

## TD25 - ACTIONS D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE

### Exercice 1 : Questions de cours (à savoir faire sans le cours sous les yeux)

- 1 Retrouver par la méthode de votre choix la dimension d'un champ magnétique.
- 2 Donner la valeur du champ magnétique terrestre et la valeur du champ magnétique d'un aimant traditionnel.
- 3 Dessiner l'allure de la carte de champ :
  - d'un aimant
  - d'une spire circulaire
  - d'une bobine longue.
- 4 Définir le moment magnétique  $\vec{M}$  associé à une boucle de courant plane de surface S sans laquelle circule un courant d'intensité i.
- 5 Donner l'ordre de grandeur du moment magnétique :
  - de la Terre ;
  - d'un aimant usuel ;
  - d'un électron.
- 6 Donner l'expression de la force élémentaire de Laplace.
- 7 Exploiter les propriétés de symétrie des sources de champ magnétique( les courants) pour prévoir la direction du champ créé
- 8 On considère une tige posée sur un rail de largeur a dans un champ uniforme et stationnaire de norme  $B_0$  et perpendiculaire au rail, dans laquelle on fait circuler un courant d'intensité i à l'aide d'un générateur.
  - a Etablir l'expression de la force de Laplace s'exerçant sur la tige en fonction de a,  $B_0$ , v et i.
  - b Etablir l'expression de la puissance de cette force.
- 9 On considère une spire rectangulaire de centre O pouvant tourner autour de l'axe (Oy), plongée dans un champ uniforme et stationnaire  $\vec{B} = B_0 \vec{e}_y$  dans laquelle circule un courant électrique d'intensité i.
  - a Donner l'expression du couple magnétique  $\vec{T}_O$  en fonction du moment magnétique de la spire  $\vec{M}$  et du champ magnétique  $\vec{B}$ .
  - b Etablir très précisément cette relation.
- 10 Généralisation : donner l'expression du couple magnétique s'appliquant sur un aimant ou un circuit de moment magnétique  $\vec{M}$  plongé dans un champ magnétique  $\vec{B}$ . Donner l'expression de la puissance de ce couple.
- 11 Quelle conséquence l'expression du couple magnétique a-t-elle sur le mouvement d'un aimant, par exemple l'aiguille d'une boussole ? On attend une réponse liée aux lignes de champ.

### Exercice 2 : Cartes de champ

Dans les cartes de champ magnétique suivantes :

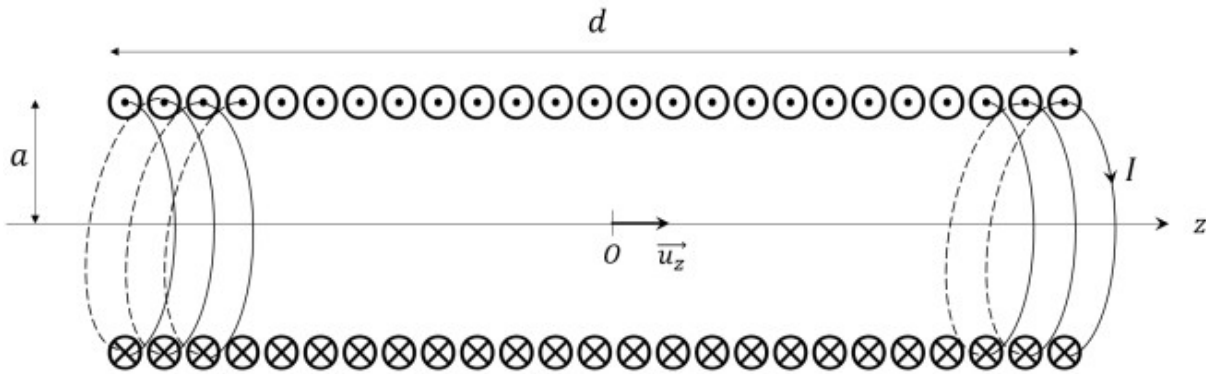
- 1 Quelles sont les zones où le champ est le plus intense ?
- 2 Quelles sont les zones où le champ est presque uniforme ?
- 3 Où sont situées les sources ? Les tracer, en faisant apparaître le sens du courant.



