

Champ magnétique

Dans ce chapitre nous nous intéressons aux propriétés topographiques du champ magnétique en régime stationnaire. En régime stationnaire, le champ magnétique étant créé par la présence de courants électriques, nous commençons par une étude des symétries des distributions de courants.

1 Cartes de champ

1.1 Notion de champ

Un champ est une application qui, à un point de l'espace, associe la valeur d'une grandeur physique, on distingue :

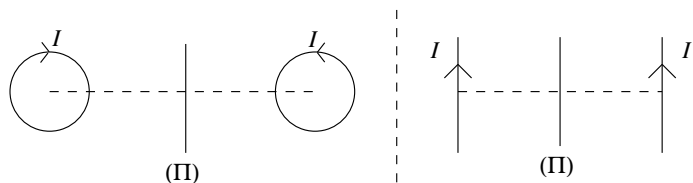
- les champs scalaires : champ de température, champ de pression,...
- les champs vectoriels : champ magnétique, champ électrique, champ des vitesses dans un fluide...

1.2 Symétries et invariances des courants

Symétrie plane

Une distribution de courant admet un plan de symétrie Π , si la distribution de courant, obtenue par symétrie par rapport à Π , lui est identique.

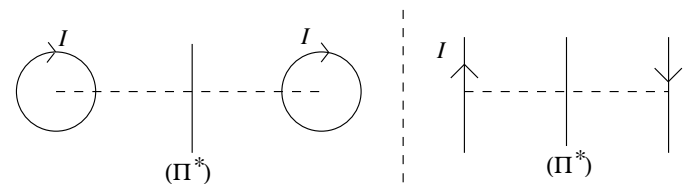
Exemple :



Antisymétrie plane

Une distribution de courant admet un plan d'antisymétrie Π^* , si la distribution de courant, obtenue par symétrie par rapport à Π^* , lui est en tout point opposée (sens de circulation du courant).

Exemple :



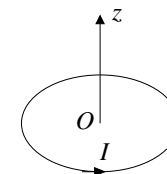
Invariance par translation

Une distribution de courants est invariante par translation selon un axe Δ si elle reste inchangée par toute translation le long de cet axe.

Invariance par rotation

Une distribution de courants est invariante par rotation autour d'un axe Δ si elle reste globalement inchangée par une rotation quelconque autour de cet axe.

Exemple : une spire d'axe Oz parcourue par un courant d'intensité I .



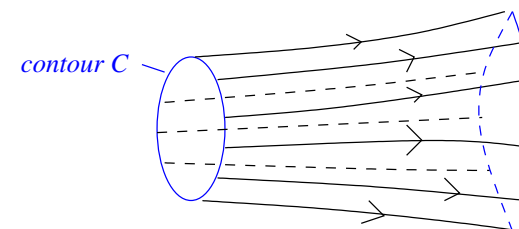
1.3 Topographie du champ magnétique

Lignes de champ magnétique

Les lignes de champ sont les lignes tangentes au champ magnétique en tout point et orientées par ce champ.

