

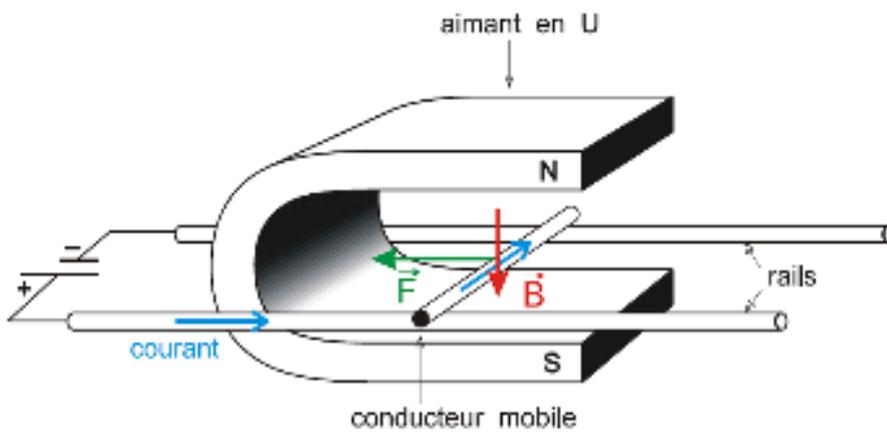
Laplace

I. ACTION D'UN CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME SUR UN COURANT RECTILIGNE :

I.1. Mise en évidence expérimentale :

I.1.1. Expérience des rails de Laplace :

❖ Schéma et description du dispositif expérimental :



Une tige conductrice de section cylindrique est posée sur des rails conducteurs horizontaux et parallèles. La tige est placée dans l'entrefer d'un aimant en U.

❖ Observations :

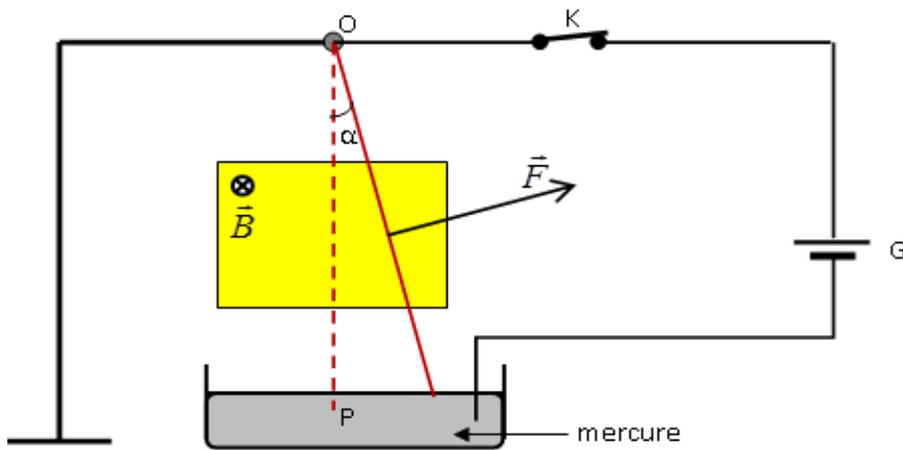
Lorsque le courant circule dans la tige conductrice et que celle-ci est dans le champ magnétique de l'aimant, elle se met en mouvement. Ce mouvement s'effectue vers la gauche ou vers la droite selon le sens du courant et du champ magnétique.

❖ Interprétation :

La tige est soumise à une force d'origine électrique et magnétique.

I.1.2. Conducteur pendule :

❖ Schéma et description du dispositif expérimental :



OP est un fil conducteur mobile autour de O et dont une portion se trouve dans un domaine où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} créé par un aimant en U. L'extrémité P plonge légèrement dans du mercure assurant le contact électrique.

❖ Observation :

Lorsque l'interrupteur K est fermé, le fil dévie d'un angle α par rapport à la verticale.

