

## Chapitre P21

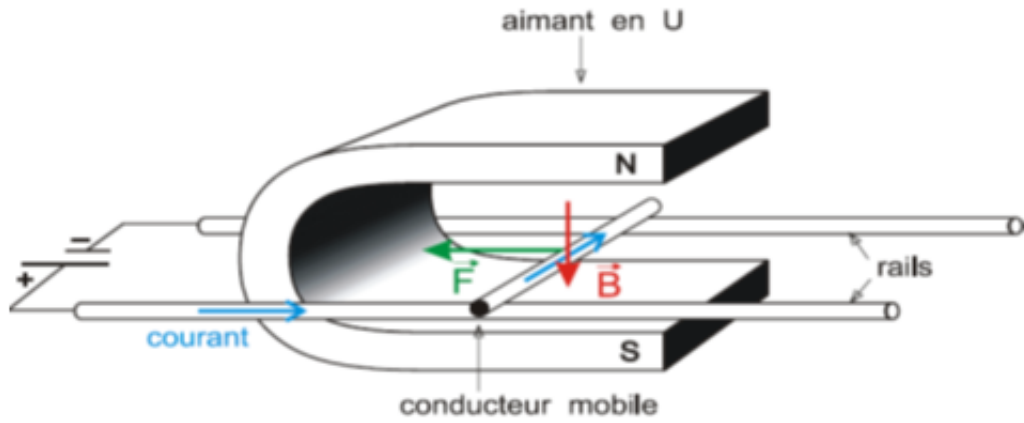
# Actions macroscopiques d'un champ magnétique

Notions et contenus	Capacités exigibles
Densité linéique de la force de Laplace dans le cas d'un élément de courant filiforme.	Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme.
Résultante et puissance des forces de Laplace.	Établir et citer l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire. Exprimer la puissance des forces de Laplace.
Couple et puissance des actions mécaniques de Laplace dans le cas d'une spire rectangulaire, parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.	Établir et exploiter l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique. Exprimer la puissance des actions mécaniques de Laplace.
Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant. Positions d'équilibre et stabilité.	<i>Capacité expérimentale : mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'action d'un champ magnétique uniforme sur une boussole.</i>
Effet moteur d'un champ magnétique tournant.	<i>Capacité expérimentale : créer un champ magnétique tournant à l'aide de deux ou trois bobines et mettre en rotation une aiguille aimantée.</i>

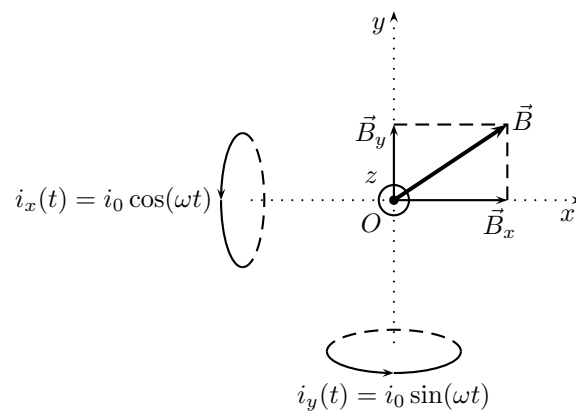
## Questions de cours

- Présenter l'expérience des rails de Laplace.
- Exprimer la densité linéique de la force de Laplace et en déduire son expression pour une portion de circuit rectiligne.
- Caractériser l'action mécanique d'un champ magnétique sur un dipôle magnétique.

