



MAGNÉTISME & DÉVELOPPEMENT DURABLE

Dossier pédagogique




**ACADÉMIE
DE VERSAILLES**
*Liberté
Égalité
Fraternité*


SOLEIL
SYNCHROTRON

Action soutenue par :  **Région
Île de France**



MAGNÉTISME

& DÉVELOPPEMENT DURABLE

Cycle 1-2

Activité 1



Situation problème :

Quels matériaux les aimants attirent-ils ?



Objectif :

Comprendre qu'un aimant attire les objets en fer. Comprendre que l'attraction se passe à distance.



Lieu :

En classe et dans la cour de récréation.



Matériel :

1 grand aimant droit par groupe, 1 petit aimant droit par groupe, « copeaux » métalliques colorés, un bloc de magnétite, objets métalliques et non métalliques (à prendre dans l'école).



Approche possible (manipulations, expériences) :

Laisser les élèves formuler leurs hypothèses avant de leur donner le matériel. Laisser les élèves tester différents matériaux, métalliques ou non métalliques.

Distribuer des trombones ou des copeaux colorés.

Puis les élèves éloignent de plus en plus les trombones : même si le trombone ne touche pas l'aimant, il est attiré par l'aimant. Mais l'effet est de moins en moins fort au fur et à mesure de l'éloignement.

Faire ainsi la différence entre « coller » et « attirer ».

Remarque : une mise en situation très concrète peut être proposée (Où peut-on fixer une feuille avec un aimant ? Quels objets une canne à pêche magnétique peut-elle attirer ?...)

Remarque : à ce stade des expériences, la conclusion peut être « seuls les objets métalliques peuvent être attirés par un aimant ». La distinction entre les différents métaux est faite à l'expérience 2.



Notion scientifique (pour le professeur) :

Les deux côtés de l'aimant attirent le fer. On peut également mettre en évidence que les trombones accrochés à l'aimant attirent eux-mêmes d'autres trombones, ce qui permet de faire des chaînes.

Comme tout atome, les atomes de l'aimant sont entourés d'électrons, c'est-à-dire de petites particules chargées, qui tournent autour du noyau. Toute particule chargée crée un champ magnétique. Cela signifie que chaque électron en mouvement est équivalent à un petit aimant ou une petite boussole. Dans un aimant, tous ces petits aimants microscopiques (qu'on appelle moments magnétiques) se mettent dans le même sens, et tous les moments magnétiques s'additionnent.

Les moments magnétiques dans les trombones sont orientés dans tous les sens et donc s'annulent. Les trombones ne sont pas des aimants.

Mais lorsque l'aimant s'approche, les moments magnétiques s'orientent tous dans le même sens que ceux de l'aimant car ils sont attirés par l'aimant (on représente souvent ces petits moments magnétiques comme des petites boussoles qui s'orientent suivant le champ magnétique de l'aimant). Les trombones se comportent alors aussi comme des aimants qui attirent les autres trombones : on parle d'aimantation induite.



Trombone loin de l'aimant



Trombone approché de l'aimant



MAGNÉTISME

& DÉVELOPPEMENT DURABLE



Situation problème :

Tous les métaux sont-ils attirés par les aimants ?



Objectif :

Comprendre que les métaux ont des comportements différents vis-à-vis d'un aimant.



Lieu :

En classe.



Matériel :

Aimants, plaques de différents métaux (fer, aluminium, cuivre, zinc) et objets divers en métal (à trouver dans la classe) ou en d'autres matériaux, barre en nickel.



Approche possible (manipulations, expériences) :

Les élèves testent le comportement des divers métaux et les classent : certains sont attirés, d'autres non.



Notion scientifique (pour le professeur) :

Tous les métaux ne sont pas attirés par un aimant.

Seuls certains métaux comme le fer (et les aciers en général car ils contiennent du fer), le cobalt, et le nickel sont attirés par un aimant. On les appelle **métaux ferromagnétiques**.

L'explication se trouve dans le comportement des atomes :

- Dans certains matériaux, les moments magnétiques (voir fiche 1) des atomes sont bloqués et ne s'ordonnent pas ou peu sous l'effet du champ magnétique d'un aimant. C'est le cas de l'aluminium et du zinc. Ces matériaux ne sont pas attirés par un aimant et sont appelés matériaux paramagnétiques.
- Dans certains matériaux, les moments magnétiques s'alignent dans le sens du champ magnétique de l'aimant. Ces matériaux sont attirés par les aimants. C'est le cas du fer (et des aciers en général), du cobalt et du nickel. Ils sont appelés matériaux ferromagnétiques.
- Il existe des matériaux dans lequel les moments magnétiques s'alignent en s'opposant au champ magnétique de l'aimant. Ces matériaux sont repoussés par les aimants et sont appelés matériaux diamagnétiques. C'est en fait le cas du cuivre et de l'eau, mais l'effet est trop faible pour que la plaque de cuivre ou un filet d'eau soient vraiment repoussés par l'aimant.



MAGNÉTISME

& DÉVELOPPEMENT DURABLE



Situation problème :

La forme d'un aimant influe-t-elle sur sa puissance ?



Objectif :

Comprendre qu'il existe des aimants de toutes les formes. Comprendre que des petits aimants peuvent être très puissants.



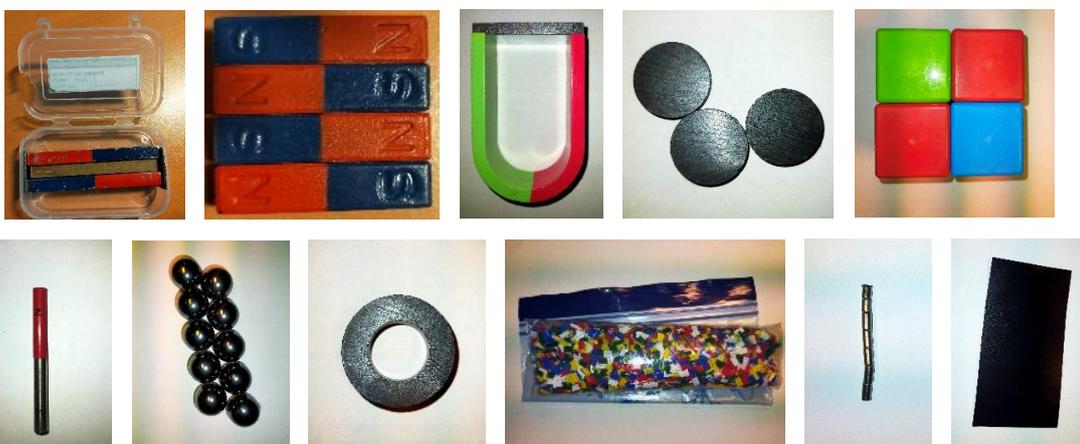
Lieu :

En classe.



