

## Travaux dirigés d'induction n° 1

*Cartographie du champ magnétique :*

### Exercice 1 : Carte de champ

On considère les deux cartes de champs magnétiques ci-dessous produites à l'aide de plusieurs spires (boucles de courant). Les courbes bleues représentent les lignes de champ.

Pour chaque carte, préciser :

1. Où sont placées les sources de courant
2. Dans quel sens circule le courant pour chacune des sources.

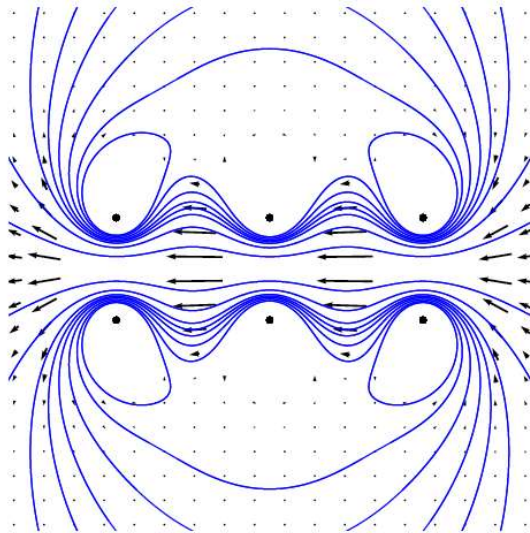


Figure 1

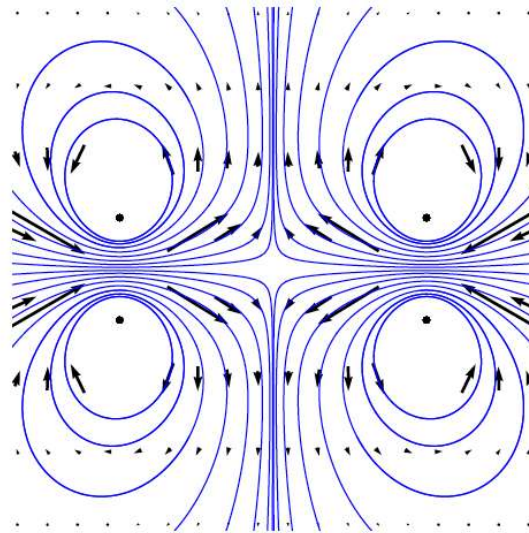


Figure 2

### Exercice 2 : Estimation de l'intensité d'un champ magnétique

On considère la carte de champ magnétique ci-dessous, correspondant au champ créé par un solénoïde comportant  $n = 50 \text{ spires} \cdot \text{m}^{-1}$  et parcouru par un courant  $I = 1 \text{ A}$ . Les lignes de champ sur la figure sont de révolution autour de l'axe du solénoïde.

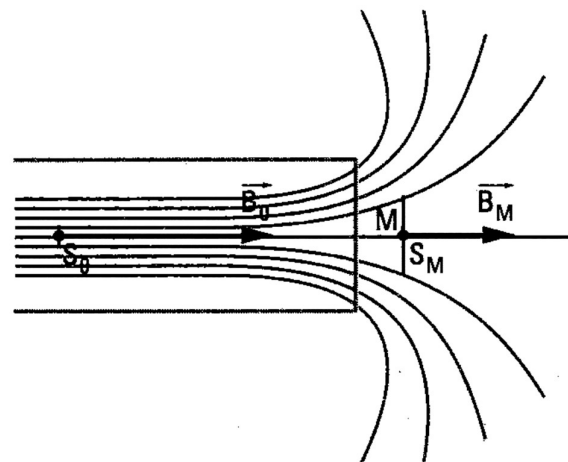
On rappelle que pour un solénoïde :

$$B_0 = \mu_0 n I$$

On donne la perméabilité du vide :

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$$

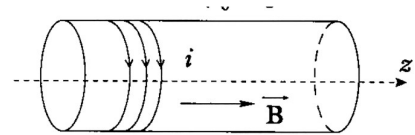
1. Déterminer l'intensité  $B_0$  du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde dans l'approximation de la bobine de grande longueur.
2. En utilisant la conservation du flux du champ magnétique et la carte de champ ci-contre, déduire de la question précédente l'ordre de grandeur de l'intensité  $B_M$  du champ au point M.



