

Chapitre 18 – Champ magnétique

Plan du cours

I Champ magnétique

- I.1 Représentation graphique d'un champ magnétique
- I.2 Sources de champ magnétique
- I.3 Obtention d'un champ uniforme

II Moment magnétique

- II.1 Moment magnétique d'une boucle de courant
- II.2 Moment magnétique d'un aimant

III Action d'un champ magnétique

- III.1 Force de Laplace
- III.2 Couple magnétique
- III.3 Action d'un champ magnétique sur un aimant

Ce qu'il faut savoir et savoir faire

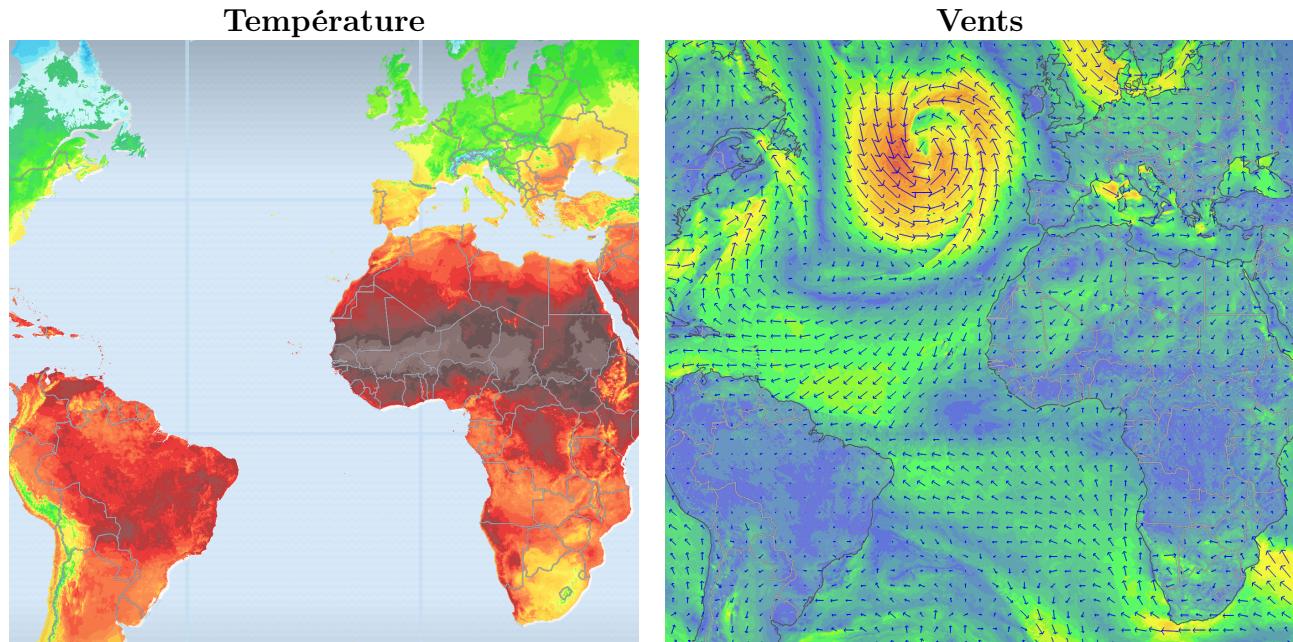
- Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible et l'emplacement des sources.
- Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue.
- Décrire un dispositif permettant de 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.
- Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.
- 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.
- Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme.
- Établir et exploiter l'expression de la résultante et de la puissance des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire.
- Exprimer la puissance des forces de Laplace.
- Établir et exploiter l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique. Exprimer la puissance des actions mécaniques de Laplace.

Questions de cours

- Représenter les lignes de champ au voisinage d'une spire, d'une bobine longue, d'un aimant.
- Expliquer comment s'identifie une zone de champ uniforme sur une carte de champ magnétique et décrire un dispositif permettant de réaliser un tel champ.
- En s'appuyant sur un schéma, donner l'expression de la force de Laplace qui s'exerce sur un élément de fil conducteur de longueur $d\ell$.
- Établir les expressions de la résultante et de la puissance des force de Laplace pour une barre conductrice dans un champ magnétique uniforme (App. 4).
- Établir l'expression du moment du couple subi par une spire rectangulaire (App. 5).

