

MODULE 2 : MOUVEMENTS ET INTERACTIONS : EVOLUTIONS TEMPORELLES DES SYSTEMES MECANQUES

LECON 3 : INTERACTIONS MAGNETIQUES

Compétences visées :

- Définir : force de Laplace - champ magnétique - force de Lorentz.
- Définir champ magnétique uniforme et donner quelques dispositifs permettant de le réaliser.
- Connaître la loi de Laplace (expressions scalaire et vectorielle). Exprimer la force de Lorentz.

3.1 Les forces magnétiques

3.1.1. Expérience

Considérons deux barreaux aimantés (B_1) et (B_2) en interaction (fig. 3.1.a), puis l'action d'un aimant (B) sur la limaille de fer (fig. 3.1.b).



Figure 3.1 : Dispositif de mise en évidence

À la figure 3.1.a, les aimants se repoussent mutuellement à distance, tandis qu'à la figure 3.1.b, (B) attire à distance, la limaille de fer. Si l'on remplace la limaille de fer par la tournure de cuivre, rien ne se passe (pas d'attraction). Cela peut se justifier par le fait que, le cuivre n'est pas une substance ferromagnétique.

3.1.2. Définition

- Un **aimant** est un corps capable d'attirer le fer et ses alliages ou composés.
- Une **force magnétique** est une force à distance exercée par un aimant sur une substance ferromagnétique.
- Une **force magnétique** est aussi une force à distance exercée grâce à l'existence d'un **champ magnétique**.

Remarque

L'attraction magnétique se manifeste généralement dans deux zones de l'aimant appelées **pôles de l'aimant** à savoir le pôle nord (N) et le pôle sud (S).

3.1.3. Interaction magnétique

En chacun des points de l'espace, le champ magnétique est caractérisé par une grandeur vectorielle : le **vecteur champ magnétique** $\vec{B}$.

L'interaction magnétique peut se traduire par des forces ou des couples de forces. Étant donné qu'il existe deux sources de champ magnétique (*les aimants et les courants électriques*), on assiste alors à trois types d'interaction magnétique :

- l'interaction aimant - aimant
- l'interaction aimant - courant
- l'interaction courant - courant

3.2 Champ magnétique

3.2.1. Définition

Encore appelé **induction magnétique**, le **champ magnétique** est une propriété de toute région de l'espace à l'intérieur de laquelle un objet ferromagnétique est soumis à des forces ferromagnétiques.

3.2.2. Caractéristiques du champ magnétique $\vec{B}$

- **Direction et sens** : ils sont déterminés à l'aide d'une aiguille aimantée.

L'axe SN (Sud - Nord) de l'aiguille aimantée, indique la direction de $\vec{B}$ et le sens est orienté de S vers N.

- **Module** : il s'exprime en tesla de symbole T.

L'appareil de mesure de l'intensité de $\vec{B}$ est le **teslamètre**.

$1 \text{ mT} = 10^{-3} \text{ T}$; $1 \text{ gauss} = 10^{-4} \text{ T}$; $1 \mu\text{T} = 10^{-6} \text{ T}$; $1 \text{ gamma} = 1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ T}$.

3.2.3. Le champ magnétique terrestre

Loin de toute source de champ magnétique, des aiguilles aimantées suspendues à des fils sans torsion, s'orientent toutes dans la même direction. Il existe donc un champ magnétique de direction constante dans le voisinage de ces aiguilles aimantées : c'est le **champ magnétique terrestre**.

Remarque.

- Le champ magnétique terrestre B_T varie entre 2.10^{-5} T et 7.10^{-5} T .
- Le plan vertical contenant le vecteur $\vec{B}_T$ est appelé **méridien magnétique** du milieu considéré.
- Le méridien magnétique forme avec le nord géographique (*plan vertical passant par la ligne des pôles*), un angle $\hat{D}$ appelé **déclinaison magnétique**.
- L'**inclinaison magnétique** $\hat{I}$ est l'angle entre $\vec{B}_T$ et sa composante horizontale $\vec{B}_h$

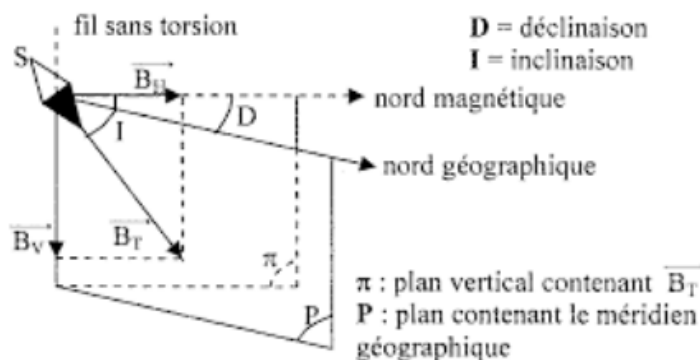


Figure 3.2 : Champ magnétique terrestre

3.2.4. Spectre magnétique

On dispose sur un rétroprojecteur, une plaquette translucide composée d'alvéoles refermant chacune une petite tige de fer aimantée. Posons un aimant droit sur cette plaquette.

