

Electromagnétisme

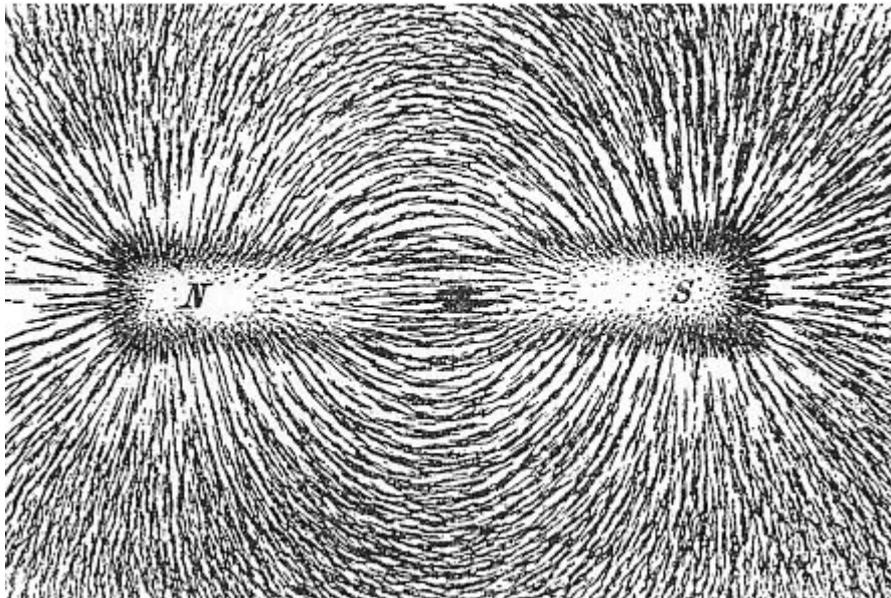
(Sources principales : « C'est pas sorcier : Magnétisme », articles « Ligne à haute tension », « Circuit magnétique », « Haute tension » de Wikipedia, « Courant continu et courant alternatif » sur le site de EDF, cours « Théorie des champs », chap. 6, de G. Cormier, université de Moncton)

1. Les aimants et les pôles

Les aimants sont des objets capables d'en attirer d'autres grâce à une force étrange appelée « force magnétique ».

Mais la force des aimants ne s'exerce que sur certains matériaux : les aimants attirent essentiellement les matériaux « ferromagnétiques », comme le fer, la plupart des aciers mais aussi le nickel et le cobalt.

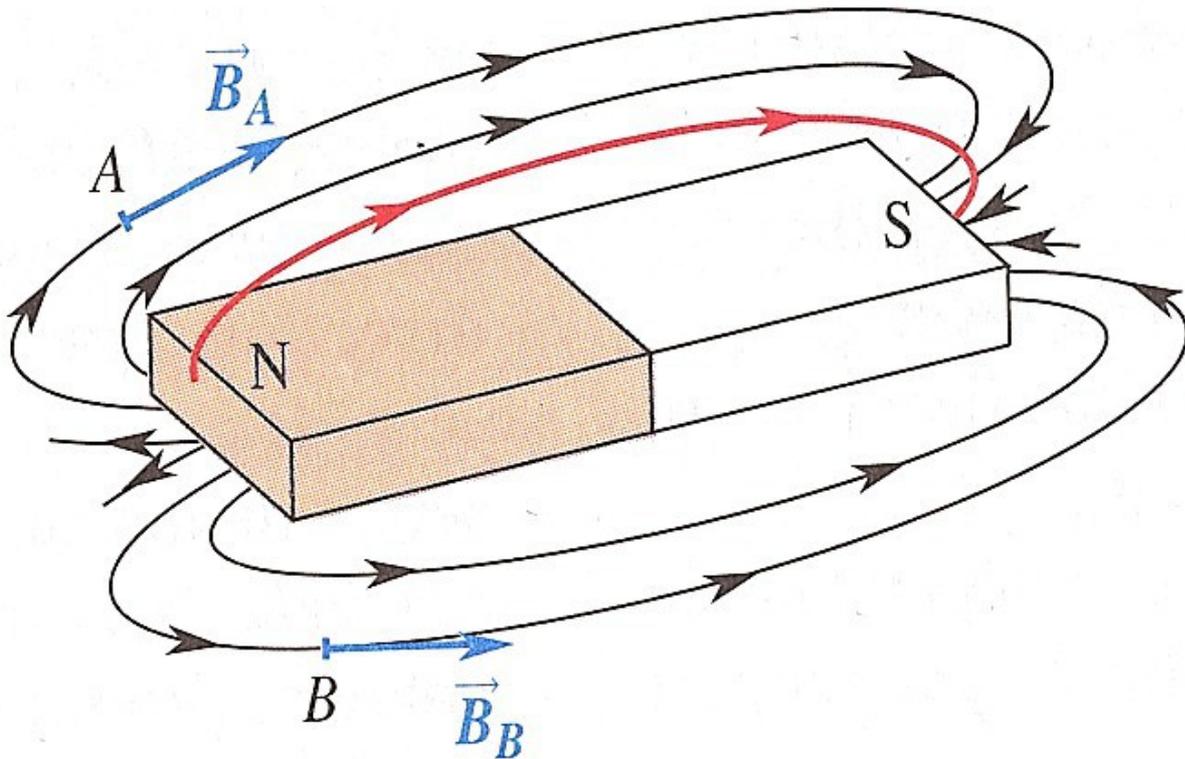
La force magnétique est modélisée par le « champ magnétique ». On peut visualiser ce dernier, à l'aide de limaille de fer sur une vitre :



<http://biblio.alloprof.qc.ca/ImagesDesFiches/6000-6999-Sciences-et-technologie/6302/6302i17.jpg>

Les lignes dessinées tout autour de l'aimant s'appellent les « lignes de champ ».

