

# FORCES ELECTROMAGNETIQUES.

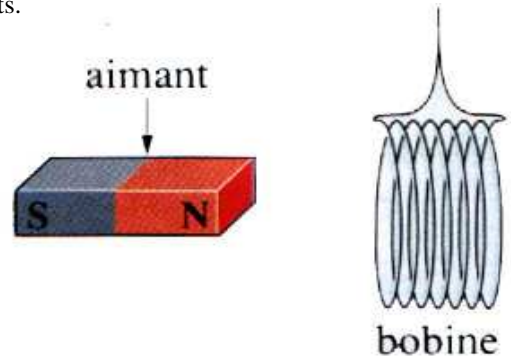
## 1. INTERACTIONS AIMANT-COURANT.

Des circuits parcourus par des courants électriques sont des sources de champs magnétiques. On peut alors observer des interactions d'origine magnétique entre un circuit électrique parcouru par un courant et un aimant ou entre deux circuits électriques parcourus par des courants, comme on observe des interactions de même nature entre deux aimants.

### 1.1. MISE EN EVIDENCE EXPERIMENTALE.

#### Dispositif.

On suspend une bobine par des fils d'alimentation souples.  
On alimente la bobine par un courant continu et on place un aimant droit au voisinage de l'une de ses faces.  
On inverse ensuite le sens de passage du courant dans la bobine.  
Puis on reprend l'expérience en remplaçant l'aimant par une seconde bobine parcourue par un courant.



#### Observations.

Selon le sens du courant qui parcourt la bobine, celle-ci est attirée par l'aimant ou repoussée par lui. Si elle se retourne, elle subit alors une attraction.

Les observations sont identiques quand on remplace l'aimant droit par une seconde bobine parcourue par un courant.

#### Interprétation.

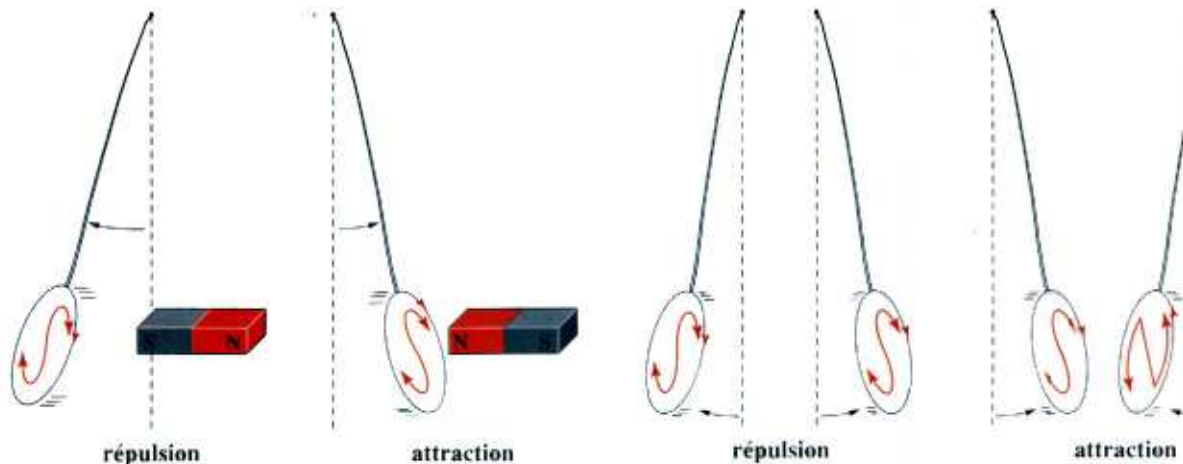
La bobine suspendue parcourue par un courant est soumise à des forces qui la mettent en mouvement quand elle se trouve dans le champ magnétique créé par l'aimant droit ou par l'autre bobine.

#### Conclusion.

Un circuit ou une portion de circuit parcourus par un courant et placés dans un champ magnétique sont soumis à des forces appelées électromagnétiques ou forces de Laplace.