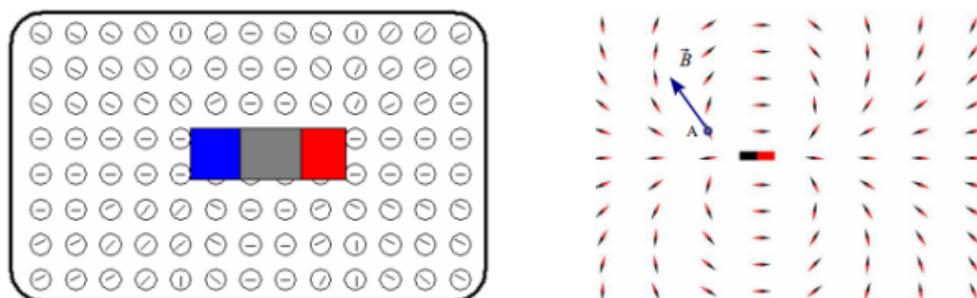


Figure 3.3 : Mise en évidence des lignes de champ magnétique d'un aimant

Les tiges aimantées se positionnent pour former des **lignes**.

- les tiges aimantées mettent en évidence les **lignes de champ magnétique** d'un aimant
- l'ensemble des lignes de champ forme le **spectre magnétique**

On appelle **ligne de champ**, une courbe qui, en chacun de ses points, est tangente au vecteur champ magnétique.

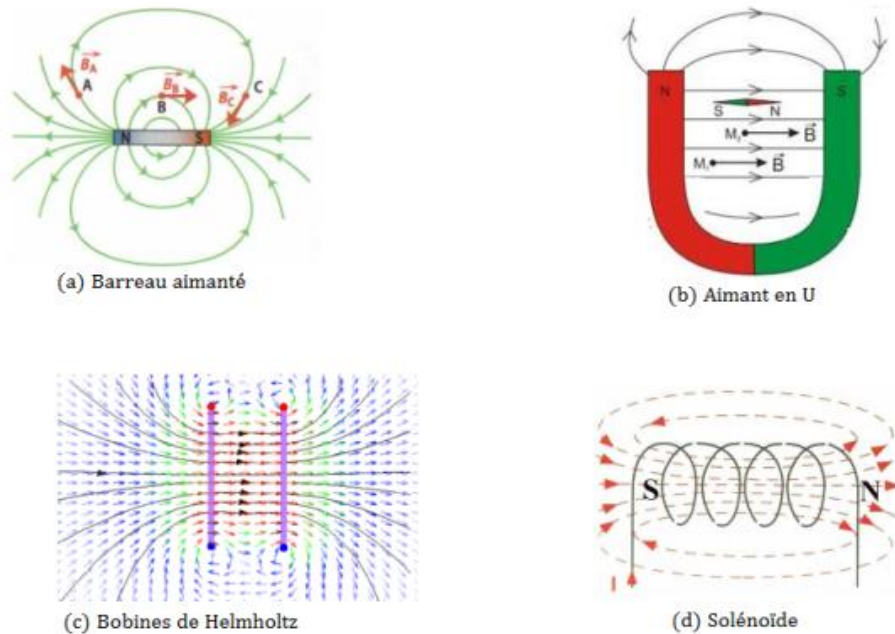


Figure 3.4 : Spectre magnétique de quelques systèmes

Les bobines de Helmholtz sont un ensemble de deux bobines plates de même rayon R et distantes de $d = R$.

Remarque

■ À l'intérieur d'un aimant en **U**, les lignes de champ sont des droites parallèles : on dit que le champ magnétique est **uniforme**.

