



ACADÉMIE
DE RENNES

*Liberté
Égalité
Fraternité*



espace
des sciences

Exposition temporaire
du 20 septembre
2022 au 5 mars 2023

DOSSIER PÉDAGOGIQUE

Enseignants premier et second degré



magnétique

Chloé LAMY et Didier THIEURMEL,
professeurs relais DAAC à l'Espace
des sciences de Rennes

Sommaire

L'exposition <i>Magnétique</i> à l'Espace des sciences, les contenus.....	2
Liens avec les programmes scolaires.....	5
Possibilités d'exploitations de l'exposition <i>MAGNÉTIQUE</i> (1 ^{er} degré).....	9
D'autres pistes	12
Un aimant particulier : la boussole	12
Le magnétisme, entre art et sciences	14
Possibilités d'exploitations de l'exposition <i>MAGNÉTIQUE</i> (2 nd degré).....	15
Pour conclure : l'Espace des sciences en pratique.....	22

L'exposition *Magnétique* à l'Espace des sciences, les contenus

Eoliennes, ordinateurs, cartes bancaires, tickets de métro, plaques à induction, ventilateurs, haut-parleurs, microphones... le magnétisme est à l'origine de nombreuses applications modernes. Bien que très présents dans notre quotidien, les phénomènes magnétiques intriguent et suscitent de nombreuses questions.

L'exposition *Magnétique* est répartie sur 4 îlots permettant de répondre à 4 questions majeures :

- **Où le trouver ?** Une thématique abordée avec des aimants à manipuler pour comprendre les notions d'attraction et de répulsion, les matériaux magnétiques, le ferrofluide ou encore le tri magnétique.
- **Comment l'expliquer ?** On traite ici du magnétisme de l'atome, du ferromagnétisme et du magnétisme dans la matière.
- **Pour quoi faire ?** Une question analysée via plusieurs mécanismes, dont l'éclairage de vélo, la plaque à induction, les moteurs de Lorentz...
- **Quels rôles dans un ordinateur ?** Une plongée dans les médias magnétiques, le codage binaire ou encore l'enregistrement magnétique numérique.

Magnétique est une exposition originale conçue par l'institut Jean Lamour (laboratoire de recherche en science des matériaux), unité mixte de recherche du CNRS et de l'Université de Lorraine.

Les objectifs pédagogiques :

- Découvrir le principe de l'aimantation par manipulation.
- Prendre conscience du rôle et de l'importance du magnétisme dans notre quotidien.

L'exposition *Magnétique* aborde également l'impact sur l'environnement de ces objets de notre quotidien, notamment du fait de l'utilisation des terres rares magnétiques, présentes seulement en Chine et dont l'extraction est très polluante.

ILOT 1 : Où trouver le magnétisme ?

Il s'agit, dans le premier îlot de l'exposition, de poser les bases du magnétisme dans ses propriétés élémentaires. On y aborde les diverses origines possibles (aimants, courants, Terre) en proposant systématiquement une manière de visualiser le champ magnétique produit par chacune d'elles.

Au début de leur visite, les élèves observent des phénomènes d'attraction plus ou moins forts entre deux aimants, puis ils sont amenés à tester l'intensité des forces de répulsion entre aimants. Dans ce premier îlot, les élèves découvrent certaines propriétés fondamentales des aimants, l'existence systématique d'un pôle nord et d'un pôle sud et le principe de la boussole. Les lignes de champ magnétique sont rendues visibles grâce à des manipulations utilisant la poudre de fer et des

ferrofluides. Ceux-ci sont également présentés sous une forme plus ludique, avec la possibilité de le faire « danser » grâce au son de la voix. Les élèves sont amenés à tester la réaction de matériaux de diverses natures en présence d'un aimant fort. Ils vont également découvrir que le courant électrique peut produire un champ magnétique, ce qui est mis en lien avec une de ses applications : le tri magnétique des déchets. Ce premier îlot se conclut par l'exploration du magnétisme terrestre.

ILOT 2 : Comment expliquer le magnétisme ?

Plongés dans l'infiniment petit, les élèves, à partir de la 6^{ème}, découvrent l'origine des propriétés magnétiques des matériaux. Des maquettes à l'échelle macroscopique dévoilent les phénomènes responsables des comportements magnétiques.

Les élèves découvrent d'abord l'organisation de l'atome de fer avec ses 26 protons qui déterminent sa nature et ses électrons à l'origine de ses propriétés magnétiques. L'association de plusieurs atomes entre eux permet de créer des domaines magnétiques, au sein desquels tous les atomes ont leur aimantation qui pointe dans la même direction. Dans un aimant, tous les domaines magnétiques sont orientés dans le même sens, ce qui n'est pas le cas du fer. Cependant, au voisinage d'un aimant, l'aimantation de chaque atome d'un morceau de fer s'aligne sur le champ magnétique produit par l'aimant. Le morceau de fer se transforme temporairement en aimant : c'est le ferromagnétisme.

Le comportement magnétique des matériaux peut aussi évoluer sous l'influence de la température. Chauffé au-delà d'une température propre à chaque matériau (la température de Curie), un matériau ferromagnétique devient paramagnétique. Il est toujours attiré par un aimant, mais l'attraction est trop faible pour être perceptible. La température de Curie du fer est de 770°C, celle du gadolinium est de 19°C.

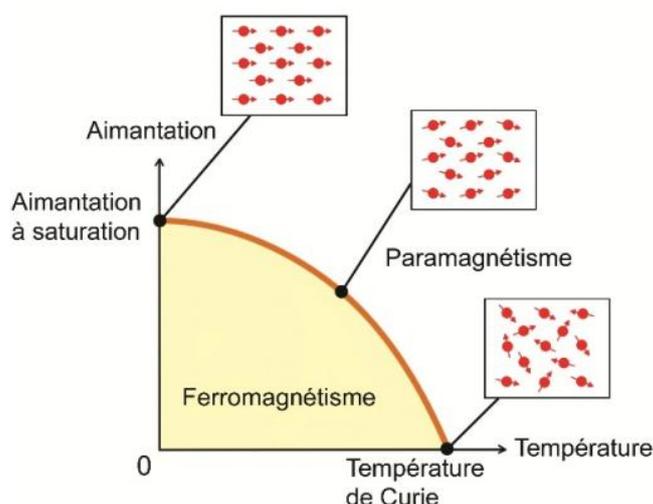


Figure 1 Evolution des propriétés magnétiques en fonction de la température (source Hélène Fisher, institut Jean Lamour)

Dernier comportement présenté dans cet îlot : le diamagnétisme, qui peut être à l'origine des phénomènes de lévitation si toutes les conditions expérimentales sont réunies. Lorsqu'un matériau placé dans un champ magnétique fort s'aimante très faiblement dans le sens opposé au champ auquel il est soumis, il est repoussé, ce qui engendre une lévitation du matériau.

ILOT 3 : Pour quoi faire ?

Dans cet îlot, accessible dès le CE2, les élèves explorent diverses applications du magnétisme dans notre quotidien et découvrent leurs principes de fonctionnement. Les collégiens et lycéens commencent par découvrir la force de Laplace qui est une force électromagnétique qu'exerce un champ magnétique sur un matériau conducteur, placé dans l'entrefer d'un aimant (où le champ est uniforme), et parcouru par un courant.

