

# Chapitre 1 : Champs magnétiques

## Prérequis

- ▶ rien en particulier

## Mots-clés

*champ magnétique, lignes de champ, distribution de courant, invariances spatiales, symétries et antisymétries, moment magnétique*

*M. Faraday*



## PLAN DU COURS

**A**

### Qu'est-ce que le magnétisme?

- A.1** Différents types de magnétisme
- A.2** Les aimants
- A.3** Magnétisme et courants électriques

**B**

### Définition et propriétés d'un champ magnétique

- B.1** Définition d'un champ magnétique
- B.2** Propriétés générales
- B.3** Des cartes de champ à connaître

**C**

### Champ magnétique et courant électrique

- C.1** Intensité du champ magnétique
- C.2** Orientation des lignes de champ
- C.3** Influence des invariances spatiales de la distribution de courant
- C.4** Propriétés de symétrie et d'antisymétrie

**D**

### Moment magnétique

- D.1** Définition
- D.2** Expression du moment magnétique d'un circuit



## LES SAVOIRS ET LES SAVOIR-FAIRE

### A Qu'est-ce que le magnétisme?

#### A.1 Différents types de magnétisme

1. Quel type de matériau produit des effets magnétiques importants ?
2. Quel type de matériau sont fortement sensibles à ces effets magnétiques ?

#### A.2 Les aimants

3. Qu'est-ce qu'un pôle magnétique ?
4. Qu'est-ce qu'un spectre magnétique ?

#### A.3 Magnétisme et courants électriques

5. Décrire une expérience montrant le lien entre magnétisme et courant électrique.

### B Définition et propriétés d'un champ magnétique



#### CAPACITÉS EXIGIBLES

- ✦ 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 et une bobine longue.
- ✦ Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme.
- ✦ Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.

#### B.1 Définition d'un champ magnétique

6. Qu'est-ce qu'une ligne de champ ?
7. Comment peut-on définir le champ magnétique à partir de l'observation des effets magnétiques sur la trajectoire de particules chargées ?
8. Citer des ordres de grandeur de champ magnétique.

#### B.2 Propriétés générales

9. Comment se traduit le principe de superposition appliqué aux champ magnétiques ?
10. Énoncer les propriétés générales des lignes de champ d'une source magnétique.
11. Comment peut-on repérer un champ magnétique uniforme sur une carte de champ ?  
Citer des dispositifs permettant de produire un champ uniforme.

#### B.3 Des cartes de champ à connaître

12. Donner l'allure de la carte de champ produit par un aimant droit.
13. Donner l'allure de la carte de champ produit par une spire circulaire.
14. Donner l'allure de la carte de champ produit par un solénoïde.

## C Champ magnétique et courant électrique



### CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Exploiter les propriétés de symétrie et d'invariance des sources pour prévoir des propriétés du champ créé.
- ★ Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.

### C.1 Intensité du champ magnétique

15. Que dire de l'influence de l'intensité électrique sur la norme du champ magnétique produit ?

### C.2 Orientation des lignes de champ

16. Connaissant le sens du courant électrique, comment peut-on en déduire l'orientation des lignes de champ magnétique produites ?
17. Illustrer avec les exemples du paragraphe B.3.

### C.3 Influence des invariances spatiales de la distribution de courant

18. Quelles sont les conséquences sur le champ magnétique des invariances spatiales de la source de courant ?
19. Illustrer avec les exemples du paragraphe B.3.

### C.4 Propriétés de symétrie et d'antisymétrie

20. Qu'est-ce qu'un plan de symétrie d'un champ vectoriel ? un plan d'antisymétrie ?
21. Quelles sont les conséquences sur le champ magnétique de l'existence d'un plan de symétrie ou d'antisymétrie de la source de courant ayant produit le champ magnétique ?
22. Illustrer avec les exemples du paragraphe B.3.

## D Moment magnétique



### CAPACITÉS EXIGIBLES

- ★ Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane.
- ★ Associer à un aimant un moment magnétique par analogie avec une boucle de courant.
- ★ Citer un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

### D.1 Définition

(NB : Expression du champ magnétique produit par un moment magnétique non-exigible)

23. Quel est l'intérêt d'introduire la notion de moment magnétique ?
24. Donner des ordres de grandeur.

### D.2 Expression du moment magnétique d'un circuit

25. Quelle est l'expression du moment magnétique d'une spire circulaire ?
26. Généraliser à un circuit filiforme plan.
27. Comment exprimer simplement le moment magnétique d'un solénoïde ?