■ intensités du champ magnétique à l'intérieur de quelques bobines remarquables ayant N -spires de longueur ℓ et de rayon R parcourue par un courant d'intensité I

- Solénoïde ou bobine longue

$$B = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N \cdot I}{\ell} = \mu_0 \frac{N \cdot I}{\ell} \quad (3.1)$$

- Bobine plate

$$B = 2\pi \cdot 10^{-7} \frac{N \cdot I}{2R} \quad (3.2)$$

- Bobine de Helmholtz

$$B = 0,72\mu_0 \frac{N \cdot I}{R} = 2,88 \cdot 10^{-7} \frac{N \cdot I}{R} \quad (3.3)$$

Action d'un champ magnétique sur un élément de circuit parcourut par un courant : Force de Laplace

3.3.1. Mise en évidence de la force de Laplace

• Expérience

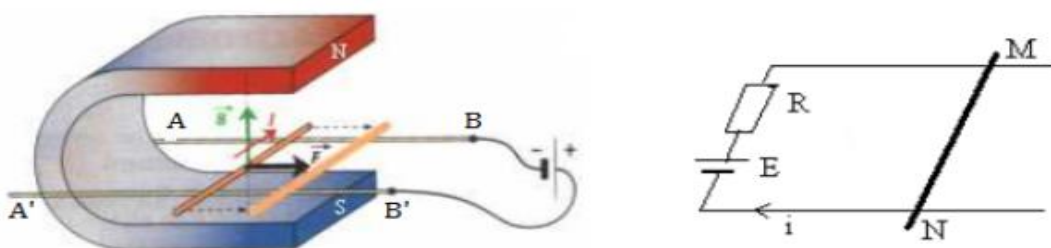


Figure 3.5 : Dispositif expérimental

Soit une barre MN en cuivre mobile sur deux rails conducteurs horizontaux AB et A'B'. La barre MN est placée entre les branches d'un aimant en U où règne un champ magnétique uniforme $\vec{B}$. Le circuit MNB'BM est alimenté par un générateur de courant continu I.

• Observation

- Dès la fermeture de l'interrupteur, MN se met en mouvement : elle est donc soumise à une force
- Le sens du mouvement de la barre s'inverse avec celui du courant I
- Le sens du mouvement de la barre s'inverse lorsqu'on inverse le sens du champ magnétique (en retournant l'aimant)
- la force exercée est toujours perpendiculaire au plan formé par la barre et le champ magnétique.

• Conclusion

Un conducteur, placé dans un champ magnétique uniforme et parcouru par un courant électrique, est soumis à une **force électromagnétique**. Le sens de cette force dépend du sens du courant et de celui du champ magnétique ; son intensité est proportionnelle à celle du courant et celle du champ magnétique : cette force électromagnétique est appelée **force de Laplace**.

3.3.2. Loi de Laplace

Une portion rectiligne conductrice 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 $\vec{F}$ dite force de Laplace, appliquée au milieu de la portion et donnée par la relation :

$$\vec{F} = I \vec{\ell} \wedge \vec{B} \quad (3.4)$$

★ Caractéristiques de $I \vec{\ell}$

Le vecteur $I \vec{\ell}$ est orienté dans le sens du courant. Sa norme est $I \ell$, où ℓ est la partie de MN plongeant dans le champ magnétique.

★ Caractéristiques de $\vec{F}$

- point d'application : $\vec{F}$ s'applique au milieu de l'élément de circuit soumis au champ magnétique
- direction : $\vec{F} \perp$ au plan formé par $I \vec{\ell}$ et $\vec{B}$
- sens : celui de $I \vec{\ell} \wedge \vec{B}$, le trièdre $(I \vec{\ell}, \vec{B}, \vec{F})$ doit être direct
- intensité : $F = BI \ell |\sin \alpha|$

(3.5)

où $\alpha = (\widehat{I \vec{\ell}; \vec{B}})$, B (T), I (A), ℓ (m) et F (N).

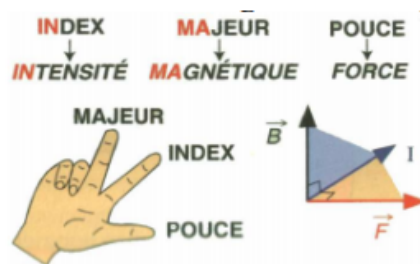
- si $\alpha = \{0; \pi\}$, i.e. $\vec{B}$ parallèle au conducteur, alors, $F = 0$ N

- si $\alpha = \pm \frac{\pi}{2}$, i.e. $\vec{B}$ perpendiculaire au conducteur, alors,

$$F = BI \ell \quad (3.6)$$

◦ Règle des trois doigts de la main droite

Elle permet de connaître les sens de $\vec{B}$, $\vec{F}$ et I. On suppose que le pouce suit la direction et le sens de I, l'index suit la direction et le sens de $\vec{B}$, le majeur suit la direction et le sens de $\vec{F}$.