**Exercice 3 : Plan de symétrie : champ magnétique crée par un fil et par un solénoïde infinie**

**Q1** On considère un fil rectiligne parcouru par une intensité du courant  $I$ . On se place en coordonnées cylindrique et on suppose que le vecteur  $\vec{u}_z$  est dirigé selon l'axe du fil. Indiquer selon quel vecteur de la base cylindrique est dirigé le champ magnétique en analysant les symétries de la distribution du courant.

**Q2** On considère maintenant un solénoïde infini (une bobine très longue et cylindrique)



**Figure 1** - Schéma du solénoïde. Seules quelques spires sont représentées par souci de lisibilité

Déterminer la direction du champ magnétique en analysant les plans de symétrie

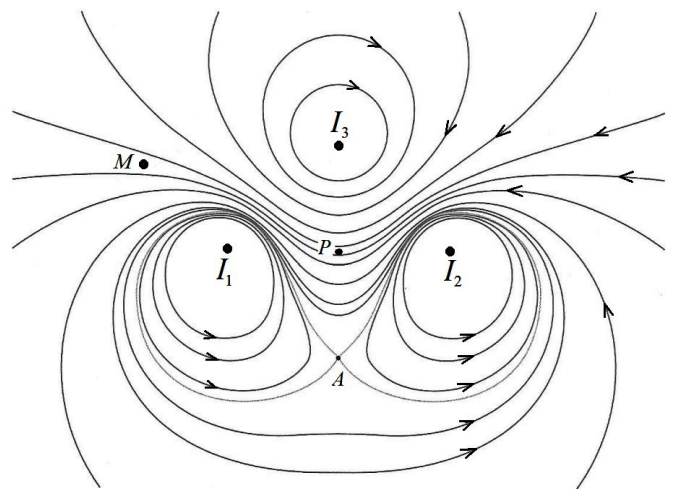
**Exercice 4 : Champ magnétique créé par trois fils**

Trois fils infiniment longs perpendiculaires au plan de la figure ci-contre sont parcourus par des courants permanents  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$ .

Les lignes du champ magnétique sont représentées ci-contre.

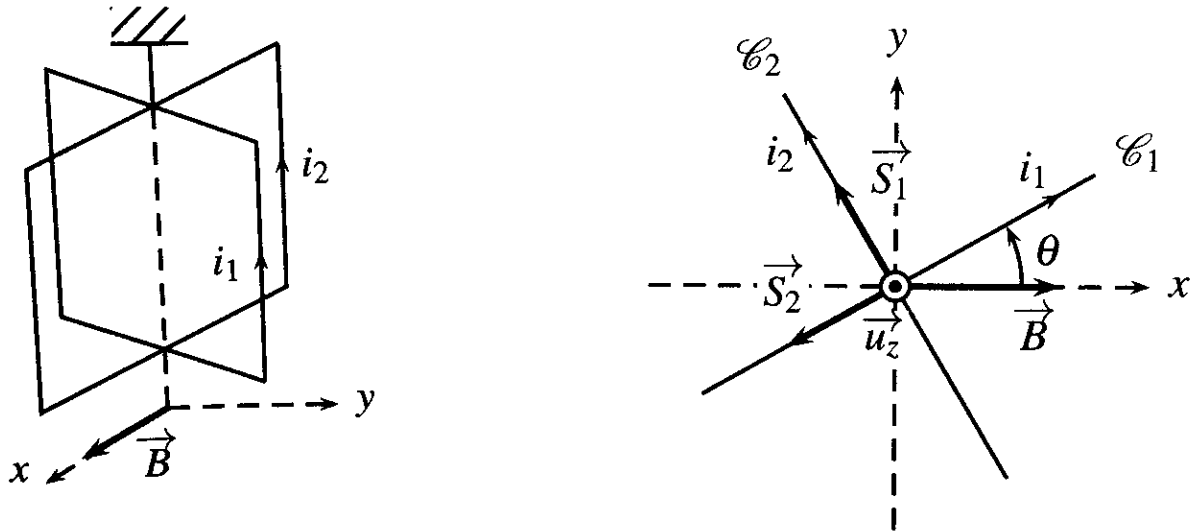
1. Quelle est la valeur du champ  $\vec{B}$  au point  $A$  ?
2. Analyser les symétrie de la distribution de courant, que peut on en déduire sur le champ magnétique ?
3. Que peut-on dire de  $I_1$  et  $I_2$  ?
4. On sait que le champ en  $M$  vaut  $0,01$  T.