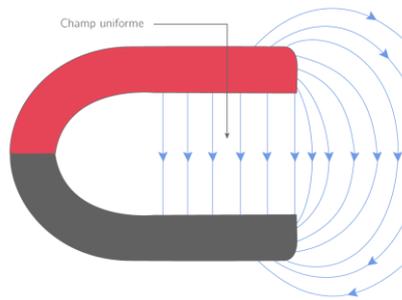


Figure 2 lignes de champ magnétique d'un aimant (source : kartable.fr)

Parmi les applications du magnétisme dans notre quotidien, les élèves verront notamment les moteurs électriques, ventilateurs et haut-parleurs, ainsi que les alternateurs, éclairages de vélo et éoliennes. Le mouvement des aimants et les courants de Foucault ainsi provoqués sont mis en évidence avec les systèmes de freinage des camions et vélos d'appartement. La lévitation grâce au magnétisme, à la base du fonctionnement de certains trains ultra rapides, est également présentée. On termine par des observations et manipulations d'objets familiers avec les plaques chauffantes à induction, les transformateurs électriques utilisés pour les chargeurs sans fils de téléphones portables ou encore la carte de transports en commun.

ILOT 4 : Quels rôles dans un ordinateur ?

On découvre, dans cet îlot, l'omniprésence des aimants dans nos ordinateurs au niveau des composants. Puis les élèves observent le principe de lecture et écriture d'un octet (unité d'information) sur un support magnétique. La visite se poursuit à l'échelle de l'infiniment petit : cartes bancaires, tickets de métro passent sous le microscope pour révéler leur bande magnétique. C'est également l'occasion de découvrir un objet très familier mais dont la structure est bien plus élaborée qu'il n'y paraît : le magnet du réfrigérateur. Pour les collégiens et lycéens, cet îlot se poursuit avec l'explication de la magnétorésistance géante qui a permis au physicien français Albert Fert d'obtenir le prix Nobel de physique en 2007. Enfin, on termine la visite par deux exemples de recherches plus récentes sur le stockage ultrarapide et miniaturisé de l'information et sur la diminution de la consommation d'énergie : l'écriture par impulsions laser ultrabrèves et le codage sur quatre états, qui sont au cœur de nos préoccupations pour un avenir plus sobre énergétiquement.

Liens avec les programmes scolaires

Socle commun de connaissances, de compétences et de culture

Domaine 4 : Les systèmes naturels et les systèmes techniques

« Questionner le monde » constitue l'enseignement privilégié pour formuler des questions, émettre des suppositions, imaginer des dispositifs d'exploration et proposer des réponses. Par l'observation fine du réel dans trois domaines, le vivant, la matière et les objets, la démarche d'investigation permet d'accéder à la connaissance de quelques caractéristiques du monde vivant, à l'observation et à la description de quelques phénomènes naturels et à la compréhension des fonctions et des fonctionnements d'objets simples.

L'objectif de cet enseignement est bien de poser les bases permettant de pratiquer des démarches scientifiques et techniques. Les démarches scientifiques développent chez l'élève la rigueur intellectuelle, l'habileté manuelle et l'esprit critique, l'aptitude à démontrer, à argumenter. En s'initiant à ces démarches, concepts et outils, l'élève se familiarise avec les évolutions de la science et de la technologie ainsi que leur histoire, qui modifient en permanence nos visions et nos usages de la planète. Ce sont des occasions de prendre conscience que la démarche technologique consiste à rechercher l'efficacité dans un milieu contraint (en particulier par les ressources) pour répondre à des besoins humains, en tenant compte des impacts sociaux et environnementaux. L'élève comprend que les mathématiques permettent de développer une représentation scientifique des phénomènes, qu'elles offrent des outils de modélisation, qu'elles se nourrissent des questions posées par les autres domaines de connaissance et les nourrissent en retour.

Les Arts plastiques ont également leur place dans ce domaine notamment au travers du processus de création. Les élèves y sont conduits à interroger l'efficacité des outils et des matériaux dans le cadre d'un projet. En construisant des œuvres de tailles variées, les élèves sont amenés à questionner la présentation de leur œuvre : dispositif de présentation (cadre, socle,...), au lieu (espace fermé ou ouvert, mur, sol, plafond,...) et au spectateur (frontal, englobant, parcours,...).

Domaine 5 : Les représentations du monde et l'activité humaine

Les enseignements « Questionner le monde », puis Sciences Physiques et Mathématiques au collège et lycée, initient les élèves à la diversité des expériences humaines et des formes qu'elles prennent, notamment avec les découvertes scientifiques et techniques, dans le but de connaître et comprendre le monde que les êtres humains tout à la fois habitent et façonnent. L'élève imagine, conçoit et réalise des productions de natures diverses : objets, services et œuvres, en mettant en œuvre les démarches et les techniques de création. Il tient compte des contraintes des matériaux et des processus de production en respectant l'environnement.

Cycle 2 : Questionner le monde

QUESTIONNER LE MONDE DU VIVANT, DE LA MATIERE ET DES OBJETS

Les objets techniques. Qu'est-ce que c'est ? A quels besoins répondent-ils ?

Comment fonctionnent-ils ?

Comprendre la fonction et le fonctionnement d'objets fabriqués.

Réaliser quelques objets et circuits électriques simples, en respectant des règles élémentaires de sécurité.

- Observer et utiliser des objets techniques et identifier leur fonction.
- Réaliser des objets techniques par association d'éléments existants en suivant un schéma de montage.

Pour cette première découverte de la science, les élèves sont placés dans une pratique active de démarche d'investigation. Ils développent ainsi des manières de penser, raisonner tout en cultivant le langage oral et écrit. Les élèves questionnent leurs expérimentations, en lien avec leur vécu, tout en construisant des premiers modèles ou des concepts simples dans le but d'interpréter et expliquer. Tout contribue, ici, à développer l'esprit critique et la rigueur scientifique, le raisonnement, le goût de la recherche, la curiosité et la créativité.

Cycle 3 : Sciences et technologies

Matière, mouvement, énergie, information

Décrire les états et la constitution de la matière à l'échelle macroscopique

- Mettre en œuvre des observations et des expériences pour caractériser un échantillon de matière :
 - Diversité de la matière : métaux, minéraux, verres, plastiques, matière issue du vivant.
 - L'état physique d'un échantillon de matière dépend de conditions externes, notamment de sa température.
 - Quelques propriétés de la matière solide ou liquide (approche qualitative).

Identifier différentes ressources en énergie et connaître quelques conversions d'énergie

- Reconnaître les situations où l'énergie est stockée, transformée, utilisée. La fabrication et le fonctionnement d'un objet technique nécessitent de l'énergie.
 - Exemples de convertisseurs : lampe, éolienne, panneau solaire.

Matériaux et objets techniques

Décrire le fonctionnement d'objets techniques, leurs fonctions et leurs constitutions

- Représentation du fonctionnement d'un objet technique.

Identifier les principales familles de matériaux

- Familles de matériaux (distinction des matériaux selon les relations entre formes, fonctions et procédés)
- Caractéristiques et propriétés (aptitude au façonnage, valorisation).

Cycle 4 : Physique-Chimie

Organisation et transformations de la matière.