Matériel :

Aimants de différentes tailles et de différentes formes (aimants en U, aimants boutons, aimants cylindre alnico, billes magnétiques, cubes de jeu, aimants anneaux, petits aimants cylindriques en néodyme...), trombones (à prendre dans la classe) ou copeaux métalliques.



Approche possible (manipulations, expériences) :

Proposer plusieurs aimants aux élèves et leur faire prévoir quels aimants sont forts et quels aimants le sont moins (beaucoup pensent gros aimant = aimant fort)

Laisser les élèves manipuler les aimants et les trombones (ou les copeaux métalliques) pour qu'ils constatent qu'il existe des aimants de toutes formes.

Présenter aux élèves des aimants de différentes tailles (aimant droit, et petit aimant cylindrique en néodyme par exemple) et leur demander de faire des hypothèses sur la force de chacun.

Avec chaque aimant, essayer d'attirer les copeaux, puis les trombones, puis les billes métalliques. Compter le nombre de trombones/de billes attirées.

Conclure sur la force de chaque aimant et comparer aux hypothèses.



Notion scientifique (pour le professeur) :

La force d'un aimant dépend en premier du matériau qui le constitue : les aimants en ferrite sont moins puissants que les aimants en ticonal. Les aimants en néodymes sont encore plus puissants.

Pour un même matériau, des aimants plus gros sont plus puissants.



MAGNÉTISME

& DÉVELOPPEMENT DURABLE

Cycle 1-2

Activité 4



Situation problème :

Les deux côtés de l'aimant sont-ils identiques ?



Objectif :

Découvrir les aimants.



Lieu :

En classe.



Matériel :

2 petits aimants droits par groupe sur lequel les pôles sont indiqués, et plusieurs formes d'aimants, une boussole. **Attention, ne pas prendre les cubes de jeu car l'aimant à l'intérieur du cube pivote.**



Approche possible (manipulations, expériences) :

Distribuer dans un premier temps les petits aimants droits avec les pôles repérés et une boussole. Laisser les élèves manipuler en leur donnant la consigne de vérifier si les deux côtés de l'aimant se comportent de la même façon.

Constater que :

- Un côté de l'aimant attire l'aiguille rouge de la boussole. Lorsqu'on retourne l'aimant, l'aiguille pivote et c'est le côté blanc de la boussole qui est attiré.
- Deux pôles nord se repoussent.
- Deux pôles sud se repoussent.
- Un pôle nord et un pôle sud s'attirent.

Introduire le vocabulaire pôle nord et pôle sud (pourquoi cette dénomination : voir la fiche sur la boussole et le champ magnétique terrestre). Repérer ainsi les pôles nord et sud de la

boussole et vérifier avec l'indication au dos (attention, au contact ou à proximité des aimants de la malle, les boussoles peuvent parfois inverser les pôles. A VERIFIER AVANT L'EXPERIENCE EN CLASSE).

Distribuer les autres aimants en donnant la consigne de repérer où est le pôle nord et où est le pôle sud de chaque aimant.

Laisser les élèves manipuler les aimants à leur guise et formuler leurs observations.

Repérer le pôle nord et le pôle sud de chaque aimant en regardant en se servant de la boussole (ou d'un aimant dont les pôles sont déjà repérés)

Remarque : il y a quelques aimants cassés dans la malle. Les élèves peuvent constater que même cassé, chaque morceau a un pôle nord et un pôle sud.



Notion scientifique (pour le professeur) :

Les aimants sont des dipôles : ils ont deux côtés qui ne se comportent pas de façon identique. Au XII^{ème} siècle, Pierre Pèlerin de Maricourt essaya en vain d'isoler un monopôle (un aimant qui n'a qu'un seul pôle, soit un pôle nord attirant les pôles sud sur tous ses côtés, soit un pôle sud) en coupant en deux un aimant et en coupant ensuite les morceaux restants. Chaque morceau avait un pôle nord et un pôle sud. Ce comportement ne sera compris qu'au début du XX^{ème} siècle : l'électron lui-même est un dipôle.

Attention, l'aiguille rouge de la boussole indique le nord géographique, mais bien le pôle sud d'un aimant. Le pôle nord géographique de la Terre correspond grosso modo au pôle sud magnétique.



MAGNÉTISME

& DÉVELOPPEMENT DURABLE

Cycle 1-2

Activité 5

**Situation problème :**

L'effet d'un aimant peut-il être perçu à travers les matériaux ?

**Objectif :**

Effet d'épaisseur/de matériau

**Lieu :**

En classe.

**Matériel :**

aimant droit, trombone en acier (à prendre dans la classe), plaque ou règle métalliques (en aluminium ou en cuivre, pas de métal contenant du fer), carton, papier, plastique etc.

**Approche possible (manipulations, expériences) :**

Tenir à l'horizontal le support à tester.

Placer au-dessus un trombone.

Déplacer l'aimant sous le support et observer le mouvement ou l'absence de mouvement du trombone.

Empiler plusieurs épaisseurs du même support (feuilles de papier, carton, plaque métallique)

**Notion scientifique (pour le professeur) :**

L'aimant agit à distance. L'effet diminue lorsque la distance augmente.



MAGNÉTISME

& DÉVELOPPEMENT DURABLE

Cycle 3

Activité 6



Situation problème :

De quoi est composé
une boussole ?



Objectif :

Comprendre un objet
technologique : la boussole



Lieu :

En classe.



Matériel :

Un aimant droit, une aiguille sur pivot, une boussole, copeau de fer coloré.



Approche possible (manipulations, expériences) :

Montrer la boussole aux élèves, les laisser formuler des hypothèses. Après seulement, sortir l'aimant.

Approcher un pôle nord de l'aimant, de la boussole : l'un des côtés de l'aiguille de la boussole s'oriente vers l'aimant.