### 1.2. GENERALISATION: LES INTERACTIONS MAGNETIQUES.

- La face Sud d'une bobine parcourue par un courant est attirée par le pôle Nord d'un aimant et la face Nord d'une autre bobine; elle est repoussée par un pôle Sud ou une face Sud.
- La face Nord d'une bobine parcourue par un courant est repoussée par le pôle Nord d'un aimant ou la face Nord d'une autre bobine; elle est attirée par un pôle Sud ou une face sud.



## 2. LA LOI DE LAPLACE.

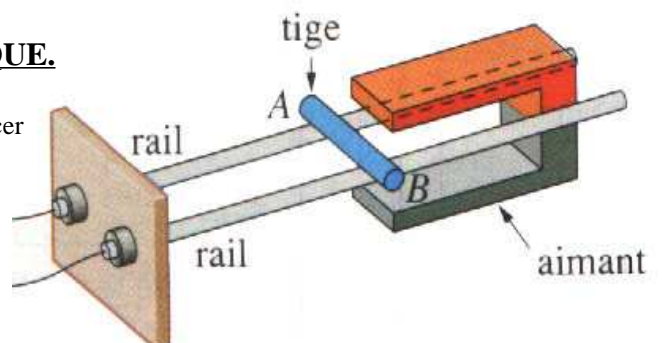
### 2.1. RAIL MOBILE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE.

#### Dispositif.

On considère une portion rectiligne de circuit: la tige AB, libre de se déplacer dans un plan, parcourue par un courant continu et placée dans le champ magnétique créé par un aimant en U.

On peut inverser le sens du courant ou inverser le sens du vecteur champ magnétique (en retournant l'aimant).

L'expérience porte le nom d'expérience des rails de Laplace.



**Observations.**

Quand le courant passe dans la tige métallique et que celle-ci est simultanément placée dans le champ magnétique de l'aimant, elle se met en mouvement. La direction de ce mouvement est celle des rails.

Le tableau ci-dessous donne les observations effectuées pour quelques situations simples à réaliser, la direction du champ magnétique B étant toujours verticale:

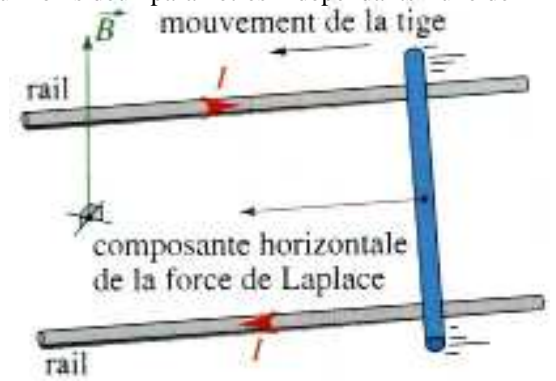
Champ magnétique $\vec{B}$	valeur : quelconque	valeur nulle : $B = 0 \text{ T}$	- sens : vers le bas - valeur : quelconque	- sens : vers le bas - valeur : quelconque	- sens : vers le haut - valeur : quelconque	- sens : vers le haut - valeur : quelconque
Courant d'intensité $I$	$I = 0 \text{ A}$	sens et valeur : quelconques	- sens : de A vers B - valeur : quelconque	- sens : de B vers A - valeur : quelconque	- sens : de A vers B - valeur : quelconque	- sens : de B vers A - valeur : quelconque
Sens du mouvement	pas de mouvement	pas de mouvement	vers la droite	vers la gauche	vers la gauche	vers la droite

**Interprétation.**

Le sens du mouvement de la tige métallique soumise à la force de Laplace dépend d'au moins deux paramètres indépendants l'une de l'autre:

- le sens du courant qui circule dans la tige;
- le sens du champ magnétique créé par l'aimant.

D'après le principe d'inertie, la mise en mouvement de la tige dans le référentiel terrestre implique que les forces qui agissent sur la tige ne se compensent pas. On déduit en outre de la deuxième loi de Newton que la force de Laplace qui agit sur la tige a une composante horizontale de direction parallèle aux rails et de sens variable selon le sens du mouvement observé.