Moment magnétique :

### Exercice 3 : Moment magnétique d'un solénoïde.

On dispose d'un solénoïde cylindrique de rayon  $R$  et de longueur  $L$ , comprenant  $n$  spires par mètre, chacune parcourue par un courant  $I$ .



1. Indiquer la position des pôles Nord et Sud.
2. Rappeler l'expression du moment magnétique associé à une spire de rayon  $R$  parcourue par un courant d'intensité  $I$ .
3. En déduire l'expression du moment magnétique  $\vec{M}$  du solénoïde en fonction de  $R, L, n$  et  $I$ .

### Exercice 4 : Aimantation.

On trouve sur un site commercial les ordres de grandeur suivants pour des aimantations d'aimants permanents. L'aimantation correspond à un moment magnétique par unité de volume.

Matériaux	Aimantation ( $kA \cdot m^{-1}$ )
AlNiCo 200	600
Ferrite 1000	1700
NdFeB	2000 à 4000
SmCo5	2000 à 3000
SmCo17	3500 à 5000

1. Rappeler la dimension d'un moment magnétique et vérifier si les unités proposées sont cohérentes avec la définition donnée de la grandeur aimantation.
2. Considérons un aimant en forme de disque d'épaisseur  $e = 1,0$  mm, et de rayon  $R = 5,0$  mm.
  - a. Calculer l'ordre de grandeur du moment magnétique d'un tel aimant en NdFeB (Néodyme-Fer-Bore)
  - b. Combien de spires de rayon  $R$  parcourues par une intensité de  $0,1$  A faudrait-il bobiner pour obtenir le même moment magnétique ? Commenter.

### Exercice 5 : Mesure du champ magnétique terrestre\*

On dispose d'un solénoïde comportant  $n = 100$  spires. $m^{-1}$  parcourues par un courant d'intensité  $I = 100$  mA.

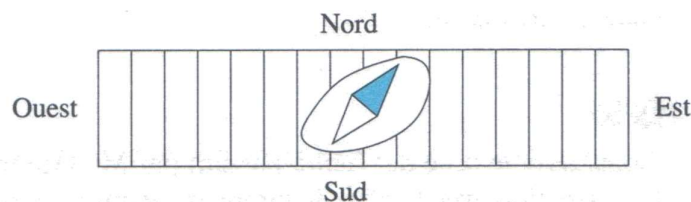
On place ce solénoïde sur une table horizontale et on oriente son axe dans la direction Est-Ouest.

On introduit, à l'intérieur, une aiguille aimantée mobile en rotation autour d'un axe vertical.

Cette aiguille s'oriente parallèlement à la composante du champ magnétique existant à l'endroit où elle se trouve.

On donne la perméabilité du vide :  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H. $m^{-1}$ . On rappelle que pour un solénoïde :  $B_0 = \mu_0 n I$

- 1) Calculer l'intensité du champ magnétique créé par le solénoïde
- 2) Sachant que l'aiguille aimantée fait un angle  $\theta = 58^\circ$  avec l'axe du solénoïde, déterminer la valeur de la composante horizontale  $B_H$  du champ magnétique terrestre.



Forces de Laplace :

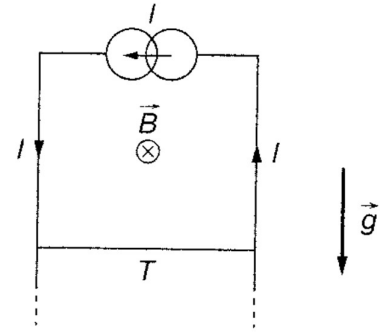
### Exercice 6 : Rails de Laplace

On considère des rails de Laplace disposés verticalement.

On impose un champ magnétique extérieur  $\vec{B}$ .

On suppose que la tige T, de masse  $m = 2 \cdot 10^{-2}$  kg et de longueur  $d = 4$  cm reste horizontale en permanence. T peut glisser sans que ses extrémités ne quittent le contact des rails (un guidage est prévu).