Approcher l'autre pôle de l'aimant, c'est maintenant l'autre côté de l'aiguille de la boussole qui s'oriente vers l'aimant.

Faire de même avec l'aiguille sur pivot.

Approcher l'aiguille sur pivot d'un copeau de fer et vérifier que les deux côtés attirent le copeau.

Conclure que l'aiguille d'une boussole est constituée d'un petit aimant.

Attention, pour vérifier que l'aiguille de la boussole est bien un petit aimant (et non une tige de fer), il faut approcher successivement les deux pôles de l'aimant droit et vérifier que le côté attiré n'est pas le même (la boussole se retourne).



Notion scientifique (pour le professeur) :

Une boussole est constituée d'une petite aiguille aimantée pouvant tourner autour d'un axe.



MAGNÉTISME

& DÉVELOPPEMENT DURABLE



Situation problème :

Comment réaliser une boussole artisanale ?



Objectif :

Recherche documentaire, réalisation d'un objet technologique, vérification de son fonctionnement. Comprendre qu'un matériau peut devenir aimanté.



Lieu :

En classe.



Matériel :

Un récipient dans lequel on peut mettre de l'eau, aiguille à bout rond, aimant, liège ou polystyrène et de tout autre matériel permettant la réalisation de la boussole (en fonction des indications des élèves eux-mêmes).



Approche possible (manipulations, expériences) :

- Recherche documentaire possible à la maison sur Internet ou en classe si vous disposez d'une salle informatique équipée.
- Réalisation
Frotter l'aiguille contre un aimant (attention, il faut un temps suffisant et que tous les côtés de l'aiguille soient en contact avec l'aimant)
(Vérifier qu'elle est maintenant aimantée en l'approchant de petits copeaux de fer)
Remplir le récipient d'eau et déposer dessus le support flottant (exemple : bouchon en liège coupé).
Déposer l'aiguille aimantée sur le support.
- Vérification du fonctionnement :
 - L'aiguille s'oriente dans une direction privilégiée
 - Si on approche un aimant et qu'on le déplace autour de la boussole, l'aiguille « suit » le déplacement de l'aimant.



Notion scientifique (pour le professeur) :

Lorsqu'on met un matériau ferromagnétique (fer, nickel...) à proximité d'un aimant, les moments magnétiques des atomes s'orientent tous dans un même sens, ce qui rend le matériau lui-même magnétique.

Pour certains matériaux, appelés matériau ferromagnétiques durs, cette aimantation est lente mais persiste un certain temps, même en l'absence de l'aimant, car les moments dipôlares sont lents à revenir à leur position initiale. C'est le cas de l'acier.

Pour certains matériaux, les matériaux ferromagnétiques doux, l'aimantation est très rapide, mais disparaît rapidement. C'est le cas du fer pur.

MAGNÉTISME

& DÉVELOPPEMENT DURABLE

Cycle 3

Activité 7



Situation problème :

Pourquoi l'aiguille de la boussole indique-t-elle toujours la direction du nord ? (à condition de bien éloigner d'elle les aimants)



Objectif :

Comprendre que la Terre se comporte comme un grand aimant.



Lieu :

En classe.



Matériel :

Boule en polystyrène dans lequel on insère un petit aimant droit côté bleu (pôle sud) vers le haut, petite boussole, aimant droit, plaque pour visualiser le champ magnétique.



Approche possible (manipulations, expériences) :

Déplacer la petite boussole autour de la boule en polystyrène.

Observation des élèves : Le pôle nord de la boussole pointe vers le pôle sud magnétique de la Terre situé dans l'hémisphère nord géographique.

Retirer l'aimant de la boule et le poser sur la plaque. Visualiser l'alignement des petites aiguilles qui forment des lignes. Ce sont autant de petites boussoles qui s'orientent toutes vers les pôles.

Remarque : si on pose des aimants de forme différentes sur la plaque (en particulier les aimants en U, on observe un arrangement différent des lignes)

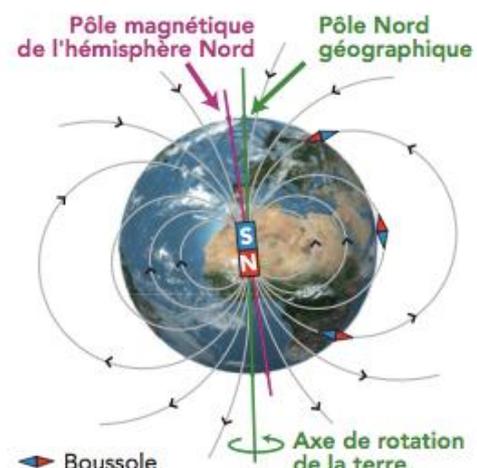
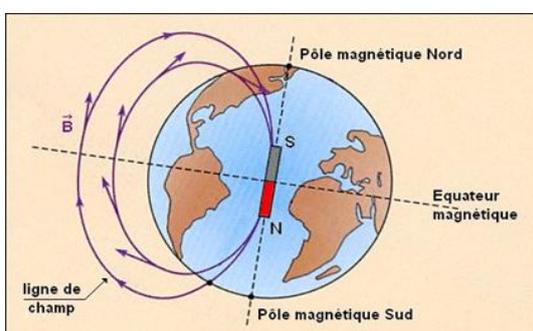


Notion scientifique (pour le professeur) :

Le champ magnétique terrestre ressemble à celui d'un aimant droit placé au centre de la Terre et dont la direction serait sensiblement celle de l'axe des pôles.

Mais attention le pôle magnétique situé dans l'hémisphère Nord de la Terre correspond au pôle sud de l'aimant droit qui serait placé en son centre.

À quelques degrés près, le pôle nord géographique correspond au pôle magnétique de l'hémisphère Nord.





MAGNÉTISME

& DÉVELOPPEMENT DURABLE

Cycle 3

Activité 8



Situation problème :

Observation d'une maquette d'éolienne. Comment produire de l'électricité à partir d'aimants ?



Objectif :

Comprendre que le mouvement d'un aimant peut générer de l'électricité (principe de l'éolienne).



Lieu :

En classe.



