

Chpitre5 (7\*) : les forces électromagnétiques-couplage électromécanique\*(5h-7h\*).

**S.P:** Christian Oersted (1777-1851) était professeur à l'université de Copenhague. Un problème se posait aux navigateurs de l'époque: la foudre faisait perdre le nord à leurs boussoles. Oersted réfléchissait au problème lorsqu'un jour, il eut l'idée d'improviser une expérience devant ses élèves. la boussole qu'il approcha devant un fil électrique (parcouru par un courant) se mit à bouger. il venait de prouver que les forces magnétiques et électriques sont intimement liées. Les élèves restèrent dubitatifs devant une telle expérience....aujourd'hui, Oersted est considéré comme le fondateur de l'électromagnétisme. l'électro-aimant fut inventé par les français François Arago (1786-1853) et André-Marie Ampère (1775-1836).

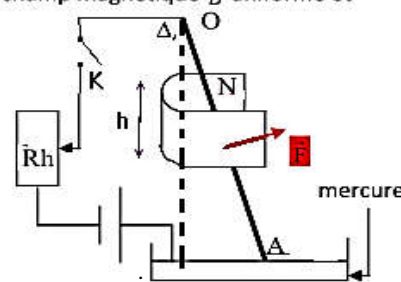
**Quel phénomène physique intervient dans les appareils suivants : une gâchette électrique pour l'ouverture des portes, un magnétophone, un haut-parleur électrodynamique....?**

**I. Force électromagnétique.**

**1. activité :**

Une tige de cuivre OA, de masse  $m = 8,3 \text{ g}$ , homogène, de longueur  $L = 30 \text{ cm}$ , peut se mouvoir dans un plan vertical perpendiculaire au plan de la figure, passant par O. L'extrémité A plonge dans une cuve à mercure qui assure le contact électrique avec le reste du circuit. Sur une hauteur  $h = 3 \text{ cm}$ , la partie centrale de la tige est placée dans un champ magnétique  $\vec{B}$  uniforme et parallèle à  $\Delta$ , pointant vers le lecteur.

- qu'observez-vous lorsqu'on ferme K. interpréter.
- qu'observez-vous lorsqu'on change le sens du courant.
- qu'observez-vous lorsqu'on augmente l'intensité I.
- qu'observez-vous lorsqu'on diminue la longueur de la partie de tige plongée dans le champ magnétique.
- la force qui s'applique sur la partie de la tige s'appelle force magnétique. donner son expression.



**2. exploitation:**

- lorsqu'on ferme K on observe que la tige roule ; donc la tige soumise à une force due au passage du courant dans la tige.
- si on inverse le sens du I la tige roule dans le sens contraire. on déduit donc que le sens de la force dépend du sens du I.
- lorsqu'on augmente I, la tige roule très vite. on déduit donc que l'intensité de la force augmente avec I.
- si on diminue la longueur de la partie plongée; la tige roule moins vite et vis-vers ça. on déduit donc que l'intensité de la force augmente avec la longueur de la partie plongée de la tige.
- la partie de la tige plongée dans le champ magnétique subit une force appelée Force de Laplace son expression est donnée par la loi de Laplace (voir paragraphe suivant).

**3. Loi de LAPLACE.**

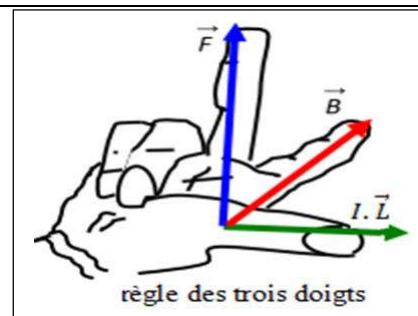
un conducteur rectiligne de longueur L parcouru par un courant d'intensité I placé dans un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$  est soumis à la force de Laplace  $\vec{F} = I \cdot \vec{L} \wedge \vec{B}$ ;

le sens de  $\vec{L}$  est celui du courant. la longueur L est la partie du conducteur qui est à la fois parcourue par le courant et plongée dans le champ magnétique  $\vec{B}$ .

la force de Laplace fait intervenir un opérateur mathématique appelé produit vectoriel (noté " $\wedge$ ").