## EXERCICES

DIFFICULTÉ DE L'EXERCICE (ANALYSE, «TECHNICITÉ», ...)

DURÉE DE L'EXERCICE

## COMPÉTENCES TRAVAILLÉES

	Exercices			
	1	2	3	4
Identifier les zones de champ uniforme, de champ faible et l'emplacement des sources de courant	•	•		•
Relier l'orientation des lignes de champ au sens du courant électrique		•		•
Exploiter les propriétés de symétrie et d'invariance des sources de courant		•		•
Exploiter le principe de superposition		•		•
Exploiter l'expression d'un champ magnétique fournie			•	•
Associer à un aimant un moment magnétique			•	

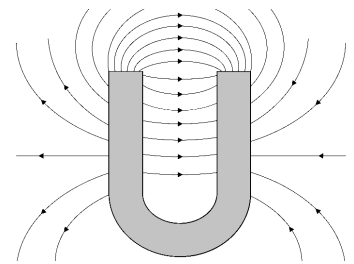
## Exercice 1

## Aimant en U



Voici la carte de champ d'un aimant en U.

- Repérer les zones de l'espace où :
  - le champ magnétique s'intensifie ;
  - le champ magnétique est uniforme.
- Préciser où se situent le pôle nord et le pôle sud de l'aimant.



## Exercice 2

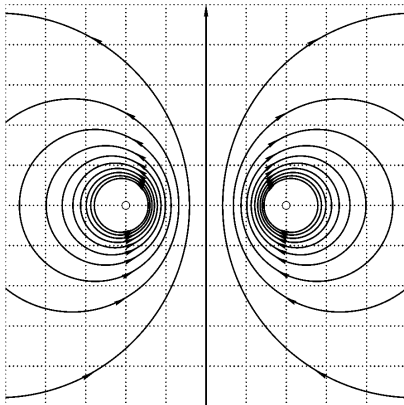
## Analyse de cartes de champ



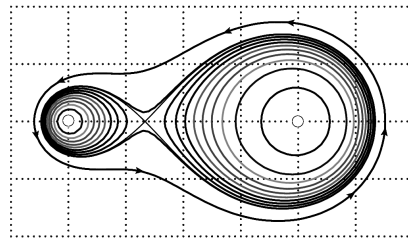
On donne les trois cartes de champ ci-dessous. Les ronds indiquent des fils. Ces lignes de champ sont invariantes par translation suivant l'axe  $Oz$  orthogonal au plan de la figure.

On précise que dans les cas (a) et (c), les fils sont parcourus par un courant de même intensité en valeur absolue.

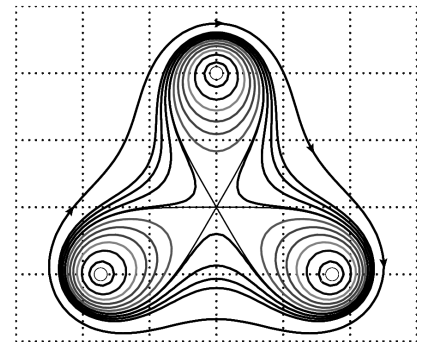
cas (a)



cas (b)



cas (c)



- Dans chaque cas, analyser les symétries du champ magnétique. Préciser la géométrie de la distribution de courant. Indiquer le sens du courant dans les fils.
- Dans le cas (b) et (c), commenter interpréter que certaines lignes de champ se croisent ?
- Dans le cas (b), quel est le fil parcouru par le courant le plus important ?

## Exercice 3

## Champ magnétique terrestre



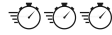
On considère que les pôles magnétiques terrestres sont confondus avec les pôles géographiques de la Terre. À Paris, la latitude (position angulaire par rapport à l'équateur le long d'un méridien) est  $\lambda = 48,8^\circ$  et le champ magnétique est mesuré à  $B = 47 \mu\text{T}$ . Le rayon terrestre est  $R_T = 6371 \text{ km}$ . On donne l'expression du champ produit par un moment magnétique  $\mathcal{M}$  en repérage sphérique ( $\theta = 0$  correspondant au pôle nord géographique) :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mathcal{M}}{2\pi r^3} \cos \theta \vec{u}_r + \frac{\mu_0 \mathcal{M}}{4\pi r^3} \sin \theta \vec{u}_\theta$$

En déduire les valeurs de  $\mathcal{M}$  et des composantes verticale et horizontale du champ magnétique terrestre.

