

## Thème I. Ondes et signaux (Induction) TD n°23 Champ magnétique

### 💡 Méthode : Comment travailler des exercices ?

#### Avant la séance de TD :

- ★ Sur une feuille de brouillon, avec un crayon à la main et le chapitre ouvert sous les yeux.
- ★ Essayer des « trucs » même si cela n'aboutit pas.
- ★ Faire des schémas complets et suffisamment grands.
- ★ Ne rien écrire sur l'énoncé de TD afin de pouvoir refaire les exercices après la correction en classe.
- ★ Réfléchir environ 10 à 15 min sur chaque exercice demandé. Si vous bloquez complètement sur une question/un exercice, passez à la suite au bout de 10 min, et me poser des questions soit directement soit par mail [nvalade.pcsi@gmail.com](mailto:nvalade.pcsi@gmail.com).

#### Après la séance de TD :

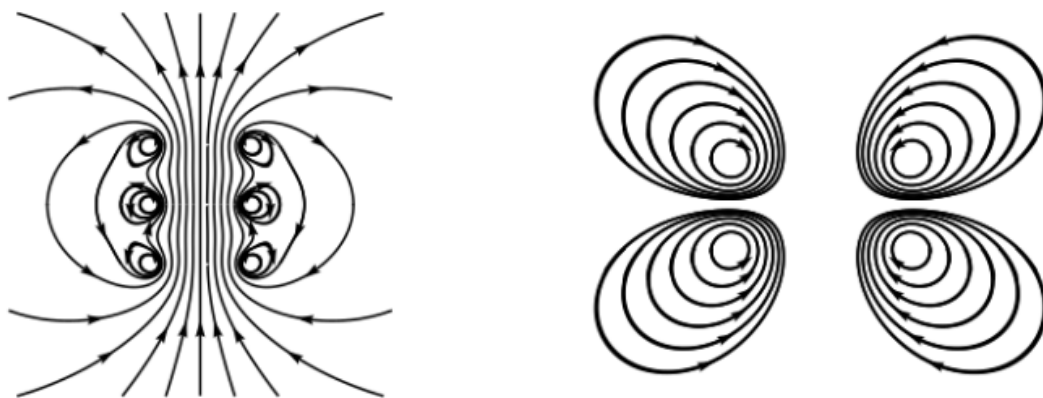
- ★ Refaire les exercices corrigés ensemble, sans regarder le corrigé dans un premier temps.
- ★ Une fois l'exercice terminé ou si vous êtes totalement bloqué, reprendre avec le corrigé.

## I Exercices d'applications directes du cours

### Exercice n°1 Cartes de champ

**Capacités exigibles** : Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible et l'emplacement des sources.

Dans les cartes de champ magnétique suivantes, où le champ est-il le plus intense ? Où sont placées les sources ? Le courant (d'intensité positive) sort-il ou rentre-t-il du plan de la figure ? Où sont les zones de champ uniforme ?



### Exercice n°2 Champ créé par une bobine longue

**Capacités exigibles** : Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies. On considère une bobine de longueur  $L = 60 \text{ cm}$ , de rayon  $R = 4 \text{ cm}$ , parcourue par un courant d'intensité  $I = 0,60 \text{ A}$ . La norme du champ magnétique créé par une bobine longue est  $B = \mu_0 n I$ .

Q1. Déterminer le nombre de spires nécessaires pour obtenir un champ magnétique de  $0,10 \cdot 10^{-2} \text{ T}$ .

Q2. La bobine est réalisée en enroulant un fil de  $1,5 \text{ mm}$  de diamètre autour d'un cylindre en carton. Combien de couches faut-il bobiner pour obtenir le champ précédent ?

### Exercice n°3 Symétries et invariances (Fondamental!!)

**Capacités exigibles** : Exploiter les propriétés de symétrie et d'invariance des sources pour prévoir des propriétés du champ créé.

Dans chacune des situations suivantes, on vous demande de déterminer la forme générale du champ magnétique  $\vec{B}(M)$  en un point  $M$  quelconque de l'espace (ce point peut se trouver partout).

Pour cela :

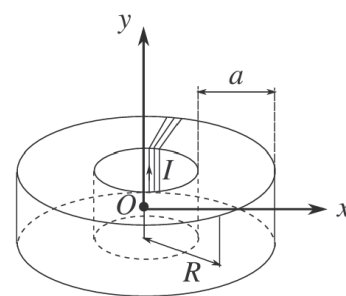
- choisir le système de coordonnées adapté à la géométrie du problème, et le représenter, y compris la base correspondante ;
- déterminer les plans de symétrie et d'antisymétrie de la distribution de courant, et les conséquences sur le champ magnétique, en suivant scrupuleusement la rédaction du cours ;
- déterminer les invariances de la distribution de courant, et les conséquences sur le champ magnétique, en suivant scrupuleusement la rédaction du cours ;
- conclure.