❖ Interprétation :

Le fil est soumis à une force d'origine électrique et magnétique.

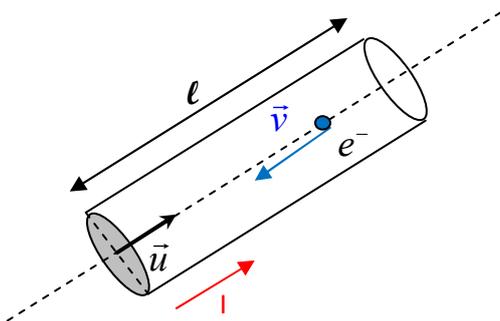
I.2. loi de Laplace ;

❖ Enoncé de la loi :

Une portion rectiligne d'un conducteur, de longueur l , parcourue par un courant d'intensité I et placée dans un champ magnétique uniforme \vec{B} , est soumise à une force électromagnétique \vec{F} appelée force de Laplace appliquée en son milieu.

❖ Interprétation microscopique :

Considérons un élément de conducteur de volume \mathcal{V} , de section s et de longueur l parcouru par le courant d'intensité I et placé dans le domaine où règne le champ \vec{B} .



Posons N et n respectivement le nombre d'électrons contenus dans le volume \mathcal{V} et le nombre d'électrons par unité de volume ; on a :

$$n = \frac{N}{\mathcal{V}} \Rightarrow N = n\mathcal{V}$$

La quantité d'électricité Q traversant la section s pendant le temps t est: $Q = Ne = nev = nesl$

L'intensité I du courant qui parcourt l'élément de conducteur :

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{nsle}{t} \text{ or } \frac{l}{t} = V \text{ avec } V \text{ vitesse des électrons.}$$

$$I = nseV$$

D'après Lorentz, sur chaque électron, s'exerce la force magnétique.

$$\vec{f}_m = -e\vec{V} \wedge \vec{B}$$

La résultante des forces qui s'exercent sur tous les électrons est :

$$\vec{F}_m = \sum \vec{f}_m = \sum -e\vec{v} \wedge \vec{B} = (\vec{v} \wedge \vec{B}) \times \sum(-e)$$

$$\vec{F}_m = -Q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

En remplaçant Q par son expression on obtient :

$$\vec{F}_m = -nlse\vec{v} \wedge \vec{B}$$

Soit \vec{u} un vecteur unitaire parallèle au conducteur et de même sens que le courant I on peut écrire : $\vec{l} = l \times \vec{u}$ et $\vec{v} = -V\vec{u}$

$$\vec{F}_m = -nlse(-V\vec{u} \wedge \vec{B}) = nseVl\vec{u} \wedge \vec{B} = nseV\vec{l} \wedge \vec{B} = I\vec{l} \wedge \vec{B}$$

Donc :

$$\vec{F}_m = I \times \vec{l} \wedge \vec{B}$$

Conclusion : La force de Laplace est donc tout simplement la résultante de toutes les forces magnétiques s'appliquant sur les électrons de conductivité dans le conducteur. Son expression est donnée par :

$$\vec{F}_m = I \times \vec{l} \wedge \vec{B}$$

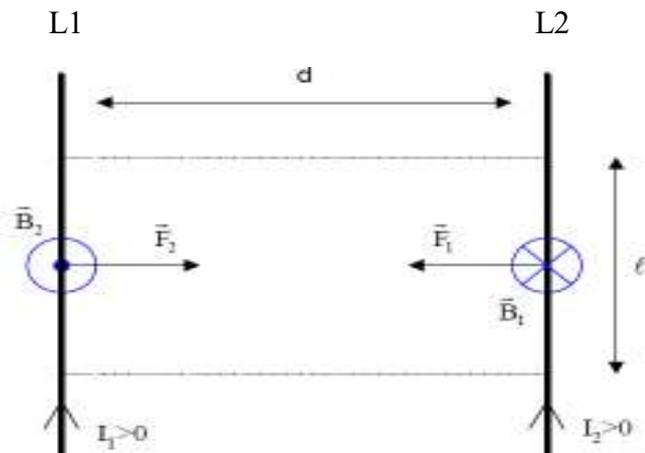
Le sens du vecteur \vec{l} est celui du courant.