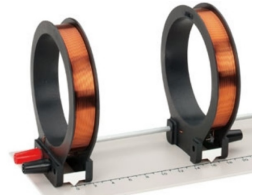
## Exercice 4

## Bobines de Helmholtz

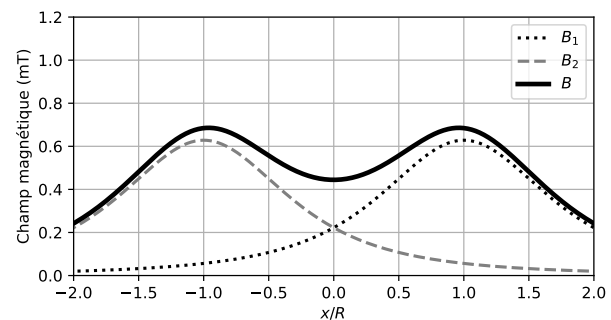
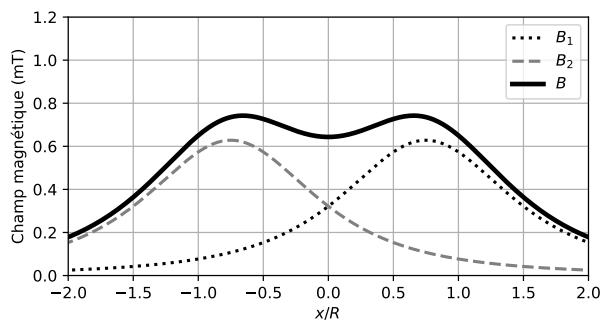
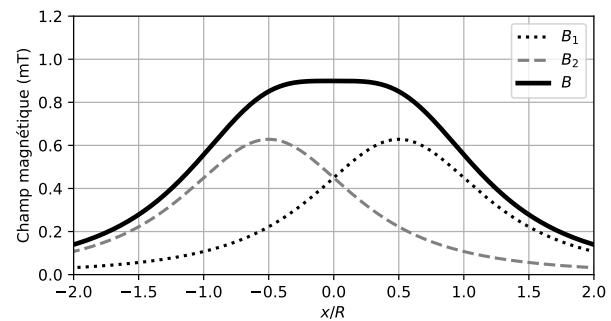
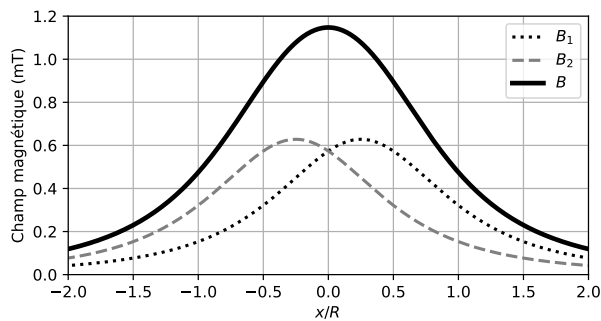


**Donnée :** sur l'axe d'une bobine de rayon  $R$  traversée par un courant électrique d'intensité  $i$  et comportant  $N$  spires, le champ magnétique produit s'écrit :  $\frac{\mu_0 N i R^2}{2(R^2 + d^2)^{3/2}} \vec{n}$  où  $d$  représente la distance au centre de la bobine et  $\vec{n}$  est le vecteur unitaire orientant le vecteur surface de chaque spire de la bobine.

On s'intéresse à deux bobines identiques de rayon  $R = 10$  cm, de même axe  $Ox$ , comportant chacune  $N = 200$  spires et alimentées en série par la même source de courant. Les centres des bobines sont séparés d'une distance  $D$ . Le milieu de la distance  $D$  correspond à l'origine  $O$  de l'axe  $Ox$ .



Pour différentes valeurs de  $D$ , on représente ci-dessous la norme du champ magnétique de chaque bobine en pointillé et la norme du champ total résultant en trait continu.



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

1. Que vaut  $i$  ?
2. Quelle est l'expression du champ magnétique  $\vec{B}$  total ?
3. Afin de bénéficier d'un champ magnétique « le plus uniforme » possible, comment faut-il choisir la distance  $D$  ?
4. Pour son expérience de TIPE, un étudiant souhaite un champ magnétique uniforme de 15 mT. Quelle intensité doit-il régler sur l'alimentation ? Commenter.
5. L'étudiant s'est trompé dans le branchement de l'alimentation du dispositif. Voici la carte de champ correspondante à son montage :
  - (a) Expliquer. On se servira des propriétés de symétries du champ magnétique observé.
  - (b) Représenter qualitativement l'allure de la projection  $B_x$  de  $\vec{B}$  le long de l'axe  $Ox$ .