**2.2. CARACTERISTIQUES DE LA FORCE DE LAPLACE.**

On admettra les résultats suivants:

Un élément conducteur AB de longueur  $l$  parcouru par un courant d'intensité  $I$  et placé dans un champ magnétique  $\vec{B}$  uniforme est soumis à une force électromagnétique  $\vec{F}$  appelée force de Laplace:

- sa direction est perpendiculaire au plan formé par le conducteur et la direction du champ magnétique;
- son sens dépend du sens du courant et de celui du champ magnétique;
- sa valeur est proportionnelle à l'intensité  $I$  du courant, à la longueur  $l$  de l'élément conducteur et à la valeur  $B$  du champ magnétique.

- F: Force de Laplace (N)
- I: Intensité du courant (A)
- l: longueur de l'élément (m)
- B: valeur du champ magnétique (T)
- $\alpha$ : angle entre la direction du conducteur et celle du champ magnétique.

$$F = I \times l \times B \times \sin \alpha$$

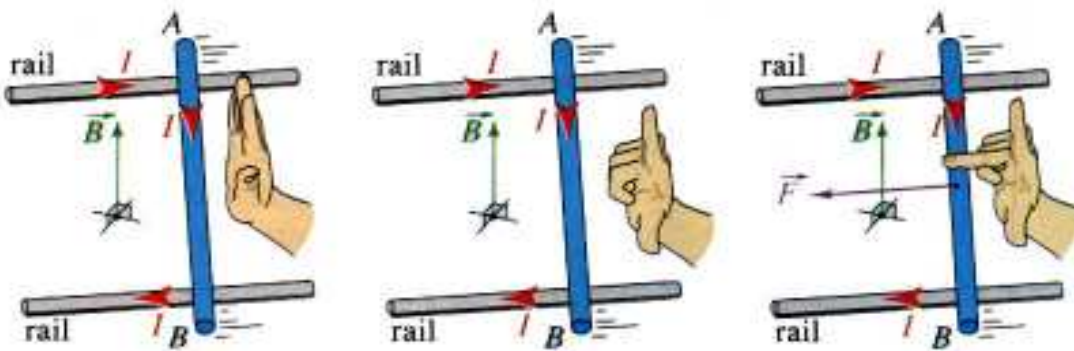
avec

**Cas particuliers:**

- La force de Laplace est nulle quand  $\vec{AB}$  et  $\vec{B}$  ont même direction:  
 $= 0^\circ$  ou  $180^\circ$   $\sin = 0$  et  $F = 0 \text{ N}$
- La force de Laplace est maximale quand  $\vec{AB}$  et  $\vec{B}$  sont perpendiculaires  
 $= 90^\circ$   $\sin = 1$  et  $F = I \times l \times B$

**2.3. LA REGLE DES 3 DOIGTS DE LA MAIN DROITE.**

- Placer la main droite bien ouverte dans le plan formé par la tige métallique et la direction du champ magnétique;
- Positionner le pouce dans le sens du courant dans la tige AB et l'index dans le sens du champ magnétique;
- La force de Laplace est perpendiculaire au plan de la main et son sens est donnée par la majeur.



### 3. CONVERSION D'ENERGIE ELECTRIQUE EN ENERGIE MECANIQUE.

#### 3.1. LE HAUT-PARLEUR ELECTROMAGNETIQUE.

On distingue:

- un **aimant** de forme complexe, qui crée un champ électromagnétique radial (c'est-à-dire, dirigé suivant un diamètre de la bobine);
- une **bobine**, qui peut être parcourue par un courant;
- une **membrane** en forme de pavillon, fixée en son pourtour sur le saladier, et solidaire de la bobine.

Le spider permet de garder l'ensemble bien centré.

L'aimant crée en chaque point d'une spire, un champ magnétique radial c'est-à-dire dirigé selon un rayon de la spire. De plus, ce champ est orienté vers le centre de la spire et a la même valeur tout le long de celle-ci.

Lorsqu'un courant circule dans la bobine, chaque spire est soumise à des forces électromagnétiques qui la déplacent. Chaque portion est soumise à une force électromagnétique  $\vec{f}$  de valeur  $f = I.l.B$ .