❖ **Caractéristiques de la force de Laplace**

- direction : perpendiculaire au plan formé par \vec{l} et \vec{B} .
- sens : tel que le trièdre $(\vec{l}, \vec{B}, \vec{F})$ soit direct :
- norme : $\|\vec{F}\| = F = IlB \sin(\vec{l}, \vec{B})$

II. ACTION MUTUELLE DE DEUX ELEMENTS DE COURANT RECTILIGNE :

Considérons deux fils rectilignes infinis, parallèles, distants de d et parcourus par des courants de même sens et d'intensité I₁ et I₂.



Le courant I₁ crée en tout point du conducteur L₂ un champ \vec{B}_1 . \vec{B}_1 exerce en tout point de ce conducteur une force de Laplace : $\vec{F}_1 = I_2\vec{l}_2 \wedge \vec{B}_1$.

Le courant I₂ crée en tout point du conducteur L₁ un champ \vec{B}_2 . \vec{B}_2 exerce en tout point de ce conducteur une force de Laplace : $\vec{F}_2 = I_1\vec{l}_1 \wedge \vec{B}_2$.

$$\vec{l}_1 = \vec{l}_2, B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}, B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$

$$F_1 = I_2 l_2 B_1 = I_2 l_2 \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$$

$$F_2 = I_1 l_1 B_2 = I_1 l_1 \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$

$$F_1 = F_2 = I_2 I_1 \frac{\mu_0 l}{2\pi d}$$

Les deux forces sont égales en norme et attractives.

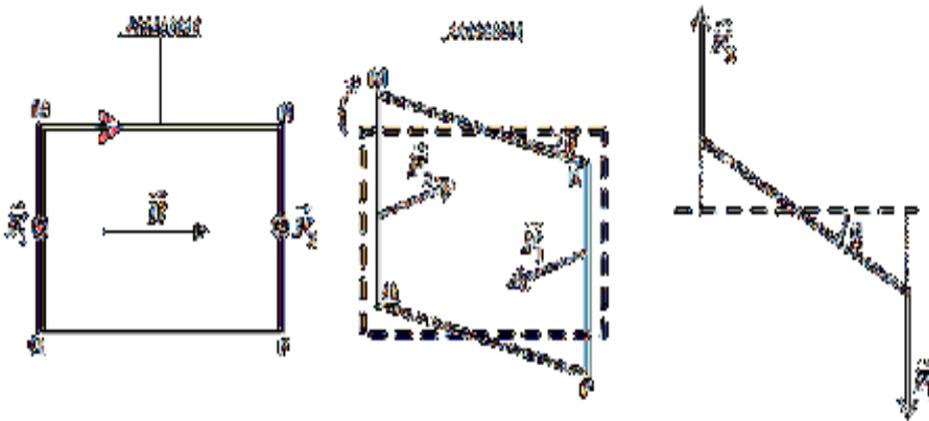
Si les courants étaient de sens opposés, les forces seraient répulsives.

Définition de l'ampère :

L'Ampère est l'intensité de courant constant passant dans deux fils conducteurs parallèles infinis, de section circulaire négligeable, situés à 1 mètre l'un de l'autre, et produisant une force de $2 \cdot 10^{-7}$ Newtons par unité de longueur de fil.

III. ACTION D'UN CHAMP MAGNETIQUE SUR UN CADRE :

Considérons un cadre rectangulaire parcouru par un courant d'intensité I et placé dans un domaine où règne un champ magnétique \vec{B} . Le cadre étant suspendu par un fil de constante de torsion C .