Décrire l'organisation de la matière dans l'Univers

Comparer les ressources terrestres de certains éléments. - La matière constituant la Terre et les étoiles. - Les éléments sur Terre et dans l'Univers (hydrogène, hélium, éléments lourds : oxygène, carbone, fer, silicium, terres rares...).

L'énergie, ses transferts et ses conversions.

Identifier les sources, les transferts, les conversions et les formes d'énergie -Utiliser la conservation de l'énergie

Conversion d'une forme d'énergie en une autre.

Cycle 4 : Technologie

La modélisation et la simulation des objets et systèmes techniques

Analyser le fonctionnement et la structure d'un objet

Analyser le fonctionnement et la structure d'un objet, identifier les entrées et sorties.

Identifier le(s) matériau(x), les flux d'énergie et d'information sur un objet et décrire les transformations qui s'opèrent.

Lycée : Terminale enseignement scientifique

Thème 2 : Le futur des énergies

2.1 Deux siècles d'énergie électrique

Les alternateurs électriques exploitent le phénomène d'induction électromagnétique découvert par Faraday puis théorisé par Maxwell au XIXe siècle.

2.2 Les atouts de l'électricité

Trois méthodes permettent d'obtenir de l'énergie électrique sans nécessiter de combustion : la **conversion d'énergie mécanique**, soit **directe** (dynamos, éoliennes, hydroliennes, barrages hydroélectriques), soit **indirecte** à partir d'énergie thermique (centrales nucléaires, centrales solaires thermiques, géothermie) et la **conversion électrochimique**.

Pour faire face à l'intermittence liée à certains modes de production ou à la consommation, l'énergie électrique doit être convertie sous une forme stockable :

- énergie chimique (accumulateurs) ;
- énergie potentielle (barrages) ;
- énergie électromagnétique (super-capacités).

2.4 Choix énergétiques et impacts sur les sociétés

Pour que soit mise en œuvre une adaptation efficace aux changements inéluctables et qu'en soit atténué l'impact négatif, les choix énergétiques supposent une compréhension globale du système Terre.

Ces choix doivent tenir compte de nombreux critères et paramètres : disponibilité des ressources et adéquation aux besoins, impacts (climatique, écologique, sanitaire, agricole), vulnérabilités et gestion des risques, faisabilité, conséquences économiques et sociales. L'analyse de ces éléments de décision conduit le plus souvent à une recherche de diversification ou d'évolution des ressources (mix énergétique).

Possibilités d'exploitations de l'exposition **MAGNÉTIQUE** (1^{er} degré)

Voici une proposition d'exploitation pour les élèves de CE2 au CM2 autour des objets techniques.

1) L'exposition sert de support aux investigations :

Avant la visite, plusieurs temps sont à prévoir en classe :

- **Un temps d'émergence des représentations : l'enseignant demande aux élèves**
 - A partir de l'expression « chercher une aiguille dans une botte de foin », l'enseignant propose à ses élèves de trouver la meilleure méthode pour retrouver une aiguille. On pourra proposer aux élèves de tester l'expression avec, par petits groupes, des boîtes pleines de paille ou chutes de papier et un trombone à retrouver. L'enseignant aura mis en évidence des outils à leurs dispositions (dont un aimant).
 - Demander aux élèves de chercher ce qui est attiré par l'aimant en testant différents objets de la classe, ce qui permettra de faire un tableau pour trier les objets testés.
 - On terminera en testant deux aimants entre eux. Les élèves dessineront les résultats de ces manipulations.

- **Un temps de confrontation des recherches qui permet de faire émerger :**

Que les aimants attirent certains objets, mais pas tous. Qu'ils réagissent aussi entre eux en s'attirant ou se repoussant. L'enseignant évoquera le terme « magnétisme » si cela ne vient pas des élèves.

Ils se poseront alors de nouvelles questions sur le magnétisme et les aimants : qu'est-ce que c'est ? Comment ça fonctionne ? A quoi ça sert ? Où on le trouve ? Naturel ou créé par l'Homme ?

- **Un temps de visite de l'exposition :**

La classe dispose d'une liste de questions et des hypothèses émises pour chaque question, hypothèses qu'il va falloir soumettre à l'investigation.

A l'enseignant d'organiser le travail des élèves (soit tous les groupes disposent des mêmes questions, soit les questions sont réparties entre les groupes). Cela permettra une meilleure répartition du travail sur place (sans que cela empêche les élèves de découvrir l'ensemble de l'exposition).

L'enseignant pourra communiquer la liste des questions à l'animateur afin que celui-ci y réponde au cours de leur découverte de l'exposition (sous réserve d'avoir contacté un(e) médiateur(trice) en amont).

Pendant l'animation et en visitant l'exposition, les élèves pourront :

- Observer,

- Chercher des réponses dans les documents disponibles,
- Interroger l'animateur scientifique.

Après la visite et l'animation :

Mises en commun, rédaction de comptes rendus dans le cahier de sciences, réalisation d'une exposition pour les autres classes de l'école, réalisation d'exposés pour une classe ouverte, analyse technique du fonctionnement d'un objet du quotidien...

2) L'exposition et l'animation sont un point de départ qui vont inciter la classe à :

- Approfondir certains points, identifier des questions qui seront suivies d'une recherche documentaire.
- Réaliser des exposés sur l'usage des aimants dans notre quotidien.
- Etudier le fonctionnement d'un objet du quotidien : l'éclairage de vélo, détaillé ci-après.

Il est possible d'aborder l'exposition à partir d'autres entrées (présentées plus en détails dans les pages suivantes) :

- En lien avec l'éducation physique et sportive : les élèves sont amenés à utiliser une boussole pour se repérer dans l'espace lors de la pratique de la course d'orientation. L'enseignant peut se saisir de ce moment pour présenter la boussole et son fonctionnement.
- Mettre en œuvre un projet artistique : utiliser les forces d'attraction et de répulsion des aimants pour concevoir des œuvres en 3 dimensions intégrant le vide.

3) Un projet à mener après la visite de l'exposition : étude d'un objet technique

Les élèves auront découvert, grâce à la visite de l'exposition, que le magnétisme est présent partout autour d'eux. On pourra alors leur proposer d'étudier plus finement, à partir des connaissances acquises lors de la visite, un objet qui fait partie de leur quotidien : l'éclairage d'un vélo par alternateur.



Figure 3 Eclairage alternateur d'un vélo

Allumer une ampoule sans utiliser ni piles ni batteries est une interrogation pertinente dans le cadre de la protection de notre environnement. Le dispositif permettant d'alimenter en électricité l'éclairage d'un vélo en transformant une énergie mécanique en énergie électrique grâce à un alternateur est

donc loin d'être un outil obsolète. Appelé parfois dynamo, ce terme est erroné car le principe de la dynamo est basé sur la production d'un courant continu, alors que l'éclairage de vélo repose sur un alternateur et produit du courant alternatif.

En ouvrant un alternateur de vélo, les élèves tentent de nommer les différents éléments qu'ils observent (tutoriel pour démonter le dispositif : <https://urlz.fr/kIJ2>). On leur demandera alors de produire un schéma légendé pour garder une trace de cette observation.

