ELECTROMAGNETISME Chapitre 2 : Magnétostatique

Notions et contenus	Capacités exigibles
4.1. Symétries du champ magnétique	
Symétries pour le champ magnétique, caractère axial du champ magnétique.	Exploiter les symétries et invariances d'une distribution de courants pour en déduire les propriétés du champ magnétique.
4.4. Champ magnétique en régime stationnaire	
Équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson.	Énoncer les équations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson en régime variable et en régime stationnaire.
Conservation du flux magnétique.	Exploiter la conservation du flux magnétique et ses conséquences sur les lignes de champ magnétique.
Théorème d'Ampère.	Énoncer et appliquer le théorème d'Ampère. Établir l'expression du champ magnétique créé par un fil épais et infini, par un solénoïde infini en admettant que le champ extérieur est nul, et par une bobine torique.
Forces de Laplace.	Exprimer les forces de Laplace s'exerçant sur un conducteur filiforme et sur une distribution volumique de courant.

Révisions de 1ère année

2.4. Mouvement de particules chargées dans l e champ magnétostatique uniforme et stationnaire	
Force de Lorentz exercée sur une charge ponctuelle ; champ magnétique. Puissance de la force de Lorentz.	Évaluer l'ordre de grandeur de la force magnétique et la comparer à celui des forces gravitationnelles. Justifier qu'un champ magnétique peut courber la trajectoire sans fournir d'énergie à la particule.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dans le cas où le vecteur vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétostatique.	Déterminer le rayon de la trajectoire et le sens de parcours.

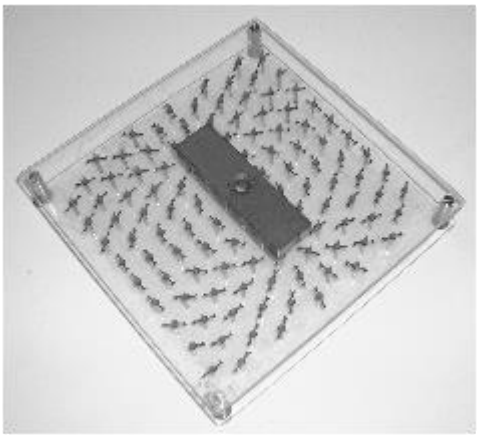
1.7 Induction et forces de Laplace

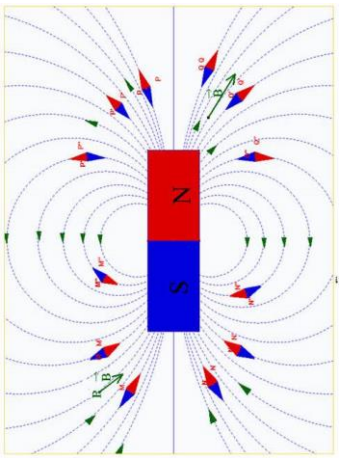
Notions et contenus	Capacités exigibles
1.7.1 Champ magnétique	
Sources de champ magnétique ; cartes de champ magnétique	Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible, et l'emplacement des sources. Tracer l'allure des cartes de champs 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.
Symétries et invariances des distributions decourant.	Exploiter les propriétés de symétrie et d'invariance des sources pour prévoir des propriétés du champ créé.

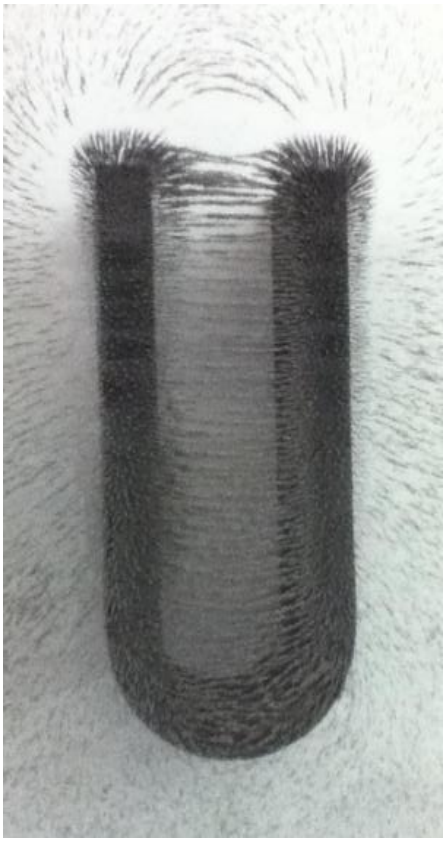
Lien entre le champ magnétique et l'intensité du courant	Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.
Moment magnétique.	Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane. Associer à un aimant un moment magnétique par analogie avec une boucle de courant. Citer un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.
1.7.2. Actions d'un champ magnétique	
Densité linéique de la force de Laplace dans le cas d'un élément de courant filiforme. Résultante et puissance des forces de Laplace	Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme. Établir et citer 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.
Couple et puissance des actions mécaniques de Laplace dans le cas d'une spire rectangulaire, parcourue par un courant, en rotation autour d'un axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux de côtés opposés et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe.	Établir et connaître l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique de la spire rectangulaire. Exprimer la puissance des actions mécaniques de Laplace.
Action d'un champ magnétique extérieur uniforme sur un aimant. Positions d'équilibre et stabilité.	**Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'action d'un champ magnétique uniforme sur une boussole.**
Effet moteur d'un champ magnétique tournant.	**Créer un champ magnétique tournant à l'aide de deux ou trois bobines et mettre en rotation une aiguille aimantée.**

