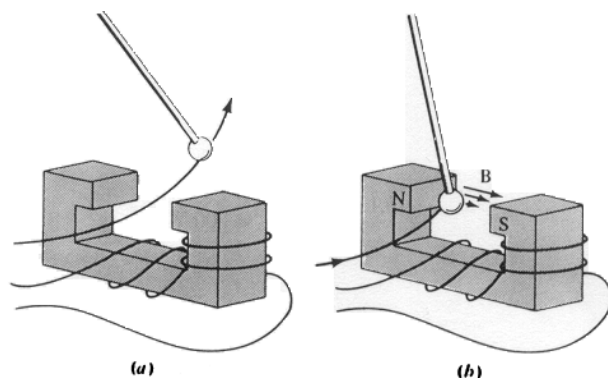
- le champ magnétique appliqué est élevé
- la conductivité du conducteur est élevée
- la vitesse relative de mouvement est élevée

### 2) Mise en évidence de courants de Foucault

#### a) Le pendule métallique

Si on fait osciller un pendule métallique non magnétique entre les pôles d'un aimant puissant, il s'arrête rapidement.

- La T.E.M. induite dans le pendule par la variation de flux lors de son passage dans l'entrefer, crée à son tour un courant induit. Attention, son sens change selon que le pendule pénètre ou quitte le champ magnétique.
- Comme le pendule est conducteur, sa résistance sera faible et les courants induits intenses.



**Figure 20.7.** (a) Si on coupe l'alimentation de l'électro-aimant, le pendule de métal oscille librement entre les pôles. (b) Quand on met en marche l'alimentation, le pendule ralentit brutalement lorsqu'il entre dans le champ magnétique; ce freinage est dû aux forces magnétiques sur les courants de Foucault induits dans le pendule.

- Ces courants s'opposent à ce qui les produit (Loi de Lenz) donc à l'oscillation du pendule et jouent un rôle de frein. Le pendule est freiné à son entrée et à sa sortie du champ magnétique (voir cours).

L'énergie que possède le pendule dû à son mouvement sera totalement dissipée sous forme de chaleur par effet Joule (diminution du rendement).

### b) Chute d'un aimant dans un tube de cuivre

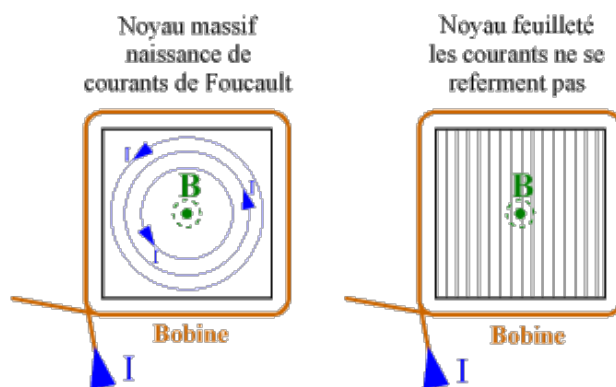
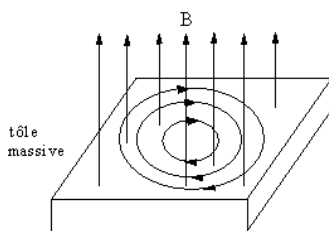
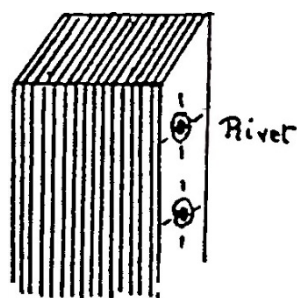
Voir Labo



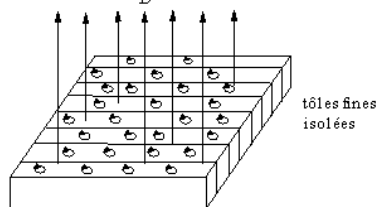
## 3) Réduction des courants de Foucault

Les courants de Foucault peuvent être nuisibles, provoquant des échauffements des tôles des machines électriques à courant alternatif sinusoïdal et les transformateurs.

Pour remédier à ces effets, les noyaux sont construits au moyen d'empilement de tôles minces séparées par un vernis isolant. Ces tôles Ces feuilles sont faites d'un acier au silicium à grande résistivité sont rivetées ensemble et isolées électriquement entre-elles. Les courants induits sont ainsi de plus faible intensité.



**B : champ magnétique**



## 4) Utilisation des courants de Foucault

### a) Principe de mesure à courants de foucault

Le principe de mesure à courants de Foucault est utilisé lors de mesures effectuées sur des matériaux électriquement conductibles présentant aussi bien des propriétés Ferromagnétiques que non Ferromagnétiques.