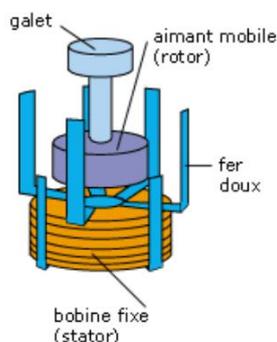
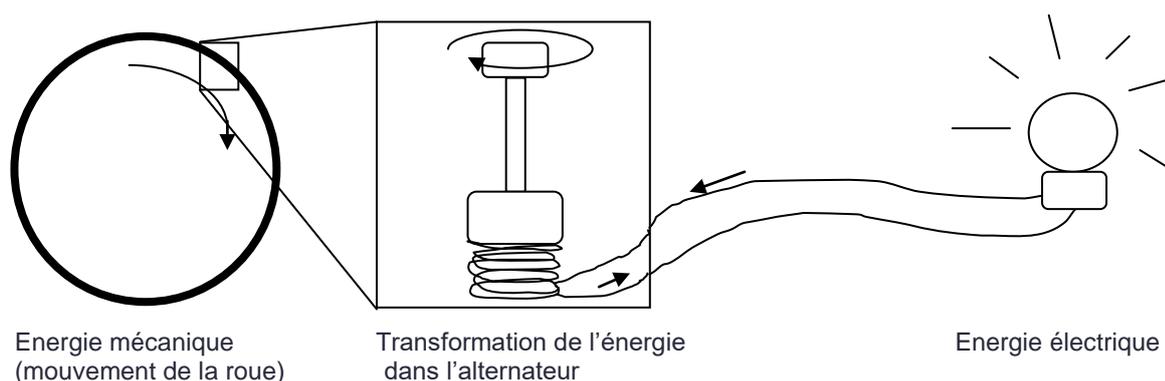


Figure 4 Schéma interne d'un alternateur de vélo (source : Maxicours)

Afin de vérifier que l'alternateur de vélo permet bien de produire de l'électricité, on utilisera un vélo mis à l'envers et les élèves pourront ainsi tester l'effet de la mise en mouvement de la roue. En appliquant, ou non, le galet sur la roue, ils verront que la force nécessaire pour actionner la roue varie selon les deux situations. Cela leur permettra de prendre conscience de l'énergie mécanique nécessaire pour produire l'électricité.

L'objectif est que les élèves comprennent le chemin de l'énergie créé par le mouvement mécanique, transformée par l'alternateur en électricité et conduite jusqu'aux lampes par les fils électriques.



A l'issue de ce projet, les élèves comprennent que l'alternateur crée de l'électricité à partir du mouvement (on pédale, la roue du vélo tourne en entraînant le galet de l'alternateur et l'aimant situé au centre de la bobine). Ils pourront s'interroger sur d'autres sources d'énergie mécanique permettant de créer de l'énergie électrique et grâce à quelles installations : le vent grâce aux éoliennes, l'eau ou l'air avec les moulins.

D'autres pistes ...

Un aimant particulier : la boussole

En lien avec les activités de courses d'orientation, les élèves sont amenés à découvrir la boussole. Si certains savent déjà que la boussole sert à indiquer le Nord de la Terre car la Terre est un aimant, rares sont ceux qui savent que la boussole est également un aimant. Les éléments présentés ci-dessous sont repris du dossier « Les aimants – cycle 3 », de la fondation La main à la pâte.

On pourra commencer par remettre en mémoire le contenu de l'exposition, notamment à propos des pôles Nord et Sud et de l'attraction ou répulsion qui s'y observe. Cela peut passer par un temps de manipulation en classe. Evoquer les deux pôles des aimants permet d'aborder la particularité qu'ils ont de conserver leurs deux pôles même s'ils sont coupés. Ce qui amène, dans un second temps, les enfants à s'interroger sur les façons de créer un nouvel aimant. Toujours en passant par la manipulation, l'enseignant propose à ses élèves d'approcher un trombone ou une épingle de couture d'un aimant et de noter leurs observations et remarques. Ils constateront alors qu'un objet peut devenir lui-même un aimant pendant une durée plus ou moins longue. On peut alors aimanter deux aiguilles en les approchant d'un aimant, en les laissant à son contact ou en les frottant avec l'aimant toujours dans le même sens. Les élèves découvrent alors que les deux aiguilles deviennent des aimants et pourront facilement repérer les interactions entre leurs pôles.

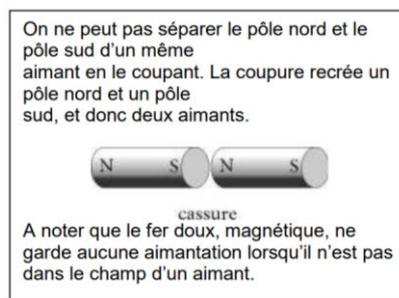


Figure 5 Créer un nouvel aimant (source La main à la pâte)

Enfin, on s'intéressera à « ce qui se passe entre les deux pôles de l'aimant ». Pour visualiser le champ magnétique autour d'un aimant on peut faire prendre conscience que l'effet d'un aimant est plus intense à ses pôles, en déplaçant différents objets magnétiques (de petits clous) à la surface d'une feuille de papier sous laquelle on aura fixé un aimant bâton.

Une fois ces bases installées, on peut en venir à l'observation et l'analyse de la boussole et de son fonctionnement. Celle-ci n'est pas « attirée » ou « déplacée », mais son aiguille, maintenue sur un axe, s'oriente. C'est une des raisons pour lesquelles les enfants n'admettent pas facilement que la boussole soit un aimant, et doit faire l'objet d'une étude particulière. Les éléments magnétiques présents dans la classe faussent souvent les boussoles, qui ne récupèrent leur « bonne direction » qu'après un moment de repos placées par exemple au milieu de la cour de l'école. **L'intérêt d'une boussole étant l'orientation en pleine nature, autant sortir des murs de l'école pour l'utiliser !**

Après avoir interrogé les enfants sur le rôle d'une boussole et son fonctionnement, on les laissera, en extérieur (cour d'école par exemple), suivre et matérialiser un chemin en direction du nord. Cela sera l'occasion pour eux de confirmer l'orientation parallèle de tous leurs chemins et donc de leurs boussoles, qui indiquent toutes le nord.

En approchant des lames de ciseaux de l'aiguille de la boussole, elle tourne, elle est attirée par elles. L'intensité de l'aiguille aimantée de la boussole n'est pas suffisante pour attirer les ciseaux mais, comme dans le cas des aimants suspendus à des fils, c'est elle qui bouge. Elle ne se « déplace » pas, elle s'oriente.

On utilise la boussole en faisant pivoter la « rose des vents » dessinée sous l'aiguille de telle sorte que l'indication nord soit sous la partie marquée de l'aiguille. Les élèves peuvent remarquer, dans la classe, que toutes les boussoles n'indiquent pas la même direction. Cette situation les amènera à s'interroger sur ce qui peut faire changer la direction indiquée par une boussole ? (la proximité d'objets lourds ? la proximité d'un petit aimant faible ? d'un aimant fort ? la proximité de matière magnétique ? la proximité d'autres boussoles ?). Cela permettra de conclure que la boussole est un aimant, puisque ses pôles nord et sud se comportent comme les pôles des aimants. Deux nord ou deux sud se repoussent, mais nord et sud s'attirent. Des boussoles placées autour d'un gros aimant se placent le long des lignes de champ magnétique de l'aimant.