Documents

Document 1 – Représentation d'un champ



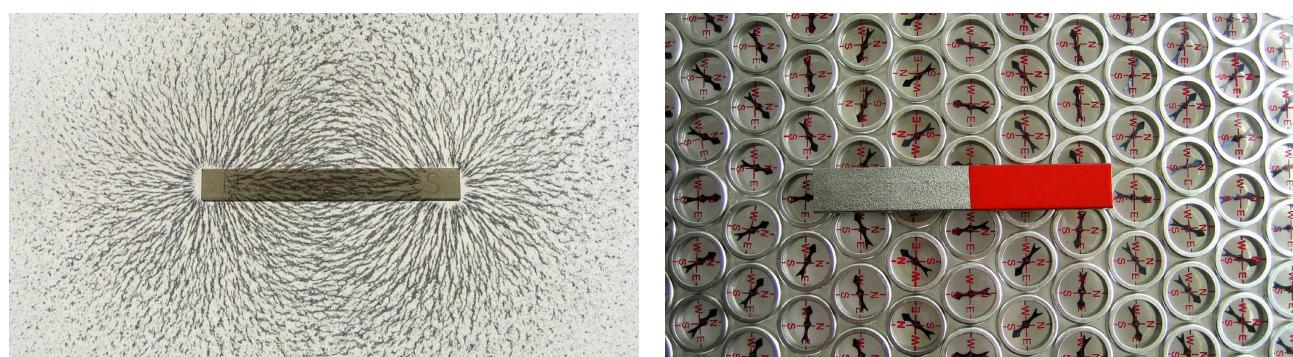
Pour représenter graphiquement un **champ scalaire** comme celui associé à la température, une simple échelle de couleur suffit.

Pour représenter un **champ de vecteur** comme celui associé à la vitesse du vent, la norme ne suffit pas : il faut aussi indiquer sa direction et son sens. On a alors souvent recours au tracé des **lignes de champ**.

earth.nullschool.net

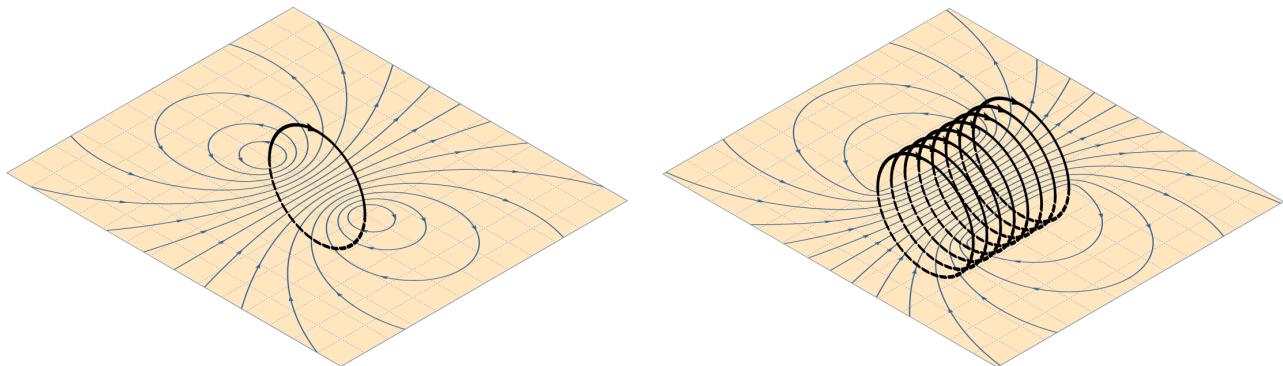
Document 2 – Mise en évidence d'un champ magnétique

Il est possible de mettre en évidence les lignes de champ magnétique à l'aide de limaille de fer ou d'un réseau de boussoles. En effet, les particules ferromagnétiques et les aiguilles des boussoles tendent à s'aligner avec le champ magnétique.



<https://youtu.be/9XvryuieFCQ> et sciences.univ-nantes.fr

Document 3 – Champ magnétique créé par une ou plusieurs spires de courant



Document 4 – IRM

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) repose sur l'utilisation de champs magnétiques intenses (jusqu'à quelques teslas). Un champ magnétique élevé permet d'obtenir des images de très grande précision. Plusieurs dispositifs permettent de produire les champs nécessaires au fonctionnement de l'appareil. Le plus intense doit être constant et uniforme sur un volume suffisant pour obtenir des images de bonne qualité

Il existe actuellement deux catégories d'appareils : les imageurs fermés (à gauche) et les imageurs ouverts (à droite). Ces derniers ont été développés pour faciliter l'accès aux patients lourdement médicalisés, souffrant d'obésité ou de claustrophobie, ou encore aux enfants en bas âge.

La résonance magnétique nucléaire (RMN) exploitée dans l'IRM, est par ailleurs utilisée pour analyser la matière : elle permet d'obtenir des informations sur la structure des molécules et des matériaux.

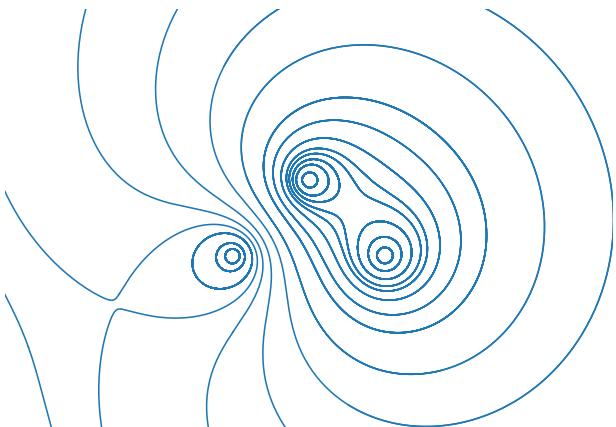


Applications

Application 1 – Carte de champ magnétique

La carte de champ ci-contre représente les lignes de champ au voisinage de quelques conducteurs parcourus par des courants électriques.