Tout le long des spires de la bobine, les forces telles que  $\vec{f}$  ont la même direction (parallèle à l'axe de la bobine), le même sens et la même valeur  $f$ : leur résultante  $\vec{F}$  est donc colinéaire à l'axe de la bobine et a pour valeur

$$\mathbf{F} = \mathbf{I.L.B} \quad L \text{ étant la longueur}$$

totale du fil de la bobine.

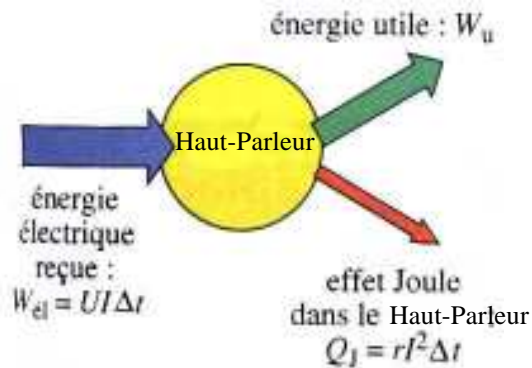
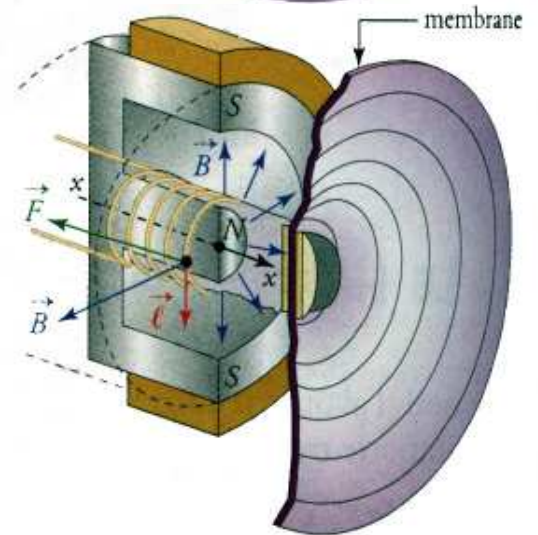
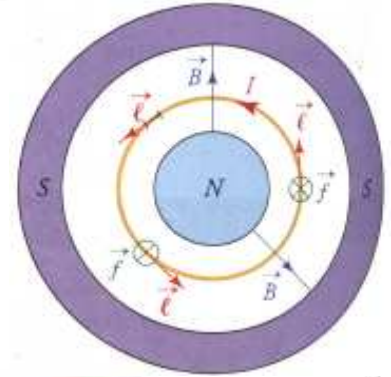
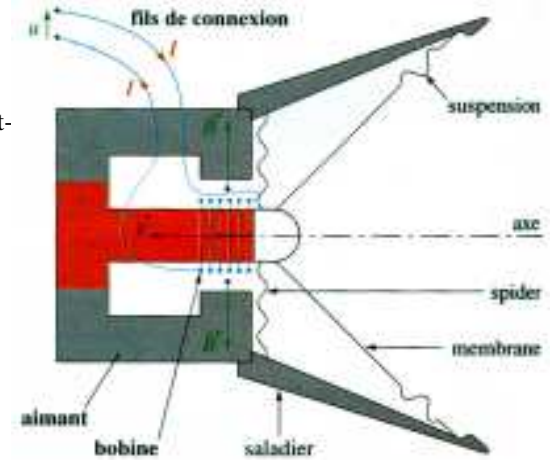
Sous l'action de la résultante des forces électromagnétiques, la bobine se déplace d'un mouvement de translation rectiligne dans l'entrefer de l'aimant.

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

Si le courant est alternatif, la bobine, et donc la membrane qui lui est solidaire, sont animées d'un mouvement vibratoire. Ces vibrations ont la même fréquence que le courant qui circule dans la bobine.

L'énergie électrique fournie par le générateur est convertie en énergie mécanique fournie à la bobine et à la membrane. Une partie de cette énergie mécanique est transférée aux couches d'air près de la membrane vibrante: elle produit un son qui peut alors se propager.

