

Ch EM2 - MAGNETOSTATIQUE

Poly à trous

La magnétostatique est l'étude des propriétés du champ magnétique en régime stationnaire.

I. Modèles de distributions de courant

1) Intensité

Nature du courant : Le courant est un mouvement d'ensemble des porteurs de charges.

Dans un métal ces porteurs de charges sont les électrons de conduction, dans un électrolyte ce sont les ions positifs et négatifs.

Intensité du courant à travers une surface orientée S :

Unité :

CE : Déterminer l'intensité du courant électrique traversant une surface orientée.

2) Densité volumique de courant $\vec{j}$:

a) Définition :

$\vec{j}$ est le vecteur tel

i =

(CE) : Relier l'intensité du courant et le flux du vecteur densité de courant volumique.

Unité de $\|\vec{j}\|$:

b) Expressions :

- Cas d'un seul type de porteurs de charges (électrons de conduction dans un métal):

Démo :

- Pour plusieurs types de porteurs de charges (cations et anions dans un électrolyte) :

$$\vec{j} =$$

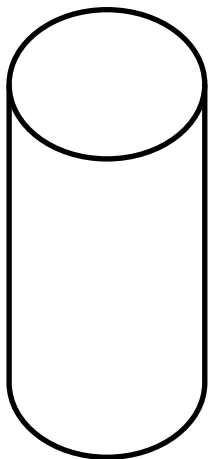
- **Loi d'Ohm locale** : Dans les conducteurs dits ohmiques sous certaines conditions (pas à fréquence trop élevée ou champ pas trop rapidement variable, ni à champ électrique $\vec{E}$ trop intense)



Rem : Un conducteur ohmique vérifie aussi la loi d'Ohm macroscopique ($U=RI$)

Contre-exemple : semi-conducteurs constituant des diodes, transistors...

c) **Résistance d'un cylindre de hauteur l et de section S : $R =$**



Unité de ρ :

Unité de γ :

Ordres de grandeur de conductivités :

3) Distribution surfacique de courant :

Lorsque les courants sont localisés au voisinage d'une surface, on peut les décrire au moyen d'une modélisation surfacique. C'est la limite d'une distribution volumique où les courants sont répartis sur une petite épaisseur e sous la surface.

On définit alors une densité surfacique de courant $\vec{j}_s$:

$$\vec{j}_s =$$

4) Modèle du circuit filiforme

C'est la limite d'une distribution volumique cylindrique dont la section tend vers 0.

5) Force de Lorentz et force de Laplace

• **Force de Lorentz** : force électromagnétique sur une charge ponctuelle q
Une particule de charge q et de vitesse $\vec{v}$ placée dans un champ électromagnétique est soumise à la force de Lorentz $\vec{F} =$

Dans le cas d'une distribution volumique, la force qui s'exerce sur un élément de volume $d\tau$ est :
 $\vec{dF} =$

Rem : Dans un métal (à l'intérieur loin de la surface), $\rho = \rho_{\text{fixe}} + \rho_{\text{mobile}} = 0$ mais $\vec{j} = \rho_m \vec{v}_e$ est non nulle
donc $\vec{dF} =$

• **Force de Laplace** : c'est la force magnétique qui s'exerce sur un conducteur parcouru par un courant.

Pour une distribution volumique de courant : $\vec{dF_{Laplace}} =$

Pour un conducteur filiforme : $\vec{dF_{Laplace}} =$

II. Propriétés du champ magnétique

1) Symétries et invariances

Principe de Curie : le champ magnétique a les mêmes propriétés de symétrie et d'invariances que ses sources : la

Mais $\vec{B}$ est un pseudo-vecteur c'est-à-dire qu'il se comporte comme un produit vectoriel alors que $\vec{j}$ et $\vec{dF_{Laplace}}$ se comportent comme des vecteurs :

$\Rightarrow \vec{B}(M)$ est

$\Rightarrow \vec{B}(M)$ est

Schémas pour comprendre :

Exemple du fil rectiligne infini :

Symétries :

Invariances :

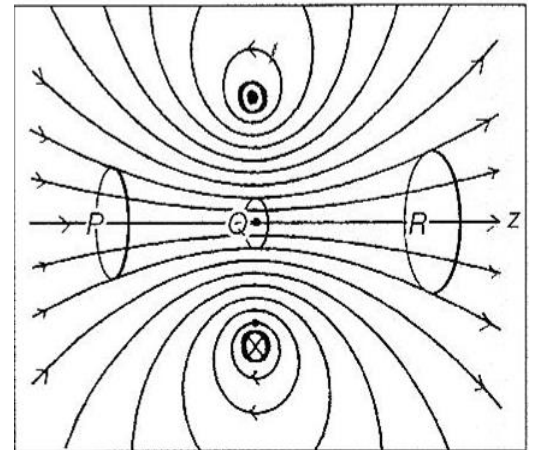
CE : Exploiter les propriétés de symétrie et d'invariance des sources pour prévoir des propriétés du champ créé.