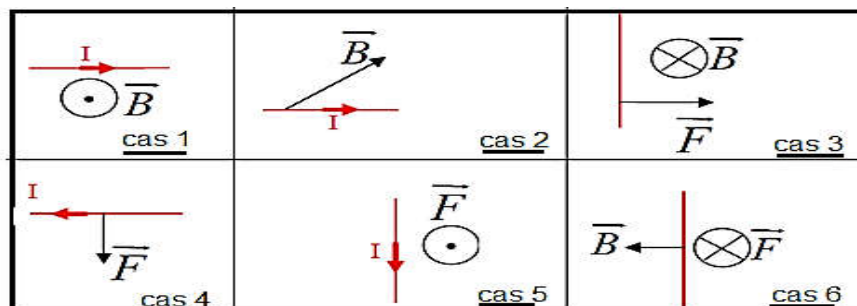
**4. caractéristiques de la force de LAPLACE.**



- point d'application** : le milieu de la partie du conducteur plongée dans le champ magnétique.
- direction** : perpendiculaire au plan  $(\vec{L}, \vec{B})$  c'est-à-dire  $\vec{F} \perp (\vec{L}, \vec{B})$ .
- sens** : tel que  $(\vec{L}, \vec{B}, \vec{F})$  forme un trièdre direct (règle des trois doigts : règle d'orientation de l'espace).
- intensité ou norme**:  $F = I \cdot L \cdot B |\sin \alpha|$  ; avec  $\alpha = (\vec{L}, \vec{B})$ , I en (A) L en (m) , B en (T) et F en (N).



### 5. exercice d'application.

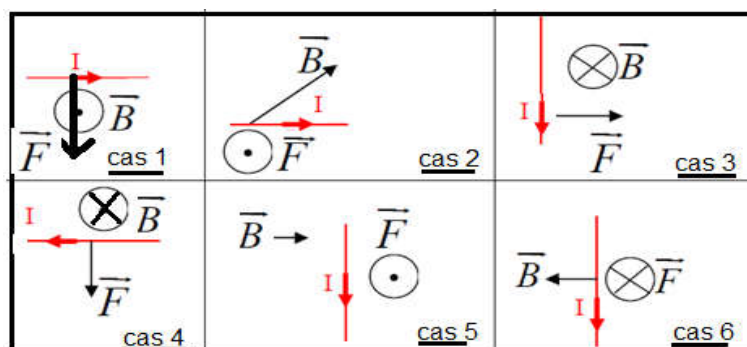
Représenter, dans chacun des cas suivants, le sens et la direction du courant électrique, du champ magnétique ou de la force de Laplace :



notation : ● si la fleche du vecteur vient vers nous on represente par   
● si le contraire on represente par 

### solution :

En utilisant la règle des trois doigts on trouve :



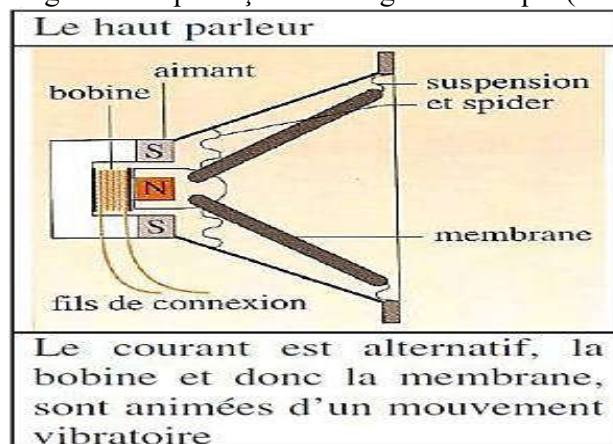
## II. application de la force de Laplace.