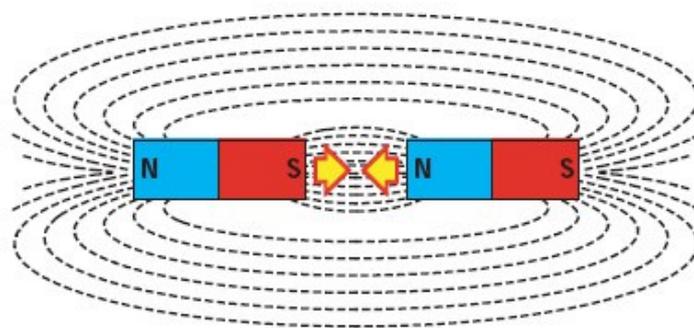
Attention : les lignes de champ se déploient en réalité dans les trois dimensions (et pas seulement dans le plan horizontal).



<http://persocite.francite.com/lemagnetisme/images/2.jpg>

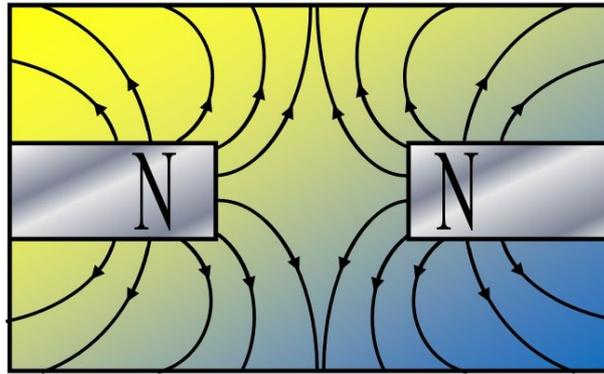
Les aimants peuvent s'attirer ou se repousser.

En effet, un aimant comporte toujours 2 pôles : le pôle Nord, et le pôle Sud. A l'extérieur de l'aimant, les lignes de champ vont toujours du pôle Nord au pôle Sud (voir image ci-dessus). De ce fait, si on présente le pôle Nord d'un aimant au pôle Sud d'un autre aimant, les lignes de champ de l'un se dirigent vers l'autre, formant un « pont ». Les aimants s'attirent.



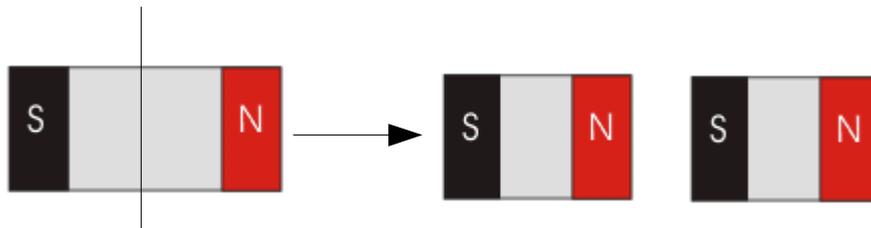
<http://philippelopes.free.fr/ChampMagnetiqueAttractifs.jpg>

Par contre, si deux pôles Nord (ou deux pôles Sud) sont face à face, les lignes de champ d'un des deux pôles Nord contournent nécessairement l'autre pôle Nord. Les deux pôles Nord se repoussent.



<http://biblio.alloprof.qc.ca/ImagesDesFiches/6000-6999-Sciences-et-technologie/6302/6302i9.jpg>

On ne peut pas isoler un pôle Nord ou un pôle Sud : si on casse un aimant en deux, on obtient deux aimants avec chacun un pôle Nord et un pôle Sud.



<http://philippe.boeuf.pagesperso-orange.fr/robert/images/aimant5.gif>

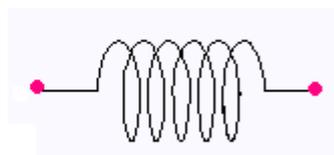
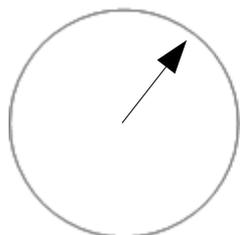
Il y a des aimants dans la plupart des appareils qui nous entourent :

- Les disques durs des ordinateurs sont recouverts de milliards de grains magnétiques, qui se comportent comme de petits aimants. Pour stocker des données, les têtes d'écriture orientent ces aimants en envoyant un champ magnétique.
- Les tickets de métro (et la carte MOBIB) fonctionnent aussi grâce aux aimants.
- Dans les automobiles, les moteurs qui actionnent les vitres et les essuie-glaces fonctionnent grâce à une trentaine de petits aimants.