Règle de la main droite : La main droite, placée dans le sens du courant, de sorte que la paume soit tournée dans le sens de $\vec{B}$, le pouce indique le sens de $\vec{F}$ et les quatre autres doigts celui de I.

Application de la force de Laplace

- balance de Cotton
- roue de Barlow (moteur électrique)
- TGV - haut parleur - sonnerie à courant électrique.

3.4 Action d'un champ magnétique sur une charge en mouvement : Force de Lorentz

La force magnétique de Lorentz s'exerçant sur une particule de charge q , soumise au champ magnétique uniforme $\vec{B}$ et animée d'une vitesse $\vec{v}$, est égale à :

$$\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B} \quad (3.7)$$

Définition : La force de Lorentz est la force magnétique que subit une charge q en mouvement à la vitesse $\vec{v}$ dans une région où règne un champ magnétique $\vec{B}$.

- Caractéristiques de $\vec{F}$

- direction : $\vec{F} \perp$ au plan formé par $\vec{v}$ et $\vec{B}$
- sens : donné par le trièdre $(\vec{v}, \vec{B}, \vec{F})$.

On obtient plus facilement le sens de $\vec{F}$ grâce à la règle des trois doigts de la main droite (le pouce indique le sens de $\vec{v}$, l'index celui de $\vec{B}$ et le majeur $\vec{F}$) ou de la main droite (la paume de la main $\vec{B}$, les 4 autres doigts $\vec{v}$ et le pouce $\vec{F}$).

Si $q > 0$ $\vec{F}$ a même sens que $\vec{v} \wedge \vec{B}$, sinon, ils sont en sens contraire.

- intensité :

$$F = |q| \cdot v \cdot B |\sin \alpha| \quad (3.8)$$

$$\text{Si } \alpha = \pm \frac{\pi}{2},$$

$$F = |q| \cdot v \cdot B \quad (3.9)$$

- Application de la force de Lorentz

- le cyclotron (accélérateur des particules chargées)
- le spectrographe de masse (identificateur et séparateur des isotopes)
- les tubes récepteurs des TV (déviations de la trajectoire des électrons dans un champ magnétique)

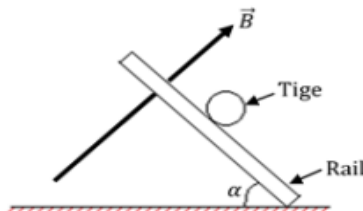
Exemple

On dispose une tige CD sur deux rails. La figure ci-dessous représente le dispositif expérimental vu de côté. Les rails sont inclinés de 30° par rapport à l'horizontal, le champ magnétique $\vec{B}$, perpendiculaire aux rails, a une intensité de 1,5 T.

On fait passer un courant électrique dans la tige CD de masse 100 g et de longueur $\ell = 10$ cm. La tige est alors en équilibre sur les rails.

Déterminer le sens et l'intensité du courant dans la tige CD

On néglige les frottements et $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.



Solution

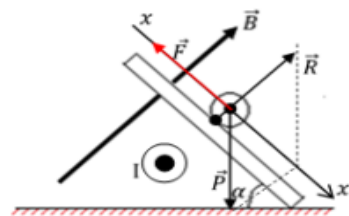
$$B = 1,5 \text{ T} ; m = 100 \text{ g} ; \ell = 10 \text{ cm} ; g = 10 \text{ m.s}^{-2}$$

- Sens du courant I

Déterminons en premier, le sens de $\vec{F}$, afin d'en déduire le sens de I. Bilan des forces agissant sur la tige :

- le poids $\vec{P}$

- la résultante $\vec{R}$ des réactions des rails
- la force $\vec{F}$ de Laplace



À l'équilibre, on a :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = \vec{0}$$

$$\text{Soit } \vec{F} = -\vec{P} - \vec{R} \quad \mathbf{z}$$

$\mathbf{z}$ montre que $\vec{F}$ est opposée à la somme $\vec{P} + \vec{R}$. Connaissant le sens de $\vec{B}$ et celui de $\vec{F}$, on en déduit, par la règle des trois doigts de la main droite, le sens sortant de I indiqué sur la figure ci-dessus.

