

Activité documentaire : le champ magnétique

Document 1 : le magnétisme, une histoire d'aimants

Depuis les temps les plus reculés, les hommes ont remarqué que certaines pierres ont la propriété de s'attirer ou de se repousser entre elles dans des zones particulières de leur structure, appelées pôles. Ces pierres sont des aimants, elles sont constituées d'oxyde magnétique de fer, appelée magnétite. Ainsi, le magnétisme, comme l'électricité, regroupe des phénomènes d'attraction et de répulsion entre des objets. Cependant, dès 1600, William Gilbert fait la distinction entre ces deux phénomènes : par exemple, un aimant possède toujours deux pôles, qu'il nomme « nord » et « sud » magnétiques, même s'il est brisé en deux, alors que certains objets peuvent ne présenter qu'un seul type d'électricité.



Cristaux de magnétite

Les découvertes ultérieures vont confirmer les intuitions de Gilbert, avant que l'électricité et le magnétisme ne soient unifiés par la théorie de l'électromagnétisme de J.C.Maxwell à la fin du 19^e siècle. C'est en particulier à partir de l'observation de limaille de fer au voisinage d'un aimant que Faraday, au début du 19^e siècle, propose le concept de champ magnétique : l'espace, au voisinage de l'aimant, acquiert des propriétés nouvelles, modélisées par un vecteur. Ce vecteur s'oriente comme une aiguille aimantée. Ainsi, les lignes de champ magnétique créées par un aimant sont orientées de son pôle nord vers son pôle sud, à l'extérieur de l'aimant.

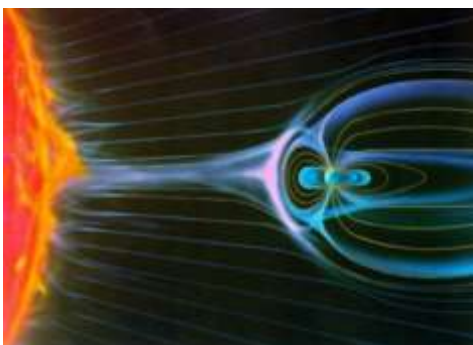
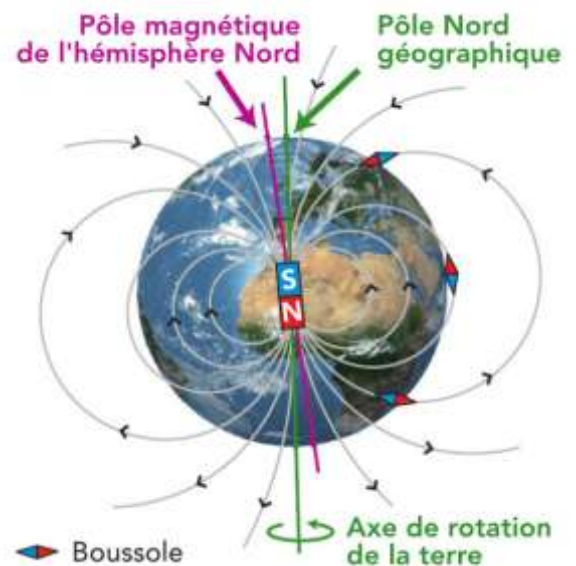
La valeur du champ magnétique se mesure avec un teslamètre. Son unité est le Tesla (T) du nom de Nikola Tesla (1848-1943) qui fut l'auteur de nombreuses inventions utilisant les effets du champ magnétique, notamment l'alternateur, à la base de la production d'électricité. On utilise souvent le mT en pratique.

Document 2 : le champ magnétique terrestre

En 1600, W.Gilbert propose également d'expliquer l'orientation des boussoles par le fait que la Terre se comporte comme un aimant géant. Les boussoles sont de petites aiguilles aimantées dont le pôle nord est repéré souvent en rouge, inventées par les Chinois vers l'an 1000. Encore une fois, Gilbert est dans le vrai : le champ magnétique terrestre a pour source la rotation du noyau terrestre, constitué essentiellement de fer liquide. Les lignes du champ magnétique terrestre sont semblables à celles d'un aimant droit.

Par un effet du hasard, le pôle sud magnétique correspond approximativement au pôle nord géographique.

Le champ géomagnétique est relativement faible : à la surface de la Terre, sa valeur est voisine de 10^{-5} T.



