CHAP25 : CHAMP MAGNÉTIQUE ET FORCES DE LAPLACE

Objectifs :

- Exploiter une représentation graphique d'un champ 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, une spire circulaire et une bobine longue.
- Exploiter les propriétés de symétrie et d'invariance des sources pour prévoir des propriétés du champ créé.
- Décrire un dispositif permettant d'obtenir un champ quasi uniforme
- Connaître des ordres de grandeur de champs magnétiques.
- Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane.
- Établir l'expression de la résultante des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire.
- Évaluer la puissance des forces de Laplace.
- Établir l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique de la spire rectangulaire.

I Champ magnétique

1.1 Définition et ordres de grandeur

Le champ magnétique est un champ vectoriel qui, à tout point M de l'espace, associe un vecteur $\vec{B}(M,t)$le champ magnétique s'exprime en

Rappels :

▪ Dimension d'un champ magnétiques

▪ Ordres de grandeurs : Champ magnétique terrestre : Aimant usuel :

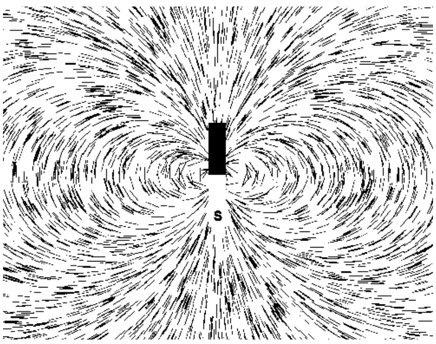
1.2 Cartes de champ

a.a Lignes de champ magnétique

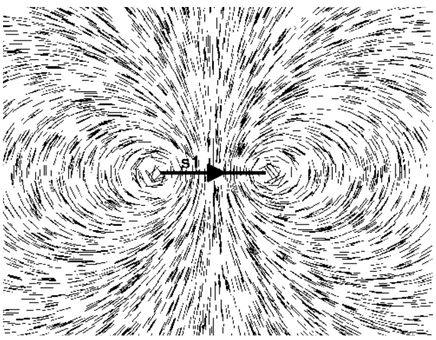
Les lignes de champ magnétique sont des courbes qui sont en tout point tangente au vecteur $\vec{B}(M,t)$ On les représente sur des cartes de champ.

a.b Exemple de cartes de champ magnétique

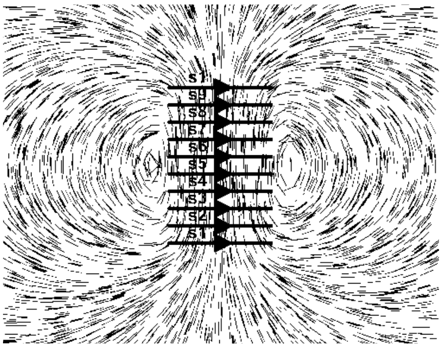
➔ Aimant



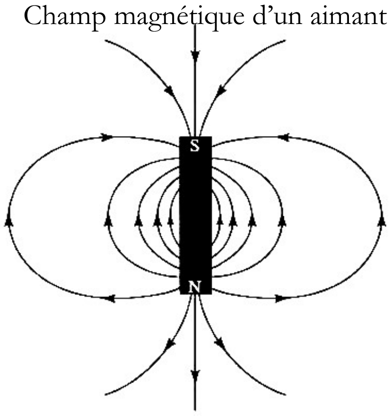
➔ Spire circulaire



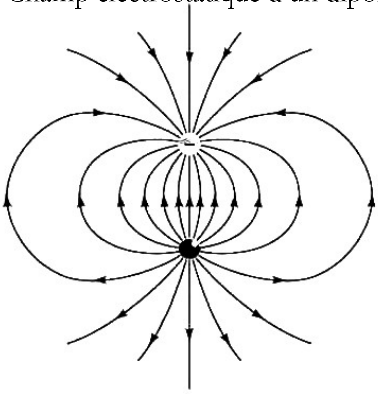
➔ Bobine longue



(*a*) Champ magnétique d'un aimant



(*b*) Champ électrostatique d'un dipôle

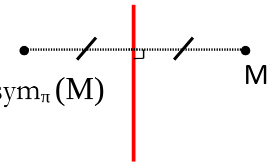


En comparant les figures a) et b), on constate que :