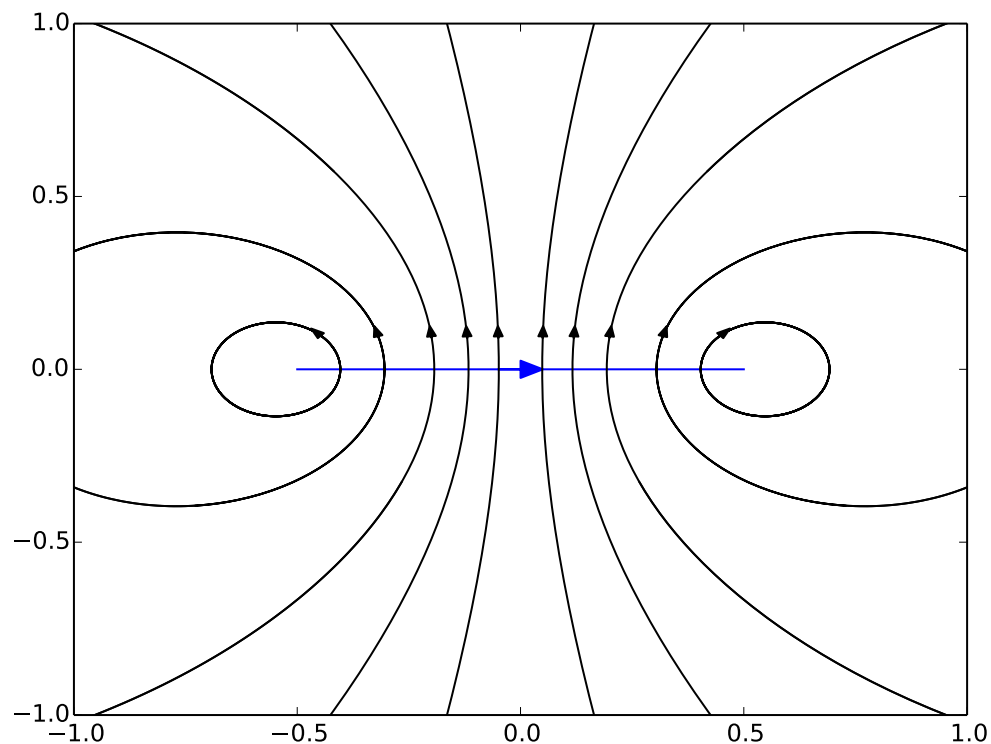
Tubes de champ

L'ensemble des lignes de champ s'appuyant sur un contour \mathcal{C} engendre une surface appelée tube de champ.



Exemples de cartes de champ

Exemple 1, spire circulaire de courant :



→ Le champ magnétique est orienté conformément au courant circulant dans la spire selon la règle du « tire-bouchon ».

→ En un point donné, la **norme du champ magnétique est proportionnelle à l'intensité du courant qui traverse la spire.**

→ Les lignes de champ magnétique se referment sur elles-mêmes en entourant les sources.

→ Les lignes de champ magnétique voisines ont tendance à s'écarter lorsqu'on s'éloigne des sources.

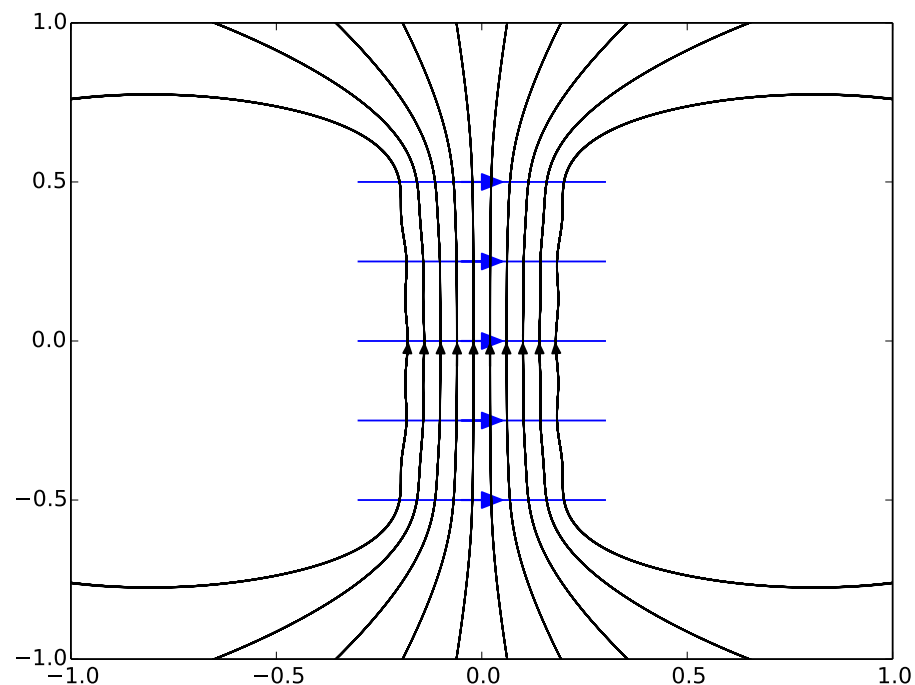
Le champ magnétique est le plus intense là où les lignes de champ se resserrent.

→ Un plan de symétrie des courants est un plan d'antisymétrie pour le champ. **En un point d'un plan de symétrie des courants, le champ magnétique est perpendiculaire à ce plan.**

→ Un plan d'antisymétrie des courants est un plan de symétrie pour le champ. En un point d'un plan d'antisymétrie des courants, le champ magnétique est contenu dans ce plan.

Exemple 2, bobine longue « solénoïde » :

Un solénoïde est constitué de N spires jointives enroulées sur un cylindre de rayon r et de longueur l ; toutes les spires sont parcourues par le même courant d'intensité I . Une bobine « longue » signifie $r \ll l$. On définit le nombre de spires par unité de longueur $n = N/l$.