2) Flux conservatif

Le flux du champ magnétique à travers toute surface fermée est nul : $\oint \vec{B} \cdot \vec{n} dS = 0$ (démonstration au Ch EM4)

On dit que $\vec{B}$ est à flux conservatif car le long d'un tube de champ, le flux du champ magnétique à travers une section se conserve :

Application à la carte de lignes de champ d'une spire de courant :
Les surfaces P , Q et R s'appuient sur le même tube de courant.
Comparer les intensités du champ magnétique en P , Q et R :



Par conservation du flux magnétique, le champ est plus intense là où

3) Circulation et théorème d'Ampère

Théorème d'Ampère : la circulation de $\vec{B}$ le long d'un contour fermé et orienté C est égale à l'intensité enlacée multipliée par la perméabilité magnétique du vide μ_0 :

Perméabilité magnétique du vide $\mu_0 =$

Définition de l'**intensité enlacée** :

Rem : Remarquer la différence entre le théorème de Gauss (flux de $\vec{E}$) et le théorème d'Ampère (circulation de $\vec{B}$) qui tous deux relient les champs à leurs sources.

III. Etude de distributions à haut degré de symétrie

On ne peut utiliser le théorème d'Ampère que si les propriétés de symétrie du problème sont suffisantes pour trouver la direction de $\vec{B}$ en tout point, c'est ce qu'on appelle des distributions à haut degré de symétrie.

CE : Reconnaître les situations pour lesquelles le champ magnétostatique peut être calculé à l'aide du théorème d'Ampère.

Contre exemple : spire de courant

CE : Choisir un contour, une surface et les orienter pour appliquer le théorème d'Ampère en vue de déterminer l'expression d'un champ magnétique. Utiliser une méthode de superposition.

1) Fil rectiligne infini



Choix des coordonnées cylindriques d'axe (Oz) l'axe du fil.

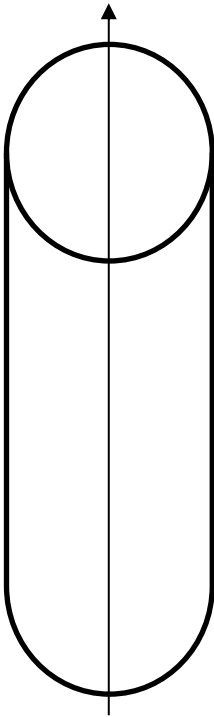
Symétries et invariances déjà étudiées :

Choix d'un contour d'Ampère :

Théorème d'Ampère :

2) Fil cylindrique

CE : Établir les expressions des champs magnétostatiques créés en tout point de l'espace par un fil rectiligne « infini » de section non nulle, parcouru par des courants uniformément répartis en volume,



Cylindre infini d'axe (Oz) et rayon R parcouru par une densité volumique de courant uniforme.

Expression de la densité volumique de courant en fonction de l'intensité I :

Choix des coordonnées cylindriques d'axe (Oz) l'axe du fil.

Symétries et invariances :

Choix d'un contour d'Ampère :

Théorème d'Ampère :

3) Solénoïde infini

CE : Établir les expressions des champs magnétostatiques créés en tout point de l'espace par un solénoïde « infini » **en admettant que le champ est nul à l'extérieur**

Le programme de MPSI insiste sur l'intérêt d'utiliser des bobines à grand nombre de spires réparties sur un cylindre pour obtenir :

- Un champ magnétique plus intense par augmentation du nombre de spires
- Un champ magnétique quasi-uniforme dans une région de l'espace

Voir Powerpoint pour observer les lignes de champ.