- Intensité de I

La projection de la relation $\mathbf{z}$ suivant xx' , nous permet d'écrire :

$$P \cdot \sin \alpha + 0 - F = 0 \Rightarrow P \cdot \sin \alpha = F$$

$$mg \sin \alpha = B \cdot I \cdot \ell \Rightarrow I = \frac{mg \cdot \sin \alpha}{B \cdot \ell}$$

$$\text{AN : } I = 3,33 \text{ A}$$

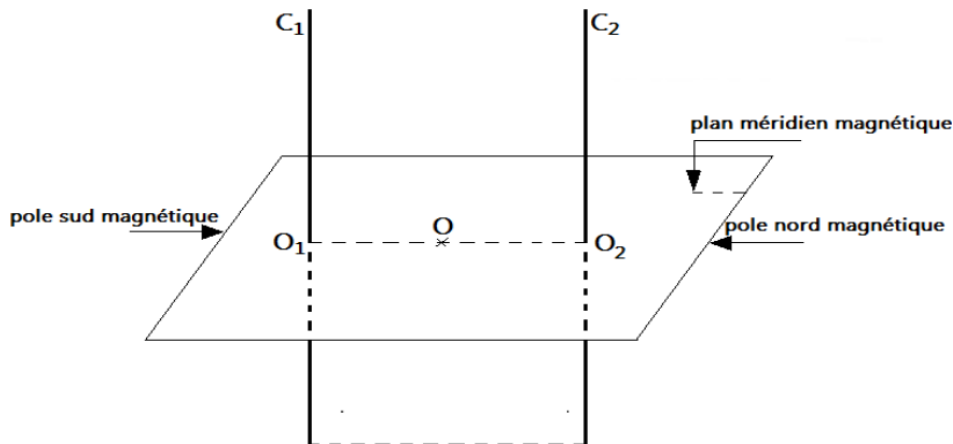
EXERCICE 1:

Un solénoïde est constitué de cinq couches de fil à spires jointives ; le fil a un diamètre de 1mm, isolant compris. Son axe, horizontal, est perpendiculaire au méridien magnétique. Une boussole est placée en son centre.

- 1) Dessiner une vue de dessus.
- 2) On fait passer dans le solénoïde un courant de 5mA.
 - a) Indiquer sur le schéma le sens du courant et le sens de rotation de l'aiguille aimantée.
 - b) De quel angle tourne l'aiguille ? Donnée : $B_h = 2 \times 10^{-5} T$

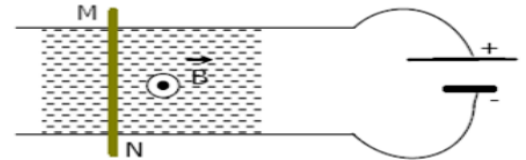
EXERCICE 2: On considère deux fils conducteurs C_1 et C_2 , verticaux et distants de 20cm. Ils sont situés dans un plan perpendiculaire au plan méridien magnétique. En O, point situé dans ce plan méridien et équidistant de C_1 et C_2 , on place une petite aiguille aimantée, mobile autour d'un axe vertical.

- 1) Précisez sur un schéma (vue dessus), la position de l'aiguille lorsqu'aucun courant ne passe dans C_1 et C_2 . On réalise alors deux expériences. On fait passer dans C_1 et C_2 des courants, l'aiguille toujours placée en O dévie de $\alpha = 68,2^\circ$. On change le sens du courant dans C_2 l'intensité restant la même; l'aiguille dévie de $\alpha' = 26,6^\circ$ dans le même sens que précédemment. Donnée : $B_h = 2 \times 10^{-5} T$
- 2) Déterminer le sens du courant d'intensité i_2 dans chaque expérience. Faire les schémas justificatifs et calculer i_1 et i_2 .



EXERCICE 4 :

Partie A : Sur la figure ci-contre la barre [MN] glisse sur les deux rails et la distance MN est égale à 3 cm. Le Générateur a pour f.e.m $E = 6.5V$ et la résistance interne est $r = 2 \Omega$

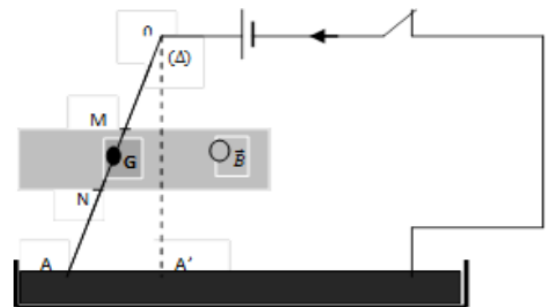


1. Enoncer la loi de Laplace
 2. le représenter sur le schéma, l'intensité du courant ainsi que la force $\vec{F}$ qui provoque le déplacement de MN.
 3. Calculer l'intensité I du courant dans le circuit.
 3. Calculer F si $B = 0.6 T$.
 4. Calculer le travail effectué par la force $\vec{F}$ pour un déplacement de 15 cm
- Partie B :** Un électron pénètre à la vitesse $V = 1,5.10^6$ m/s dans une région où règne un champ magnétique uniforme vertical et descendant d'intensité $B = 0,1 T$.