→ À l'intérieur du solénoïde, les lignes de champ sont resserrées et parallèles : **le champ magnétique est uniforme et intense.**

→ Les lignes de champ s'évasent rapidement à l'extérieur, la norme du champ magnétique décroît rapidement à l'extérieur.

Dans la limite du solénoïde infini ($r \ll l$), le champ magnétique est :

- nul à l'extérieur de la bobine ;
- uniforme et parallèle à l'axe de la bobine à l'intérieur, de norme :

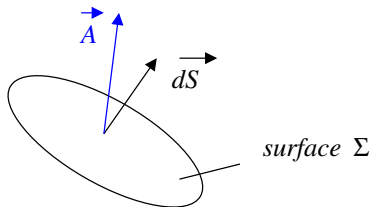
$$B = \mu_0 n I$$
 avec n le nombre de spires par unité de longueur et $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$ la perméabilité du vide.

1.4 Conservation du flux magnétique

Flux d'un champ de vecteur

On définit le flux d'un champ \vec{A} de vecteurs à travers une surface Σ orientée :

$$\Phi = \iint_{\Sigma} \vec{A} \cdot d\vec{S}$$



Flux du champ magnétique

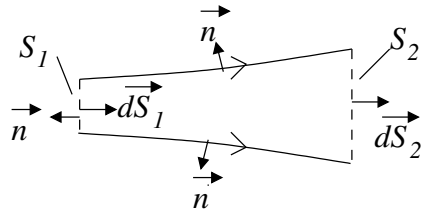
On admet que le champ magnétique est à **flux conservatif** :

$$\oiint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

Conséquence :

Un tube de courant transporte un flux donné :

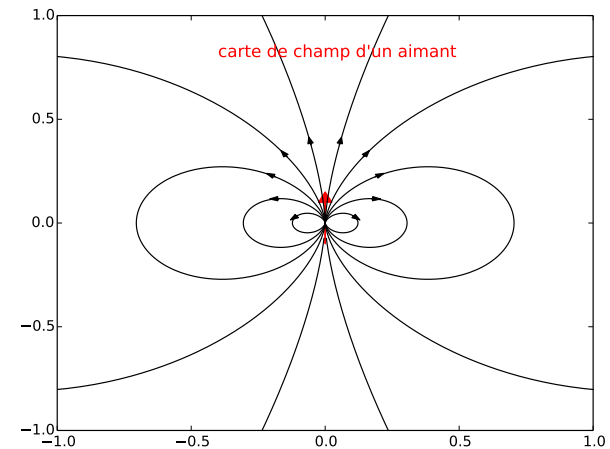
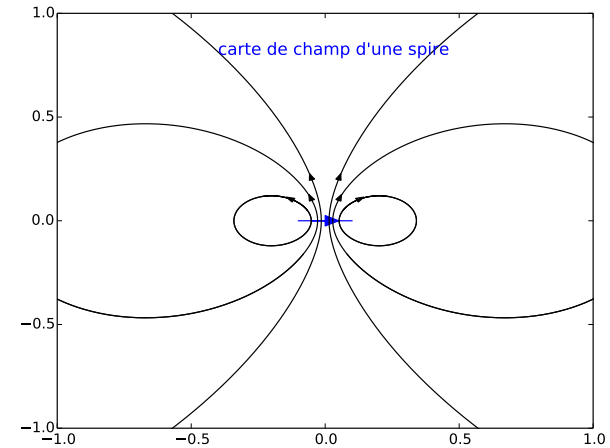
$$\Phi_1 = \iint_{S_1} \vec{B} \cdot d\vec{S}_1 = \iint_{S_2} \vec{B} \cdot d\vec{S}_2 = \Phi_2$$



Le champ magnétique diminuant quand on s'éloigne des sources, les lignes de champ s'évasent loin des sources (Cf. carte de champ).

2 Moment magnétique

2.1 Cartes de champ d'un aimant et d'une boucle de courant



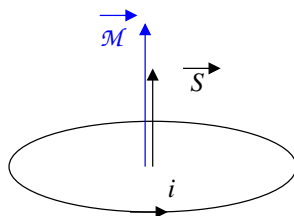
À grande distance, les lignes de champ d'un aimant et d'une boucle de courant sont semblables.