## Document 1. Expérience des rails de Laplace



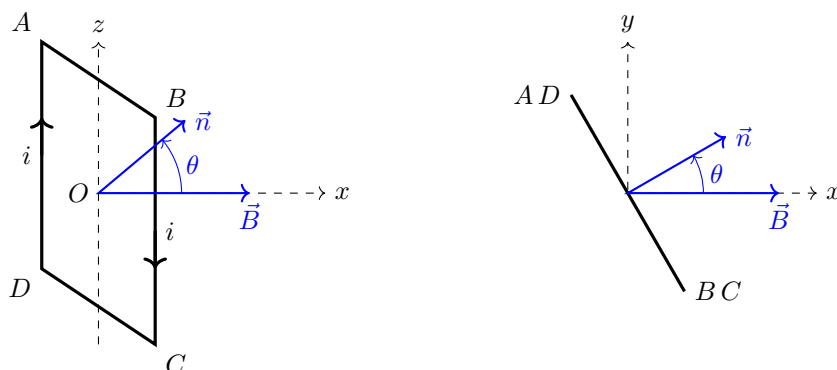
## Document 2. Champ tournant



**Exercice de cours A. Action sur un cadre rectangulaire**

Soit un circuit rectangulaire  $ABCD$  avec deux côtés verticaux (direction  $Oz$ ) de longueur  $a$  et de deux côtés horizontaux de longueur  $b$ . Ce circuit est parcouru par un courant d'intensité  $i$  et plongé dans un champ magnétique horizontal uniforme :  $\vec{B} = B_0 \vec{e}_x$ .

À un moment donné, la normale  $\vec{n}$  au circuit (avec l'orientation de la main droite) fait un angle  $\theta$  avec la direction du champ.



1. Exprimer les forces de Laplace exercées sur les côtés horizontaux. Que peut-on dire de leur résultante et de leur moment résultant ?
2. Mêmes questions pour les côtés verticaux.
3. En déduire que l'action globale du champ magnétique sur la spire se réduit à un couple dont on donnera l'expression en fonction de  $i$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $\theta$  et  $B_0$ . Montrer que ce couple s'exprime en fonction de  $\vec{B}$  et du moment dipolaire  $\vec{\mu}$  du circuit.
4. Exprimer la puissance  $\mathcal{P}$  de ce couple et montrer que l'on peut lui associer une énergie potentielle  $\mathcal{E}_p$  telle que  $\mathcal{P} = -\frac{d\mathcal{E}_p}{dt}$ .  
Exprimer  $\mathcal{E}_p$  en fonction de  $\vec{B}$  et  $\vec{\mu}$ .

**Exercice de cours B. Moteur synchrone**

Un aimant placé en  $O$  dans le champ magnétique tournant décrit dans le cours, peut tourner autour de l'axe  $Oz$  à l'aide d'une liaison pivot. Son moment d'inertie par rapport à cet axe est noté  $J$  et la direction de son moment magnétique  $\vec{\mu}$  est repéré par l'angle  $\theta$  qu'elle fait avec  $\vec{e}_x$ . En outre, le dipôle est soumis à un couple résistant de moment  $C = -\alpha\theta$  par rapport à  $(Oz)$ .

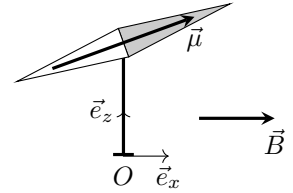
1. Déterminer l'équation différentielle décrivant l'évolution de  $\theta$ .
2. Décrire le mouvement du dipôle en régime stationnaire.
3. Quelle est la valeur maximale pour  $\omega$  permettant ce régime ?

**Exercice 1. Oscillations d'une boussole (★)**

Une aiguille aimantée de moment magnétique  $\vec{\mu}$  est posée en équilibre sur une pointe d'épingle et peut tourner librement autour d'un axe vertical  $Oz$  passant en son centre. On note  $J$  son moment d'inertie par rapport à cet axe.

On place ce système dans un champ magnétique uniforme horizontal  $\vec{B} = B_0 \vec{e}_x$

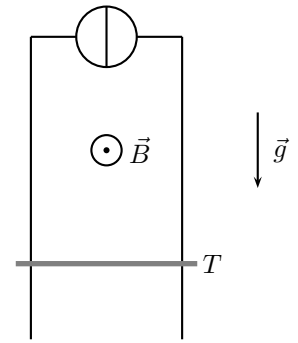
- Déterminer l'équation du mouvement de l'aiguille aimantée.
- Caractériser le mouvement résultant.