Vue d'artiste de la ceinture de Van Allen

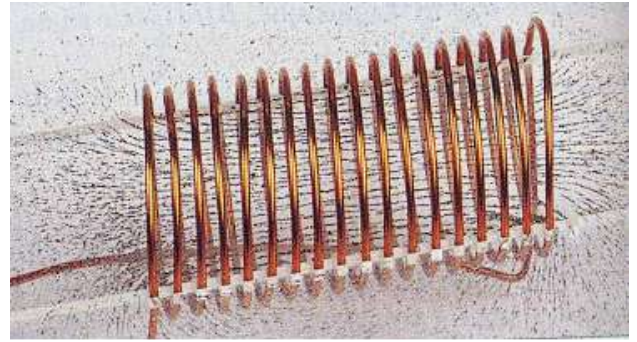
Lorsque les particules chargées du vent solaire (protons et électrons) se déplacent dans le champ magnétique terrestre, elles sont soumises à la force magnétique, appelée force de Laplace, qui les dévie de leur trajectoire. Le champ géomagnétique agit ainsi comme un bouclier, appelé ceinture de Van Allen.

Document 3 : champ magnétique créé par un courant électrique

Jusqu'au début des années 1820, on ne connaissait que le magnétisme des aimants naturels permanents à base de magnétite.

En 1821, Hans Christian Orsted montre qu'un courant électrique parcourant un fil influence l'aiguille d'une boussole située près de celui-ci. Il fut cependant incapable d'expliquer ce phénomène à la lumière des connaissances de l'époque. La même année, Michael Faraday trace un premier lien entre électricité et magnétisme.

En 1822, le premier moteur électrique est inventé : la roue de Barlow.



Solénoïde

André-Marie Ampère proposa peu après une loi phénoménologique, aujourd'hui démontrée dans le cadre général de l'électromagnétisme, appelé théorème d'Ampère qui relie le champ magnétique aux courants électriques. En particulier, cette loi stipule que la valeur du champ magnétique (mesurée en Tesla) est proportionnelle à l'intensité du courant électrique (en Ampères) qui en est la source.

En 1873, James Clerk Maxwell unifie le champ magnétique et le champ électrique, au sein de la théorie de l'électromagnétisme. Il montre en particulier que la variation d'un champ magnétique engendre un champ électrique, et réciproquement. Il prévoit ainsi l'existence des ondes électromagnétiques, qui ont révolutionné les communications.



Bobines de Helmholtz

Les deux dispositifs les plus utilisés pour engendrer des champs magnétiques uniformes sont les bobines de Helmholtz et le solénoïde.

Document 4 : force magnétique de Lorentz

En physique, le champ magnétique est une grandeur vectorielle, c'est-à-dire caractérisée par la donnée d'une norme (exprimée en Tesla), d'une direction et d'un sens, définie en tout point de l'espace, permettant de modéliser l'influence dans l'espace du courant électrique (c'est-à-dire le déplacement ordonné de charges électriques) ou des matériaux magnétiques comme les aimants permanents.

Lorsqu'une charge électrique en mouvement rentre dans une zone de l'espace où règne un champ magnétique, la présence du champ magnétique se traduit par l'existence d'une force agissant sur la charge électrique en mouvement, nommée force de Lorentz.

La valeur de cette force vaut :