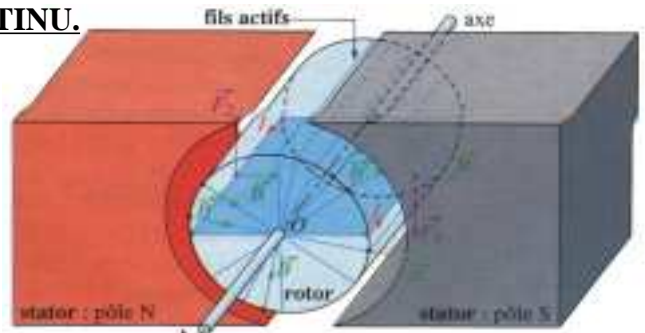
**Un haut-parleur électrodynamique est un convertisseur d'énergie électrique en énergie mécanique.**



### 3.2. LE MOTEUR ELECTRIQUE A COURANT CONTINU.

On distingue:

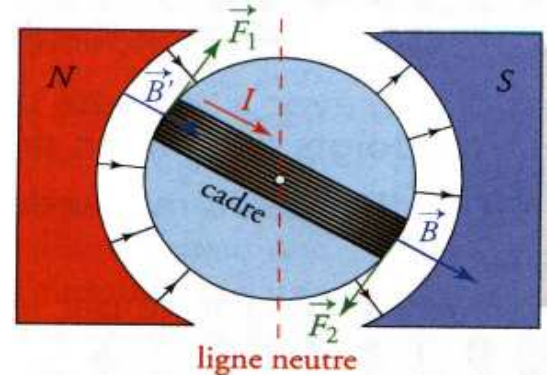
- une partie fixe, le **stator**, porte la source de champ magnétique: un aimant permanent dont l'entrefer est cylindrique. Le champ magnétique créée est radial, c'est-à-dire suivant un diamètre du cylindre;
- une partie mobile, le **rotor**, constitué d'un cylindre d'acier pouvant tourner autour de son axe. Il porte, dans des encoches, un grand nombre de fils conducteurs appelés fils actifs.



Le collecteur, par l'intermédiaire des balais, permet la circulation du courant électrique dans les fils du rotor.

Pour en comprendre le fonctionnement, il suffit d'étudier le mouvement d'une bobine rectangulaire (ou cadre) placée dans un champ magnétique radial: le vecteur  $\vec{B}$  est dirigé selon le rayon d'une section circulaire de l'entrefer. Du côté du pôle Nord, le vecteur  $\vec{B}$  est orienté vers l'axe. De l'autre côté, il est orienté vers le Sud.

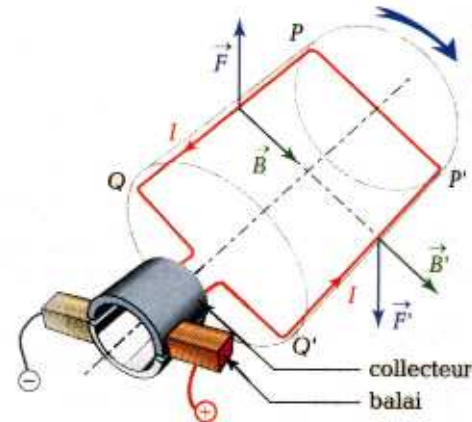
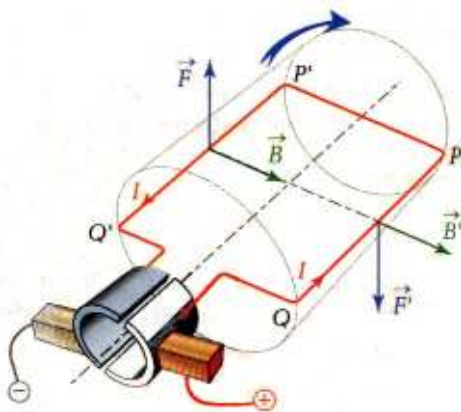
Sur les côtés horizontaux du cadre parallèles aux lignes de champ magnétique: les forces électromagnétiques sont nulles. Sur les côtés parallèles à l'axe de rotation sont appliquées les forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  qui font tourner le cadre autour de l'axe. Lorsque les côtés franchissent la ligne neutre, ils entrent dans des champs magnétiques inversés. Les forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  changent alors de sens et tendent à faire tourner le cadre en sens inverse.