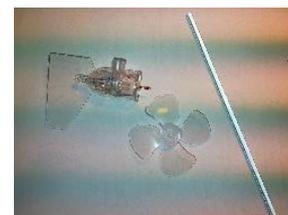
Attention : Aimant très fort ! Tous les objets métalliques peuvent être attirés et s'y coller ! RISQUE DE PINCEMENTS ET DE BLESSURES. SUIVANT L'AGE DES ENFANTS ET LEUR AUTONOMIE, IL PEUT ETRE NECESSAIRE QUE SEUL L'ENSEIGNANT FASSE CETTE MANIPULATION

Aimant fragile : ils sont recouverts d'une pellicule protectrice contre la corrosion. Un choc peut endommager cette pellicule et produire une corrosion (rouille) du fer à l'intérieur de l'aimant



Matériel :

LED rouge, aimant disque en néodyme, bobine de cuivre (enroulement de fil de cuivre), deux pinces croco dont il faut enlever un des manchons, maquette d'éolienne (deux exemplaires pour la classe)



Approche possible (manipulations, expériences) :

Les élèves soufflent sur l'éolienne. Ils observent qu'une tige tourne entre des enroulements de fils de cuivre (bobine). La tige entraînée par les pales, entraîne elle-même un aimant « caché » entre les bobines.

- Accrocher une pince croco à chacune des pattes de la LED.
- Relier la bobine à la LED.
- Déplacer rapidement l'aimant au-dessus de la bobine, taper le centre de la bobine avec l'aimant (prendre la bobine dans la main et taper, par des mouvements rapides, l'aimant au centre de la bobine, au creux de la main). Attention, les pinces crocos ne doivent pas se toucher, de même que les deux brins de cuivre car, dans ce cas, il y a un court-circuit et la LED ne s'allume pas (court-circuit sans danger aucun)

L'aimant doit être très proche, voire frôler, la bobine. Les élèves peuvent déterminer eux-mêmes les conditions d'apparition de l'électricité (vitesse de déplacement, distance).



Notion scientifique (pour le professeur) :

- **Explication pour l'enseignant :** Les électrons qui se trouvent dans le cuivre sont sensibles au champ magnétique. L'aimant a la capacité de faire bouger les électrons qui se trouvent dans le cuivre. Cela crée un déplacement des électrons dans le fil de cuivre : c'est de l'électricité.
- **Explication pour les élèves :** Un aimant qui bouge devant une bobine, ou une bobine qui bouge devant un aimant crée de l'électricité dans la bobine. C'est le principe de fonctionnement des éoliennes.



MAGNÉTISME

& DÉVELOPPEMENT DURABLE



Situation problème :

Comment fabriquer un aimant avec de l'électricité ?



Objectif :

Comprendre qu'un courant électrique qui traverse une bobine rend cette bobine magnétique (principe de l'électroaimant).



Lieu :

En classe.



Matériel :

1 pile ronde 1,5 V (AA), support 1 pile, 2 fil électrique avec pince croco, électroaimant, copeaux colorés.



Approche possible (manipulations, expériences) :

- Placer la pile dans son support
- Relier le support à l'électroaimant à l'aide de deux fils électriques
- Approcher la bobine des copeaux métalliques. La bobine attire les copeaux.
- Lorsqu'on débranche la bobine, les copeaux retombent



Attention : ne pas laisser la pile trop longtemps branchée (uniquement le temps de l'expérience, quelques dizaines de secondes) car le montage est fait en court-circuit, donc la pile se décharge très vite.

Bien recharger la pile après usage



Notion scientifique (pour le professeur) :

Les électrons qui se déplacent dans la bobine créent un champ magnétique qui est concentré par la pièce en fer pur située au centre de l'électroaimant (on voit les vis dépasser). La bobine se comporte alors comme un aimant qui attire le fer. L'effet s'arrête dès que le courant ne traverse plus la bobine.



MAGNÉTISME

& DÉVELOPPEMENT DURABLE

Cycle 3 **Activité 10**

Situation problème :

Comment fonctionnent les moteurs électriques ?



Objectif :

Comprendre qu'un aimant et un circuit électrique peuvent générer un mouvement.



Lieu :

En classe.



Matériel :

Support en bois et enroulement de fil de cuivre (bobine), enroulement de fil de cuivre rigide (bobine), un aimant cylindre en néodyme, 3 piles, un support 3 piles, câble avec pinces crocos pour support.



Approche possible (manipulations, expériences) :

- Poser la bobine sur les deux pattes de cuivre
- Disposer 3 piles dans le support à piles en faisant attention au sens dans lequel on met la pile
- Brancher le câble avec les pinces crocos et relier les pinces crocos aux pattes métalliques du support en bois
- Poser la bobine sur les pattes métalliques
- Approcher un aimant de la bobine, une des faces rondes devant être dirigée vers la bobine. Attention, il faut trouver le bon angle pour que l'ensemble fonctionne
- Donner une petite impulsion pour faire tourner la bobine. La bobine continue de tourner. (si la bobine s'arrête, donner l'impulsion dans l'autre sens).



Notion scientifique (pour le professeur) :

Les extrémités de la bobine ne sont dénudées que sur une petite partie du fil de cuivre, pas sur le tour entier. Lorsque c'est la partie dénudée qui est en contact avec les pattes du support, le courant passe dans la bobine, sinon le courant ne passe pas.

Les fils de cuivres sont parcourus par un courant électrique. L'aimant crée un champ magnétique. Un matériau conducteur parcouru par un courant électrique (ou plus exactement les charges qui parcourent ce matériaux) et placé à proximité d'un aimant ou dans un champ magnétique, subit une force qui est appelée force de Laplace. Cette force fait tourner la bobine. Cette force existe tant que le courant passe dans la bobine, c'est-à-dire tant que c'est la partie dénudée qui est en contact avec les pattes métalliques.

Lorsque c'est la partie non dénudée qui arrive en

contact, le courant ne passe plus, il n'y a plus de force de Laplace mais l'inertie continue d'entraîner la bobine jusqu'à ce que le contact soit de nouveau rétabli.

Remarque 1 : Si le courant passait en permanence, la bobine se comporterait comme un aimant, un électroaimant (voir activité n° 9) et elle serait simplement attirée par l'aimant, ce qui arrêterait le mouvement.

Remarque 2 : Pour les élèves, il est trop compliqué d'entrer dans le détail des deux phases du mouvement. Il suffit de dire que lorsque le courant passe, une force magnétique est créée sur la bobine. Cette force disparaît lorsque on arrête le courant.