$$F_m = q.v.B.\sin \angle \vec{v}, \vec{B}$$

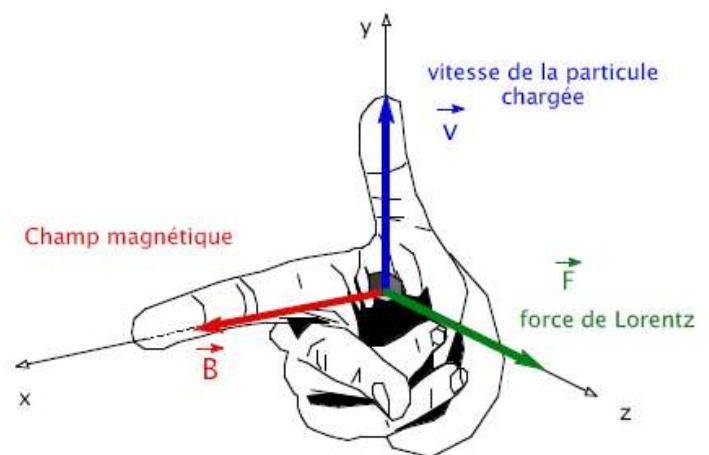
B est le champ magnétique en Tesla (T),

v est la vitesse de la charge en $m.s^{-1}$,

q est la charge en Coulomb (C),

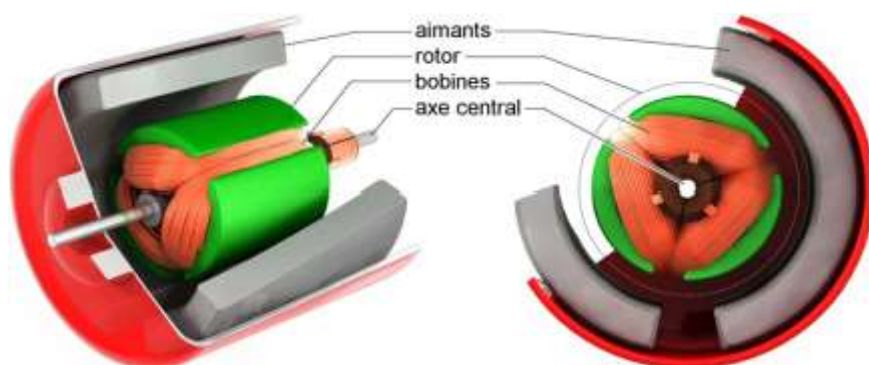
F est la force en Newton (N).

La force magnétique *n'est pas colinéaire au champ magnétique, mais orthogonale* : une charge électrique en mouvement sera dévié dans une direction perpendiculaire au champ.



La direction et le sens de la force de Lorentz est donnée par la règle de la main droite (voir figure ci-dessus).

Une des inventions les plus marquantes de l'électromagnétisme est le moteur électrique. Dans ce dispositif, le champ magnétique créé par un aimant ou un bobinage engendre une force magnétique sur une bobine parcourue par un courant, ce qui provoque sa rotation.



Le moteur électrique est un exemple de conversion d'énergie électromagnétique en énergie mécanique : on parle de couplage électromécanique.

Inversement, il est possible de produire un courant électrique dans une bobine tournant au sein d'un champ magnétique : ce phénomène est nommé induction magnétique. Sur lui repose le principe de l'alternateur, qui est à la base de toute centrale électrique.

Questions

1. Comment les pôles de deux aimants se comportent-ils entre eux ? Qu'est-ce que cela vous rappelle ?
2. Quelles sont les différences entre l'électricité et le magnétisme ? Quels sont leurs points communs ?
3. Quelles sont les caractéristiques du champ géomagnétique ?

Répondre aux questions 4 et 5 à l'aide de l'animation disponible à l'adresse suivante :

http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/Elec/Champs/topoB.html

4. Représenter quelques lignes de champ ainsi que les vecteurs champ magnétique (sans souci d'échelle) aux points considérés sur les schémas 1,2, 3 et 4 en annexe. Attention, le schéma n°2 n'est pas représentable avec la simulation.
5. Que peut-on dire du champ magnétique entre deux spires, et au milieu d'un ensemble de spires alignées ?
6. Que peut-on dire du champ magnétique dans l'entrefer d'un aimant en U ?
7. Comparer le champ magnétique créé par un aimant droit et celui existant à l'extérieur d'un solénoïde parcouru par un courant. Conclusion ?

Répondre aux questions 8 et 9 à l'aide de l'animation disponible à l'adresse suivante :

http://physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college_lycee/lycee/premiere_1S/solenoides_champ_magnetique_intensite_poles.htm

8. Quel est l'avantage d'un solénoïde par rapport à un aimant droit ?
9. Sur la figure 4, indiquer les pôles nord (N) et sud (S) du solénoïde.

Répondre aux questions 10 et 11 à l'aide de l'animation disponible à l'adresse suivante :

<http://jocelyn.bernaud.free.fr/applets/moteurel1.htm>

10. Compléter le schéma n°5 en faisant apparaître le sens du courant électrique, les lignes de champ magnétique dans l'entrefer de l'aimant et la force magnétique exercée sur la spire.