Il est intéressant, mais pas si facile, de conclure l'étude de la boussole en en fabriquant une. Les deux méthodes les plus courantes sont : Un aimant posé sur un morceau de polystyrène à la surface d'une bassine d'eau qui s'oriente sud/nord ; Un aimant suspendu à un fil s'oriente sud/nord. Ces techniques peuvent vite se relever contraignantes car pour la première expérience il faut un morceau de polystyrène léger, un aimant fort, une bassine d'eau stable et sans courant. Avec la deuxième expérience il faut s'assurer de bien accrocher l'aimant en son centre et que la force de torsion du fil utilisé permette bien la rotation de l'aimant.

Contenu complet du dossier « aimants au cycle 3 » :

https://fondation-lamap.org/sites/default/files/upload/media/ressources/activites/11467_Les_aimants_revue_La_Classe_n_179_/aimants%2520site%2520cycle%25203.pdf

Le magnétisme, entre art et sciences

En s'inspirant de l'œuvre de Takis, artiste grec contemporain (1925-2019), et en reprenant les notions de répulsion et attraction vues lors de la visite de l'exposition, les élèves peuvent être amenés à produire des œuvres d'arts à plus ou moins grande échelle.

Sitographie des œuvres de Takis : <https://www.youtube.com/watch?v=CB4GyY1fnP0&t=121s>
<https://www.youtube.com/watch?v=y-pc3sPXbfc&t=90s> <https://www.youtube.com/watch?v=Q5ktkR-xSoM>



Figure 6 Takis, Sculptor of magnetism, light and sound au Tate Modern



Figure 7 Takis - Système solaire (Antigravity)

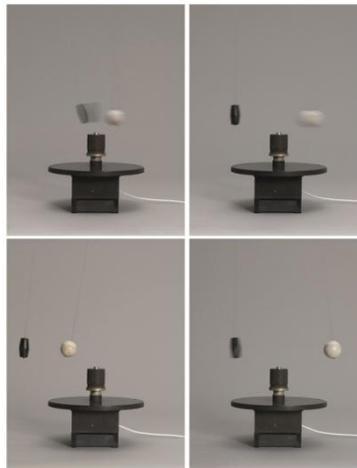


Figure 8 Takis, Sculptor of magnetism, light and sound au Tate Modern ©Tate

En intégrant les aimants, visibles ou cachés, dans leurs œuvres d'art plastique, les élèves intègrent l'espace, le vide, dans leurs productions. Ils explorent pleinement le pouvoir de la matière et peuvent aboutir à des œuvres aussi bien statiques que mobiles.

C'est l'occasion d'expérimenter avec des aimants de toutes tailles, et pourquoi pas avec des ferrofluides. **Attention toutefois à l'usage de la limaille de fer qui n'est pas sans danger si les enfants se frottent les yeux avec.**

Possibilités d'exploitations de l'exposition **MAGNÉTIQUE** (2nd degré)

Proposition d'activité : Les Terres rares, des métaux stratégiques

Qu'appelle-t-on les « terres rares » ? Le terme « terres » est un terme associé aux chimistes qui ne parvenaient à isoler ces éléments que sous forme d'oxydes, très réfractaires (« terre » en chimie) et rares, car leur abondance dans les minerais est très faible malgré une abondance naturelle plus importante que l'or ou l'argent.

Les terres rares d'un point de vue chimique

Ce groupe représente 17 éléments chimiques avec des propriétés géochimiques proches. 15 éléments chimiques, dont le numéro atomique est compris entre 57 et 71, font partie du groupe des Lanthanides. On ajoute dans ce groupe le scandium (numéro atomique 21) et l'yttrium (numéro atomique 39).

Tableau périodique des éléments chimiques

Groupe → I A II A ... VIII ... 18
 Période 1 2 ... 10 ... 8

nom de l'élément (gaz, liquide ou solide à 0°C et 101,3 kPa)
 numéro atomique
 symbole chimique
 masse atomique relative (ou celle de l'isotope le plus stable)
 [C.I.A.W. "Atomic Weights 2013" + rev. 2015]