Remarque 3 : On peut définir de façon très simplifiée un champ comme une zone d'influence de l'aimant.



MAGNÉTISME & DÉVELOPPEMENT DURABLE

Thème

Le mot magnétisme est chargé de mystères. Ses synonymes sont nombreux : aimantation, envoûtement, fascination, influence...

Il faut dire que les phénomènes magnétiques sont connus depuis trois mille ans et les matériaux magnétiques omniprésents dans notre environnement. Un grand nombre de légendes relatent la découverte de l'aimant, qui date certainement de l'âge du fer.

Aujourd'hui, les aimants sont partout, bien que souvent cachés : dans les éoliennes et les turbines des centrales hydroélectriques, dans les électroaimants des centres de tri des déchets, dans les moteurs électriques pour ne citer que le domaine de l'environnement.

1 PETITE HISTOIRE DU MAGNÉTISME

1.1 Comment cela a-t-il commencé ?



Les premiers objets magnétiques recensés sont des perles de fer d'origine météoritique, datant du quatrième millénaire avant JC,

trouvées dans des tombes sumériennes et égyptiennes.

Il y a plus de 2500 ans, Thalès de Millet savait déjà que la magnétite, ou pierre d'aimant, attire le fer.

L'une des légendes les plus communes est rapportée par Plin l'Ancien : un vieux berger nommé Magnès faisait paître ses moutons dans une région au nord de la Grèce, et on dit que les clous de ses souliers et la pointe en métal de sa houlette se collèrent à un gros rocher noir sur

lequel il se tenait debout. C'était la pierre d'aimant, la magnétite, un oxyde de fer, de formule chimique Fe_3O_4 , que nous utilisons toujours, et il lui aurait donné son nom...

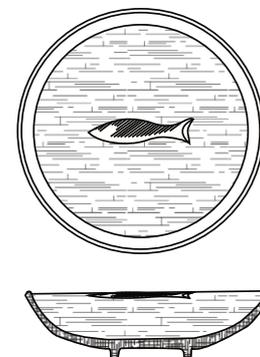
Pendant longtemps, on a pensé que la magnétite possédait des pouvoirs magiques, comme la capacité de guérir les malades ou de chasser les mauvais esprits.

Les Chinois se sont tout de suite rendu compte que la magnétite attirait les objets de fer, et que, présentée sous la forme d'une aiguille, elle pointait toujours dans une direction fixe. La première boussole chinoise connue, décrite dans un livre de 1044, est constituée d'une feuille de fer aimantée en forme de poisson placée dans un récipient d'eau.

Les premières boussoles



Photo Michel Houdart :
Boussole chinoise Si
Nan du II^e siècle av.
JC. (époque Han)

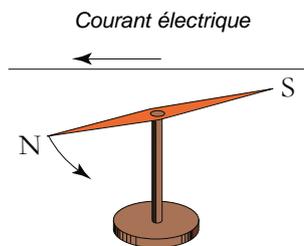


Les premières boussoles (photo ci-dessus) étaient appelées Si Nan, du nom du gouverneur du Sud, car la cuillère pointait vers le sud. Elles seront remplacées plus tard par une aiguille pivotant sur son axe : le Shen Kuo, compas marin mis au point pendant la dynastie des Song. Les 24 graduations du Si Nan ou du Shen Kuo sont toujours utilisées de nos jours sur les compas des navires de pêche chinois.

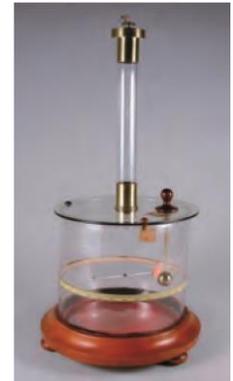
Les Arabes apprirent des Chinois à se servir de la boussole, et la révélèrent aux Européens au XIII^e siècle. En Europe, le premier livre sérieux sur le magnétisme « De Magnete » est publié par Pierre Pèlerin de Maricourt en 1269.

1.2 La période moderne

Concernant le magnétisme, la période scientifique commence à partir du XVIII^e avec **Charles-Augustin Coulomb**. En utilisant une balance de torsion, il établit la loi de variation de la force magnétique en fonction de la distance (1785).



Mais la première expérience décisive est faite en avril 1820 par le physicien danois **Hans Christian Oersted**. Il montre qu'un fil parcouru par un courant électrique produit un champ magnétique : « Une boussole placée à proximité de ce fil est déviée quand le fil est parcouru par un courant électrique. *L'interaction d'un matériau magnétique avec un courant électrique produit du mouvement* : cette découverte est à l'origine de tous les moteurs électriques.



Le champ magnétique est donc produit aussi bien par un aimant que par un circuit parcouru par un courant électrique.

Par la suite, d'autres découvertes fondamentales permirent au magnétisme de se développer :

- La matière contient des particules chargées (Ampère) ;
- La lumière contient un champ magnétique, la lumière est une onde électromagnétique (Maxwell et Hertz) ;
- Les charges électriques sont à l'origine du champ électrique ;
- Il n'existe pas de charge magnétique ponctuelle (ou de monopôle magnétique) ;
- Un champ magnétique variable crée un champ électrique (phénomène d'induction) ;
- Un courant électrique crée un champ magnétique.

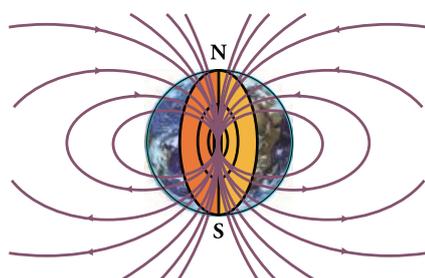
1.3 Le modèle théorique

La fin du 19^e siècle et le début du 20^e siècle marquent un tournant majeur dans la physique, en particulier dans le domaine de l'électromagnétisme. En effet, les découvertes de l'électron et de la mécanique quantique permettent d'expliquer les propriétés magnétiques des matériaux.

En effet, les atomes sont formés d'un noyau et d'électrons qui gravitent autour. C'est le mouvement des électrons, une particule chargée négativement, qui crée le champ magnétique des atomes : chaque électron se comporte comme un petit aimant.