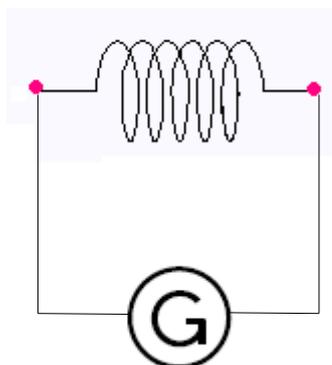
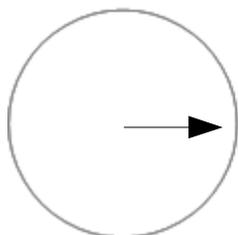
2. Électroaimants

2.1 Expérience

Faisons circuler un courant électrique dans un fil conducteur enroulé autour d'un axe (autrement dit, une bobine) près duquel on a placé une boussole.



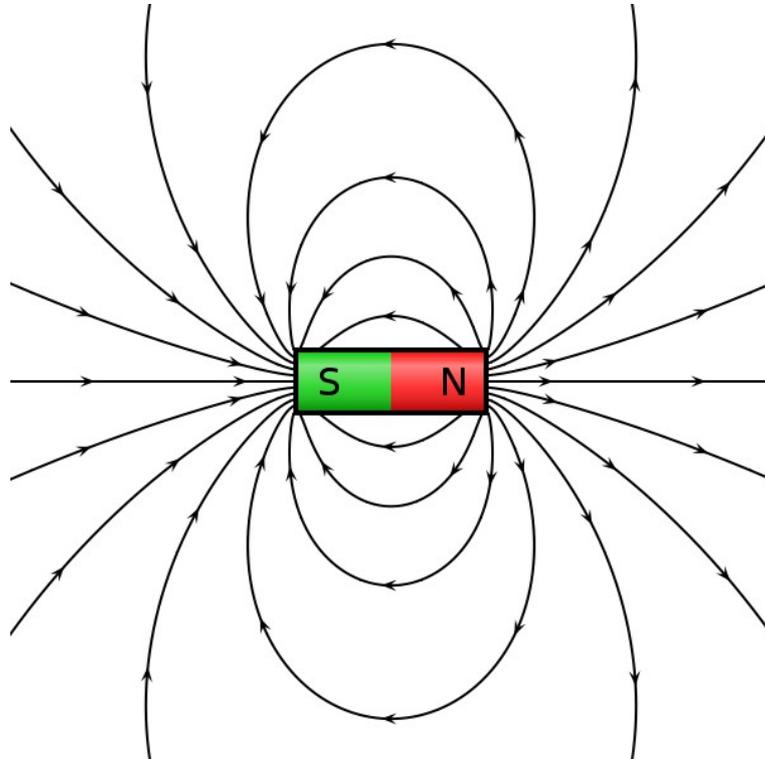
Lorsque le courant électrique circule, l'aiguille de la boussole est déviée.



Le courant électrique génère donc un champ magnétique, et c'est ce champ magnétique qui fait dévier l'aiguille.

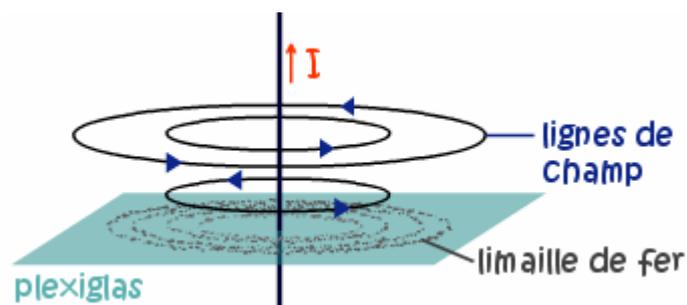
2.2 Champs magnétiques produits par des aimants et des courants

Le champ magnétique créé par un aimant en forme de bâtonnet produit les lignes de champ suivantes :



http://fr.wikipedia.org/wiki/Magn%C3%A9tostatique#/media/File:VFPT_cylindrical_magnet.svg

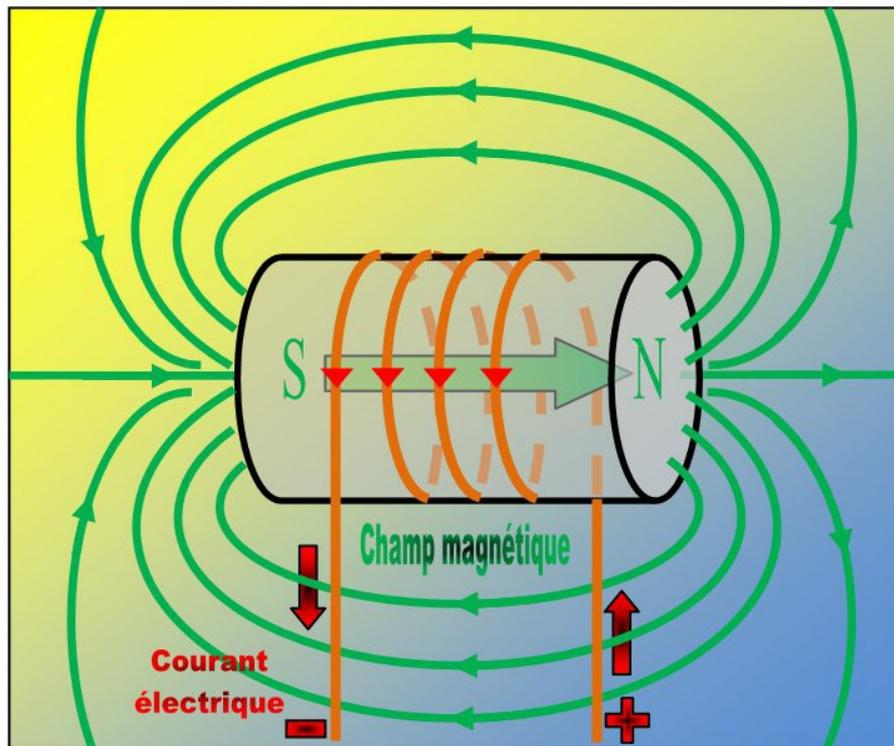
Le champ magnétique créé par un courant circulant dans un conducteur droit produit les lignes de champ suivantes :