$\vec{F}_{MN} = \vec{F}_{PQ} = \vec{0}$ car \overline{MN} et \overline{PQ} sont parallèles au champ magnétique \vec{B} .

$$\vec{F}_{NP} = I \cdot \overline{NP} \wedge \vec{B} = \vec{F}_1; \vec{F}_{QM} = I \cdot \overline{QM} \wedge \vec{B} = \vec{F}_2$$

Le cadre est soumis au couple de forces (\vec{F}_1, \vec{F}_2) qui tend à le faire tourner.

Dans sa nouvelle position d'équilibre, on a:

$$\mathcal{M}(\vec{T}) + \mathcal{M}(\vec{F}_1, \vec{F}_2) + \mathcal{M}(\vec{P}) + \mathcal{M}_c = 0$$

avec \vec{P} le poids du cadre et \vec{T} la tension du fil.

$$\mathcal{M}(\vec{T}) = \mathcal{M}(\vec{P}) = 0$$

$$\mathcal{M}(\vec{F}_1, \vec{F}_2) = F \times d \text{ avec}$$

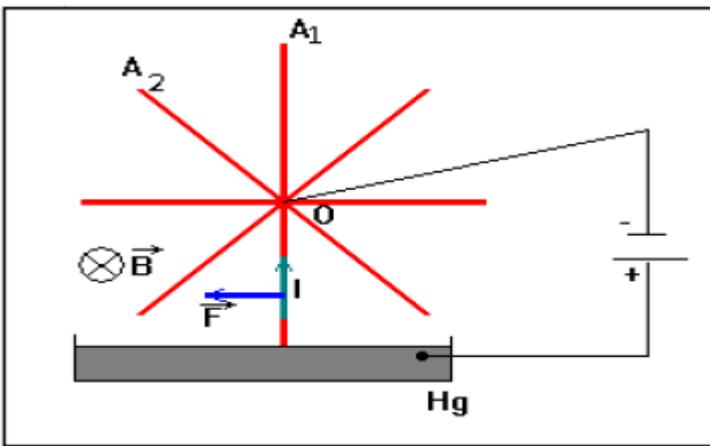
$$d = 2 \times \frac{L}{2} \cos \theta = L \cos \theta \text{ et } F = F_1 = F_2 = I l B$$

$$I l B L \cos \theta - C \theta = 0, \text{ d'où } B = \frac{C \theta}{I l L \cos \theta} \text{ et } F = \frac{C \theta}{L \cos \theta}$$

IV. APPLICATIONS PRATIQUES

IV.1. La roue de Barlow

C'est le premier moteur électrodynamique.



La roue mobile autour de son axe horizontal est reliée à l'une des bornes d'un générateur. Une portion de la roue plonge dans un champ magnétique uniforme \vec{B} . Le mercure assure le contact électrique. Lorsqu'on fait passer un courant, la roue se met à tourner sous l'action de la force de Laplace.

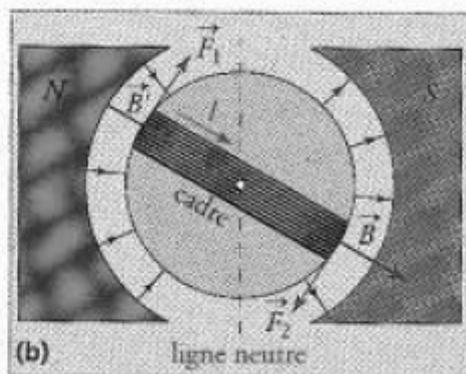
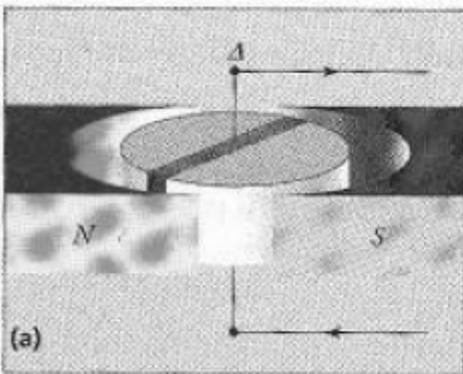
Remarque : Le rendement pratique de ce moteur est très faible.

