CHAPITRE EM2

Magnétostatique

Dans ce chapitre, on va s'intéresser au champ magnétique en faisant l'hypothèse qu'il est indépendant du temps. On parle alors de champ magnétostatique.

I - Distributions de courant et champ magnétique

I.A - Courant électrique

Définition (Courant électrique)

Le courant électrique est un mouvement d'ensemble de porteurs de charge libres microscopiques, se traduisant à l'échelle mésoscopique par un déplacement globale de charge.

Remarque
Le sens conventionnel du courant correspond au sens de déplacement des charges positives (ou au sens opposé au sens de déplacement des charges négatives).

Définition (Intensité du courant électrique)

On considère une surface $\mathcal{S}$ orientée. L'intensité i à travers cette surface $\mathcal{S}$ est

Remarque
C'est un flux de charge !

Définition (Densité volumique de courant électrique)

Lien entre $\vec{j}$ et le déplacement des porteurs de charge

S'il n'y a qu'un type de porteurs de charge

où n est la densité volumique de porteur d'une charge q et ρ_{libre} la densité volumique de charge due aux porteurs libres.

Remarque
S'il y a plusieurs de porteurs de charge :

Démonstration

Application
On considère un fil de section $s = 1$ mm^2 parcouru par un courant 1A.
La densité volumique d'électrons libres est de l'ordre de 10^{29} m^{-3}.
Calculer l'ODG de la vitesse moyenne des porteurs de charge.

Courants surfaciques

Si une dimension est très petite devant les 2 autres pour la distribution, on parlera de distribution surfacique de courant, ou de courant surfacique $\overrightarrow{j_s}$

Courants linéiques

Si deux dimensions sont très petites devant l'autre pour la distribution, on parlera de distribution linéique de courant, ou de courant linéique $\overrightarrow{j_s}$

I.B - Champ magnétique

Rappel : un champ $\overrightarrow{B}$ peut être créé par un aimant et/ou des courants électriques.

B s'exprime en Tesla (T).

ODG

Définition (Champ magnétique)

Soit une particule *test* de charge q_0 placée en M et en mouvement à une vitesse $\overrightarrow{v_{/\mathcal{R}}}(M)$ par rapport au référentiel $\mathcal{R}$. Elle subit une force $\overrightarrow{F_{mag}}$ qui permet de définir $\overrightarrow{B}$:

Remarque

- ▷ On a donc $\overrightarrow{B}$ qui dépend du référentiel ! Ce ne sera pas un problème pour nous, mais c'est ce qui permet d'introduire la mécanique relativiste.
- ▷ $\overrightarrow{B}$ dépend également du choix du sens direct. On dit que c'est un pseudo-vecteur.

II - Des propriétés de la distribution à celles du champs magnétostatique

II.A - Symétries de la distribution ⇒ direction du champ

Définition (Plan de symétrie de la distribution de courant)

Le plan Π_s est plan de symétrie de la distribution de courant si

Conséquence sur le champ $\overrightarrow{B}$

On considère une distribution $\mathcal{D}$ de courant possédant un plan de symétrie Π_s.
Soient M et M' deux points de l'espace symétriques l'un de l'autre par rapport au plan Π_s.
Alors

Définition (Plan d'anti-symétrie de la distribution de courant)

Le plan Π_a est plan d'anti-symétrie de la distribution de courant si

Conséquence sur le champ $\overrightarrow{B}$

On considère une distribution $\mathcal{D}$ de courant possédant un plan d'anti-symétrie Π_a.
Soient M et M' deux points de l'espace symétriques l'un de l'autre par rapport au plan Π_a.
Alors

Dans nos exercices, les sytèmes seront « à haut degré de symétrie », c'est-à-dire qu'on pourra déterminer la direction de $\overrightarrow{B}$ pour tout point M de l'espace juste avec des études de symétrie.

Méthode - Déterminer la direction de $\overrightarrow{B}$

II.B - Invariances de la distribution $\Rightarrow$ variables du champ

Invariance de la distribution

Si la distribution de courant ne dépend pas de certaines variables, le champ magnétostatique n'en dépendra pas non plus.

Remarque

Pour déterminer de quelles variables dépend la distribution de courant, on cherche les invariances par rotation et translation :

- si par une translation le long d'un axe (Oz), la distribution reste la même, elle ne dépend pas de la variable z
- si par une rotation autour d'un axe, la distribution reste la même, elle ne dépend pas de la variable d'angle qui repère la rotation autour de l'axe (souvent θ en cylindrique autour de l'axe cartésien)
- si par une rotation autour d'un point, la distribution reste la même, elle ne dépend pas des deux variables d'angle qui repèrent la rotation autour du point (souvent θ et φ en sphérique autour du point origine)

Application

On considère un fil infini parcouru par un courant I. Déterminer la direction et les dépendances de $\overrightarrow{B}$.

III - Circulation du champ magnétostatique : théorème d'Ampère

III.A - Théorème d'Ampère

Théorème d'Ampère

Remarque

$I_{enlacé}$ est **algébrique** : sont comptées positivement les intensités traversant $\mathcal{S}$ dans son sens d'orientation, et négativement celles tranversant $\mathcal{S}$ dans le sens opposé à son orientation.

Application

Méthode - Calculer $\overrightarrow{B}$ avec le théorème d'Ampère

III.B - Exemple : champ créé par un fil infini parcouru par un courant linéique

III.C - Exemple : champ créé par un cylindre infini avec une densité de courant uniforme

III.D - Exemple : champ créé par un solénoïde infini

Définition (Solénoïde)

Solénoïde infini

On peut supposer le solénoïde infini si $R \ll \ell$ et si on se place « loin des bords ».

Définition (Densité linéique de spire)

Pour un solénoïde donné, sur une longueur ℓ on peut compter N spires. On a alors une densité linéique de spires n :

III.D.1 - Champ magnétostatique

Champ $\overrightarrow{B}$ créé par un solénoïde infini

On considère un solénoïde infini d'axe (Oz).
Le champ $\overrightarrow{B}$ créé par ce solénoïde infini est uniformément nul à l'extérieur du solénoïde.
Il est uniforme à l'intérieur et il y vaut

$$\overrightarrow{B} = \mu_0 n I \overrightarrow{e_z}$$

où I est l'intensité parcourant le solénoïde et n la densité linéique de spire.

Démonstration

Remarque

III.D.2 - Inductance d'un solénoïde infini

Définition (Inductance d'une bobine)

Inductance d'un solénoïde infini

Démonstration

IV - Topographie du champ magnétostatique

IV.A - Flux magnétique

Conservation du flux magnétique

Corollaire

Démonstration

IV.B - Lignes de champ

Propriétés des lignes de champ magnétiques

Application

Les champs magnétiques représentés par les cartes ci-dessous sont obtenus avec des courants électriques (pas d'aimants). Dans les deux cas, indiquer la position des sources, le sens du courant, les zones de champ fort et faible, et le cas échéant s'il existe une zone de l'espace où le champ magnétique est uniforme.