<http://www.maxicours.com/soutien-scolaire/physique/bac-pro/190704.html>

5TQ, Cours d'électromagnétisme de M. Gurnicky

Le champ magnétique créé par un courant circulant dans une bobine produit les lignes de champ suivantes :



<http://biblio.alloprof.qc.ca/ImagesDesFiches/6000-6999-Sciences-et-technologie/6302/6302i14.jpg>

Ce sont les mêmes lignes de champ que celles d'un aimant en forme de bâtonnet.

2.3 Électroaimants

Ce phénomène physique intéressant permet à l'être humain de produire lui-même des champs magnétiques grâce au courant électrique.

Les électroaimants sont des aimants artificiels. Ce sont des bobines conductrices qui, lorsqu'elles sont traversées par un courant électrique, produisent un champ magnétique comme celui montré dans l'image ci-dessus.

Si on coupe le courant, la bobine cesse d'être un aimant. Les électroaimants sont donc des aimants commandés.

L'intensité de l'électroaimant est d'autant plus grande que :

- le nombre de spires (c'est-à-dire de tours) de la bobine est grand,
- la surface des spires est grande,
- l'intensité du courant est grande.

En jouant sur tous ces paramètres, les ingénieurs ont conçu des électroaimants utilisés pour le levage de masses métalliques ainsi que le tri des déchets métalliques (entre autres).

3. Champ magnétique terrestre

3.1 La boussole

Il est très facile de fabriquer une boussole :

- aimanter une aiguille à l'aide d'un aimant permanent
- déposer cette aiguille sur un bouchon
- déposer le bouchon dans une bassine d'eau



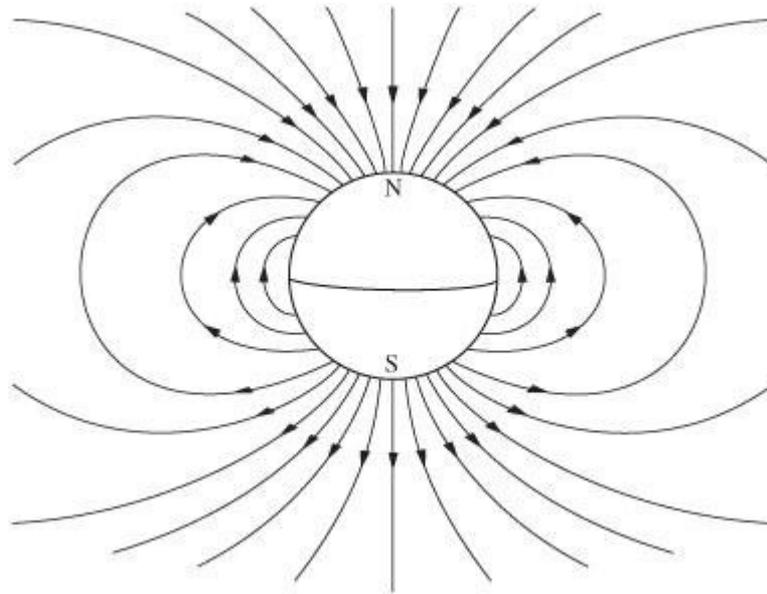
<https://www.youtube.com/watch?v=zDOIKlbW2M>

Quel que soit l'emplacement de la bassine, l'aiguille s'oriente suivant l'axe Nord-Sud. En effet, l'aiguille est soumise au champ magnétique de la Terre.

Cette expérience montre que la Terre se comporte comme un gigantesque aimant.

3.2 Champ magnétique terrestre

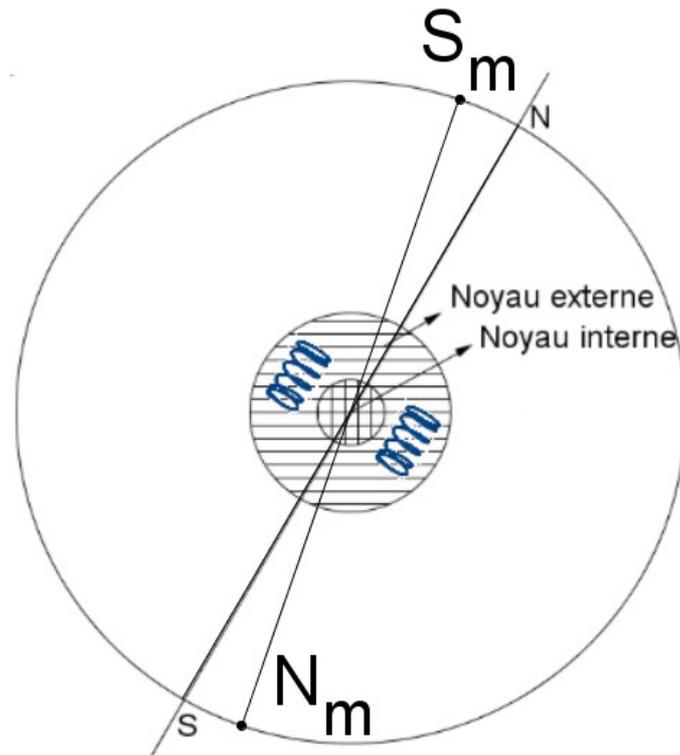
Puisque la Terre est un aimant, son champ magnétique produit des lignes de champ. En voici une vue en coupe :



http://www.bacterioblog.com/wordpress/wp-content/uploads/2010/10/champ_magnetique.jpg

Pour comprendre pourquoi la Terre est un aimant, il faut plonger au cœur de la planète.

