



Leçon 7 (TD) Leçon 8 (TCE) : LOI DE LAPLACE

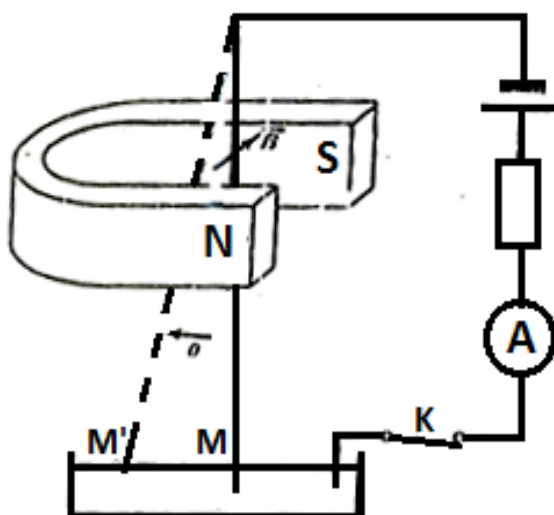
SITUATION D'APPRENTISSAGE :

Lors de la lecture d'une revue scientifique, un élève de la classe de Terminale D du Lycée Municipal 2 Attécoubé, apprend que lorsqu'une tige métallique parcourue par un courant électrique continu est plongée dans un champ magnétique, elle subit une force électromagnétique. L'élève partage cette information avec ses camarades de classe. Voulant en savoir plus, ces élèves entreprennent avec l'aide de leur professeur de s'informer sur la force de Laplace, de déterminer ses caractéristiques et d'analyser quelques applications de la loi de Laplace.

CONTENU DE LA LEÇON

1. Force de Laplace

1.1 Mise en évidence expérimentale : la tige de Laplace



A la fermeture de l'interrupteur K, on fait les observations suivantes :

- le conducteur en cuivre dévie ;
- cette déviation change de sens si l'on modifie le sens du champ magnétique ou le sens du courant (changement de bornes) ;
- le conducteur reprend sa position si on supprime $\vec{B}$ ou si on ouvre l'interrupteur K.

Le conducteur (ou la tige) subit une force électromagnétique. Le sens de cette force dépend de ceux de $\vec{B}$ et I

1.2 Rails de LAPLACE

1.2.1 Expérience

Deux rails horizontaux et parallèles sont reliés aux bornes d'un générateur de courant continu. Une barre conductrice est placée sur les rails et ferme le circuit. L'ensemble (rails+ conducteur) est placé dans l'entrefer d'un aimant en U. (voir figure 1)

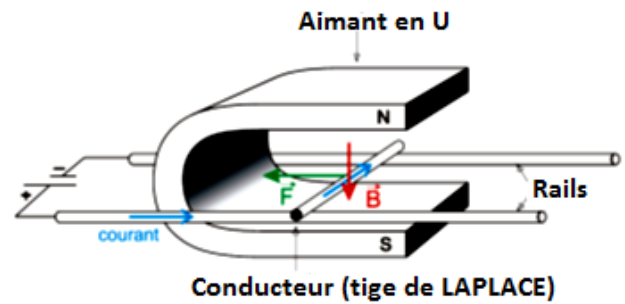


Figure 1

Pour voir une vidéo de l'expérience, faire (Ctrl+click) sur le lien suivant :

<https://www.youtube.com/watch?v=a9FBe7aHlgQ>

1.2.2 Observations

Lorsque la barre est parcourue par un courant la tige se met en mouvement. Le sens de déplacement de la barre change si le sens du courant change ou si le sens du champ $\vec{B}$ change. Sa vitesse augmente avec l'intensité de courant.

1.2.2 Interprétation

La barre est soumise à une force électromagnétique dont la valeur dépend de l'intensité I du courant électrique et celle du champ magnétique $\vec{B}$.

1.2.3 Conclusion

Un conducteur placé dans un champ magnétique et traversé par un courant électrique subit une force électromagnétique appelée force de LAPLACE.

2. Loi de Laplace

2.1 Énoncé

Un conducteur rectiligne de longueur ℓ , parcouru par un courant électrique d'intensité I , placé dans un champ magnétique $\vec{B}$, est soumis à une force $\vec{F}$ appelée force de LAPLACE d'expression :

$$\vec{F} = I \vec{\ell} \wedge \vec{B}$$

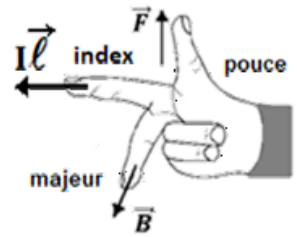
2.2 Caractéristiques de la force de Laplace

Les caractéristiques de la force de Laplace sont :

- Point d'application : le milieu de la partie du conducteur placée dans le champ magnétique
- Direction : la perpendiculaire au plan formé par le conducteur rectiligne et le champ $\vec{B}$
- Sens : le sens de $\vec{F}$ est tel que le trièdre $(\vec{\ell}, \vec{B}, \vec{F})$ est direct.

