

# Forces électromagnétiques

## I- Mise en évidence

### 1) Action d'un champ magnétique sur un tige parcourue par un courant

Une tige conductrice est suspendue, l'autre extrémité plonge dans une solution aqueuse conductrice de sulfate de cuivre ce qui la laisse libre de se « déplacer ». Un générateur est relié à l'extrémité haute de la tige et à une électrode plongeant dans la solution conductrice.

Sous l'action de l'attraction terrestre la tige prend une direction verticale.

On fait passer un courant dans la tige : elle reste verticale.

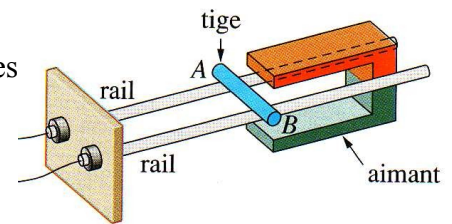
On approche un pôle magnétique de la tige, elle se déplace perpendiculairement à l'aimant.

**Un circuit électrique placé dans un champ magnétique subit des actions mécaniques que l'on appellera forces électromagnétiques.**

### 2) Rails de Laplace

On place une tige cylindrique et conductrice sur deux rails, entre les pôles d'un aimant en U.

- On fait passer un courant dans la tige : elle se déplace.
- On inverse le sens du courant : elle se déplace en sens inverse.
- On permute les pôles de l'aimant : elle se déplace en sens inverse.



**Une portion de circuit électrique parcourue par un courant électrique, placé au voisinage d'un aimant convenablement orienté, est soumise à une force électromagnétique dont le sens dépend du sens du courant.**

## II- Loi de Laplace

La force électromagnétique est aussi appelée force de Laplace.

$$\vec{F}_{\text{Laplace}} \begin{cases} \text{direction : orthogonale au plan formé par la portion de conducteur et le vecteur champ magnétique} \\ \text{sens : dépend du sens du courant et du sens du champ magnétique} \\ \text{valeur : } F = I l B \sin \alpha \end{cases}$$

Détermination du sens de la force électromagnétique :

### - règle de l'observateur d'Ampère :

L'observateur d'Ampère est allongé sur la portion de circuit étudié.

Le courant circule de ses pieds vers sa tête.

Il regarde dans la direction et le sens du champ magnétique.

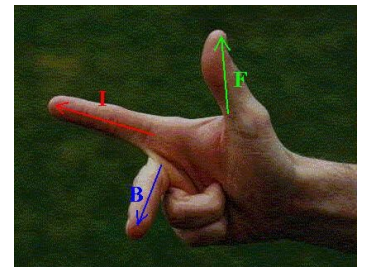
La force électromagnétique exercée par le champ magnétique sur la portion de circuit étudié est orientée vers sa gauche.

### - règle des trois doigts de la main droite

Le pouce indique la direction et le sens de la force électromagnétique.

L'index indique la direction et le sens du courant.

Le majeur, tendu perpendiculairement aux deux autres doigts, indique la direction et le sens du vecteur champ magnétique.



La valeur de la force électromagnétique est proportionnelle à l'intensité  $I$  du courant, à la longueur  $l$  de l'élément conducteur et à la valeur  $B$  du champ magnétique.

formule de Laplace :  $F_{\text{Laplace}} = I \cdot l \cdot B \cdot \sin \alpha$

$$\text{avec } \begin{cases} F_{\text{Laplace}} : \text{valeur de la force électromagnétique en N} \\ I : \text{intensité du courant en A} \\ l : \text{longueur de la portion de conducteur en m} \\ B : \text{valeur du champ magnétique en T} \\ \alpha : \text{angle entre la direction du fil conducteur et la direction du vecteur champ magnétique} \end{cases}$$

Cas particuliers :

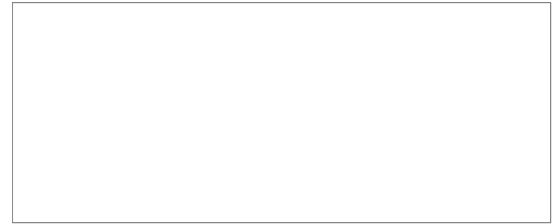
La force de Laplace est nulle quand MN et B ont même direction ( $\alpha = 0$  ou  $\alpha = 180$  car  $\sin 0^\circ = \sin 180^\circ = 0$ ).

La force de Laplace est maximale quand MN et B sont perpendiculaires ( $\alpha = 90^\circ$  et  $\sin \alpha = 1$ ).

Convention d'écriture :

Vecteur ou courant dirigé vers l'avant :  $\odot$

Vecteur ou courant dirigé vers l'arrière :  $\otimes$



### III- Applications de cette force électromagnétique

#### 1) Haut-parleur

Un haut-parleur comporte :

- un aimant cylindrique dans lequel il y a un étroit espace : **l'entrefer**.
- une bobine de fil conducteur, reliée extérieurement à un circuit électrique, mobile dans l'entrefer.
- une membrane dont la base est fixée à la bobine.

Principe de fonctionnement :

L'aimant crée en chaque point de la bobine un champ magnétique dirigé suivant l'axe de la bobine.

Ce champ est orienté du centre vers l'extérieur de la spire.

Lorsqu'un courant circule dans la spire elle est soumise à des forces électromagnétiques qui provoquent son déplacement.