Le noyau terrestre est constitué de deux éléments : une sphère solide (noyau interne), qui baigne dans du fer à l'état liquide (noyau externe). Les flux de chaleur qui partent du centre de la Terre mettent ce liquide en mouvement. La matière se déplace alors en formant des tourbillons qui suivent toujours l'axe des pôles. Ces mouvements génèrent un courant électrique très intense.



Comme dans un électroaimant, le courant électrique qui circule dans le fer à l'état liquide génère un champ magnétique. Voilà pourquoi la Terre se comporte comme un aimant.

Attention :

- L'axe des pôles magnétiques est légèrement décalé par rapport à l'axe des pôles géographiques. En ce moment, il est incliné d'environ 11° par rapport à l'axe de rotation de la Terre.
- Le pôle Sud magnétique (S_m) de la Terre se trouve au pôle Nord géographique, et le pôle Nord magnétique (N_m) de la Terre se trouve au pôle Sud géographique. En effet, le pôle Nord de la boussole est attiré par le pôle Sud magnétique de la Terre, mais il indique le pôle Nord géographique.
- Les pôles magnétiques n'ont pas toujours été à la même position : en étudiant l'aimantation des laves volcaniques, les géologues se sont rendu compte que les pôles magnétiques s'étaient inversés plusieurs fois au cours des temps géologiques. Il y a 780 000 ans, par exemple, le pôle Nord magnétique se trouvait au nord géographique. L'instabilité des tourbillons dans le noyau externe explique ces bouleversements.

4. Génération d'un courant alternatif

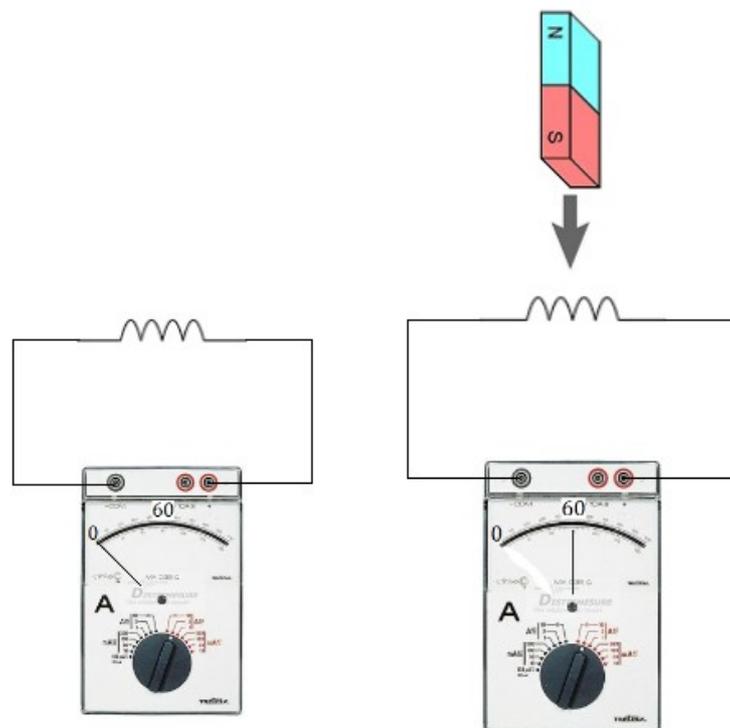
Si on peut créer des champs magnétiques à partir de courants électriques, on peut également faire l'inverse : le champ magnétique « induit » un courant électrique. On appelle « force électromotrice » ou « tension électrique », la différence de potentiel qui provoque ce courant.

4.1 Expérience

Relions une bobine de fil conducteur à un ampèremètre (un appareil dont l'aiguille bouge quand le courant passe).

En l'état, l'aiguille indique le zéro, car aucun courant ne parcourt la bobine.

Mais si on fait **bouger** un aimant à proximité de la bobine, l'aiguille de l'ampèremètre indique une valeur non nulle



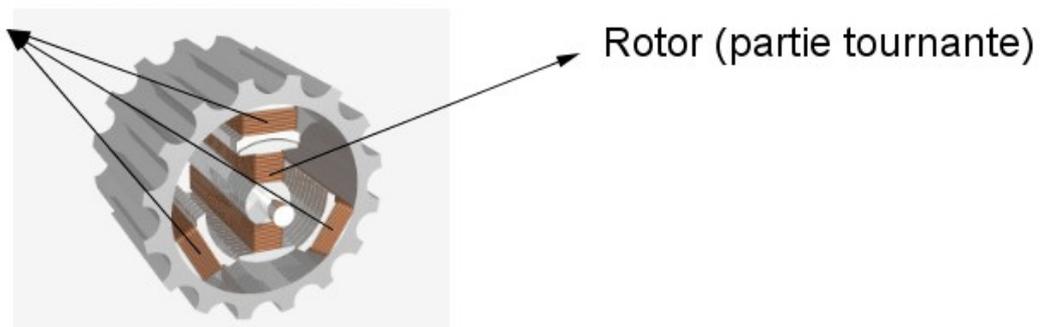
4.2 L'alternateur

En fait, le champ magnétique de l'aimant, **en variant**, agit sur les électrons à l'intérieur du fil conducteur. Il les met en mouvement ! Et quand les électrons sont en mouvement, on a du courant électrique !