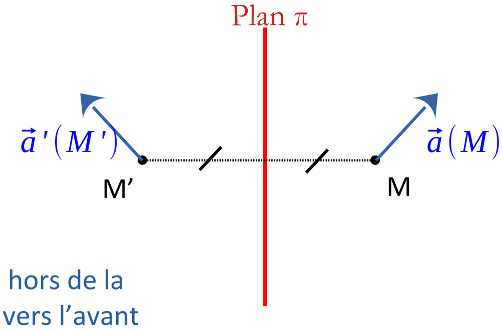
a.c <u>Plan de symétrie et d'anti symétrie de la distribution des courants</u>

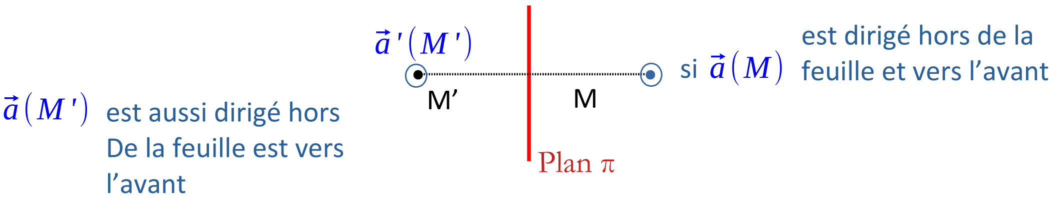
<u>Notation</u>

- Soit π un plan de symétrie : si M' est le point symétrique de M par rapport à π on note M' = sym$_\pi$(M)



- Soit deux point M et M' tels que M' = sym$_\pi$(M)
Si $\vec{a}'(M')$ est le vecteur en M' symétrique du vecteur $\vec{a}(M)$ en M par rapport au plan π, On note $\vec{a}'(M')=sym_\pi \vec{a}(M)$





<u>Plan de symétrie de la distribution de courant</u>

Si pour tout couple de point M et M' = sym$_\pi$ (M) où passe des courants d'intensité respectives I et I',

Exemples

2 files rectilignes parcourus par la même intensité du courant

2 spires parallèles parcourus par la même intensité

Cas particulier :

le plan qui contient tous les fils est un plan de symétrie de la distribution de courant

Plan d'anti-symétrie pour la distribution de courant

Si pour tout couple de point M et M' = sym$_\pi$ (M) où passe des courants d'intensité respective I et I',

Exemples

2 fils rectilignes parcourus par la même intensité du courant mais en sens opposé

Une spire de courant (il y en a deux)

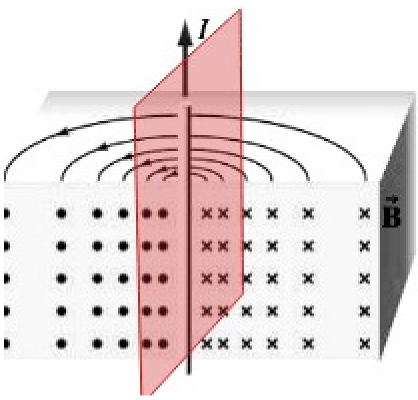
Un fil

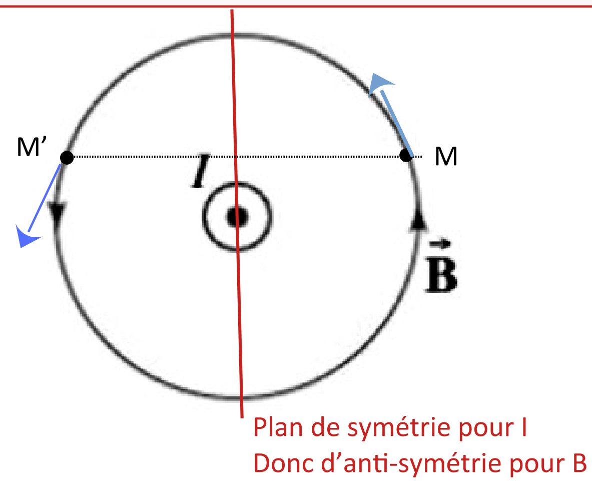
Conséquences de la symétrie des courants sur la symétrie du champ magnétique

Résultat fondamental 1 à retenir :