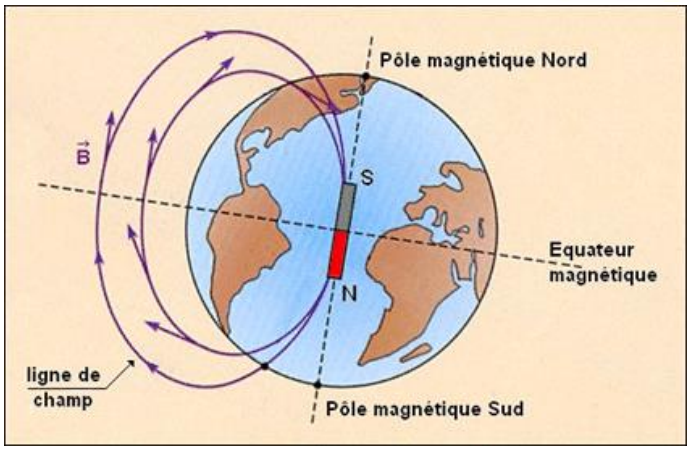
I. Les sources de champ magnétique

Lignes de champ magnétique matérialisées par de la limaille de fer qui se comporte comme de petits aimants qui s'alignent selon les lignes de champ magnétique





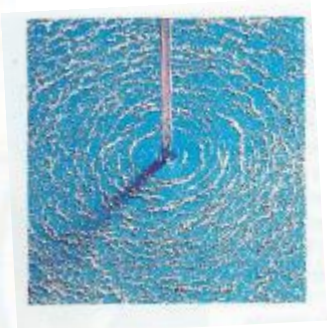


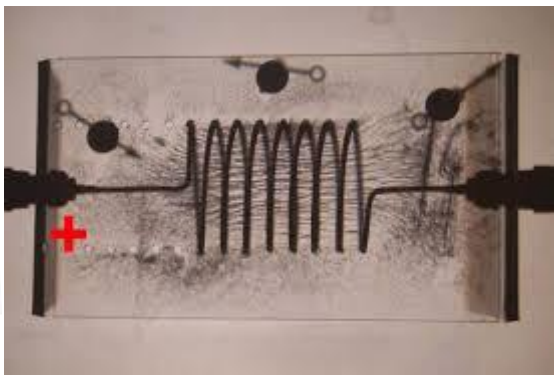


Champ magnétique terrestre

Champ magnétique créé par un aimant en U

Champ magnétique créé
Par une spire, par un fil, par une bobine, parcourus par un courant





Les lignes de champ magnétique créées par un aimant droit sont les mêmes que celles créées par une spire parcourue par un courant.
Ce sont les lignes de champ créé par le vecteur moment magnétique $\mathcal{M}$. [$\mathcal{M}$] = A.m^2

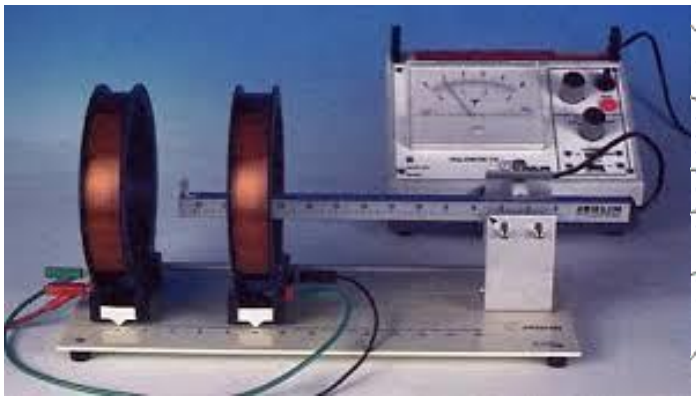
Pour une spire parcourue par un courant i : $\mathcal{M} = i.\vec{S}$