1. Identifier la position des sources et le sens des courants.
2. Identifier les zones de champs forts et les zones de champ faible.
3. Existe-t-il une zone où le champ est uniforme ?



Application 2 – IRM

On assimile la bobine principale d'un appareil d'IRM (Doc. 4) à un solénoïde de longueur $L = 1,6\text{ m}$, de 60 cm de diamètre, formé de $N = 2500$ spires. Il impose un champ statique $B_0 = 3\text{ T}$ dans l'appareil.

Donnée : le champ magnétique B uniforme dans un solénoïde de N spires, de longueur L et parcouru par un courant d'intensité I vaut $B = \mu_0 NI/L$, où $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$.

1. Comparer l'intensité du champ magnétique dans l'IRM à celle du champ magnétique terrestre.
2. Faire un schéma et représenter les lignes de champ magnétique.
3. Calculer l'intensité du courant qui parcourt la bobine de l'IRM. Commenter.

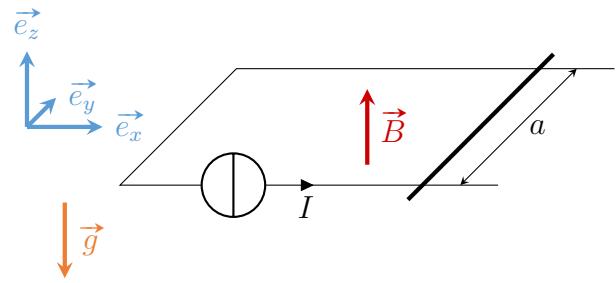
Application 3 – Moment magnétique d'une spire circulaire

On considère une spire circulaire de rayon $R = 5\text{ cm}$ parcourue par un courant d'intensité $I = 1\text{ A}$. La spire est orientée par le vecteur unitaire $\vec{n} = -\vec{e}_z$.

1. Représenter la spire dans un repère cartésien et indiquer le sens du courant.
2. Exprimer, puis calculer la norme μ du moment magnétique $\vec{\mu}$ associé à la spire.

Application 4 – Rail de Laplace

On considère le circuit représenté ci-contre, constitué d'un barreau métallique de masse m , libre de glisser sans frottement le long de deux rails parallèles séparés d'une distance a . Le circuit est fermé par une source idéale de courant qui impose un courant d'intensité $I > 0$. L'ensemble est plongé dans un champ magnétique uniforme et stationnaire $\vec{B} = B\vec{e}_z$, où $B > 0$.



<https://youtu.be/tOuZrYNosDU>

1. Exprimer la force de Laplace \vec{F}_{Lap} qui s'exerce sur le barreau métallique. Reproduire le schéma et représenter \vec{F}_{Lap} .
2. Établir l'équation différentielle du mouvement. Quel type de mouvement observe-t-on ?
3. Exprimer la puissance de la force de Laplace \mathcal{P}_{Lap} . Commenter.
4. Retrouver l'équation du mouvement avec un théorème énergétique.
5. La résoudre en supposant que le barreau est initialement immobile en $x = 0$.

<https://youtu.be/58MmOpSm4LY>

Application 5 – Couple magnétique

On considère une spire rectangulaire de largeur a et de hauteur b , parcourue par un courant d'intensité $I > 0$, en rotation autour de l'axe (Oz), axe de symétrie de la spire passant par les deux milieux des côtés LM et KN , et placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire orthogonal à l'axe $\vec{B} = B\vec{e}_x$ ($B > 0$). On note \vec{n} le vecteur normal à la spire, orienté par le sens du courant I , et α l'angle entre (Ox) et \vec{n} .

1. Montrer que la résultante des forces de Laplace qui s'appliquent sur cette spire est nulle.
2. Faire un schéma, vu du dessus.
3. Donner la direction des forces de Laplace qui s'exercent sur les segments LM et NK . Que peut-on dire de leur moment par rapport à l'axe (Oz) ?
4. Exprimer les forces de Laplace qui s'exercent sur les segments KL et MN . Les représenter sur le schéma précédent.
5. En déduire l'expression du couple Γ_{Lap} , moment des forces de Laplace qui s'exercent sur la spire par rapport à l'axe (Oz).
6. Rappeler l'expression du moment magnétique $\vec{\mu}$ de la spire et exprimer Γ_{Lap} en fonction de $\vec{\mu}$ et \vec{B} .
7. Décrire qualitativement l'effet du champ magnétique sur le moment magnétique de la spire.