2 LE MAGNÉTISME DE LA TERRE

2.1 Magnétisme terrestre et orientation – boussole – déclinaison magnétique



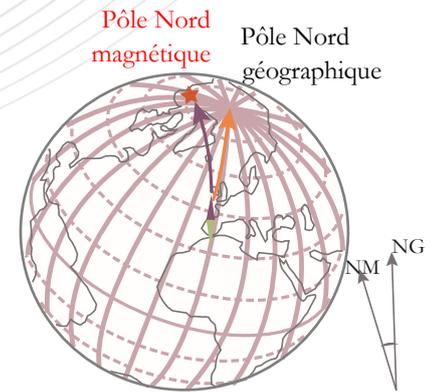
A l'image d'un barreau aimanté, la Terre présente deux pôles magnétiques de polarité opposée. C'est cette propriété qui fait que, depuis que les Chinois l'ont inventée, la boussole s'avère très utile pour les marins... et pour tous les voyageurs qui s'écartent des sentiers balisés et qui doivent calculer leur cap. En prenant une boussole en main, chacun a déjà remarqué que l'aiguille aimantée s'oriente dans une direction bien précise. Cette direction est appelée le pôle Nord. Il s'agit en fait du pôle Sud de l'aimant équivalent à la Terre.

En réalité, les pôles magnétiques de la Terre sont un peu décalés par rapports aux pôles géographiques.

Le champ magnétique terrestre évolue dans le temps. Depuis 400 ans, la valeur de la déclinaison (c'est-à-dire l'angle entre les pôles géographique et magnétique) a diminué ; les pôles magnétique et géographique se rapprochent.

Aujourd'hui l'usage de la boussole est dépassé par celui du GPS (Global Positioning System), système de positionnement par satellite.

Remarque : le terme « pôle nord magnétique terrestre » désigne bien un point de la surface de la terre situé dans l'hémisphère nord et proche du pôle nord géographique, mais correspond donc au pôle sud de l'aimant constitué par la Terre.



La déclinaison magnétique

Qu'est ce qu'un champ magnétique

Lorsqu'on approche un objet en fer d'un aimant, l'objet est attiré par l'aimant. Il se crée une interaction entre l'objet et l'aimant. L'intensité de l'interaction dépend de la distance entre l'objet et l'aimant. On dit qu'il règne un champ magnétique au voisinage de l'aimant.

De plus, si on introduit une aiguille aimantée dans ce champ, elle va se positionner dans un sens bien défini : On peut donc attribuer un sens et une orientation à ce champ.

On représente ainsi un champ magnétique en un point de l'espace, par une flèche : l'orientation et le sens de la flèche indique l'orientation et le sens du champ tandis que la taille de la flèche indique l'intensité du champ. Cette flèche est appelée vecteur champ magnétique et noté \vec{B} .

La limaille de fer est constituée de petits copeaux de fer qui s'aimantent à proximité d'un aimant et vont s'orienter comme le ferait plein de petites boussoles. On voit alors se dessiner des lignes parallèles au champ magnétique : ce sont les lignes de champ magnétique.

On oriente également ces lignes dans le sens du champ magnétique. Elles sont concentrées là où la force magnétique est forte et sont espacées là où elle est faible. Les dessins montrent souvent le champ dans un plan (comme ci-contre) ; en réalité, il se trouve dans l'espace à trois dimensions.

Le champ sort donc du pôle nord, décrit une ligne de champ (en tout point tangente au vecteur) et entre par le pôle sud.



Mise en évidence des lignes de champ par de la limaille de fer

2.2 L'évolution du champ magnétique sur les temps géologiques

Selon les études de John Tarduno de l'Université de Rochester (États-Unis), la Terre possédait déjà un champ magnétique il y a 3,45 milliards d'années. Cependant il n'est pas constant : des inversions de pôles se produisent régulièrement.

Enregistrer le champ magnétique



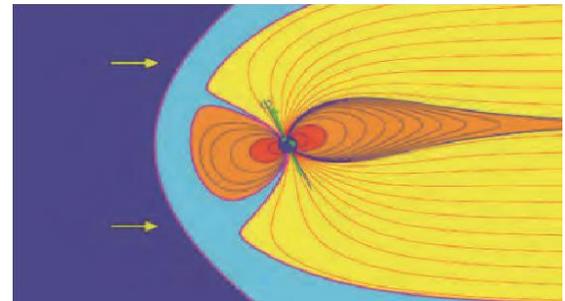
Au moment de la solidification d'une roche les petits grains de roche magnétiques s'orientent en fonction du champ magnétique terrestre et conservent cette orientation une fois refroidis (rémanence thermomagnétique). Mesurer le champ magnétique de ces roches permet de connaître l'orientation du champ magnétique terrestre qui régnait au moment de l'éruption.

Des inversions, c'est-à-dire l'échange des pôles magnétiques nord et sud, se produisent à intervalles irréguliers, de l'ordre du million d'années ; on connaît assez bien les inversions des 160 derniers millions d'années grâce à des datations par radio-chronologie des minéraux magnétiques, relevés en particulier dans les basaltes des fonds océaniques (voir encadrés).

2.3 La magnétosphère - les aurores polaires

Le vent solaire est un flux de particules éjectées de la haute atmosphère du Soleil. Les particules sont essentiellement des protons - c'est-à-dire des noyaux d'hydrogène - (85%), des noyaux d'hélium (12,5%), des électrons (1,5%) et des noyaux plus lourds (1%) allant jusqu'au fer.

Le vent solaire qui arrive vers la Terre est dévié par le champ magnétique terrestre. Cela forme une magnétosphère bien caractéristique (un peu comme un obstacle dévie le courant d'une rivière).



Représentation du champ magnétique terrestre, d'après le modèle de Tsuganenko

Jusqu'à des altitudes d'environ 10 fois le rayon terrestre (c'est-à-dire jusqu'à 65 000 km de la surface de la Terre), les lignes de champ enveloppent la Terre d'un pôle à l'autre. Mais le vent solaire exerce une telle pression sur le champ magnétique, qu'il génère du côté opposé au Soleil, une queue magnétosphérique qui s'étire jusqu'à plusieurs milliers de rayons terrestres.

Le vent solaire n'est qu'une composante du flot de particules qui sillonne l'espace de notre galaxie dans toutes les directions, et qu'on appelle le rayonnement cosmique. La Terre, comme les autres planètes, est exposée à ce rayonnement. Mais les lignes de champ de sa magnétosphère dévient les particules. Néanmoins, les pôles sont moins protégés et quelques particules rentrent dans l'atmosphère. Elles interagissent avec les molécules de la haute atmosphère pour induire les phénomènes d'aurores polaires, à plus de 80 km d'altitude.