Dès que l'aimant cesse de bouger, le courant électrique revient à zéro. Mais si l'aimant fait des aller-retours, alors la variation du champ magnétique entretient le mouvement des électrons, donc la production d'électricité. C'est le principe du générateur.

C'est de cette manière que fonctionnent les alternateurs des centrales électriques. Grâce à la force de la vapeur ou de l'eau, on fait tourner généralement un électroaimant alimenté par une source de courant continu (le rotor) à l'intérieur d'une série de bobines (qu'on appelle le stator). Et de l'électricité est générée à l'intérieur des bobines du stator.

3 bobines du stator (fixes)



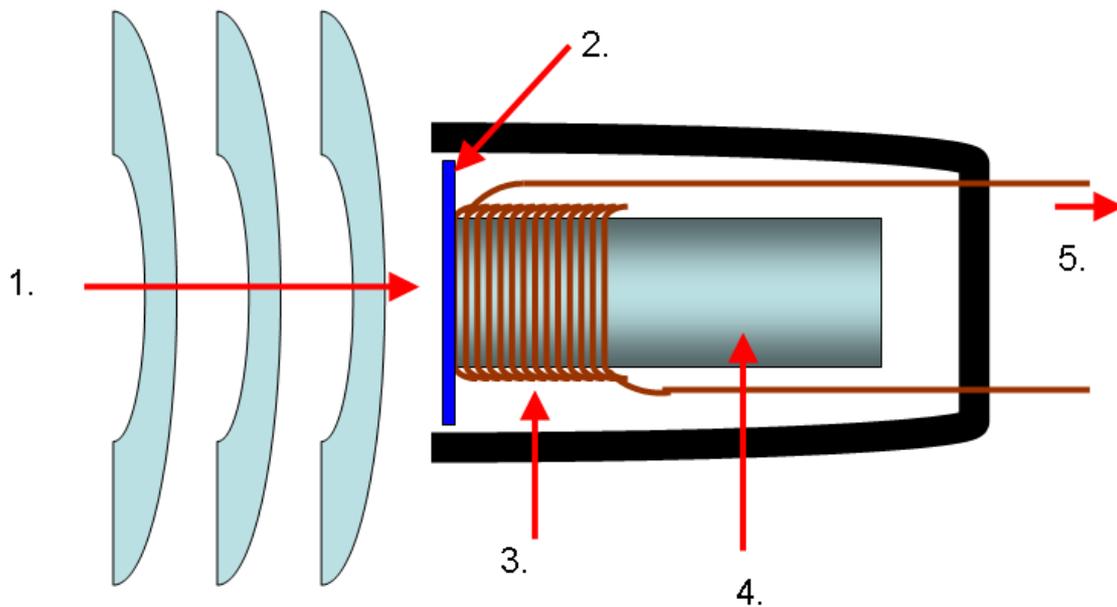
<http://fr.academic.ru/pictures/frwiki/83/Sink-320x240-3x-rot.gif> (animation conseillée)

Du fait que le rotor tourne, le courant circule dans un sens puis dans l'autre. On dit que le courant est « alternatif ».

4.3 Applications : le microphone et le haut-parleur

Nous venons de voir que nous pouvons générer un courant électrique à partir d'un mouvement, et inversement.

Dans les microphones électromagnétiques à bobine mobile, une bobine est collée à la membrane, qui la fait vibrer dans le fort champ magnétique fixe d'un aimant permanent. Le mouvement crée un signal électrique.



<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/Mic-dynamic.PNG>

Schéma du microphone dynamique : 1.Onde sonore, 2.Membrane, 3.Bobine mobile, 4.Aimant, 5.Signal électrique

Ce signal est envoyé vers un haut-parleur, qui l'amplifie avant de le convertir à nouveau en signal sonore. Voici le schéma d'un haut-parleur :

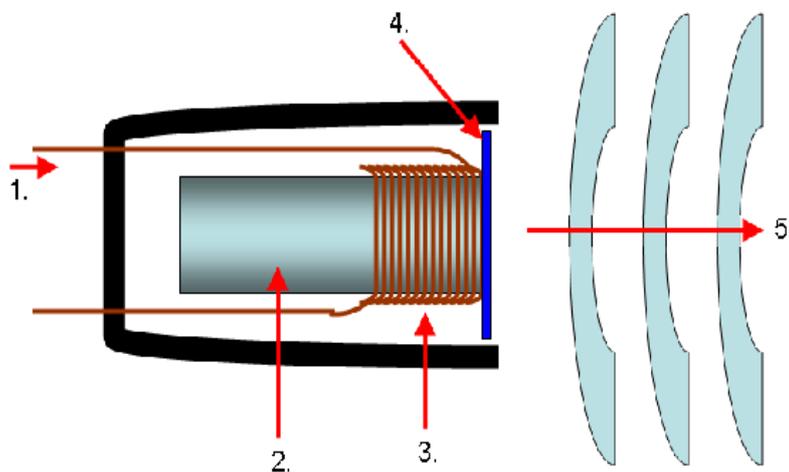


Schéma du haut-parleur : 1.Signal électrique, 2.Aimant, 3.Bobine mobile, 4.Membrane, 5.Onde sonore

Le haut-parleur peut être conçu exactement comme un microphone inversé : une bobine est collée à la membrane, mais c'est la bobine qui fait vibrer la membrane.