Dans un moteur électrique, on évite le changement de sens des forces électromagnétiques, lors du passage de la ligne neutre, en changeant le sens de circulation du courant dans chaque spire à l'aide d'un dispositif constitué par des collecteurs et des balais. L'effet des forces sur le cadre n'est pas modifié et le sens de rotation du rotor est alors conservé.

Le courant parcourt la spire dans le sens QPP'Q'

Le courant parcourt la spire dans le sens Q'P'PQ



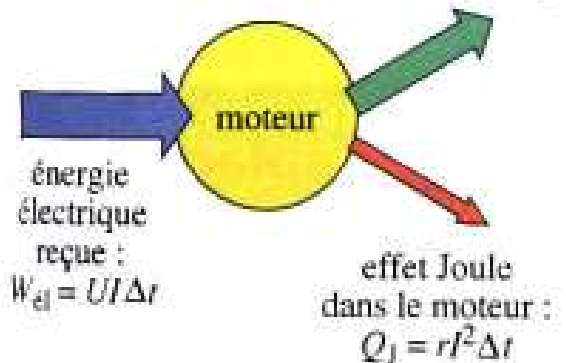
*Dans un moteur électrique, les forces électromagnétiques convertissent l'énergie électrique reçue par le circuit en énergie mécanique.*

#### Ordres de grandeurs.

Le tableau fournit les ordres de grandeur des puissances de quelques moteurs électriques usuels. Leurs principes de fonctionnement diffèrent, mais reposent toujours sur les **interactions électromagnétiques**.

Application	Puissance	Alimentation
Photocopieurs, Imprimantes.	10 W à 40 W	continu ou alternatif
Robot ménager	100 W à 200 W	alternatif
Démarrateur d'automobile.	environ 1 kW	continu
Aspirateur.	environ 1,5 kW	alternatif
Voiture électrique.	20 kW à 45 kW	continu ou alternatif
Motrice de train.	4,4 MW à 6,4 MW	alternatif

énergie utile :  $W_{II}$



Les moteurs électriques ont un excellent rendement pouvant dépasser 90%, alors que celui des moteurs thermiques n'est que de 20 à 40%

## 4. CONVERSION D'ENERGIE MECANIQUE EN ENERGIE ELECTRIQUE.

### 4.1. L'ALTERNATEUR.

#### Dispositif.

Un aimant entraîné par un moteur à vitesse réglable tourne devant une bobine. Les bornes de cette bobine sont reliées à celles d'un oscilloscope dont le balayage est enclenché.

#### Observation.

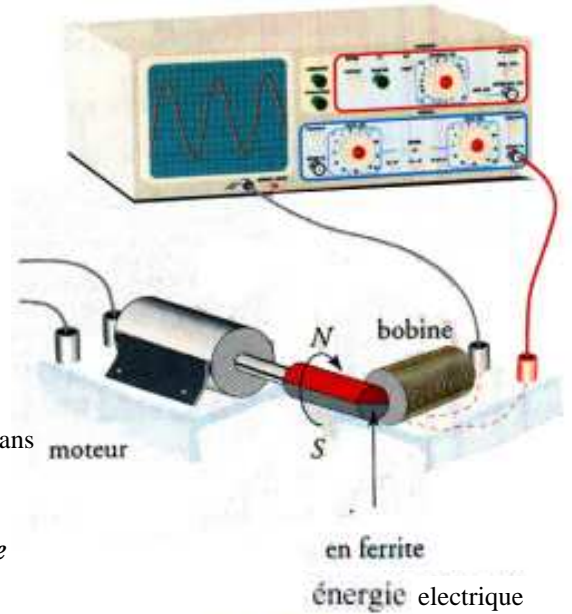
Le spot décrit une courbe périodique: une tension alternative, semblable à celle délivrée par le générateur très basse fréquence, apparaît aux bornes de la bobine.

Si on augmente la vitesse de rotation du moteur, la période de la tension délivrée diminue. Si on arrête le moteur, la tension disparaît.