Hydrogène 1 H 1,00794																	Hélium 2 He 4,002602																															
Lithium 3 Li 6,939	Béryllium 4 Be 9,0121831											Bore 5 B 10,811	Carbone 6 C 12,0106	Azote 7 N 14,006432	Oxygène 8 O 15,9994	Fluor 9 F 18,9984032	Neon 10 Ne 20,1797																															
Sodium 11 Na 22,98976928	Magnésium 12 Mg 24,305											Aluminium 13 Al 26,9815385	Silicium 14 Si 28,0855	Phosphore 15 P 30,97376203	Soufre 16 S 32,0625	Chlore 17 Cl 35,453	Argent 18 Ar 39,948																															
Potassium 19 K 39,0983	Calcium 20 Ca 40,078	Scandium 21 Sc 44,955912	Titane 22 Ti 47,867	Vanadium 23 V 50,9415	Chrome 24 Cr 51,9961	Manganèse 25 Mn 54,938044	Fer 26 Fe 55,845	Cobalt 27 Co 58,933194	Nickel 28 Ni 58,6934	Cuivre 29 Cu 63,546	Zinc 30 Zn 65,38	Gallium 31 Ga 69,723	Germanium 32 Ge 72,630	Arsenic 33 As 74,921595	Sélénium 34 Se 78,9718	Brome 35 Br 79,904	Krypton 36 Kr 83,796																															
Rubidium 37 Rb 85,4678	Strontium 38 Sr 87,62	Yttrium 39 Y 88,90584	Zirconium 40 Zr 91,224	Niobium 41 Nb 92,90637	Molybdène 42 Mo 95,95	Téchnetium 43 Tc [98]	Ruthénium 44 Ru 101,07	Rhodium 45 Rh 102,90550	Palladium 46 Pd 106,42	Argent 47 Ag 107,8682	Cadmium 48 Cd 112,414	Indium 49 In 114,818	Étain 50 Sn 118,710	Antimoine 51 Sb 121,760	Tellure 52 Te 127,60	Iode 53 I 126,90447	Xénon 54 Xe 131,29																															
Césium 55 Cs 132,90545	Baryum 56 Ba 137,327	Lanthanides 57-71		Hafnium 72 Hf 178,49	Tantale 73 Ta 180,94788	Tungstène 74 W 183,84	Réhenium 75 Re 186,207	Osmium 76 Os 190,23	Iridium 77 Ir 192,222	Rhodium 78 Pt 195,084	Or 79 Au 196,966569	Mercury 80 Hg 200,592	Thallium 81 Tl 204,3895	Plomb 82 Pb 207,2	Bismuth 83 Bi 208,98040	Polonium 84 Po [209]	Astatoine 85 At [210]	Radon 86 Rn [222]																														
Francium 87 Fr [223]	Radium 88 Ra [226]	Actinides 89-103		Rutherfordium 104 Rf [261]	Dubnium 105 Db [268]	Seaborgium 106 Sg [269]	Borélium 107 Bh [270]	Hassium 108 Hs [277]	Moscovium 109 Mt [276]	Darmstadtium 110 Ds [281]	Roentgenium 111 Rg [282]	Copernicium 112 Cn [285]	Nihonium 113 Nh [284]	Flerovium 114 Fl [289]	Moscovium 115 Mc [288]	Livermorium 116 Lv [293]	Tennesse 117 Ts [294]	Oganesson 118 Og [294]																														
<table border="1"> <tr> <td>Lanthane 57 La 138,90547</td> <td>Cérium 58 Ce 140,116</td> <td>Praséodyme 59 Pr 140,90766</td> <td>Néodyme 60 Nd 144,242</td> <td>Prométhée 61 Pm [145]</td> <td>Samarium 62 Sm 150,36</td> <td>Europium 63 Eu 151,964</td> <td>Gadolinium 64 Gd 157,25</td> <td>Terbium 65 Tb 158,92535</td> <td>Dysprosium 66 Dy 162,500</td> <td>Holmium 67 Ho 164,93033</td> <td>Erbium 68 Er 167,259</td> <td>Thulium 69 Tm 168,93422</td> <td>Ytterbium 70 Yb 173,054</td> <td>Lutécium 71 Lu 174,967</td> </tr> <tr> <td>Actinium 89 Ac [227]</td> <td>Thorium 90 Th 232,0377</td> <td>Protactinium 91 Pa 231,03688</td> <td>Uranium 92 U 238,02891</td> <td>Néptunium 93 Np [237]</td> <td>Plutonium 94 Pu [244]</td> <td>Americium 95 Am [243]</td> <td>Curium 96 Cm [247]</td> <td>Berkélium 97 Bk [247]</td> <td>Californium 98 Cf [251]</td> <td>Einsteinium 99 Es [252]</td> <td>Fermium 100 Fm [257]</td> <td>Mendelevium 101 Md [258]</td> <td>Nobelium 102 No [259]</td> <td>Lawrencium 103 Lr [260]</td> </tr> </table>																			Lanthane 57 La 138,90547	Cérium 58 Ce 140,116	Praséodyme 59 Pr 140,90766	Néodyme 60 Nd 144,242	Prométhée 61 Pm [145]	Samarium 62 Sm 150,36	Europium 63 Eu 151,964	Gadolinium 64 Gd 157,25	Terbium 65 Tb 158,92535	Dysprosium 66 Dy 162,500	Holmium 67 Ho 164,93033	Erbium 68 Er 167,259	Thulium 69 Tm 168,93422	Ytterbium 70 Yb 173,054	Lutécium 71 Lu 174,967	Actinium 89 Ac [227]	Thorium 90 Th 232,0377	Protactinium 91 Pa 231,03688	Uranium 92 U 238,02891	Néptunium 93 Np [237]	Plutonium 94 Pu [244]	Americium 95 Am [243]	Curium 96 Cm [247]	Berkélium 97 Bk [247]	Californium 98 Cf [251]	Einsteinium 99 Es [252]	Fermium 100 Fm [257]	Mendelevium 101 Md [258]	Nobelium 102 No [259]	Lawrencium 103 Lr [260]
Lanthane 57 La 138,90547	Cérium 58 Ce 140,116	Praséodyme 59 Pr 140,90766	Néodyme 60 Nd 144,242	Prométhée 61 Pm [145]	Samarium 62 Sm 150,36	Europium 63 Eu 151,964	Gadolinium 64 Gd 157,25	Terbium 65 Tb 158,92535	Dysprosium 66 Dy 162,500	Holmium 67 Ho 164,93033	Erbium 68 Er 167,259	Thulium 69 Tm 168,93422	Ytterbium 70 Yb 173,054	Lutécium 71 Lu 174,967																																		
Actinium 89 Ac [227]	Thorium 90 Th 232,0377	Protactinium 91 Pa 231,03688	Uranium 92 U 238,02891	Néptunium 93 Np [237]	Plutonium 94 Pu [244]	Americium 95 Am [243]	Curium 96 Cm [247]	Berkélium 97 Bk [247]	Californium 98 Cf [251]	Einsteinium 99 Es [252]	Fermium 100 Fm [257]	Mendelevium 101 Md [258]	Nobelium 102 No [259]	Lawrencium 103 Lr [260]																																		

Métaux : Alcalins, Alcalino-terreux, Lanthanides, Actinides, Métaux de transition, Métaux pauvres, Métaalloïdes
 Non métaux : Autres non-métaux, Halogènes, Gaz nobles, Non classés
 primordial, désintégration d'autres éléments, synthétique

La découverte de ces métaux remonte à la fin du XVIIIe siècle et au début du XIXe siècle. Ces éléments sont devenus incontournables pour l'industrie et constituent un enjeu économique et géopolitique majeur.

nom	symbole	origine du nom	année	découvreur(s)
cérium	Ce	du nom de l'astéroïde Cérés	1803 1803	Klaproth Berzelius et Hisinger
dysprosium	Dy	du grec <i>dysprositos</i> , « difficile à atteindre »	1886	Lecoq de Boisbaudran
erbium	Er	de Ytterby (Suède), lieu de l'extraction du premier minerai contenant des terres rares	1842	Mosander
europium	Eu	de Europe	1890 1901	Lecoq de Boisbaudran Demarçay
gadolinium	Gd	du nom de Johann Gadolin	1880	Lecoq de Boisbaudran Marignac
holmium	Ho	de la dernière syllabe de Stockholm	1878 1879	Delafontaine et Soret Clève
lanthane	La	du grec <i>lanthanos</i> , « caché »	1839	Mosander
lutécium	Lu	de l'ancien nom de Paris	1907 1907	Urbain Von Welsbach
néodyme	Nd	du grec <i>neos</i> , « nouveau », et <i>didyme</i> , « jumeaux »	1885	Von Welsbach
praséodyme	Pr	du grec <i>prasios</i> , vert, et <i>didyme</i> , jumeaux	1885	Von Welsbach
prométhium	Pm	du nom de Prométhée	1947	Marinsky, Glendenin et Coryell
samarium	Sm	du nom du minéral samarskite, lui-même provenant du nom du colonel Samarski	1879	Lecoq de Boisbaudran
scandium	Sc	de <i>Scandia</i> pour Scandinavie	1879	Nielson
terbium	Tb	de Ytterby (Suède), lieu de l'extraction du premier minerai contenant des terres rares	1843	Mosander
thulium	Tm	de <i>Thulé</i> , ancien nom de la Scandinavie	1879	Clève
ytterbium	Yb	de Ytterby, (Suède), lieu de l'extraction du premier minerai contenant des terres rares	1878	Marignac
yttrium	Y	de Ytterby (Suède), lieu de l'extraction du premier minerai contenant des terres rares	1794 1797	Gadolin Ekeberg

Ces métaux ont un pouvoir d'aimantation et de résistance très élevé et vont être utilisés dans de nombreux matériaux électroniques : haut-parleurs, disque durs, générateurs électriques d'éoliennes, appareils d'imagerie médicale.

Ces éléments ont permis d'élaborer de nouveaux aimants appelés NdFeB (néodyme-fer-bore) de plus petite taille et avec un rendement plus élevé. On parle d'aimant permanent. Les aimants permanents sont utilisés pour réduire le volume et le poids des moteurs et générateurs électriques. Ils sont

impliqués principalement dans la conception des éoliennes marines qui connaît un marché en croissance. Les capacités d'un aimant de 100 grammes contenant du néodyme équivalent ainsi à celles d'un aimant classique de 1 kg sans cet élément.