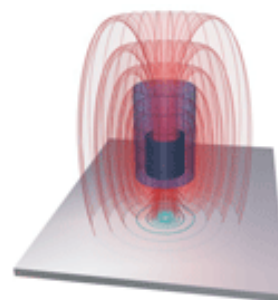
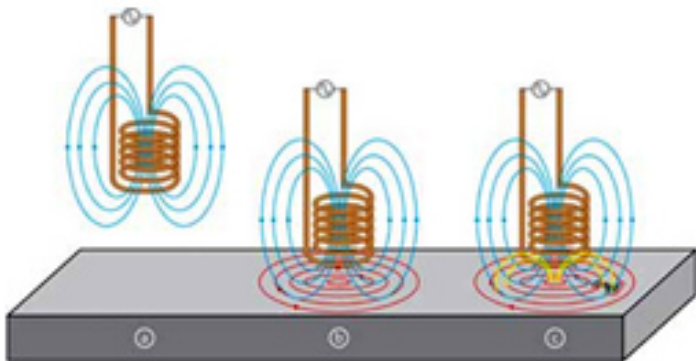
- **Mesure de distance**

Une bobine scellée dans le boîtier du Capteur est parcourue par un courant alternatif à haute fréquence. Le champ électromagnétique de la bobine induit des courants de Foucault dans l'objet à mesurer conductible, ce qui

modifie le coefficient de self induction de la bobine ( $L$ ). Cette variation d'impédance délivre un signal électrique proportionnel à la distance qui sépare l'objet à mesurer de la bobine du capteur.

Les Capteurs à courants de Foucault mesurent sans contact et sans usure les distances les séparant d'objets métalliques. La technologie à courants de Foucault permet de réaliser des mesures avec une précision de l'ordre du nanomètre.

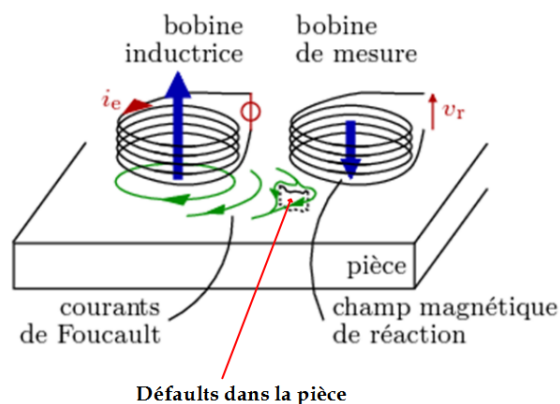
Les lignes de champ à haute fréquence en provenance de la bobine du capteur pénètrent sans problème les matières non métalliques, ce qui permet des mesures, même en cas de fort degré d'encrassement, de pression, et d'huile. Cette propriété particulière permet par ailleurs la réalisation de mesures sur objets métalliques revêtus de matière plastique, ce qui permet par exemple de mesurer les épaisseurs de couches.



- **Contrôle non destructif**

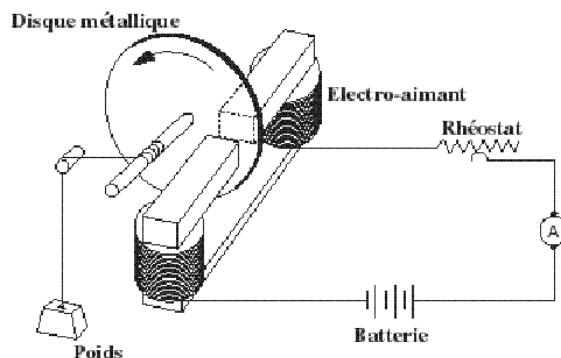
L'utilisation des courants de Foucault dans les applications de CND "contrôle non destructif" s'étend de l'inspection des tubes (échangeurs, générateurs de vapeurs de centrales nucléaires) à la recherche des défauts débouchant sur des surfaces plus ou moins planes. C'est une technique sans contact et la rapidité d'établissement des courants induits donne la possibilité de déplacer très rapidement la sonde.

Cette dernière technique utilise des courants induits à l'intérieur de la pièce, appelés courants de Foucault. Pour ce faire, un excitateur externe est employé, souvent constitué d'une bobine parcourue par un courant alternatif. Les courants induits, parce qu'ils forment des boucles et sont à la même fréquence que le courant d'excitation, engendrent un champ magnétique alternatif de réaction sortant de la pièce à inspecter. Les défauts superficiels dévient les lignes des courants de Foucault, et par suite modifient le champ magnétique résultant. La variation du champ magnétique est enfin mesurée au moyen d'un élément sensible au champ magnétique alternatif, qui peut être une bobine ou un capteur de champ magnétique.