Estimer la valeur du champ en  $P$ .



**Exercice 5 : Deux cadres croisés**

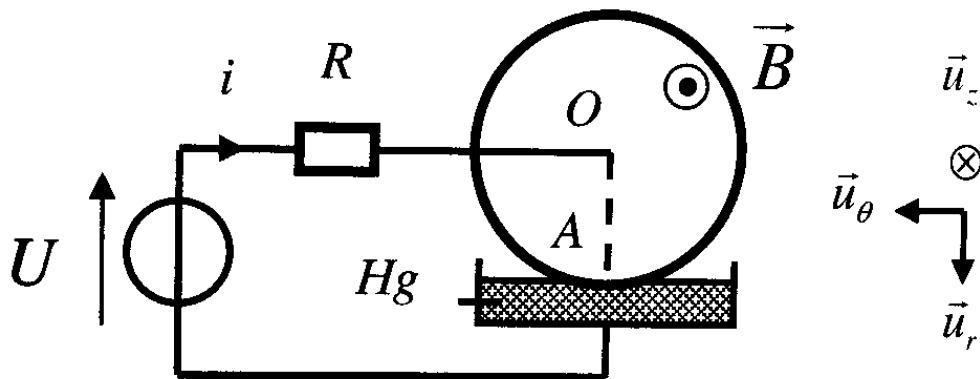
Deux cadres rectangulaires  $C_1$  et  $C_2$ , identiques et solidaires, de surface  $S$ , dont les plans forment un angle droit, sont suspendus au bout d'un fil attaché au bâti qui constitue l'axe ( $Oz$ ). Les cadres sont parcourus par des courants d'intensités constantes  $i_1$  et  $i_2$ . Il n'y a aucun contact entre les cadres, leurs courants ne se mélangent pas. Ils sont placés dans un champ magnétique uniforme et stationnaire  $\vec{B} = B \vec{e}_x$



Établir l'expression du rapport  $\frac{i_2}{i_1}$  en fonction  $\theta$  (défini sur la figure ci-dessus) à l'équilibre.

**Exercice 6\* : Roue de Barlow**

Un disque métallique de rayon  $OA=a$  peut tourner sans frottement dans le plan vertical autour de l'axe horizontal ( $Oz$ ). Il est alimenté sur son axe, au point  $O$ , après fermeture du circuit, par une source de tension  $U$  (au point  $A$ , la circonférence de la roue trempe dans un bain de mercure). La résistance totale dans le circuit est  $R$ . On considère que le chemin suivi par le courant d'intensité  $i$  entre  $O$  et  $A$  est la ligne droite. Par ailleurs, la roue est placée dans un champ magnétique uniforme et stationnaire, perpendiculaire à la roue (défini sur le schéma ci-dessous). L'orientation positive du circuit est choisie selon  $\vec{e}_r$ , dirigé de  $O$  vers  $A$ . Les vecteurs  $\vec{e}_\theta$  et  $\vec{e}_z$  complètent la base cylindrique.



- 1 Monter que la roue, initialement immobile, se met à tourner et déterminer qualitativement à l'aide de la règle de la main droite son sens de rotation.
- 2 Déterminer l'expression de la force élémentaire de Laplace s'exerçant sur un tronçon du disque en fonction de  $i$ ,  $B$ ,  $dl$  (chemin élémentaire sur  $OA$ ) et un vecteur unitaire à préciser.
- 3 Déterminer la puissance élémentaire de la force de Laplace  $dP_L$  lorsque la roue tourne à vitesse angulaire constante  $\omega$ . En déduire la puissance totale  $P_L$ , en fonction de  $i$ ,  $a$ ,  $B$  et  $\omega$ .