1. Représenter cet électron de façon à mettre en évidence sa vitesse $\vec{V}$, la force de Lorentz $\vec{F}$ et le vecteur champ magnétique $\vec{B}$ qui est orthogonal à $\vec{V}$.
2. Calculer l'intensité de la force de Lorentz subie par cet électron.
3. Comparer cette force au poids de l'électron. on donne : $m_e = 9,1.10^{-31} kg$; $g = 10 m/s^2$

Partie C : On donne $I=10A$, $B=0,05T$; $P=0,5N$ (poids de la tige ; $L=OA=20cm$; $l = MN = 5cm$

Un conducteur rectiligne OA peut tourner autour de l'axe (Δ) horizontal passant par le point O tout en restant dans un plan horizontal normal au champ magnétique $\vec{B}$ créé par un aimant en U.



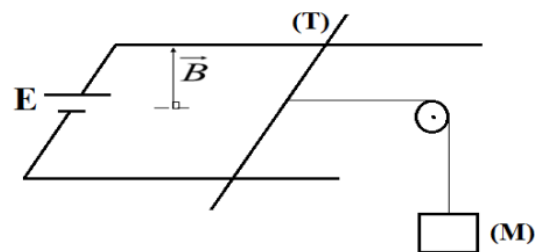
Le conducteur OA prend une nouvelle position d'équilibre et s'incline d'un angle α par rapport à la verticale quand un Champ magnétique couvre le centre de gravité G du conducteur OA sur une largeur $l=MN$ (voir figure).

- 1-Enoncer la loi de Laplace.
- 2-Représenter les forces qui s'exercent sur le conducteur en équilibre. En déduire le sens de $\vec{B}$.
- 3-Déterminer l'angle α que fait la tige avec la verticale. On supposera que α est faible : la longueur du conducteur placé dans le champ magnétique reste sensiblement égale à l.
- 4-La surface libre horizontale de la solution électrolytique qui assure la continuité du circuit électrique se trouve à une distance verticale $OA'=d=19,02cm$ du point O. Le point G représente le milieu du segment MN.
- 4.1-Montrer que la plus grande valeur de l'angle d'inclinaison α est $\alpha_1=18^\circ$.
- 4.2-Déduire l'intensité du courant I_1 qui permet d'obtenir une telle inclinaison sachant que $\alpha = \alpha_1=18^\circ$ n'est plus faible.

EXERCICE5:

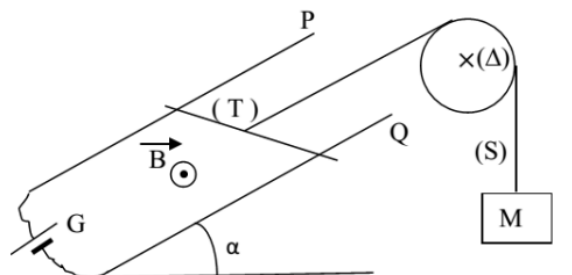
Une tige (T) de masse $m = 20 \text{ g}$ glisse sans frottement sur deux rails horizontaux distants de $d = 15 \text{ cm}$. Elle est soumise à un champ magnétique vertical vers le haut de valeur $B = 0,1 \text{ T}$.

1. Quel est le sens du courant qui doit la parcourir pour qu'elle subisse une force de Laplace dirigée vers la gauche ?
2. L'intensité du courant est $I = 5 \text{ A}$. Quelle masse, M , doit-on accrocher à la tige pour la maintenir immobile ?
3. A la date $t = 0$, le fil casse. Quel est le mouvement de la tige ? (on négligera les phénomènes d'induction.)



EXERCICE6:

Le dispositif suivant est celui imaginé par un élève de Terminale C Pour mesurer l'intensité du champ magnétique. La tige (T) est maintenue en équilibre grâce à un solide (S) auquel il est relié par un fil inextensible et de masse négligeable passant par la gorge d'une poulie. Le conducteur (T) est parcourue par un courant d'intensité $I = 0,5 \text{ A}$. Le vecteur champ magnétique uniforme est orthogonal au plan des rails PQ.



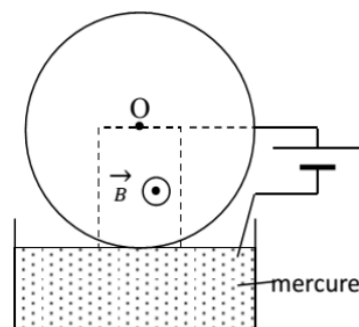
1. Énoncer la loi de Laplace.
2. Faire le bilan des forces appliquées sur la tige et les représenter sur un schéma clair.
3. Appliquer les différentes conditions d'équilibre aux différents sous-systèmes et déterminer la valeur de l'intensité du champ magnétique $\vec{B}$.