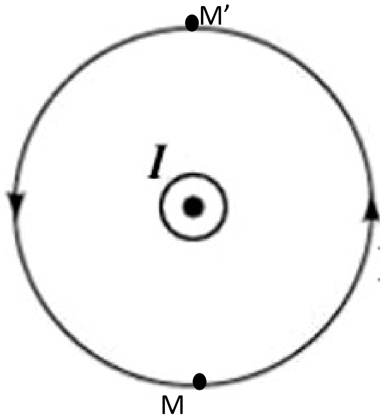
Si la distribution des courants admet un plan de symétrie π alors c'est un plan d' <u>anti</u>symétrie pour le champ magnétique

Ainsi $\vec{B}(M')=-sym_\pi(\vec{B}(M))$ **pour tout couple de points M et M' tels que M' = sym$_\pi$(M)**





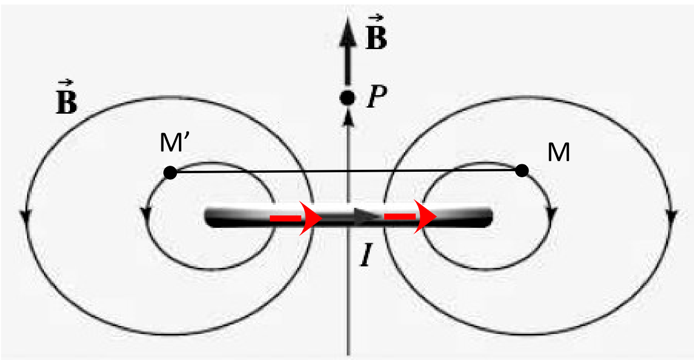
Résultats fondamental 2 à retenir :



Résultat fondamental 3 à retenir :

Si la distribution des courants admet un plan d' antisymétrie π* , alors c'est un plan de symétrie pour le champ magnétique

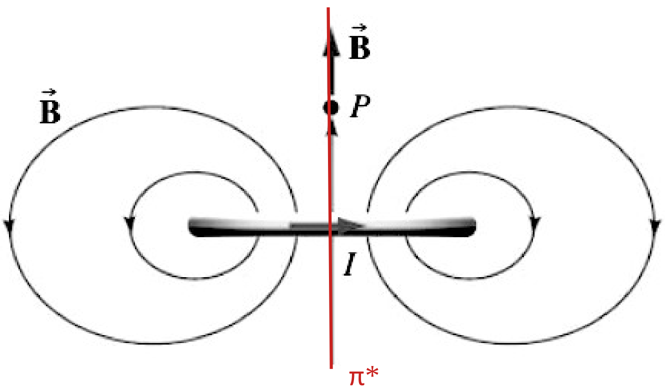
Ainsi $\vec{B}(M')=sym_{\pi}*(\vec{B}(M))$ **pour tout couple de points M et M' tels que M' = sym$_{\pi*}$(M)**



Résultats fondamental 4 à retenir :

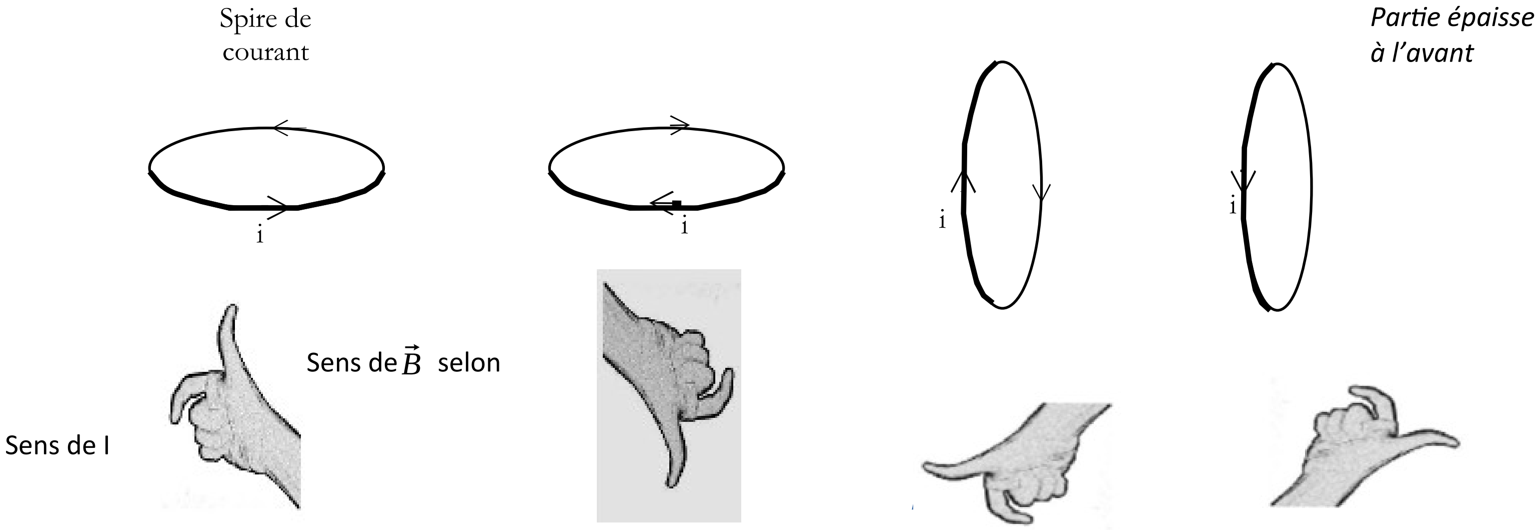
Si M appartient à un plan d'antismétrie pour la distribution des courants, le champ magnétique en ce point est forcement contenu dans ce plan :