Q1. Une bobine longue infinie.

Q2. Un câble cylindrique rectiligne de rayon  $R$  parcouru uniformément en volume par des courants colinéaires à l'axe du câble.

Q3. Une bobine torique (cf ci-contre).

Q4. Un plan infini ( $Oxy$ ) parcouru par des courants de surfaces uniformes, portés par  $+\vec{u}_x$ . Comment sont les champs magnétiques en deux points symétriques par rapport au plan ( $Oxy$ ) ?



## II Exercices d'approfondissement

### Exercice n°4 Moment magnétique atomique (Grand classique !)

**Capacités exigibles** : Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane.

On considère, dans une représentation de mécanique classique, qu'un électron de valence décrit une orbite circulaire centrée sur le noyau atomique. L'orbite est dans le plan  $z = 0$  et le noyau est à l'origine  $O$  du repère. L'électron a une masse  $m_e$  et une charge électrique  $q_e = -e$ , l'orbite a pour rayon  $r$  et la période de révolution vaut  $T$ .

On choisira l'axe ( $Oz$ ) perpendiculaire au plan du mouvement, et dans le sens direct par rapport au sens du mouvement de l'électron.

- Q1. En considérant que l'électron définit une boucle de courant circulaire (une spire), déterminer l'intensité  $i$  correspondante en fonction de  $e$  et  $T$ . L'intensité  $i$  est choisie dans le sens du mouvement de l'électron.
- Q2. En déduire le moment magnétique en fonction de  $e$ ,  $T$  et  $r$ .
- Q3. Exprimer le moment cinétique  $L_{Oz}$  de l'électron associé à son mouvement orbital autour du noyau par rapport à l'axe de rotation, en fonction de  $m_e$ ,  $r$  et  $T$ .
- Q4. Exprimer le rapport gyromagnétique  $\gamma$  qui est, par définition, le quotient du moment magnétique sur le moment cinétique par rapport à l'axe  $Oz$ . Faire l'application numérique.
- Q5. On admet que le moment cinétique orbital  $L_{Oz}$  ne peut prendre pour valeur que des multiples entiers de la constante de Planck réduite  $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ . Quelles sont les valeurs prises par le moment magnétique correspondant en considérant que le facteur gyromagnétique conserve la même expression ?

## Exercice n°5 Aimantation

**Capacités exigibles** : Par analogie avec une boucle de courant, associer à un aimant un moment magnétique.

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.

|                    |                                                                               |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| AlNiCo 200         | $600 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$                                          |
| Ferrite 1000       | $1700 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$                                         |
| NdFeB              | $2000 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$ à $4000 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| SiCo <sub>5</sub>  | $2000 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$ à $3000 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| SmCo <sub>17</sub> | $3500 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$ à $5000 \text{ kA} \cdot \text{m}^{-1}$ |

Q1. Rappeler la dimension d'un moment magnétique et vérifier si les unités proposées dans le tableau sont cohérentes avec la définition donnée de la grandeur aimantation.

Considérons un aimant en forme de disque d'épaisseur  $e = 1,0 \text{ mm}$  et de rayon  $R = 5,0 \text{ mm}$ .

Q2. Calculer l'ordre de grandeur du moment magnétique d'un tel aimant en NdFeB (Néodyme-Fer-Bore).

Q3. Combien de spires de rayon  $R$  parcourues par une intensité  $0,1 \text{ A}$  faudrait-il bobiner pour obtenir le même moment magnétique ?

## Exercice n°6 Mesure du champ magnétique terrestre

**Capacités exigibles** : Orienter le champ magnétique créé par une bobine infinie et connaître son expression. On dispose d'un solénoïde comportant  $n = 100$  spires/mètre, parcouru par un courant d'intensité  $I = 100 \text{ mA}$ . On le place sur un support horizontal 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 horizontale du champ existant à l'endroit où elle se trouve.

Q1. Calculer l'intensité du champ magnétique créé par le solénoïde.

Q2. Sachant que l'aiguille aimantée fait un angle  $\theta = 58^\circ$  avec l'axe du solénoïde, déterminer la valeur de la composante horizontale  $\vec{B}_H$  du champ magnétique terrestre.