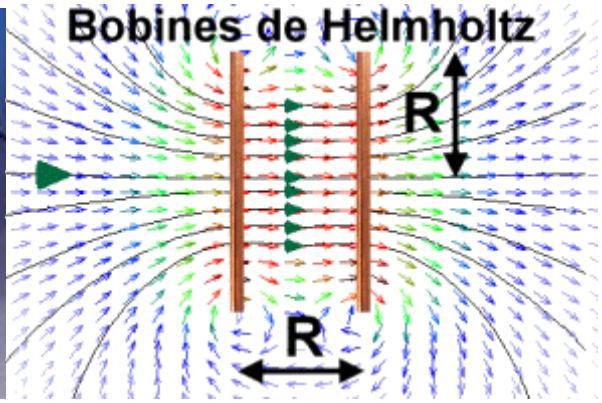
Champ magnétique créé par des bobines de Helmholtz de rayon R :

$$B = 0{,}72.\mu_0.\frac{Nsp}{R}.I$$

où B la valeur du champ en Teslas, μ_0 la perméabilité du vide, Nsp le nombre de spires, R le rayon de la bobine en mètres et I, l'intensité du courant en ampères.

Contrairement au solénoïde, les bobines d'Helmholtz permettent d'insérer aisément un objet d'expérience au point milieu ou le champ est uniforme.





Le champ est uniforme entre les bobines

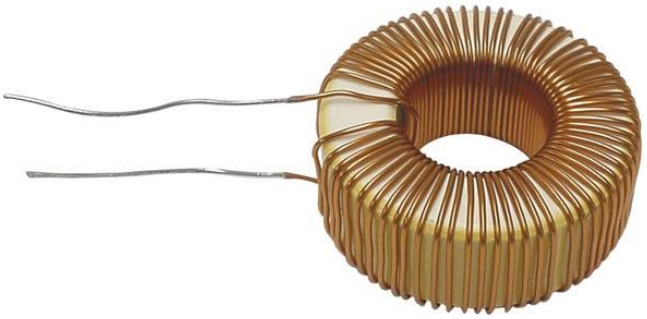
Ordre de grandeurs d'intensité de champs magnétiques : 1 G (Gauss) = 10^{-4} T

Source = cerveau humain ; champ mesuré à la surface du crâne	$B \simeq 10^{-15}$ T
Champ typique dans le vide interstellaire, mesuré par une sonde spatiale	$B \simeq 10^{-6}$ T
Source = Terre ; champ mesuré à la surface	$B = 4,7.10^{-5}$ T $\simeq 0,5$ G
Source = fil rectiligne infini dans le vide parcouru par un courant de *I* = 10 A ; champ mesuré à une distance *r* = 2 cm du fil (les lignes du champ sont alors circulaires centrées sur le fil)	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = 10^{-4}$ T
Source = aimant permanent ; champ mesuré à quelques millimètres de sa surface Champ utilisé en IRM	$B \simeq 0,1$ a 1 T $B \simeq 0,1$ à 7 T
Source = électro-aimant à bobinage ; champ mesuré à l'intérieur	$B \simeq 10$ a 100 T
Source = magnétar, un type d'étoile à neutrons	$B \simeq 10^{+11}$ T

IV. Applications

Établir l'expression du champ magnétique créé, en tout point M de l'espace par :

1) un fil infini ;
2) un fil épais et infini ;
3) un solénoïde infini en admettant que le champ extérieur est nul ;
4) une bobine torique.



Méthodologie :

- La forme de la distribution permet de choisir le repère d'étude (en général cylindrique)
- La détermination des plans de symétrie des courants passant par le point M donne la direction de champ magnétique en M.
- La détermination des opérations de translation et de rotation laissant les courants invariants permet de déterminer de quelles coordonnées spatiales dépendent les composantes du champ électrique.
- Choisir un contour d'Ampère adapté qui passe par le point M où on veut déterminer le champ. Le contour d'Ampère est fermé, un cercle ou un rectangle en fonction de la géométrie de la distribution des courants.
- Appliquer le théorème d'Ampère