### 1. Haut-parleur électrodynamique.

Le haut-parleur est une bobine solidaire d'une membrane M, placé à l'intérieur d'un aimant particulier, cet aimant crée un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$  et radial ( $\vec{B}$  parallèle au plan des spires).

La bobine qui reçoit une intensité électrique subit, en présence du champ magnétique, une force de Laplace qui la fait bouger et qui fait donc bouger la membrane. La membrane fait vibrer l'air ce qui produit le son.

Le Haut-parleur transforme l'énergie électrique reçue en énergie mécanique (mouvement vibratoire).

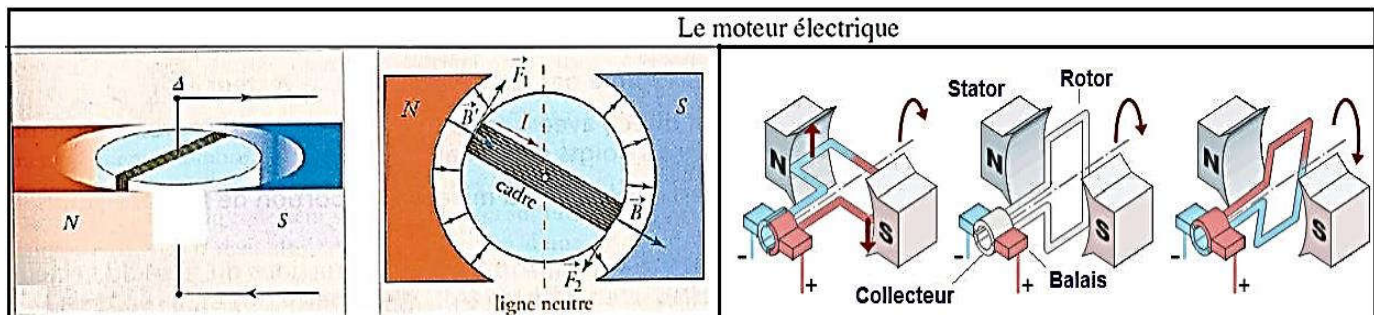


### 2. Moteur électrique alimenté par un courant continu.

Un moteur électrique constitue principalement de deux parties :

- ☞ **le stator** : c'est la partie fixe, se constitue d'un aimant qui crée un champ magnétique radial à l'entrefer (l'intérieur du cylindre de fer).
- ☞ **le rotor** : c'est la partie mobile, se constitué d'une bobine (cylindre de fer susceptible de tourner librement autour de

son axe, enroulée en extérieure par un fil de cuivre), s'oriente suivant le champ magnétique crée par l'aimant fixe. Pour comprendre le fonctionnement du moteur nous raisonnons sur une des spires (rectangulaire) de la bobine constituant le rotor. Le courant circule dans la spire mais dans deux sens opposés de chaque côté de la spire. Ainsi par interaction avec le champ magnétique crée par le stator, il se crée deux forces de Laplace qui tendent toutes deux à faire tourner la spire dans le même sens (création d'un couple). Pour que la spire puisse effectuer un tour complet, il faut inverser le courant dans la spire à chaque demi-tour. Cette inversion est réalisée par le collecteur. Les balais servent au transport du courant de la partie fixe à la partie mobile.