Données : Masse de la tige (T) : $m = 75 \text{ g}$; masse du solide (S) : $M = 250 \text{ g}$. Longueur de la tige soumise au champ magnétique : $L = 15 \text{ cm}$. $g = 9,8 \text{ N/Kg}$. $\alpha = 30^\circ$

EXERCICE7:

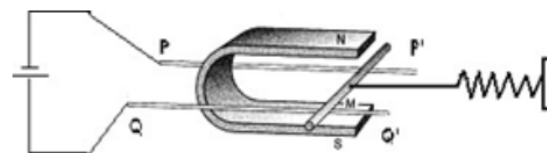
Le dispositif suivant est une roue de Barlow. L'intensité du courant dans le Circuit est $I = 0,5 \text{ A}$ et la roue a un rayon de 5 cm et $B = 2 \text{ mT}$.

1. Énoncer la loi de Laplace.
2. Représenter la force de Laplace sur la roue et calculer son intensité.
Le cadre rectangulaire en traits interrompus représente la partie de la roue soumise au champ magnétique.
3. La roue tourne à la vitesse de 120 tr/min . Calculer la puissance du moteur électrique ainsi formé.
4. Calculer l'intensité de la force qu'il faut appliquer sur la circonférence de la roue pour l'immobiliser.



EXERCICE8: Les rails de Laplace

Soit une tige métallique MN, homogène, de masse m , pouvant glisser sans frottement sur deux rails métalliques, parallèles et horizontaux, PP' et QQ'. La distance entre les rails est l . Les extrémités P et Q sont reliées aux bornes d'un générateur de f.é.m. $E = 10 \text{ V}$ et de résistance $R = 0,5 \Omega$. Les résistances électriques des rails, de la tige MN et des contacts en M et N entre la tige et les rails sont négligeables par rapport à R . Le milieu G de la tige est lié à l'extrémité isolée électriquement d'un ressort, de masse négligeable, à spires non jointives, de raideur $k = 6,25 \text{ N.m}^{-1}$; l'autre extrémité A est fixée à un support fixe.

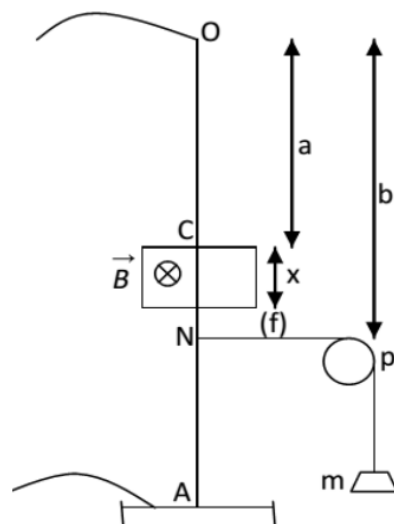


- 1) Calculer l'intensité I du courant qui traverse la tige.
- 2) Calculer la variation de longueur b du ressort.

EXERCICE9: Le conducteur-pendule

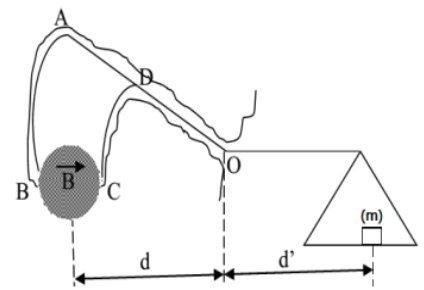
On réalise le dispositif ci-contre. OA est une tige de cuivre de longueur ℓ mobile autour d'un axe O et plongeant en A dans du mercure. La tige est placée dans un champ magnétique uniforme de longueur x . (f) est un fil inextensible de masse négligeable et (p) est une poulie de masse négligeable. m est une masse marquée. La tige est maintenue initialement verticale par la main.

- 1) On lance un courant d'intensité I dans la tige puis on la lâche. On constate qu'elle demeure en équilibre vertical. Déterminer le sens du courant.
 - a) Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur la tige et sur la masse m . On suppose que la portion de fil entre la tige et la poulie est horizontale.
 - b) Écrire les conditions d'équilibre. On posera $OC = a$; $ON = b$. Calculer la valeur de la masse m .
- 2) On brule le fil, la tige s'écarte de la verticale d'un angle α . Calculer α . On supposera que α est faible: la longueur de la tige placée dans le champ reste sensiblement égale à x . Application numérique: $I = 10 \text{ A}$; $\ell = 80 \text{ cm}$; $x = 4 \text{ cm}$; $b = 70 \text{ cm}$; $a = 48 \text{ cm}$; $B = 20 \text{ mT}$; la masse de la tige est $M = 10 \text{ g}$.