$M\in\pi*\Rightarrow\vec{B}(M)\in\pi*$ **avec π* plan d'antisymétrie pour la distribution des courants**



P est dans le plan d'antisymétrie de la distrbution de courant , le champ magnétique en P est donc contenu dans ce plan , on trouve la direction avec la règle de la main droite a.d Propriétés des lignes de champ magnétique

- Pour les aimants, les lignes de champ entrent par le pôle et sortent par le pôle
- Plus les lignes de champ sont
- Dans un champ uniforme, les lignes de champ sont
- Pour les champs magnétiques créés par des courants électriques, le sens de l'intensité du courant donne le sens des lignes de champ (et donc de $\vec{B}$) grâce à



1.3 Notion de moment magnétique

a Définition pour une boucle de courant plane

Soit une spire parcourue par un courant d'intensité i. Soit $\vec{S}=S\vec{n}$ le vecteur surface associé à cette spire telle que $\|\vec{S}\|=$ surface de l'intérieur de la spire et $\vec{n}$ le vecteur unitaire orienté en utilisant la règle de la main droite dite du « tire-bouchon ».

Alors, on appelle moment magnétique $\vec{M}$ de la spire :

Remarques :

- $[M] = I\,L^2$ (unité SI : A m^2).

b Définition pour un aimant permanent.

Pour un aimant permanent on donne plutôt l'aimantation qui est le moment magnétique volumique :

Matériau	Aimantation ($\mathrm{kA \cdot m^{-1}}$)
AlNiCo 200	600
Ferrite 1000	1700
NdFeB	2000 à 4000
SmCo 5	2000 à 3000
SmCo 17	3500 à 5000

Q1 Calculer la norme du moment magnétique d'un aimant Néodyme,fer,bore de 5 mm de haut pour un rayon de 5 mm

Q2 Calculer ensuite l'intensité du courant qui faudrait faire passer dans une spire de même rayon pour obtenir le même moment magnétique

II « Champ, courant, mouvement »

2.1 Mise en évidence expérimentale

- Un peu d'histoire :

1800 : invention de la pile, source de courant continu, par Volta. Mais peu efficace et encombrant…

1820 : Oersted découvre par hasard qu'un fil électrique alimenté fait bouger l'aiguille aimanté d'une boussole. On découvre alors que « courant » → « champ ».

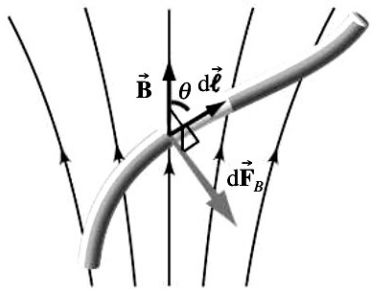
Années 1830 : Faraday, lorsqu'il entend que « courant » → « champ », se demande alors pourquoi « champ » ne pourrait pas impliquer « courant » ?

- Expérience de la dynamo : champ + mouvement = courant.
- Expérience du moteur à courant continue : champ + courant = mouvement.