**Exercice 7 : Force de Laplace entre deux fils parallèles**

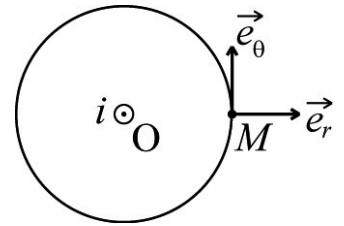
Deux fils parallèles distants de  $a$  sont parcourus par le même courant constant  $i$ .

On se place en coordonnées cylindrique, autour de l'un des deux fils (voir figure).

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

On rappelle que le champ créé par le fil à une distance  $r$  en supposant le fil infini a

pour expression  $\vec{B}(r) = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \vec{e}_\theta$  avec  $i$  l'intensité du courant dans le fil



1. Pour que la force entre les fils soit attractive, les courants doivent-ils être dans le même sens ?
2. Donner l'expression de la force sur une longueur  $L$  de fil. Comment cette force dépend-elle de  $i$  ?
3. Calculer numériquement cette force pour une longueur  $L = 20 \text{ cm}$  de fil, avec  $a = 1 \text{ cm}$  et  $i = 12 \text{ A}$ .

**Exercice 8\* : Un peu de quantique pour s'amuser – Magnéton de Bohr**

1. En prenant, dans le cadre du modèle classique de Bohr, un électron de charge  $-e$  et de masse  $m$  en orbite autour d'un noyau ponctuel  $O$  fixe dans  $\mathcal{R}_g$ , montrer que :

$$\vec{M} = \gamma \vec{L}_O$$

où  $\vec{M}$  est le moment magnétique associé au mouvement orbital de l'électron autour du noyau  $O$ , et  $\vec{L}_O$  le moment cinétique de l'électron par rapport à  $O$ .  $\gamma$  est appelé rapport gyromagnétique. On donnera l'expression de  $\gamma$  en fonction de  $e$  et  $m$ .

2. En déduire que la quantification du moment cinétique ( $L_O = n\hbar$ ) conduit à définir un moment magnétique élémentaire appelé magnéton de Bohr  $\mu_B$ . Donner l'expression, la dimension et la valeur numérique de  $\mu_B$ .

On donne  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ ,  $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  et  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

**Exercice 9 : Mesure du champ magnétique terrestre**

Pour mesurer approximativement la composante horizontale du champ magnétique terrestre, on utilise le dispositif suivant : une petite aiguille aimantée (boussole) est placée à l'intérieur d'un solénoïde (que l'on supposera infini) de manière à ce que, en l'absence de courant dans le solénoïde, l'aiguille soit orthogonale à son axe.

Le champ créé par le solénoïde est dirigé selon l'axe du solénoïde et possède une norme  $B_0 = \mu_0 n I$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$  est la perméabilité magnétique du vide

$n$  est le nombre de spire par unité de longueur

$I$  est l'intensité du courant

1. Indiquer qualitativement ce qui se produit lorsqu'un courant circule dans le solénoïde.

2. Avec un courant  $I = 96 \text{ mA}$ , on relève  $\alpha = 37^\circ$ . Sachant que le solénoïde comporte  $N = 130$  spires et que sa longueur est  $L = 60 \text{ cm}$ , calculer la valeur de la composante horizontale  $B_T$  du champ terrestre.

3. On estime à  $2^\circ$  l'incertitude sur l'angle  $\alpha$ , et on néglige les incertitudes sur les autres grandeurs. Quelle est l'incertitude sur la valeur de  $B_T$  ?

4. Que penser de la valeur de la composante verticale  $B_N$  sachant que  $B$  est de l'ordre de  $50 \mu\text{T}$ .