La Terre, planète protégée

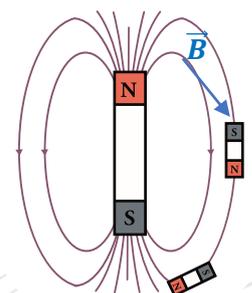
La magnétosphère forme un « bouclier magnétique » qui protège la Terre des rayons cosmiques, nocifs pour la vie. Et qu'en est-il des astronautes ? Les stations qui tournent en orbite à 400 km d'altitude sont encore sous le parapluie de la magnétosphère. Vingt-quatre hommes seulement se sont éloignés de la Terre à plus de 1000 km, en franchissant le bouclier magnétique... ce sont les astronautes des missions lunaires du programme Apollo entre 1968 et 1972. Située à 380 000 km, la Lune ne possède ni atmosphère, ni magnétosphère. Sans protection, elle est donc exposée au vent des particules. L'exposition aux rayons cosmiques y est 5000 fois supérieure à celle observée sur Terre, mais les douze hommes qui ont marché sur la Lune n'ont subi aucun dommage car ils ne sont restés que trois jours au plus.

D'autres planètes comme Mercure, Jupiter, Saturne, Uranus ou Neptune ont aussi leur magnétosphère.

3 LA PHYSIQUE DU MAGNETISME

3.1 Les dipôles, les circuits électriques et...la Terre

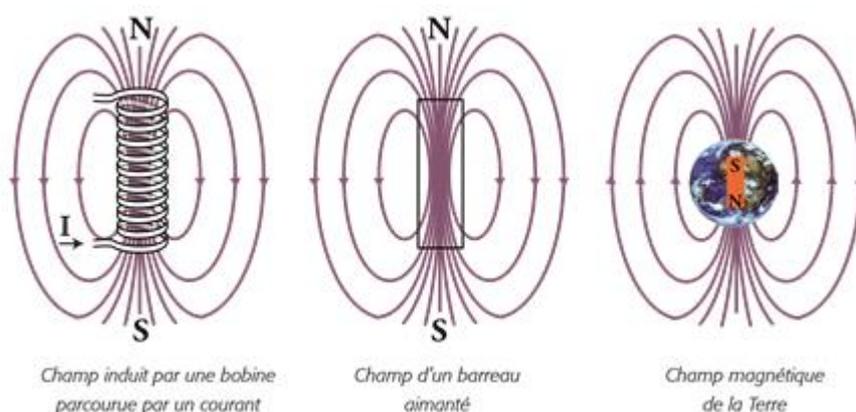
Un aimant est un objet qui produit un champ magnétique. Ce champ exerce (ou induit) une force magnétique sur toutes les particules chargées en mouvement (et principalement les électrons dans la matière). Un aimant a deux pôles où la force magnétique est la plus forte, le pôle nord et le pôle sud. L'aimant le plus simple est l'aimant droit, souvent appelé « dipôle ».



Au XIII^e siècle, Pierre Pèlerin de Maricourt essaya en vain d'isoler un monopôle (un aimant à un seul pôle), en coupant en deux une tige aimantée, puis en recoupant en deux l'un des morceaux restants : deux pôles différents apparaissaient à chaque fois. Ce comportement ne sera compris qu'au début du XX^e siècle : l'électron lui-même est un aimant !

Il n'existe pas de « charge magnétique élémentaire » : tout ce que l'on peut dire c'est que le phénomène élémentaire est dû à une charge électrique en mouvement.

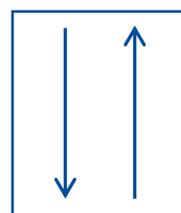
Le champ créé par un aimant droit est bien connu. La Terre, possède un champ magnétique. Ce champ est dû aux mouvements ayant lieu à l'intérieur de son noyau ferreux. Le pôle Sud de l'aimant ainsi créé serait placé très proche du pôle nord géographique.



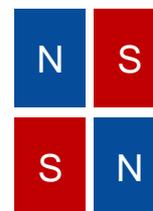
3.2 A l'échelle atomique : le moment magnétique des atomes

Un atome possède plusieurs électrons, chargés négativement, qui circulent autour d'un noyau central chargé positivement. On appelle « moment magnétique », le petit aimant créé par la particule en mouvement.

Les électrons ont tendance à s'apparier, c'est-à-dire à évoluer par deux. Ils s'associent en plaçant leur moment magnétique en tête bêche :



Electrons appariés



Aimants posés côte à côte : les pôles se placent en opposition

Un atome possède plusieurs électrons. Leurs moments magnétiques se placent alors en sens opposés deux à deux et s'annulent sauf lorsqu'il y a un nombre impair d'électrons, ou lorsque la répartition des électrons autour de l'atome ne permet pas cet appariement.

A l'état d'atome individuel, une majorité des atomes (79 sur 103 dans le tableau de Mendeleïev) sont porteurs d'un moment magnétique. Mais lorsque les atomes font partie d'un composé chimique, les atomes se lient avec d'autres atomes et les électrons d'un atome peuvent s'apparier « en tête-bêche » avec les électrons des autres atomes : les moments magnétiques s'annulent.

Différents comportements de matériau magnétiques à l'état solide

Le tableau suivant présente de façon visuelle et simplifiée la disposition des moments magnétiques dans quelques classes de matériau à l'état solide.