### **b) ralentisseurs à courant de Foucault**

Le freinage des camions s'effectue grâce aux courants de Foucault. Un disque de cuivre est fixé sur la roue du camion en rotation. Si on veut freiner le véhicule, on fait passer un courant électrique dans l'électro-aimant qui est placé près du disque. Les courants de Foucault s'opposent à la cause qui leur donne naissance : le mouvement de la roue. Ce type de freinage ne peut être que complémentaire à un



freinage classique, car lorsque la roue est ralentie, les courants de Foucault diminuent.

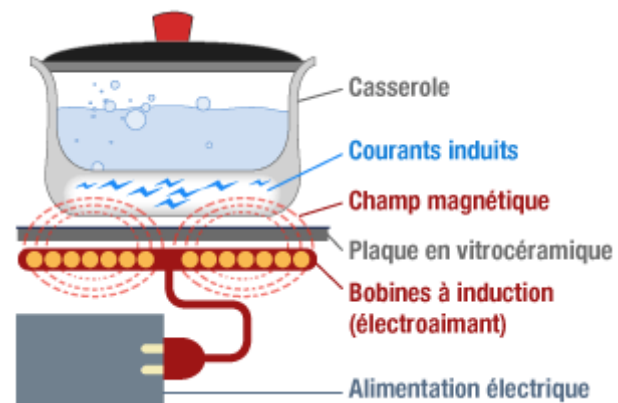
### **c) La cuisinière à induction**

On trouve sous chaque zone de cuisson de la cuisinière à induction une bobine dans laquelle un courant alternatif de moyenne fréquence (20 à 100 kHz) circule. Ceci produit un champ magnétique de même fréquence qui traverse la plaque de cuisson en vitrocéramique et pénètre la casserole posée sur la zone.

Le champ magnétique produit un courant circulaire (courants de Foucault) dans le fond de la casserole conductrice d'électricité. On choisit pour le fond de la casserole un matériau dans lequel les courants de Foucault présentent la plus grande perte d'énergie possible pour la fréquence utilisée. Ceci est le cas pour les matériaux ferromagnétiques.

Dans ces matériaux, le champ alternatif est repoussé sur la couche la plus externe du fond de la casserole (effet de peau), ce qui conduit à une augmentation de la résistance et à un fort échauffement. En outre des inversions de magnétisation interviennent dans le fond magnétique de la casserole, provoqués par le champ magnétique alternatif, et contribuent également à la production de chaleur.

Aucun courant de Foucault ne se crée dans notre main si on la pose sur une des plaques, et ce système nous permet de ne pas nous brûler même si une plaque est branchée.





## IX- Exercices et problèmes

- 1) Un solénoïde de 30 cm de longueur et de 4 cm de rayon comporte 150 spires. Il est parcouru par un courant de 4 ampères.  
Calculer :
  - a) L'intensité de l'induction magnétique à l'intérieur du solénoïde.
  - b) Le flux d'induction à travers tout le solénoïde.
  
- 2) Une bobine de 20 cm de longueur et de  $100 \text{ cm}^2$  de section comporte 20 spires par cm.  
On demande :
  - a) le coefficient de self induction.
  - b) la T.E.M. induite de fermeture.
  - c) la T.E.M. induite d'ouverture.
 sachant que l'établissement d'un courant de 2 A dure  $1/5$  s et l'interruption  $1/25$  s.
  
- 3) Calculer le flux d'induction magnétique à travers un cadre rectangulaire, opposant une résistance de  $10 \Omega$ , dont les côtés sont de 25 cm et de 10 cm, disposé perpendiculairement aux lignes de force d'un champ magnétique uniforme d'induction  $10^{-5}$  T.
  - a) Que devient le flux d'induction à travers le même cadre incliné à  $60^\circ$  par rapport à la situation initiale ?
  - b) Si on réalise la situation précédente en  $1/2$  s, que vaut la T.E.M. induite ? Quelle est la valeur de l'intensité induite dans le cadre ?
  
- 4) Un conducteur vertical isolé a une hauteur de 300 m. Une induction magnétique, perpendiculaire à ce conducteur, se déplace avec une vitesse de  $3 \cdot 10^{10}$  cm/s.  
Quelle doit être l'induction magnétique pour que la tension aux extrémités du fil soit égale à 1 volt ?
  
- 5) Un cadre de 50 cm de côté portant 200 spires tourne autour d'un axe vertical dans un champ magnétique horizontal et uniforme d'induction  $3 \cdot 10^{-3}$  T. La vitesse constante de rotation du cadre est de 20 tours par seconde.  
Calculer la T.E.M. induite et le courant induit sachant que la résistance totale du circuit est de  $24 \Omega$ .
  