4 éléments sont principalement utilisés : le néodyme, le praséodyme, le dysprodim et le terbium. Ils sont qualifiés de métaux stratégiques.

Les enjeux économiques des terres rares

Une première difficulté qui apparaît dans l'exploitation des terres rares est qu'elles ne se trouvent jamais sous forme métalliques à l'état naturel. Elles sont incluses dans la structure atomique des minéraux. Leur extraction nécessite des techniques de séparation spécifiques et extrêmement polluantes.

La teneur en terres rares est variable suivant les gisements. On distingue les terres rares légères et les terres rares lourdes. Cette appellation est à relier au numéro atomique. Les terres rares légères sont relativement abondantes contrairement aux terres rares lourdes. Ainsi, la production d'une tonne de dysprosium (numéro atomique 66) revient à produire 38 tonnes de cérium (numéro atomique 57) et 24 tonnes de lanthane (numéro atomique 58).

Les terres rares lourdes, comme le dysprosium ou le terbium sont les plus recherchées. Les gisements offrant les plus fortes concentrations de terres rares lourdes se situent en Chine, qui abrite des gisements d'argiles ioniques enrichis en terres rares et représentent pas loin de l'essentiel de l'offre mondiale en terres rares lourdes.

	Mine production		Reserves
	2019	2020	
United States	28,000	38,000	1,500,000
Australia	20,000	17,000	4,100,000
Brazil	710	1,000	21,000,000
Burma	25,000	30,000	NA
Burundi	200	500	NA
Canada	—	—	830,000
China	132,000	140,000	44,000,000
Greenland	—	—	1,500,000
India	2,900	3,000	6,900,000
Madagascar	4,000	8,000	NA
Russia	2,700	2,700	12,000,000
South Africa	—	—	790,000
Tanzania	—	—	890,000
Thailand	1,900	2,000	NA
Vietnam	1,300	1,000	22,000,000
Other countries	66	100	310,000
World total (rounded)	220,000	240,000	120,000,000

Figure 9 Production et réserves en Terres rares à l'échelle mondiale en tonnes (source : <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>)

Actuellement, la demande en terres rares ne fait qu'augmenter. Jusqu'aux années 1980, les Etats Unis dominaient le marché de production, mais depuis 1995, la Chine est devenue le 1^{er} producteur de terres rares avec une production estimée à 140 000 tonnes en 2020, représentant près de 60 % de la production mondiale annuelle.

L'impact environnemental

L'extraction des terres rares a un impact environnemental important. Ces éléments sont souvent mélangés, ce qui implique des procédés d'extraction et d'isolement coûteux en énergie, en eau et en produits chimiques. Cette exploitation peut aussi libérer des polluants à plus ou moins grande distance des gisements, voir une libération de thorium ou d'uranium, ce qui génère une pollution radioactive.

Actuellement, les terres rares sont exploitées dans des mines où elles sont abondantes, mais la demande croissante de ces éléments chimiques va conduire à une exploitation de nouveaux gisements avec un impact fort sur l'environnement (destruction des milieux naturels, impact sur la biodiversité, pollution des nappes phréatiques). L'exploitation des fonds océaniques est envisagée à long terme.

Le paradoxe des terres rares

Le développement de l'utilisation des énergies renouvelables conduit à une augmentation de la construction d'éoliennes qui ont besoin de terres rares pour fonctionner. Or leur exploitation a un fort impact environnemental. Le recyclage de ces terres rares est faible, de l'ordre de 1%.

Des recherches sont menées actuellement pour développer les techniques de recyclage et limiter l'impact environnemental des extractions.

Pour aller plus loin :

<https://eduscol.education.fr/sti/articles/terres-rares-energies-renouvelables-et-stockage-denergie>

<https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/492-terres-rares-energies-renouvelables-et-stockage-d-energies.html>

<https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/les-terres-rares-le-paradoxe-environnemental>

<https://www.afd.fr/fr/actualites/terres-rares-une-infographie-pour-comprendre-et-agir>

<https://www.qgf.fr/infographie/81/les-metaux-des-ressources-qui-pourraient-manquer>

<https://www.zonebourse.com/actualite-bourse/Terres-rares-Une-cartographie-des-enjeux--28684276/>

Proposition d'activité : Des exemples de conversion d'énergie : le phénomène d'induction

Un **courant électrique induit** apparaît dans un circuit conducteur placé dans le champ magnétique d'un aimant mobile. Il apparaît aussi dans un circuit fermé mobile, placé dans un champ magnétique stationnaire.

Un exemple d'application : l'alternateur

Le rôle de l'alternateur est de **convertir de l'énergie mécanique** (fournie par un moteur) en **énergie électrique**.

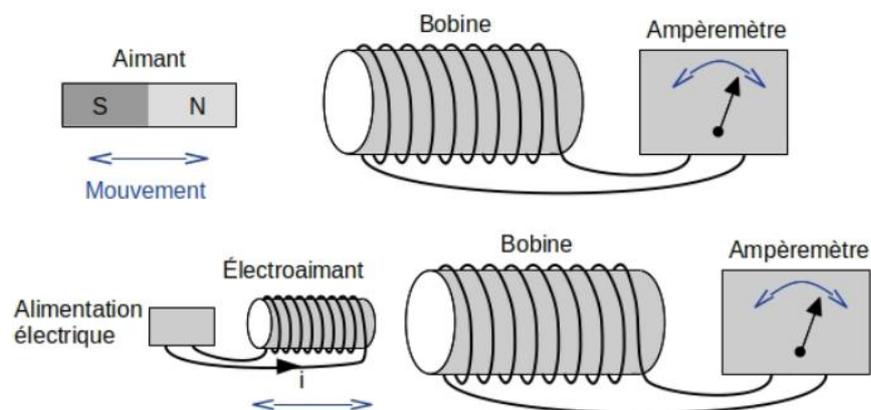


Figure 10 Représentation schématique d'un électroaimant : bobine alimentée électriquement qui se comporte comme un aimant.

L'alternateur est donc un convertisseur d'énergie mécanique en énergie électrique qui exploite le phénomène d'induction.

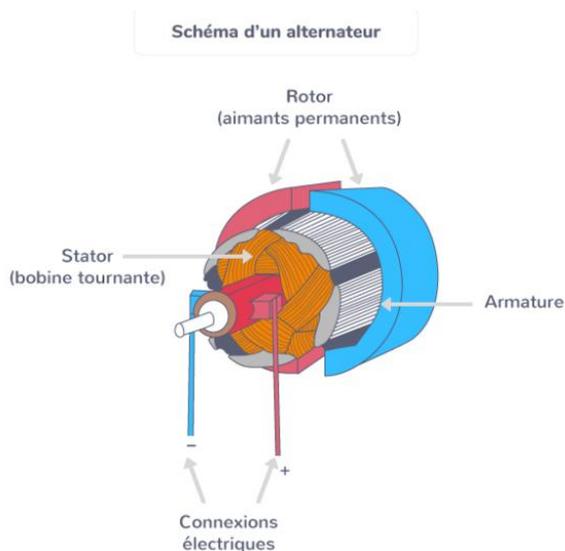


Figure 11 Schéma d'un alternateur (source : <https://www.kartable.fr/ressources/enseignement-scientifique/cours/deux-siecles-denergie-electrique/54771>)

Une source d'énergie (eau en mouvement, vapeur d'eau, vent, mouvement) génère de l'énergie cinétique qui permet la mise en rotation d'une partie tournante (pales d'une éolienne, turbine). Ce mouvement entraîne la rotation d'une source de champ magnétique : aimant ou électroaimant. Cette partie en rotation s'appelle le rotor.