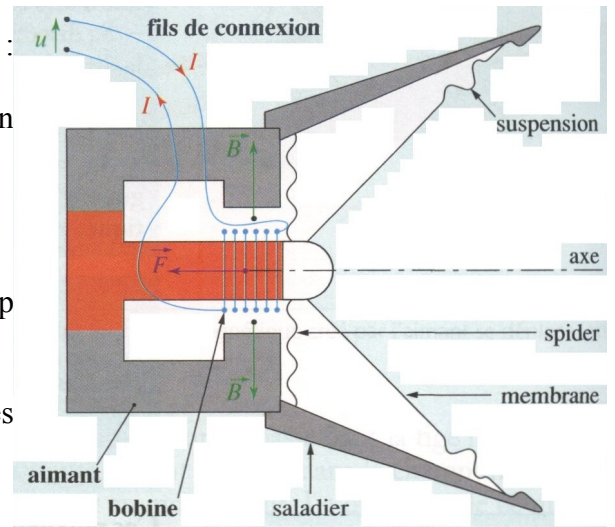
$$F = I \cdot l \cdot B$$

Le sens du déplacement de la bobine dépend du sens du courant.

Le déplacement de la bobine entraîne un mouvement de la membrane. Si le courant est alternatif la membrane vibre à la même fréquence que le courant.

Cette membrane fait vibrer l'air qui fera ensuite vibrer notre tympan : on entend un son si la fréquence est comprise entre 20 et 20 000 Hz.

Le haut-parleur électrodynamique est un convertisseur d'énergie électrique en énergie mécanique.

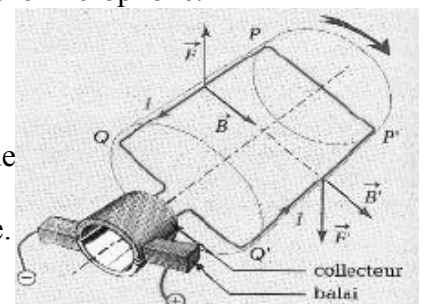


Le dispositif inverse convertissant l'énergie mécanique en énergie électrique est le microphone.

#### 2) Moteur à courant continu

Un moteur à courant continu est constitué de deux parties principales :

- le **stator** est constitué d'aimants ou d'électroaimants. Son rôle est de créer un champ magnétique.
- le **rotor** est un ensemble de spires conductrices mobiles autour d'un axe.

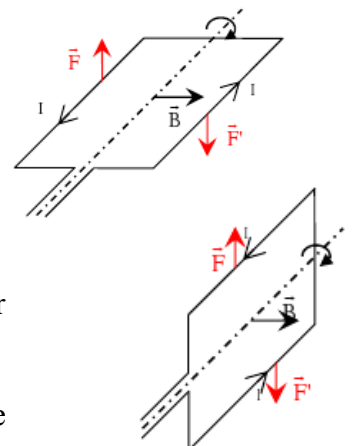


Raisonnons sur une seule spire :

Le courant circule dans la spire mais dans deux sens opposés de chaque côté de la spire.

Connaissant la direction et le sens du courant et du champ magnétique on en déduit la direction et le sens de la force électromagnétique de chaque côté de la spire.

Les deux forces de Laplace appliquées aux conducteurs parallèles à l'axe de rotation tendent toutes deux à faire tourner la spire dans le même sens.

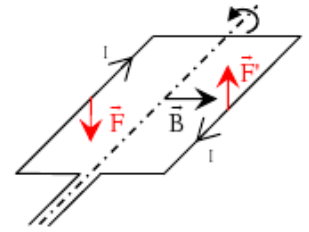


Quand la spire a fait  $\frac{1}{4}$  de tour, les deux forces s'opposent, elles n'ont plus d'effet sur la rotation.

Mais, sous l'effet de l'inertie, la spire continue à tourner.

Les forces électromagnétiques changent alors de sens et tendraient à faire tourner le moteur en sens inverse.

Pour que le moteur puisse tourner toujours dans le même sens, le courant dans une spire doit être inversé à chaque demi-tour. C'est le rôle du **collecteur** : pièces métalliques portées par l'axe du moteur, sur lesquelles les **balais** amènent le courant. A chaque demi tour le courant change de sens pour que les forces tendent à faire tourner le moteur dans le même sens.



Dans un moteur électrique, les forces électromagnétiques convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique.

### III- Aspect énergétique du couplage électromagnétique

Un couplage est un transfert d'énergie entre 2 systèmes.

Ici on parle de couplage électromécanique car on peut effectuer une conversion électrique-mécanique aussi bien qu'une conversion mécanique-électrique avec le même système (ex : haut-parleur, micro).

#### 1) Travail de la force de Laplace :

Dans le cas des rails de Laplace  $\alpha = 90^\circ$  donc  $\sin \alpha = 1$ .

$$F = I l B$$

La tige se déplace dans la direction et le sens de la force électromagnétique  $\vec{F}$  sur la distance MN.

$$\text{Le travail de cette force est : } W = \vec{F} \cdot \vec{MN} = F \times MN$$

#### 2) Puissance de la force de Laplace :

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{MN}}{\Delta t} = \vec{F} \times \vec{v} \text{ avec } \vec{v} \text{ le vecteur vitesse de l'axe de la tige.}$$

Dans le cas des rails de Laplace  $\vec{F}$  et  $\vec{v}$  ont même direction et même sens.

$$\text{Donc : } P = F \times v = I l B v$$