	Hors d'un champ magnétique	Dans un champ magnétique	Total dans un champ magnétique	Exemple de Matériau	En résumé...
Diamagnétique				Plomb, cuivre, mercure, argent, graphite, eau, etc.	Les atomes n'ont pas de moment magnétique. Dans un champ magnétique ou lorsqu'on approche un aimant, une aimantation inverse très faible est induite : le matériau est repoussé. L'effet est en général trop faible pour être facilement observé.
Paramagnétique				Magnésium, potassium, sodium, aluminium, molybdène, platine, etc.	Les atomes ont des moments magnétiques orientés dans tous les sens (résultante nulle). Dans un champ magnétique, les moments magnétiques restent relativement bloqués dans leur orientation initiale : aimantation faible, qui disparaît quand le champ cesse. Le matériau est très faiblement attiré par un aimant (effet souvent non visible)
Ferromagnétique				Fer, cobalt, nickel et série des terres rares (gadolinium, terbium, dysprosium, etc.).	Les atomes ont des moments magnétiques parallèles et alignés par domaine (résultante nulle). Cela signifie qu'on observe des zones de taille microscopiques, à l'intérieur desquelles les moments magnétiques sont tous alignés. Mais certains domaines présentent un alignement dans un sens, d'autres, dans l'autre sens ce qui fait que l'aimantation globale est nulle. Dans un champ magnétique, tous les moments magnétiques s'alignent. L'aimantation est forte et de même sens, elle peut persister (suivant les conditions d'aimantation : température par exemple) quand le champ cesse. Ces matériaux sont utilisés pour fabriquer les aimants.

Dans les matériaux non magnétiques, les moments magnétiques sont orientés dans tous les sens et complètement bloqués : on n'observe aucune aimantation.

3.3 Interaction entre les aimants et la matière

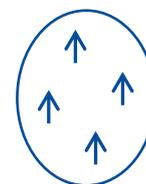
Lorsqu'on approche un aimant d'un matériau ferromagnétique (contenant du nickel ou du fer), par exemple un trombone, les moments magnétiques du trombone s'orientent tous dans le même sens que ceux de l'aimant car ils sont attirés par l'aimant (on représente souvent ces petits moments magnétiques comme des petites boussoles qui s'orientent suivant le champ magnétique de l'aimant). Les trombones se comportent alors aussi comme des aimants qui attirent les autres trombones : on parle d'aimantation induite.

Lorsqu'on approche un aimant d'un matériau non magnétique (du carton, du coton, la plupart des métaux...), il ne se passe rien car les moments magnétiques sont bloqués.

La puissance d'un aimant dépend avant tout du matériau qui le constitue. Les aimants incorporant du néodyme sont les plus puissants. On peut ainsi faire des aimants très petits mais très forts.



Trombone loin de l'aimant



Trombone approché de l'aimant

3.4 L'électromagnétisme

Le mouvement des électrons dans un atome est à l'origine de l'aimantation des matériaux. Mais un déplacement plus global d'électrons à l'intérieur d'un matériau, lorsque les électrons se déplacent d'atomes en atomes, est également à l'origine de l'apparition de champs magnétiques.

En effet, le déplacement d'électrons d'atome en atome désigne tout simplement le phénomène de l'électricité. Or, on sait depuis la découverte d'Oersted, qu'une boussole est déviée par le passage du courant électrique dans un fil. Le lien entre électricité et magnétisme est fort et a donné lieu à l'électromagnétisme.

→ Principe de l'électroaimant : le passage d'un courant électrique crée un champ magnétique

Un enroulement de fil de cuivre permet de créer des bobines qui, lorsqu'elles sont parcourues par un courant électrique, se comportent comme des aimants.

Cet effet cesse dès que le courant est coupé. On a ainsi des aimants accordables.

Exemple d'application : tri des déchets métalliques ferreux, aimants maintenant des portes coupe-feu, aimants de levage de charges.

→ Principe des éoliennes : le mouvement d'une bobine devant un aimant crée de l'électricité

C'est le principe des éoliennes, des centrales électriques (nucléaires et thermiques) et des barrages hydroélectriques. Le vent, la vapeur d'eau ou la chute d'eau entraîne la rotation d'une turbine. Cette turbine fait tourner un aimant à l'intérieur d'une ou plusieurs bobines. Cela entraîne l'apparition d'un courant électrique dans les bobines.

→ Principe du moteur électrique : la combinaison d'un courant électrique et d'un champ magnétique permet de créer un mouvement.

Un moteur électrique est constitué d'une bobine parcourue par un courant électrique. La proximité d'un aimant (en réalité souvent plusieurs aimants) permet de faire bouger la bobine. En effet, la bobine parcourue par le courant devient magnétique. Des interactions alternativement attractives et répulsives apparaissent entre la bobine et l'aimant, ce qui génère le mouvement.



Le synchrotron SOLEIL est une source de lumière exceptionnelle qui permet d'explorer la matière à une échelle allant de la cellule vivante à l'atome. La lumière qui y est exploitée ne comprend pas que la lumière visible à nos yeux, mais également les infrarouges qu'utilisent notamment bon nombre de nos télécommandes, les ultraviolets bien connus de tous et si redoutés surtout l'été, et les rayons X déjà utilisés en médecine pour faire des radios et des scanners.

Depuis janvier 2008, SOLEIL accueille des chercheurs issus de la communauté scientifique française et internationale et travaillant dans des domaines aussi variés que la physique, la chimie, la biologie, la médecine, la géophysique, l'étude des objets d'Art et du Patrimoine... En effet, chaque année, plus de 2500 utilisateurs « académiques » ou industriels viennent réaliser des expériences sur les 29 « lignes de lumière » de SOLEIL, véritables laboratoires de recherche. Ils y utilisent la lumière synchrotron avec des techniques d'analyse de pointe. Ils se tournent vers SOLEIL pour trouver des réponses que ne peuvent pas leur apporter les instruments d'étude plus classiques dont ils disposent dans leurs laboratoires.



Leurs questions sont aussi variées que, par exemple :

- Pourquoi le pigment bleu utilisé par Murillo pour peindre ses ciels a-t-il perdu de sa couleur au cours des siècles ?
- Ce nouveau matériau élaboré a-t-il les propriétés requises pour améliorer le rendement des cellules photovoltaïques ?
- Quelle est la composition des calculs rénaux prélevés sur un malade, afin de choisir le traitement adéquat qui permettra d'éviter la dialyse ou même la greffe de rein ?
- Avant transplantation, le foie de ce donneur est-il sain ?
- Comment se comportent certains matériaux situés dans la partie la plus profonde du manteau terrestre sous l'effet des fortes pressions et des fortes températures qu'il subit ?
- Comment se font les réactions chimiques sur les matériaux utilisés dans les pots catalytiques de nos voitures ? Peut-on les améliorer ?
- Comment déterminer l'âge d'un arbre exotique lorsque son tronc, faute de saisons marquées, ne contient pas de cernes ?

Sans oublier bien évidemment des questions beaucoup plus théoriques et fondamentales sur la structure et les propriétés de la matière.