Modèle du solénoïde infini :

- On enroule un fil sur un cylindre, les spires sont régulièrement réparties et très serrées, on peut les assimiler à une répartition linéique de n spires par unité de longueur
- On admet que le champ à l'extérieur du solénoïde est nul

Schéma :

Symétries :

Invariances :

Conséquence :

Choix du contour d'Ampère :

Théorème d'Ampère :

Remarquer que le champ est

Retenir $\overrightarrow{B}_{\text{solénoïde}} = \mu_0 \frac{N}{L} I \overrightarrow{u}_z$ ce sera

(CE MPSI) Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue.

4) Ordres de grandeurs de champs magnétiques

CE : Citer quelques ordres de grandeur de champs magnétostatiques.

Unité :

Ordres de grandeur :

Champ $\vec{B}$ à 5cm d'un fil parcouru par $i=1A$:

Champ magnétique terrestre :

Champ d'un solénoïde de 20cm de long, 1000 spires et parcouru par $i=1A$:

Champ d'un aimant puissant (d'une machine électrique) :

Champ à l'intérieur d'une machine d'imagerie médicale type IRM (électro-aimants à supraconducteurs) :

IV. Lecture de cartes de champ

1) Capacités exigibles :

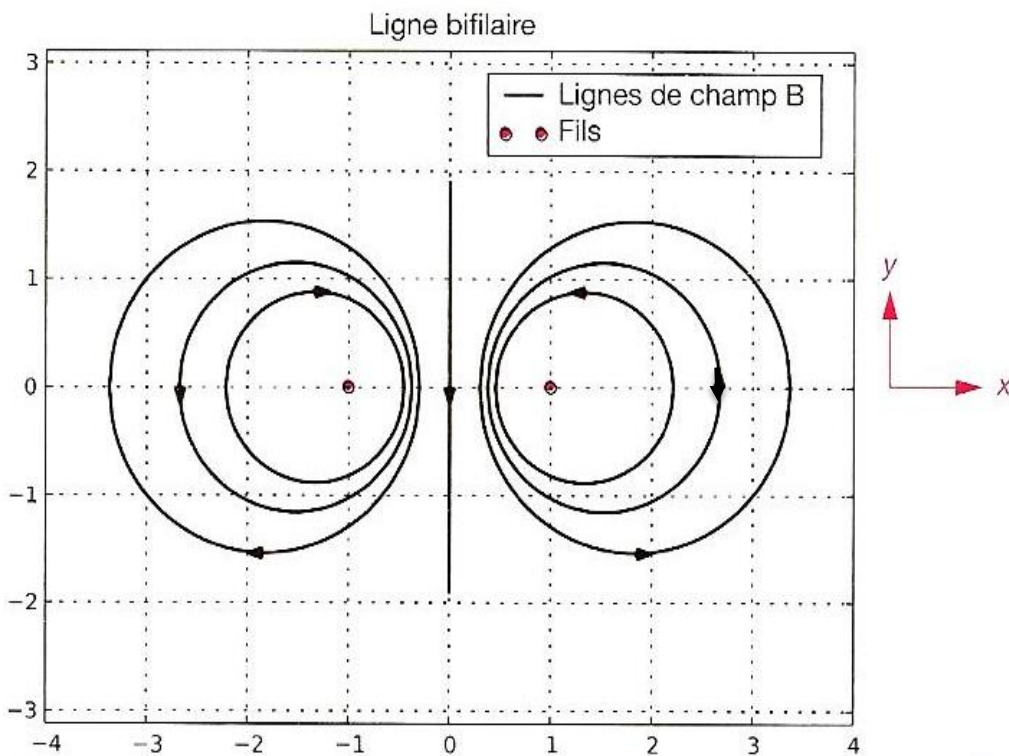
- (CE) : Orienter les lignes de champ magnétostatique créées par une distribution de courants.
Appliquer la règle de la main droite

- (CE) : Associer les variations de l'intensité du champ magnétostatique à la position relative des lignes de champ.

Par conservation du flux magnétique, le champ est plus intense là où les lignes de champ sont plus resserrées.

- (CE) : Vérifier qu'une carte de lignes de champ est compatible avec les symétries et les invariances d'une distribution.

2) Exemple : ligne électrique bifilaire (constituée par deux fils rectilignes infinis parallèles parcourus par des courants i de même intensité mais de sens contraire).



Déduire de l'orientation des lignes de champ le sens du courant dans les deux fils

Expliquer pourquoi les lignes de champ sont contenues dans le plan (Oxy) :

Expliquer pourquoi (Oy) est une ligne de champ magnétique :

Où le champ est-il le plus intense ?