2.2 Moment magnétique d'une spire

Le moment magnétique d'une boucle de courant plane, de surface S , et de vecteur normal \vec{n} , orienté conformément au courant d'intensité i vaut :

$$\vec{\mathcal{M}} = iS\vec{n} = i\vec{S}$$

Le moment magnétique s'exprime en A.m^2 .



2.3 Moment magnétique d'un aimant

Les lignes de champ d'un aimant étant identiques à celle d'une spire à grande distance, on étend la notion de moment magnétique à l'aimant.

3 Ordres de grandeur

3.1 Moment magnétique

→ Cas d'une boucle de courant :

Pour une boucle de courant de quelques centimes de rayon parcourue par un courant d'intensité 1 A, le moment magnétique est de l'ordre de 10^{-3} A.m^2 , pour une bobine comportant plusieurs centaines de spires, le moment magnétique est de l'ordre de 1 A.m².

→ Cas d'un aimant :

L'ordre de grandeur du moment magnétique d'un aimant usuel est de 10 A.m².

3.2 Champ magnétique

	ordre de grandeur
champ magnétique terrestre	$\simeq 50 \mu\text{T}$
aimant usuel	0,1 à 1 T
appareil IRM	3 T

Capacités exigibles :

→ Sources de champ magnétique; cartes de champ.

Exploiter une représentation graphique d'un champ magnétique vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources. Connaître 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. Connaître des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.

→ Lien entre le champ magnétique et l'intensité du courant.

Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.

Orienter le champ magnétique créé par une bobine « infinie » et connaître son expression.

→ Moment magnétique.

Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane.

Par analogie avec une boucle de courant, associer à un aimant un moment magnétique.

Connaître un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

Applications directes

AD 1. Moment magnétique orbital

Dans un modèle classique de l'atome d'hydrogène, l'électron, dans son état fondamental, tourne autour du noyau à une vitesse de l'ordre de $2 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$. Estimer le moment magnétique créé par le mouvement de l'électron autour du noyau.

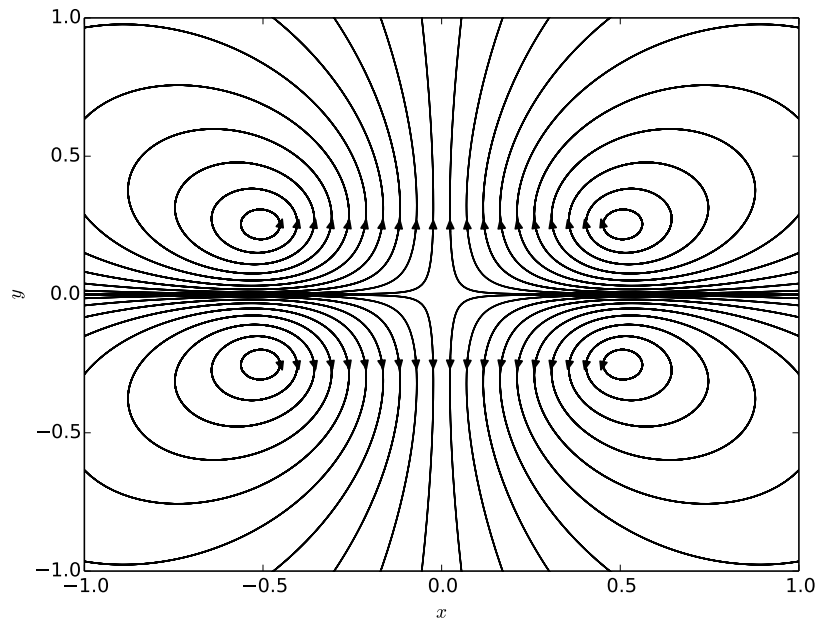
AD 2. Moment magnétique d'un disque en rotation

On considère un disque de centre O et de rayon R portant une charge Q uniformément répartie à sa surface. Le disque est mis en rotation à la vitesse angulaire ω autour de l'axe Oz .

Déterminer le moment magnétique de ce disque.

AD 3. Carte de champ magnétique

La carte suivante représente les lignes de champ magnétique dans le cas de deux spires positionnées dans les plans $y = 0,25$ et $y = -0,25$.



Préciser :

- le sens de circulation du courant dans les spires ;
- les symétries de la distribution de courants ;
- les caractéristiques du champ magnétique : plan de symétrie, plan d'antisymétrie, allure des lignes de champ, point de champ nul,...