Figure 1

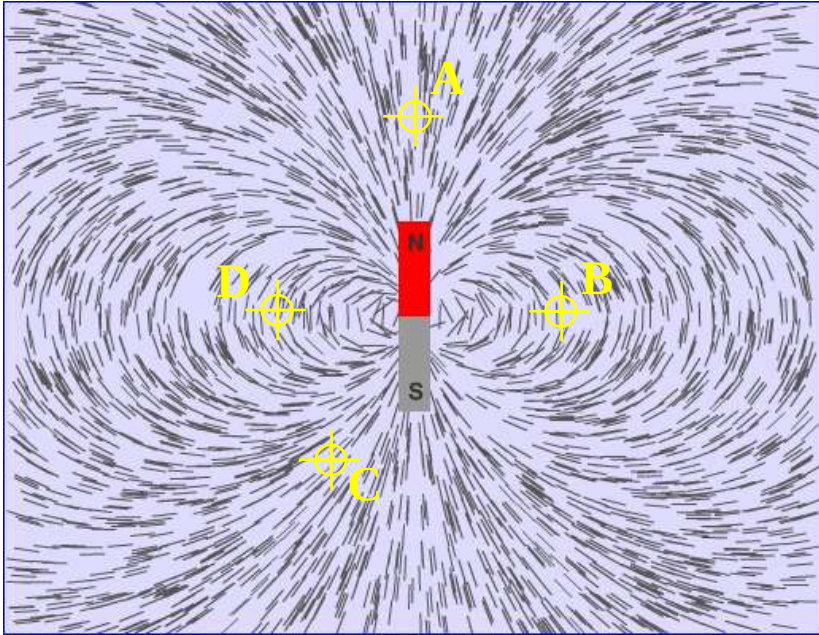


Figure 2

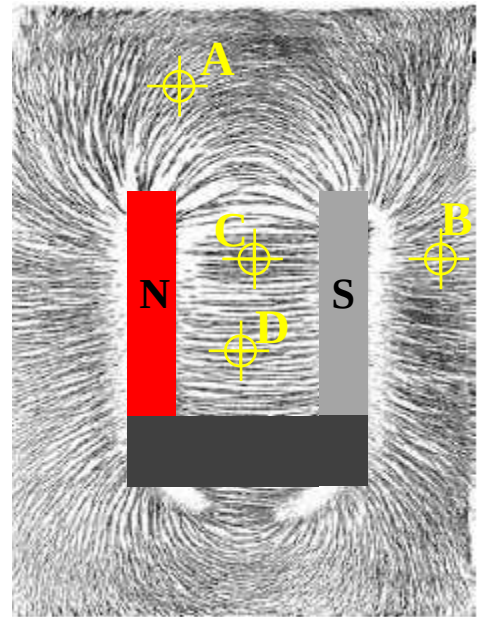


Figure 3

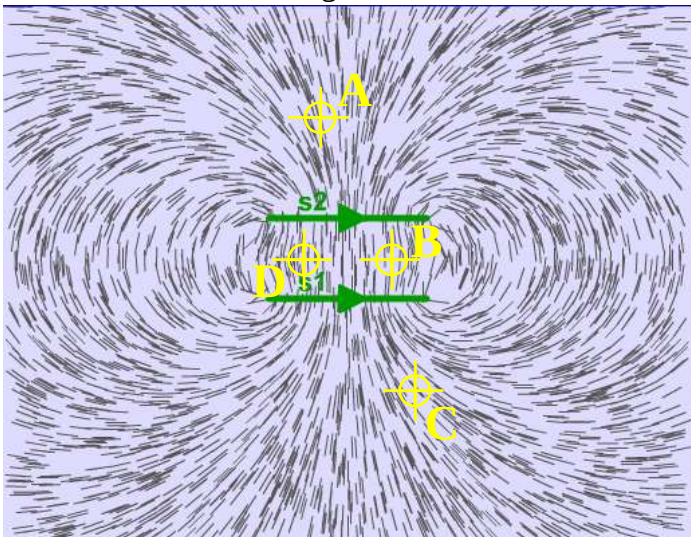


Figure 4

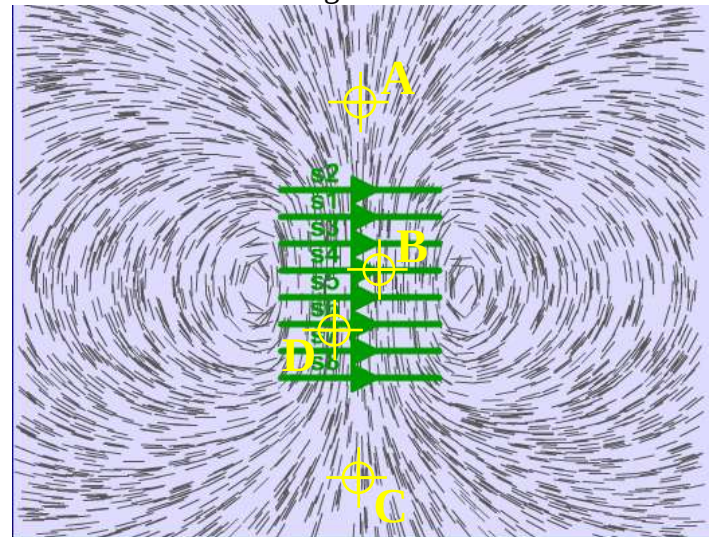


Figure 5