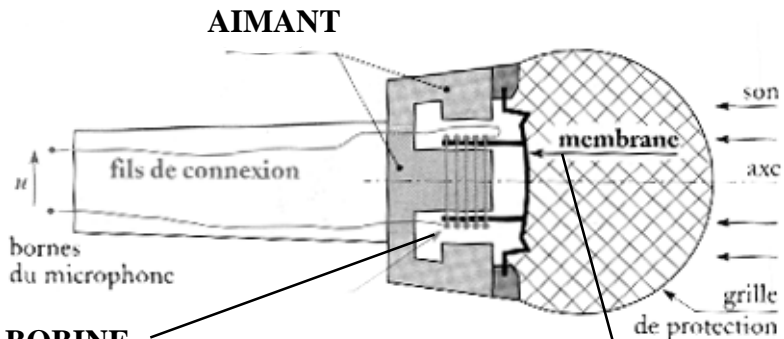
#### Conclusion.

L'apparition d'une tension électrique entre les bornes de la bobine en mouvement dans le champ magnétique est appelée phénomène d'induction électromagnétique, phénomène qui a été découvert et interprété par Michael Faraday en 1832.

*Le phénomène d'induction électromagnétique permet de convertir l'énergie mécanique en énergie électrique.*



### 4.2. LE MICROPHONE.

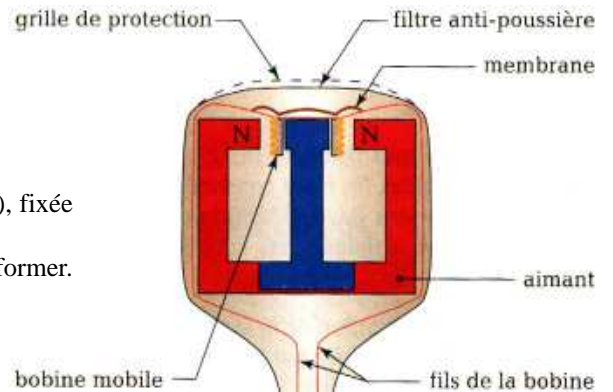
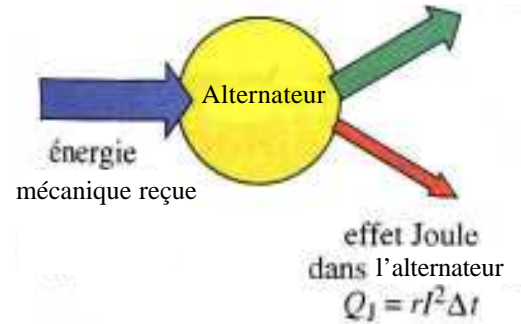


#### BOBINE

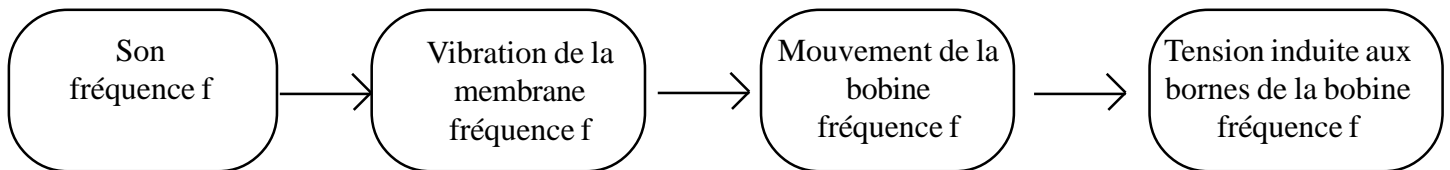
très légère possédant quelques dizaines de spires seulement et pouvant coulisser dans l'entrefer de l'aimant.

#### MEMBRANE

rigide, très légère (50 mg à 100 mg), fixée sur un pourtour; elle comporte des ondulations lui permettant de se déformer.



La structure d'un microphone électrodynamique est analogue à celle d'un haut-parleur.



L'air transmet une vibration sonore de fréquence f du haut-parleur vers le microphone.....

.....Il met en vibration la membrane du microphone qui vibre à la même fréquence f.....

....La bobine, solidaire de la membrane, vibre au voisinage de l'aimant.....

..... Il apparaît une tension induite u de fréquence f.