IV.2. Moteur électrique à courant continu

Un moteur est constitué de deux pièces principales :

-le stator, qui est un aimant fixe

-le rotor, constitué d'une bobine dans laquelle peut circuler un courant électrique



Le rotor peut tourner autour de l'axe Δ . Le champ magnétique créé par l'aimant est radial.

Deux fils actifs diamétralement opposés tels qu'AC et ED sont associés. Lorsqu'ils sont parcourus par un courant électrique, ils sont soumis à un couple de forces électromagnétiques (\vec{F}_1, \vec{F}_2) de moment $\mathcal{M}_\Delta = 2FR$

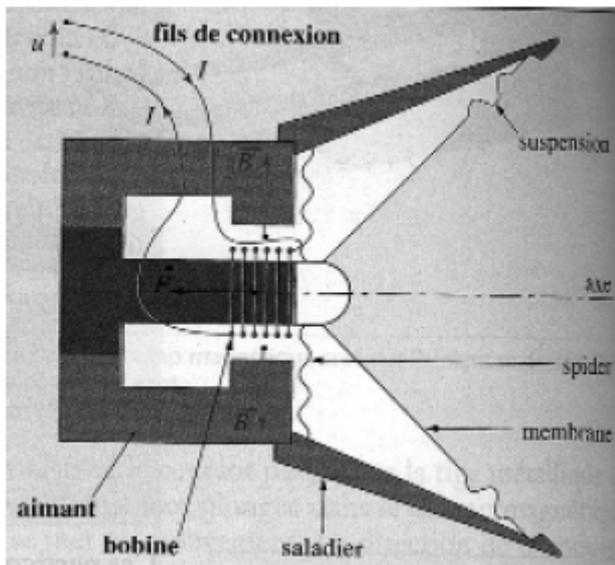
Si N désigne le nombre de fils actifs, le rotor est soumis à un couple de moment résultant : $\mathcal{M}_T = \frac{N}{2} \times 2FR = NFR$ avec $F = BIl$ il vient :

$$\mathcal{M}_T = NRBl$$

IV.3 Le haut-parleur électrodynamique :

L'appareil comporte essentiellement :

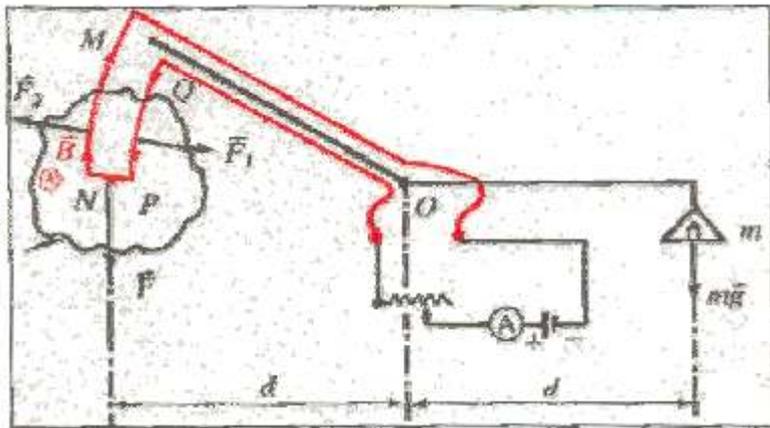
- un aimant ;
- une bobine cylindrique mobile placée autour du pôle Nord de l'aimant ;
- une membrane solidaire à la bobine.



Lorsque la bobine est parcourue par un courant, elle est soumise à une force de Laplace qui provoque son déplacement. Le mouvement de la bobine est transmis à la membrane qui fait vibrer l'air qui l'entoure : ce qui engendre un son.