Le signal électrique qui parcourt la bobine génère un champ magnétique qui interagit avec le champ magnétique de l'aimant. Ainsi, la bobine s'éloigne ou se rapproche de l'aimant permanent, et fait bouger la membrane. L'air environnant est par conséquent mis en mouvement, et une onde sonore est émise.

Dans le haut-parleur, un mouvement est produit à l'aide d'un courant électrique. On peut donc dire qu'il y a un petit moteur dans les hauts-parleurs. Les moteurs électriques des voitures, des tram, des trains, ... fonctionnent suivant le même principe, mais avec des courants et des aimants plus intenses.

5. Propriétés du courant alternatif

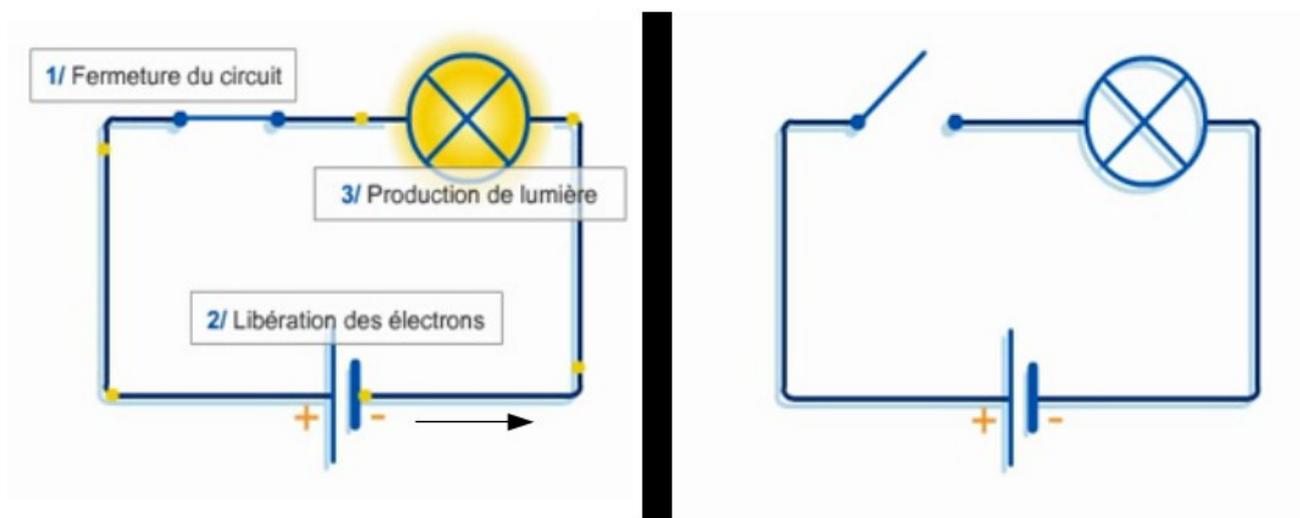
Le courant électrique provient de la circulation d'électrons dans un corps conducteur, tel que certains métaux, les gaz... Il peut être continu ou alternatif.

5.1 Courant continu

Un courant est dit continu lorsqu'il s'écoule continuellement dans une seule direction.

Le sens du courant électrique est par défaut le sens conventionnel du courant : du pôle + vers le pôle -. (En réalité, les électrons circulent de la borne négative vers la borne positive.)

Le courant continu est produit par l'activité chimique d'une batterie ou d'une pile dans un circuit électrique fermé. C'est le cas par exemple dans une lampe électrique. Le circuit de la lampe relie un interrupteur, un générateur (pile) et une ampoule.



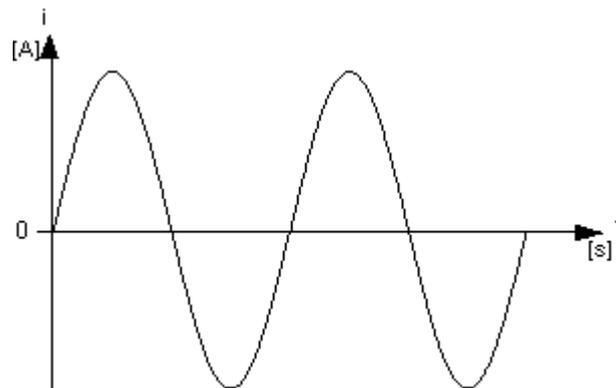
<http://jeunes.edf.com/article/courant-continu-et-courant-alternatif,112>

Gauche : lampe parcourue par un courant continu. Droite : lampe sans courant.

5.2 Courant alternatif

Un courant est dit alternatif lorsqu'il circule alternativement dans une direction puis dans l'autre à intervalles réguliers appelés cycles.

Le courant alternatif produit par les centrales électriques est sinusoïdal :



<http://www.epsic.ch/cours/Electrotechnique/theorie/altermono/Image742.gif>

6. Perte d'énergie et tension utilisée

Les pertes en ligne (P') sont principalement dues à l'effet Joule, qui ne dépend que de deux paramètres : la résistance R et l'intensité I du courant ($P'=R.I^2$). L'utilisation de la haute tension permet (U), à puissance transportée ($P=U.I$) équivalente, de diminuer le courant et donc les pertes.