Le sens de $\vec{F}$ est déterminé par plusieurs règles, dont celle des trois doigts de la main droite

- Si l'**index** indique le sens du courant électrique I ;
- et le **majeur** indique le sens de $\vec{B}$;
- alors le **pouce** indique le sens de $\vec{F}$.



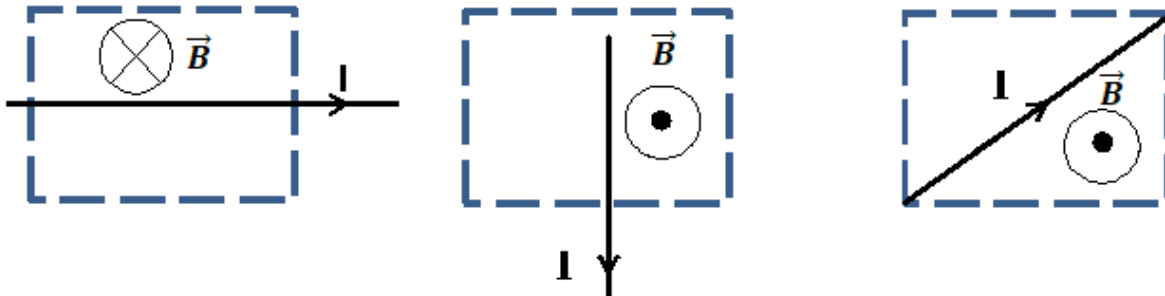
Règle de la main droite

- **valeur** : $F = I \cdot \ell \cdot B |\sin \alpha|$ avec $\alpha = (\vec{\ell}, \vec{B})$

Pour $\vec{\ell} \perp \vec{B}$: $\alpha = (\vec{\ell}, \vec{B}) = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \sin \alpha = 1$ **donc** $F = I \cdot \ell \cdot B$

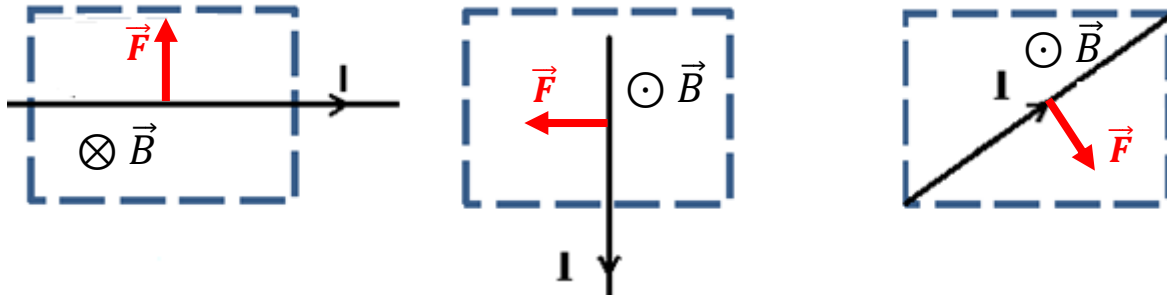
Activité d'application

Représente sur chacun des conducteurs placés dans l'espace champ magnétique $\vec{B}$ délimité par le rectangle, la force de LAPLACE.



CORRECTION

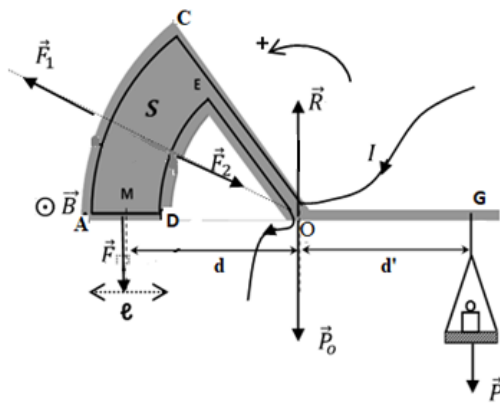
En utilisant la règle des trois doigts de la main droite



3. Applications de la loi de Laplace

3.1 Balance de Cotton ;

3.1.1 Schéma et description



Elle comprend :

- un bras de fléau supportant un plateau ;
- un circuit électrique OCADE fixé sur l'autre bras de fléau.