EXERCICE10 :

La balance de coton est un levier coudé qui porte une Plaquette isolante ABCD. Un fil conducteur est appliqué le long de ODABCDO. AB et CD sont des arcs de cercle de centre O. La balance est mobile autour de l'axe (Δ) passant par O. $BC=2\text{ cm}$; $g=9,8\text{ ms}^{-2}$; $d=d'$



1. Enoncer la loi de Laplace.
2. Préciser sur la figure la force de Laplace qui agit sur le segment BC, ainsi que le sens du courant dans le fil conducteur autour de ABCD pour réaliser l'équilibre.
3. Ecrire la condition d'équilibre de la balance et exprimer l'intensité du champ magnétique B en fonction de m, g, BC et I.
4. Afin de déterminer la valeur de B, on a relevé les valeurs des masses marquées m suivantes pour différentes de l'intensité du courant I.

I(A)	0	1	2	3	4	5
m(g)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1

4.1. Tracer sur papier millimétré le graphe $m=f(I)$. Echelle : 1A pour 2cm et 0,1g pour 2cm.

4.2. Déterminer graphiquement la valeur de B.

EXERCICE11:

On mesure la valeur du champ magnétique au centre O d'un solénoïde de longueur L et comportant N spires, en fonction de l'intensité I du courant électrique qui circule dans le solénoïde. On obtient les mesures suivantes :

I (A)	0	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
B (mT)	0	3,2	6,7	9,8	13,3	16,5

1. Tracer la représentation graphique de la courbe $I=f(B)$. Donner une conclusion au vu du tracé.
2. Ecrire l'équation de la courbe en précisant les unités.
3. On rappelle l'expression du champ magnétique au centre d'un solénoïde : $B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{L}$. On donne $L=40\text{cm}$.

Déterminer le nombre de spires du solénoïde.

EXERCICE12:Evaluation des compétences

Compétence visée : Appliquer la loi de Laplace et communiquer avec les incertitudes de mesures.

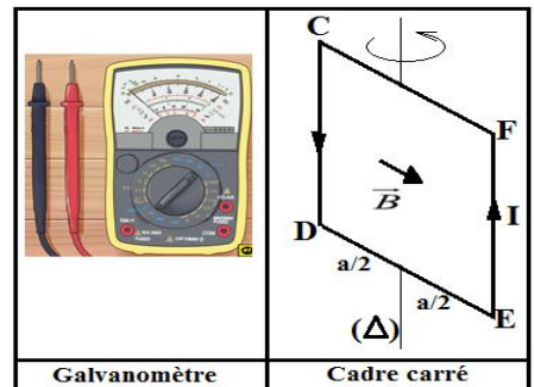
L'outil de travail le plus utilisé par les électroniciens pour le dépannage des appareils électroménagers, des téléphones portables, des ordinateurs, des téléviseurs ; est le galvanomètre (Ampèremètre très sensible). Cet appareil sert à détecter les pannes par mesure du courant à l'entrée et à la sortie des composants électroniques. Ainsi un technicien veut savoir si son galvanomètre, acheté depuis deux ans, est encore en bon état. Pour cela, il fait appel à un élève de terminale scientifique, qui lui propose de déterminer l'intensité du courant I d'une batterie de téléphone avec ce galvanomètre en utilisant deux méthodes :

- **Méthode1 : mesure directe de I** : Lecture= 80^{ième} division pour un calibre de 600mA ; classe=1,5 ; nombre total de divisions : N=120 ; niveau de confiance 95%.
- **Méthode 2 : mesure indirecte de I** : La rotation de l'aiguille lors de la mesure de l'intensité I est due à la rotation d'un cadre carré CDEF de côtés $a = 10\text{mm}$; relié à un support par un fil de torsion et placé dans un champ magnétique $\vec{B}$ à l'intérieur du galvanomètre.

Données: angle de déviation $\alpha = 2,00\text{rad}$; constante de torsion du fil $C = 4,50\text{N.m.rad}^{-1}$; champ magnétique $B = 0,23\text{T}$

Consigne : méthode 1, une seule source d'erreur et méthode 2, aucune source d'erreur.

Tache : En utilisant les informations ci-dessus, prononce-toi sur l'état de ce galvanomètre.



Galvanomètre

Cadre carré