IV.4 La balance de Cotton

Dispositif :



En l'absence de courant, la balance est en équilibre sous l'action de son poids \vec{P}_0 et de la réaction \vec{R} du couteau.

Lorsqu'on fait passer le courant dans le fil OQPNM, la balance dévie sous l'action de la force de Laplace \vec{F} .

On rétablit l'équilibre en plaçant une masse m dans le plateau.

Dans le nouvel état d'équilibre,

Compte tenu de la forme des moteurs MN et PQ (arcs de cercle de centre O), les moments des forces

\vec{F}_1 et \vec{F}_2 sont nuls, la condition d'équilibre s'écrit :

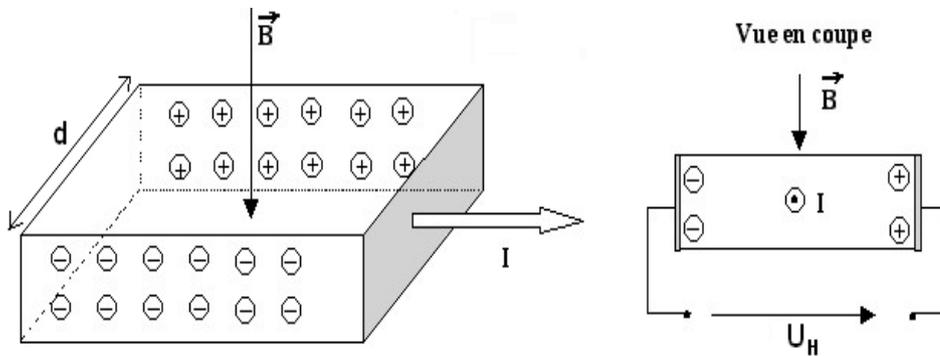
$$\mathcal{M}(\vec{R}) + \mathcal{M}(\vec{F}) + \mathcal{M}(\vec{P}) + \mathcal{M}(\vec{F}_1)\mathcal{M}(\vec{F}_2) + \mathcal{M}(\vec{P}_0) = \vec{0}$$

$$\Rightarrow IlBd = mgd \Rightarrow B = \frac{mg}{Il}$$

La balance de Cotton permet de déterminer l'intensité du champ électrique.

IV.5 Effet Hall

L'effet Hall est l'apparition d'une tension électrique transversale dans une plaque semi-conductrice parcourue longitudinalement par un courant électrique quand celle-ci est placée dans un champ magnétique perpendiculaire à son plan.



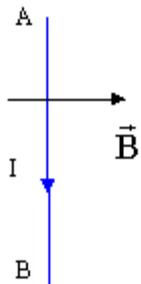
Les électrons sous l'effet de la force magnétique sont déviés vers l'avant et s'accumulent sur la face d'avant. Il apparaît alors une charge négative cette face et corrélativement d'une charge positive sur la face de derrière. Ce déplacement d'électrons se poursuit jusqu'à ce que le champ électrique créé provoque pour chaque électron une force électrique \vec{F}_e directement opposée à la force magnétique \vec{F}_m . Il apparaît alors une tension transversale U_H entre les deux faces : cette tension est appelée tension de Hall)

$$\vec{F}_e + \vec{F}_m = \vec{0} \Rightarrow eE = evB \Rightarrow E = vB ; \text{ en divisant par } d, \text{ distance entre les deux face ; il vient } \Rightarrow \frac{E}{d} = \frac{vB}{d} ; \text{ soit } U_H = \frac{vB}{d} \text{ or } v \text{ est proportionnelle à } I, \text{ intensité du courant électrique : soit } v = kI ; \text{ d'où } U_H = \frac{kIB}{d}$$

EVALUATION :