La partie CADE est plongée dans le champ magnétique à mesurer. $\widehat{CA}$ et $\widehat{DE}$ sont des arcs de cercle de centre O.

La balance est mobile autour de l'axe horizontal (Δ) passant par O, perpendiculaire au plan de figure. Elle est équilibrée en l'absence de courant électrique.

3.1.2 Détermination de la valeur du champ magnétique

- Système : ensemble (fléau + plateau + masse)
- Référentiel terrestre supposé galiléen
- Bilan des forces extérieures au système :
 - La réaction $\vec{R}$,
 - les poids $\vec{P}$, $\vec{P}_0$,
 - les forces de Laplace $\vec{F}$, $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$
- À l'équilibre, on a $\sum M_{(\Delta)}(\vec{F}_{ext}) = 0$

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

Compte tenu de la forme des conducteurs MN et PQ (arcs de cercle de centre O), les moments des forces $\vec{R}$, $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ et $\vec{P}_0$ sont nuls car leurs droites d'action coupe l'axe de rotation (Δ) en O.

$$M_{(\Delta)}(\vec{P}) + M_{(\Delta)}(\vec{F}) = 0$$

$$-P \times d' + F \times d = 0 \Leftrightarrow F \times d = P \times d'$$

Or $F = I\ell B$ et $P = mg$

$$I\ell B = mg \Rightarrow B = \frac{mgd'}{I\ell d}$$

Pour $d' = d$ alors $B = \frac{mg}{I\ell}$

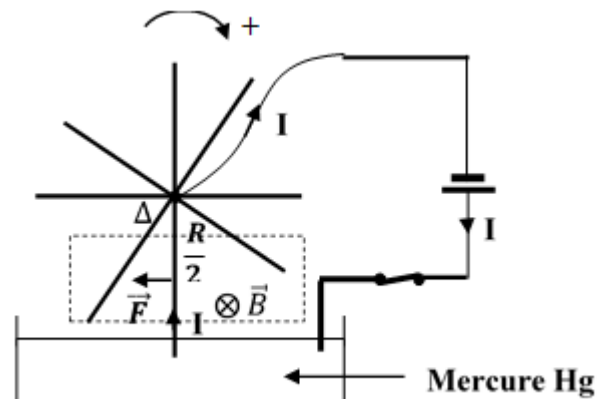
3.1.3 Intérêt du dispositif

Il permet de déterminer la valeur du champ magnétique $\vec{B}$

3.2 Roue de Barlow

3.2.1 Schéma et description

La roue de Barlow est constituée d'un disque de cuivre, mobile autour d'un axe horizontal Δ ; cet axe est relié à l'une des bornes d'un générateur de tension continue. L'autre borne est reliée à une cuve contenant une solution conductrice, lui-même en contact avec le disque. Un aimant en U crée, autour de la portion basse du disque, un champ magnétique uniforme $\vec{B}$.



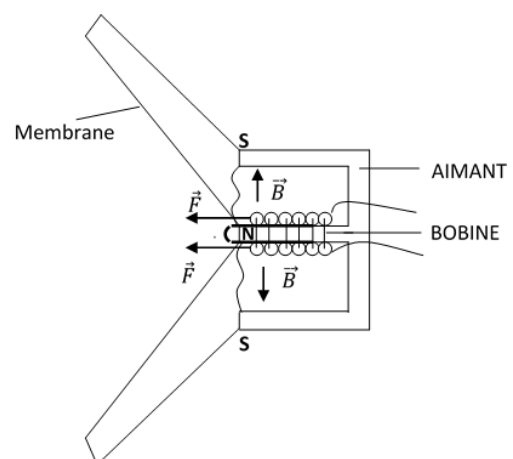
3.2.2 Fonctionnement

A la fermeture du circuit, le rayon qui plonge dans la solution conductrice est traversé par le courant I et subit la force de la Laplace. Si l'intensité de $\vec{F}$ est grande, ce rayon sort de la solution et un autre y pénètre. Les rayons se suivent ainsi les uns après les autres dans la solution et l'ensemble tourne dans le sens de $\vec{F}$.

3.3 Haut-parleur

Un haut-parleur est un appareil qui transforme des courants électriques en ondes sonores.

Il est constitué d'un aimant, d'une bobine et d'une membrane. La membrane est solidaire de la bobine. Les variations du courant électrique dans la bobine créent une force (force de Laplace) qui fait vibrer la membrane. Cette vibration de la membrane crée le son.