### III. couplage électromécanique\*.

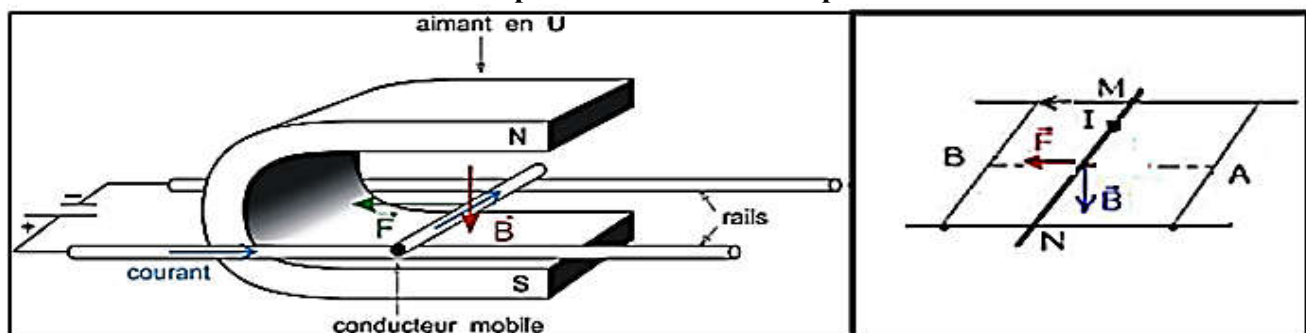
#### 1. définition

Un couplage, c'est un transfert d'énergie entre deux 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 (par exemple le moteur à courant continu).

#### 2. travail de la force de Laplace.

##### Expérience des rails de Laplace :



lorsque la tige bouge de A à B ; la force de Laplace réalise un travail:  $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB = I \cdot l \cdot B \cdot d > 0$ . Donc le travail de la force de Laplace est moteur ;

Alors l'énergie fournie par le générateur se transforme en énergie mécanique reçue par la tige. cette transformation s'exprime par la relation :  $E_g = E_m + E_f + E_{th}$  ;

Avec :  $E_g$  l'énergie électrique fournie par le générateur,

$E_m$  l'énergie mécanique qui apparaît sous forme du travail de la force de Laplace,

$E_f$  l'énergie électrique dissipée par le frottement entre la tige et les rails ,

$E_{th}$  l'énergie thermique dissipée par effet Joule dans la résistance des rails

#### 3. est-il possible de transformer l'énergie mécanique en énergie électrique ?

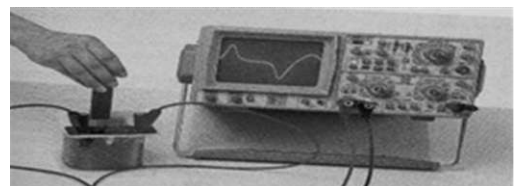
##### Expérience :

Quand on déplace un aimant devant une bobine, il apparaît une tension aux bornes de la bobine. Ce phénomène est utilisé pour produire une tension électrique.

##### Conclusion:

La mise en mouvement d'un aimant ou d'un électroaimant devant une bobine permet de convertir une partie de l'énergie mécanique associée au mouvement de l'aimant en énergie électrique.

✚ les moteurs électriques et les Haut-parleurs transforment l'énergie électrique reçue en énergie mécanique, on dit que ces appareils fonctionnent par le couplage électromécanique.



✚ le couplage électromécanique est un phénomène réciproque car il possible de transformer l'énergie mécanique en énergie électrique (principe de fonctionnement de l'alternateur) et vis vers ça.

**Exercice:** **rails de Laplace**

Deux tiges de cuivre QR et ST constituent deux rails conducteurs horizontaux sur lesquels peut se déplacer une barre cylindrique MN qui ferme le circuit. Un aimant en U crée un champ magnétique  $\vec{B}$ .

1) Le générateur à une f.e.m. de 6 V et la résistance totale du circuit est 2 W.

Quelle est la valeur de l'intensité I du courant qui traverse le circuit ?

2) Quelle est la particularité du champ magnétique entre les deux branches de l'aimant ? Donner la direction et les sens du vecteur champ magnétique entre les branches de l'aimant.

3) La valeur du champ magnétique est  $B = 0,05 \text{ T}$ . La longueur MN est de 10 cm. On suppose que la barre est soumise sur toute sa longueur au champ magnétique. Donner les caractéristiques de la force (Force de Laplace) agissant sur la barre MN.

4) On intervertit les pôles de l'aimant. Que se passe-t-il ?