- 6) Une bobine de 50 cm de longueur et de  $100 \text{ cm}^2$  de section comporte 20 spires par cm. L'établissement d'un courant de 2A dure  $1/5$  s, l'interruption  $1/50$  s.  
Calculer :
  - a) la T.E.M. induite de fermeture.
  - b) la T.E.M. induite d'ouverture.
  - c) le coefficient de self induction de la bobine.
 On introduit dans la bobine un noyau de fer doux dont la perméabilité magnétique est de  $300\mu_0$ .  
Calculer les points a),b) et c) dans ce cas.
  
- 7) Un solénoïde de 1,5 m de longueur comporte 1000 spires. On y fait circuler un courant de 2A.
  - a) Déterminer la valeur de l'intensité du champ magnétique uniforme qui règne à l'intérieur du solénoïde.
  - b) On y introduit un barreau de fer doux. Sachant que dans ce cas, la perméabilité magnétique de la substance est de  $10050 \cdot 10^{-7}$  Tm/A, quelle est la valeur de l'induction magnétique à l'intérieur du noyau de fer doux ?

c) Quelle est la valeur du flux d'induction magnétique à travers chaque spire, la bobine ayant un diamètre de 6 cm pratiquement égal à celui du barreau ?

**Exemple numérique.**

*Une bobine comprenant  $N = 200$  spires, de rayon moyen égal à 10 centimètres, est placée dans un champ uniforme dont l'induction magnétique a pour intensité  $B = 0,01$  tesla (fig. 5) ; calculons la f. e. m. moyenne induite au cours d'une rotation faisant passer l'angle  $ON$ ,  $OB = \theta$  de zéro à  $90^\circ$  en  $1/2$  seconde.*

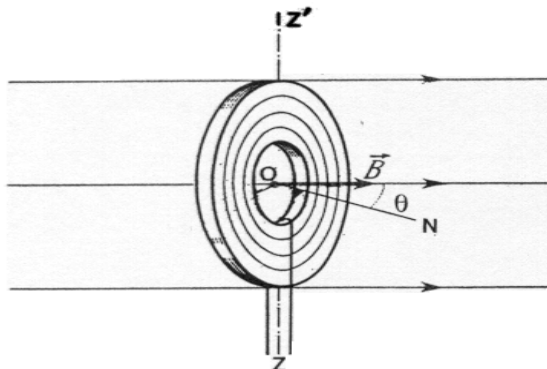


Fig. 5.

Si  $S$  est la surface d'une spire moyenne, le flux total initial à travers la bobine a pour valeur, puisque  $\theta = 0$  :

$$\Phi = NSB = 200 \times \pi \times 0,1^2 \times 0,01 \approx 0,0628 \text{ Wb}$$

Pour  $\theta = 90^\circ$ , le flux est nul ; la variation de flux est donc :

$$\Delta\Phi \approx 0,0628 \text{ Wb}$$

Sa durée étant :  $\Delta t = 0,5$  seconde, la valeur de la f. e. m. induite est :

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \approx \frac{0,0628}{0,5} \approx 0,125 \text{ volt.}$$

- 8) Un solénoïde ayant une longueur de 40 cm et une section de  $10 \text{ cm}^2$  comporte 1000 spires parcourues par un courant de 1 A.  
L'intérieur est occupé par un noyau de fer qui, dans les conditions considérées, à un  $\mu_r = 200$ . Un interrupteur coupe le courant en  $1/100$  s.  
Calculer la T.E.M. induite.
- 9) Un solénoïde de 50 cm de longueur comporte 500 spires enroulée sur un noyau de fer forgé de 4 cm de diamètre. On désire obtenir un flux d'induction magnétique de  $10^{-3}$  Wb à travers de chaque spire.  
Déterminer :  
a) la valeur que doit avoir l'induction magnétique dans le fer pour produire ce flux.  
b) l'intensité du champ magnétique uniforme qui doit régner dans le solénoïde.  
Rq : Pour le fer forgé  $\mu_r = 2800$  ( $B = 0,7$  T)  $\mu_r = 2650$  ( $B = 0,8$  T).  
L'interpolation est permise.
- 10) Un noyau en acier de  $20 \text{ cm}^2$  de section et de 25 cm de longueur est recouvert de 400 spires dans lesquelles circule un courant dont l'intensité vaut 10A. Un interrupteur coupe ce courant en  $1/50$  s.  
Déterminer la T.E.M. induite et l'intensité du courant induit qu'elle engendre dans une bobine de 100 spires qui entoure la bobine précédente.  
Remarques :  
La résistance de la deuxième bobine est de  $6\Omega$ .  
La perméabilité magnétique correspondant à la valeur du champ trouvé est de  $1125 \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$ . On peut considérer que la section de chaque spire extérieure vaut aussi  $20 \text{ cm}^2$ .