SITUATION D'ÉVALUATION

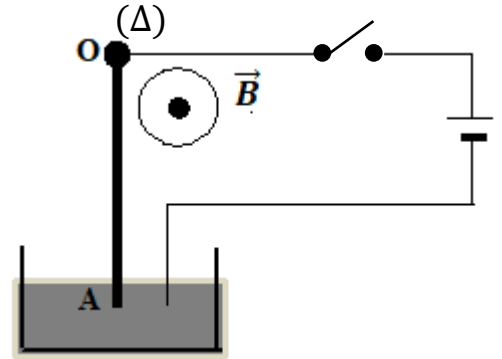
Au cours d'une séance de T.P. un groupe d'élèves de terminale D, sous la supervision de leur professeur de Physique – Chimie, réalise le montage schématisé ci-contre. OA est une tige de cuivre mobile de l'axe horizontal (Δ). Le groupe veut déterminer l'angle de déviation α du fil dans différentes situations.

Les parties 1 et 2 sont indépendantes.

1. Première partie

Précise ce qui se passe au niveau de la tige dans chacun des cas suivants :

- 1.1 le circuit est fermé et le champ magnétique $\vec{B}$ existe ;
- 1.2 on intervertit les bornes du générateur, en présence du même champ magnétique $\vec{B}$; le circuit étant fermé ;
- 1.3 le circuit est fermé et le champ magnétique est supprimé ;
- 1.4 le circuit est ouvert en présence du champ magnétique $\vec{B}$.



2. Deuxième partie

Un élève du groupe fixe la valeur de $\vec{B}$ à $5 \cdot 10^{-2}$ T et $I = 5$ A. La tige OA de longueur $\ell = 20$ cm est entièrement plongée dans le champ $\vec{B}$. La masse de la tige est $m = 10$ g.

- 2.1 Fais le bilan des forces s'exerçant sur la tige OA. Représente-les sur un schéma.
- 2.2 Écris la condition d'équilibre de la tige OA.
- 2.3 Détermine l'inclinaison α de la tige OA par rapport à la verticale.

On donne $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$

CORRECTION

1. Première partie

1.1 Circuit fermé et la valeur de $\vec{B}$ est non nulle

La tige rectiligne de cuivre (tige OA) est déviée

1.2 On intervertit les bornes du générateur et la valeur de $\vec{B}$ est non nulle.

La tige est déviée dans l'autre sens.

1.3 Circuit fermé et la valeur de $\vec{B}$ est nulle

La tige reste dans sa position d'équilibre verticale.

1.4 Circuit ouvert et la valeur de $\vec{B}$ est non nulle

La tige reste dans sa position d'équilibre verticale

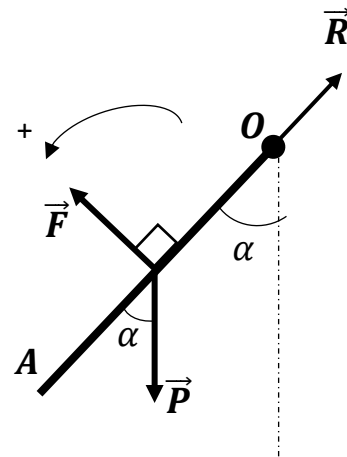
2. Deuxième partie

2.1 Le bilan et représentation des forces

Système : tige OA

Bilan des forces extérieures à la tige OA

- La réaction $\vec{R}$ du support
- Le poids de la tige $\vec{P}$
- La force de LAPLACE $\vec{F}$



2.2 La condition d'équilibre de la tige OA autour d'un axe fixe (Δ).

Lorsque la tige OA est en équilibre autour d'un axe de rotation (Δ) fixe alors :

$$\sum \vec{F}_{(ext)} = \vec{0}$$

$$\sum M_{(\Delta)}(\vec{F}_{ext}) = 0$$

2.3 Détermination de l'inclinaison α de la tige OA par rapport à la verticale.

$$M_{(\Delta)}(\vec{P}) + M_{(\Delta)}(\vec{F}) + M_{(\Delta)}(\vec{R}) = 0$$

$$-F \times \frac{\ell}{2} + P \times \frac{\ell}{2} \sin \alpha = 0 \Leftrightarrow F = P \times \sin \alpha$$

Or $F = I\ell B$ et $P = mg$ alors $I\ell B = mg \sin \alpha$

$$\sin \alpha = \frac{I\ell B}{mg} \text{ d'où } \alpha = \sin^{-1}\left(\frac{I\ell B}{mg}\right) \quad \text{A.N } \alpha = \sin^{-1}\left(\frac{5 \times 0,2 \times 5 \cdot 10^{-2}}{10 \times 10 \cdot 10^{-3}}\right) \text{ soit } \alpha = 30^\circ$$