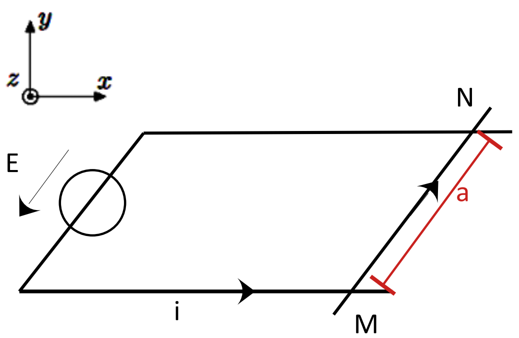
2.2 Force de Laplace

a Force élémentaire de Laplace

sur un élément de fil de longueur dl parcouru par un courant d'intensité i, le champ $\vec{B}$ est à l'origine **d'une force élémentaire** appelée force de Laplace élémentaire telle que :



a Expression de la force de Laplace pour une tige en translation



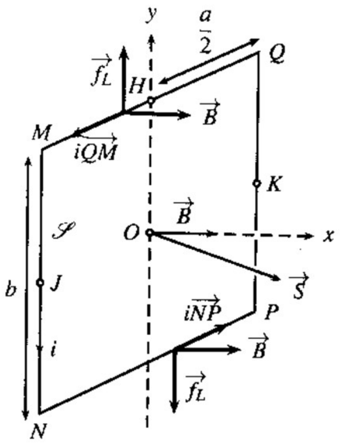
b Puissance de la force de Laplace

c Généralisation

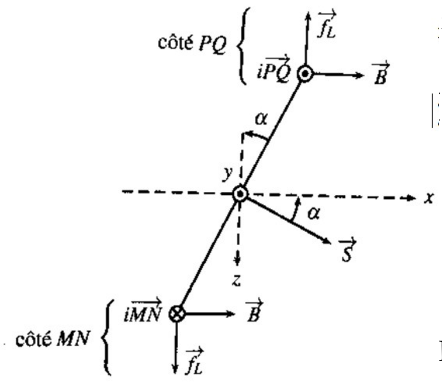
De manière générale, pour un champ $\vec{B}$ **uniforme et permanent(stationnaire)** sur un tronçon **rectiligne** MN parcouru par un courant d'intensité **i allant de M vers N,** on a :

2.3 Couple magnétique d'une spire rectangulaire

a Expression du couple



Vue de profil



Vue de dessus

On considère une spire rectangulaire de moment magnétique $\vec{M}$ plongée dans $\vec{B}$ uniforme et permanent. On considère que la spire n'a qu'un seul degré de liberté (rotation autour de (Oy)).

Force de Laplace sur QM :

Force de Laplace sur MN:

Force de Laplace sur NP :

Force de Laplace sur PQ :

Moment magnétique de la spire :

Expression du couple des forces de Laplace en O en supposant que chaque force de Laplace s'applique au milieu de du segment de spire correspondant (c'est bien un couple car la résultante des forces de Laplace est nulle)

b Puissance du couple

avec ω la vitesse de rotation de l'objet autour de l'axe de rotation Δ c Conséquence : position d'équilibre d'un aimant dans un champ $\vec{B}$

Le TMC à l'équilibre impose que

→ comme le poids s'applique en G sur l'axe de rotation, son moment

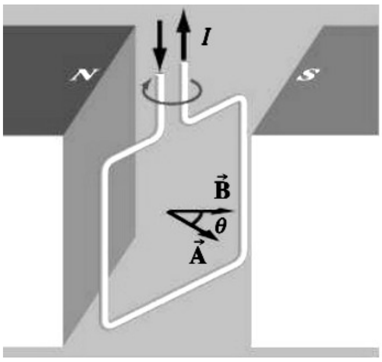
→ on suppose la liaison parfaite

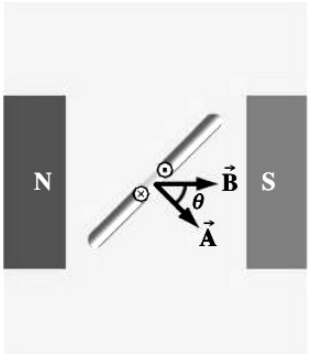
→ A l'équilibre on a donc

.

Stabilité :

d Application : Moteur à courant continu





TMC :

Pour que la spire ne s'immobilise pas, il faut changer le sens du courant de façon périodique