**Exercice 2. Rails de Laplace verticaux (★★)**

On considère des rails de Laplace disposés verticalement, distants de  $d = 4,0$  cm. Le champ magnétique uniforme  $B = 0,25$  T est horizontal et perpendiculaire au plan des rails. La tige  $T$ , de masse  $m = 20$  g, peut glisser sans que ses extrémités ne quittent le contact avec les rails. Le circuit est parcouru par un courant d'intensité  $I$  constant.

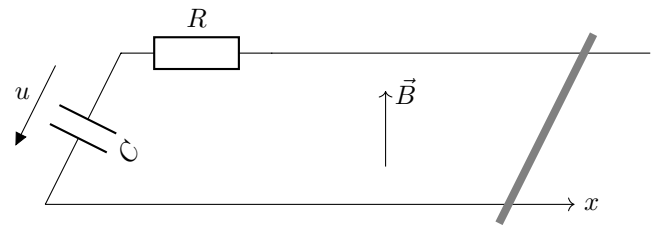
Donnée :  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

- Orienter le courant dans le circuit de sorte que le champ magnétique exerce une force ascendante.
- Déterminer l'intensité  $I$  permettant de maintenir la tige en équilibre. Pourquoi cet équilibre est-il instable ?
- Dans cette question, le champ magnétique n'a plus une intensité uniforme. Décrire qualitativement comment doit varier l'intensité du champ pour assurer la stabilité de la position d'équilibre.


**Exercice 3. Rails de Laplace avec circuit RC (★★)**

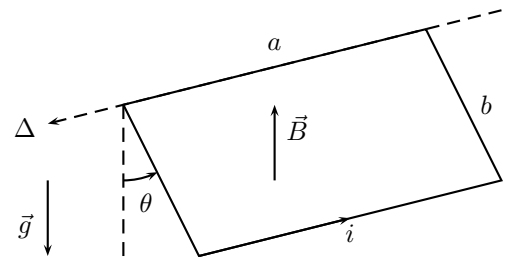
On considère l'expérience des rails de Laplace, dans un champ magnétique uniforme et stationnaire normal au plan des rails qui sont séparés d'une distance  $d$ . Le circuit ferme sur un résistor et sur un condensateur. Initialement le condensateur est chargé ( $u(0) = U_0 > 0$ ) et la tige (de masse  $m$ ) est immobile sur les rails.

- Décrire qualitativement ce qu'il va se passer.
- Exprimer la force de Laplace exercée sur la tige et en déduire une relation entre la tension  $u$  et la vitesse  $v = \dot{x}$  de la tige.
- Quelle est la vitesse limite atteinte par la tige ?


**Exercice 4. Action mécanique sur un cadre (★★★)**

Un cadre conducteur rectangulaire de côtés  $a$  et  $b$  peut tourner sans frottement autour d'un axe horizontal  $\Delta$  confondu avec l'un de ses côtés de longueur  $a$ . La masse totale du cadre est  $m$ , son moment d'inertie par rapport à  $\Delta$  est  $J$ . Un dispositif impose une intensité du courant  $i$  constante dans le cadre. Le cadre est placé dans un champ de pesanteur et un champ magnétique vertical ascendant. L'inclinaison du cadre par rapport à la verticale est noté  $\theta$ .

- À l'aide du théorème du moment cinétique, déterminer les positions d'équilibre du système.
- Discuter leur stabilité si on écarte légèrement le cadre de ses positions d'équilibre. On posera  $\theta(t) = \theta_{eq} + \varepsilon(t)$  avec  $\varepsilon \ll 1$  et on étudiera la forme des solutions de l'équation différentielle vérifiée par  $\varepsilon(t)$  pour chaque position d'équilibre.
- Quelle est la période des petites oscillations autour de la position d'équilibre stable ?


**Réponses**

**Exercice 1 :** 2. période des petites oscillations :  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{J}{B_0 \mu}}$ .

**Exercice 2 :** 2.  $I = 20$  A.

**Exercice 3 :** 2.  $mv = CdB(U_0 - u)$ .

**Exercice 4 :** 1.  $\tan(\theta_0) = \frac{2iaB}{mg}$  ; 3.  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{2J}{mgb \cos(\theta_0) + 2iabB \sin(\theta_0)}}$ .