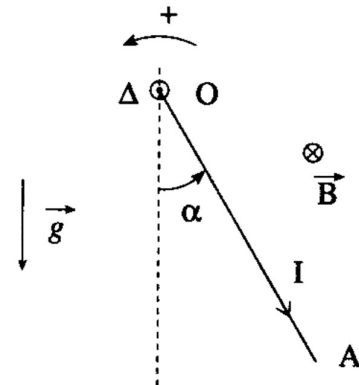
A l'extrémité des rails de Laplace, on place une source de courant d'intensité  $I$  constante.



1. On désire maintenir la tige en équilibre. Quelles sont les actions à prendre en compte ? Le sens de circulation du courant est-il indifférent pour obtenir cet équilibre ?
2. Quelle valeur d'intensité doit-on choisir pour assurer l'équilibre de T ? On notera  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  l'accélération de la pesanteur, le champ magnétique est d'intensité  $B = 0,25 \text{ T}$
3. Un tel équilibre est-il stable ? Quelle difficulté expérimentale rencontre-t-on ?
4. Le champ magnétique n'a plus une intensité  $B$  uniforme : elle varie avec l'altitude. Reprendre la discussion de la stabilité.

### Exercice 7 : Moment des forces de Laplace sur une tige

Une tige conductrice OA, homogène, de masse  $m$  et de longueur  $l$ , est mobile en rotation autour d'un axe horizontal  $\Delta$ , passant par son extrémité O. Un dispositif non représenté sur la figure permet de faire circuler un courant stationnaire d'intensité  $I$  dans la tige qui est de plus soumise à l'action d'un champ magnétique uniforme  $\vec{B}$ , parallèle à  $\Delta$ . On négligera les frottements. On note  $\alpha$  l'angle entre la verticale et la direction de la tige.



1. Quelles sont les trois forces s'exerçant sur la tige. Déterminer les expressions de leurs moments par rapport à  $\Delta$ .
2. Déterminer l'expression de  $\alpha$  lorsque la tige est à l'équilibre,  $\alpha_{eq}$ , en fonction de  $m, g, l, I$  et  $B$ .
3. Calculer  $\alpha_{eq}$  pour  $m = 20 \text{ g}$  ;  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  ;  $l = 10 \text{ cm}$  ;  $I = 5 \text{ A}$  et  $B = 0,1 \text{ T}$ .

### Exercice 8 : Force de Laplace et fil de Torsion\*\*

On considère une bobine plate carrée, de côté  $a = 10 \text{ cm}$  et comportant  $N = 100$  spires. Cette bobine est suspendue par le milieu d'un de ses côtés à un fil de torsion de constante  $C$  (Il applique un couple  $-C\alpha$  où  $\alpha$  est l'angle de torsion). A  $t = 0$ , la bobine est en équilibre et il règne un champ magnétique  $\vec{B}$  uniforme et parallèle à une section de la bobine. On établit alors un courant d'intensité  $I = 0,3 \text{ A}$  constante dans la bobine.

La bobine se met alors en mouvement puis finit par s'immobiliser dans une nouvelle position d'équilibre. On note  $\alpha_{eq}$  l'angle entre la position initiale de la bobine et sa nouvelle position d'équilibre.

1. Faire un schéma de la bobine dans sa nouvelle position d'équilibre en indiquant le sens du courant.
2. Déterminer l'équation dont est solution  $\alpha_{eq}$ .
3. Résoudre numériquement l'équation précédente pour déterminer  $\alpha_{eq}$  sachant que  $B = 0,1 \text{ T}$  et  $C = 0,05 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{rad}^{-1}$ .

**Capacités exigibles :**

- **Champs magnétiques :**
  - Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible et l'emplacement des sources.
  - Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire, une bobine longue.
  - Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme.
  - Citer les ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans une machine électrique, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.
  - Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.
  - Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Associer un moment magnétique à un aimant.
  - Citer un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel
- **Action d'un champ magnétique extérieur :**
  - Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ propre créé par un courant filiforme.
  - Établir et connaître l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et permanent.
  - Évaluer la puissance des forces de Laplace.
  - Établir et connaître l'expression du moment du couple subi par un cadre rectangulaire en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique.
  - Étudier les positions d'équilibres et leur stabilité.

**QCM d'entraînement :**