Le **déplacement** de l'aimant, donc de son champ magnétique, **induit** une tension aux bornes de la bobine. La **rotation** d'un aimant droit à proximité d'une bobine produit entre ses bornes une tension **alternative**. La partie fixe contenant les bobines se nomme stator.

Un exemple d'application : la dynamo d'un vélo

Une dynamo sur roue, appelée dynamo bouteille, transforme une énergie mécanique (énergie musculaire du pédalage) en énergie électrique grâce à un alternateur. Elle permet de fournir l'éclairage d'un vélo.

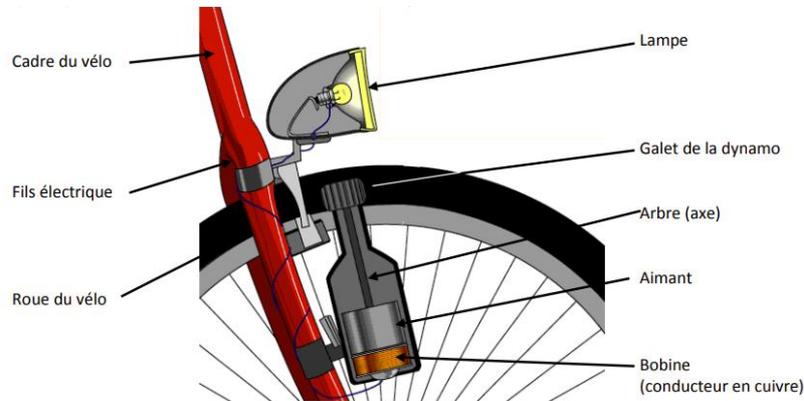
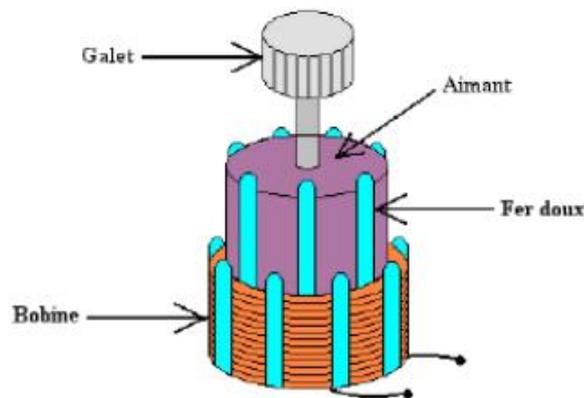


Schéma d'une dynamo de vélo



Source : http://technoschool.free.fr/files/doc_ress_dynamo.1383.pdf

Lors du pédalage, le mouvement de la roue entraîne la rotation du galet sur le flanc du pneu et celle de l'aimant (rotor) situé au centre de la bobine (stator). Cela génère un courant électrique qui alimente une lampe. Il existe aujourd'hui des dynamos intégrées dans les moyeux des roues de vélo.

dynamo bouteille



dynamo moyeu



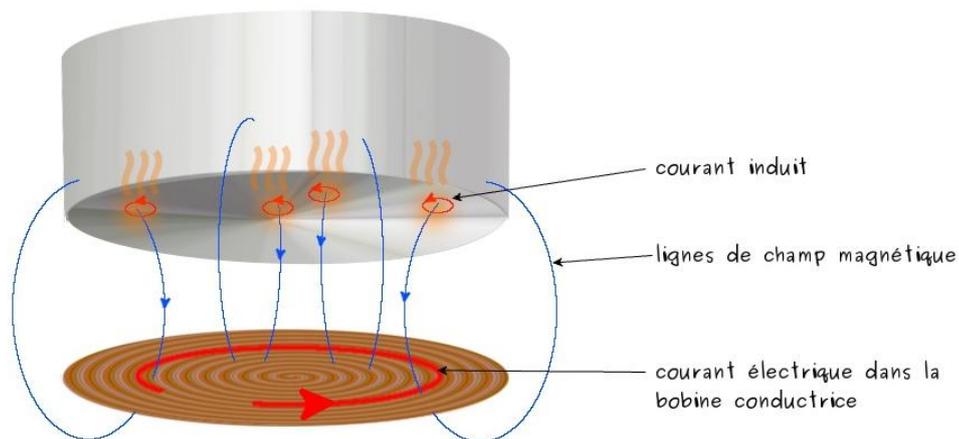
La dynamo moyeu crée une résistance au pédalage, est plus lourde qu'une dynamo bouteille, mais possède un rendement beaucoup plus élevé (80 % au lieu de 30-40%).

Le chauffage par induction

Un chauffage par induction permet de chauffer un matériau sans contact avec la source d'énergie. Si on pose sa main sur une plaque à induction, celle-ci reste froide, mais permet quand même de réchauffer le contenu d'une casserole.

Une plaque à induction contient une grande bobine en cuivre. Lorsque la plaque est allumée, un courant électrique circule dans la bobine, ce qui entraîne l'apparition d'un champ magnétique. Lorsqu'on pose une casserole, on la place dans le champ magnétique. Comme la casserole est en métal, le champ magnétique va induire un champ électrique dans le fond de la casserole. Ces courants sont nommés courants de Foucault. La casserole va alors s'échauffer par effet Joule.

Pour fonctionner, le champ magnétique doit être variant. On utilise donc un champ électrique alternatif à haute fréquence dans la bobine.



Source : <https://couleur-science.eu/?d=23d1bf--comment-fonctionnent-les-plaques-a-induction>

Ce phénomène d'induction est aussi utilisé par les chargeurs sans fils des smartphones. Ici, la proximité de l'appareil et du support provoque un champ électromagnétique qui génère un courant et permet de recharger une batterie.

Pour conclure : l'Espace des sciences en pratique



Espace des sciences

10, cours des Alliés

35 000 RENNES

Tel : 02 23 40 66 40

Fax : 02 23 40 66 41

www.espace-sciences.org

Visites pour les groupes :

- mardi, jeudi et vendredi de 9h à 10h30 et de 14h à 15h30
- mercredi à 10h30

Toute **réservation est obligatoire** et se fait par téléphone au **02 23 40 66 00**

Tarifs groupes : 3 euros par enfant et 4 euros par adulte supplémentaire (gratuité d'un adulte pour 10 élèves)

Pratique !

Un espace pique-nique est proposé sur place. Faire la demande lors de votre réservation (dans la limite des places disponibles)

Une malle est mise à votre disposition pour stocker sacs et vêtements

Pour plus de renseignements :

- www.espace-sciences.org/enseignants/rubrique
- Les **professeurs conseillers-relais de l'Education nationale**
Premier degré : Chloé LAMY chloe.lamy@ac-rennes.fr
Second degré : Didier THIEURMEL didier.thieurmel@ac-rennes.fr