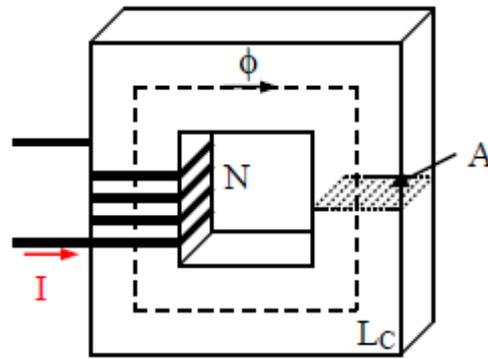
En résumé, on utilise des lignes à haute tension pour les transports à longue distance, pour limiter les pertes d'énergie sur la ligne.

7. Transformateur électrique

7.1 Circuit magnétique

Les matériaux magnétiques ont pour effet de concentrer les lignes de champ magnétique.

Un circuit magnétique est un circuit composé justement d'un noyau de matériau magnétique et d'un courant qui circule dans une bobine. Un flux de champ magnétique circule au travers du noyau. De manière imagée, on peut dire que le champ magnétique « coule » dans le circuit magnétique (comme le courant électrique « coule » à travers un circuit électrique).



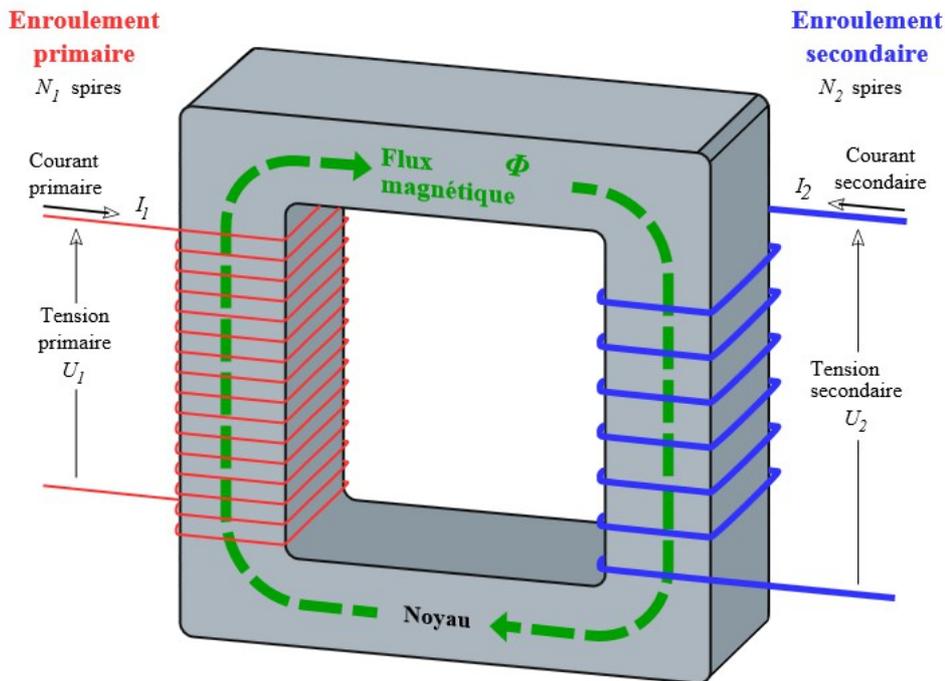
http://www8.umoncton.ca/umcm-cormier_gabriel/Electromagnetisme/GELE3122_Chapitre6.pdf

Lorsque plusieurs circuits électriques sont bobinés autour d'un même circuit magnétique, ils constituent des circuits magnétiquement couplés.

7.2 Transformateur électrique

Un transformateur électrique est une machine électrique permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme.

Voici le schéma d'un transformateur électrique :



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c9/Transformateur_monophas%C3%A9.svg

Nous reconnaissons des circuits magnétiquement couplés. Dans le cas d'un

5TQ, Cours d'électromagnétisme de M. Gurnicky

transformateur idéal, le rapport du nombre de spires secondaires N_2 sur le nombre de spires primaires N_1 détermine totalement le rapport de transformation du transformateur, noté m .

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Par exemple, à la maison, nous recevons une tension U_1 de 230 V du secteur, mais certains appareils nécessitent une tension de 12 V. Ces appareils contiennent en général un transformateur dont le primaire comporte $N_1=230$ spires, et le secondaire $N_2=12$ spires. On vérifie alors que l'équation ci-dessus devient

$$\frac{U_2}{230} = \frac{12}{230}$$
$$\Leftrightarrow U_2 = \frac{12}{230} \cdot 230 = 12 \text{ V}$$

et la tension apportée à notre appareil a bien une valeur de 12 V.

Attention : c'est la *variation* du champ magnétique qui provoque l'apparition de la tension U_2 induite dans le secondaire. Un courant continu dans le primaire ne produirait pas de variation du champ magnétique, donc aucune tension dans le secondaire. Par conséquent, seul le courant alternatif permet l'usage d'un transformateur, c'est-à-dire, comme on l'a vu, la modification de la valeur de la tension et du courant. C'est une des raisons pour lesquelles la tension alternative est généralement préférée pour le transport de l'électricité de la centrale au consommateur.