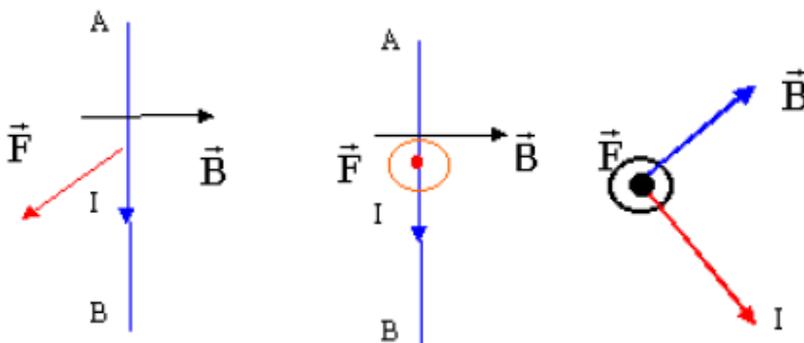
Exercice 1 : Conducteur Rectiligne

Le conducteur rectiligne AB est parcouru par un courant continu et plongé dans le champ magnétique \vec{B} . Quels sont la direction et le sens de la force de Laplace à laquelle il est soumis : donner la réponse par une phrase, puis représenter cette force sur le schéma.



Résolution

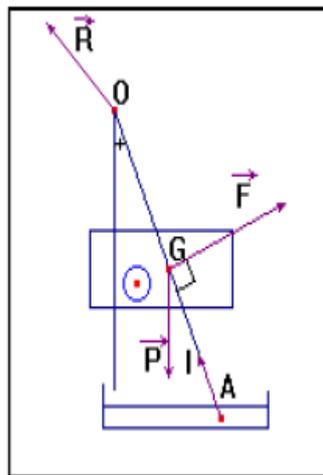
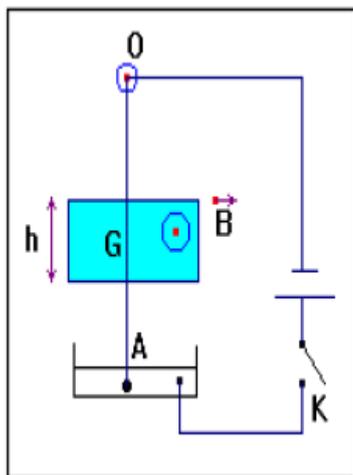
Le conducteur traverse par un courant d'intensité I et place dans un champ magnétique non colinéaire a AB est soumis a la force de Laplace \vec{F} . Cette force est perpendiculaire au plan défini par AB et vecteur champ magnétique \vec{B} . Son sens est donne par la règle des 3 doigts de la main droite (pouce :courant ,index :champ et majeur :force)



Exercice 2

Une tige de cuivre OA, de masse $m=8,3$ g, homogène, de longueur $L=30$ cm, peut se mouvoir dans un plan vertical autour de l'axe Δ 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 $h=3$ cm, la partie centrale de la tige est placée dans un champ magnétique \vec{B} uniforme et parallèle à Δ , pointant vers le lecteur.

1. Que se passe-t-il quand l'interrupteur K est ouvert ?
2. Que se passe-t-il quand l'interrupteur est fermé ?
3. Quand $I=10$ A, la tige dévie de $\theta=5^\circ$ et reste en équilibre. Faire le schéma. En déduire la valeur de l'intensité du champ \vec{B} .



Résolution :

1. K ouvert : $I=0$, il n'y a de force de Laplace.
2. K fermé : $I \neq 0$ et circule de A vers O et la tige est déviée.
3. Lorsque la tige est en équilibre,

$$\mathcal{M}(\vec{R}) + \mathcal{M}(\vec{F}) + \mathcal{M}(\vec{P})$$

$$P \times \frac{L \sin \theta}{2} + \frac{FL}{2} = 0 \text{ d'où } F = mg \sin \theta \quad (1)$$

$$\text{Or } F = I \times OA \times B \text{ avec } OA = \frac{hB}{\cos \theta} \quad (2)$$

$$(1) = (2) \rightarrow B = \frac{mg \sin 2\theta}{2Ih}$$

$$\text{AN: } B = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ T}$$