

Activité n°1 : De la découverte de l'induction aux alternateurs

1. Une expérience historique

Jusqu'au XIX siècle, on distinguait :

- l'étude des phénomènes magnétiques, depuis l'Antiquité (boussoles ou d'aimants) ;
- l'étude des phénomènes électriques, étudiés par Charles-Augustin **Coulomb** en particulier à la fin du XVIIIe siècle. En 1800, la pile d'Alessandro Volta permet la génération de courants électriques, qui sont des charges électriques en mouvement.

Le lien entre ces deux branches de la physique, l'électricité et le magnétisme, n'est établi qu'en 1820 par **Hans-Christian Ørsted**, lors d'une expérience historique reproduite aujourd'hui en classe.

- a) Dans le cadre ci-dessous, schématiser puis rédiger une observation concernant l'expérience menée en classe.

Expérience historique d'Ørsted (1820)

Observation :

Lorsqu'un courant électrique circule l'aiguille tourne

.....
.....
.....

Interprétation : Pourquoi cette expérience prouve le lien existant entre électricité et magnétisme ?

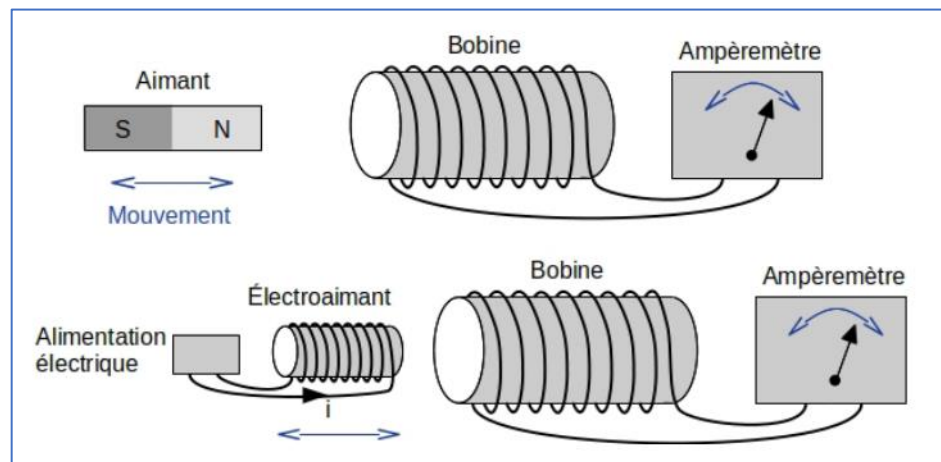
Lorsque du courant électrique circule un champ magnétique se crée et dévie l'aiguille aimantée.
Cette expérience montre le lien entre les deux
électrique • magnétisme

2. Découverte du phénomène d'induction

Expérience de Michael Faraday :

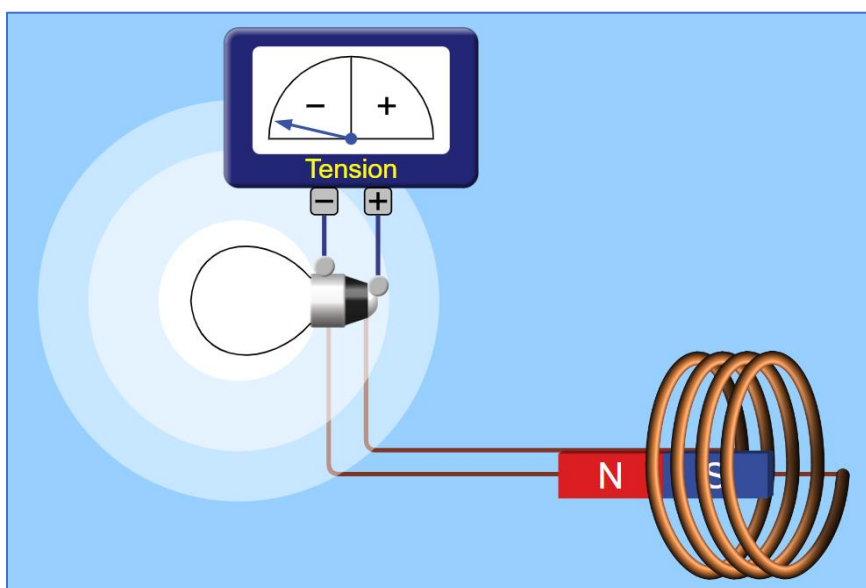
La réciproque de cette découverte reste dès lors à établir. En 1831, Michael **Faraday** montre par l'expérience qu'un circuit électrique fermé est parcouru par un courant électrique lorsqu'il est plongé dans un champ magnétique variable dans le temps, obtenu par exemple par le mouvement d'un aimant à proximité du circuit électrique, ou encore par le mouvement d'un électroaimant (bobine alimentée électriquement, qui se comporte comme un aimant). Ce phénomène est également observable lorsque c'est le circuit électrique qui est en mouvement dans un champ magnétique qui n'est pas homogène. Dès lors, la réciproque **phénomènes magnétiques => phénomènes électriques** est démontrée : on parle d'**induction**.

Le schéma ci-dessous présente de façon schématique une illustration expérimentale :



Animation :

[La loi de Faraday - Loi de Faraday | Champ magnétique | Aimants - Simulations interactives PhET \(colorado.edu\)](#)



b) A partir de l'animation, reproduire la situation ci-contre puis compléter ce schéma en y ajoutant :

- Le sens du mouvement de l'aimant à cet instant ;
- Les lignes de champ magnétique créées par l'aimant.

Corriger dans le fichier cours

- c) Comment le mouvement ou l'absence de mouvement influe-t-il sur la formation de courant électrique dans les fils électriques de la bobine ?

L'aimant doit être en mouvement pour créer un courant électrique à l'intérieur de la bobine.

.....
.....

- d) Pourquoi l'expérience de Faraday démontre-t-elle la réciproque de la découverte d'Ørsted ?

Dans cette expérience des phénomènes magnétiques induisent des phénomènes électriques ce qui est l'inverse de l'expérience d'Ørsted.

- e) Quels sont les paramètres ayant une influence sur le sens de circulation du courant électrique ?

Sens de déplacement de l'aimant et son orientation

.....
.....

Expérience sur les champs magnétiques créés par des aimants :

Aurait-on pu remplacer l'aimant droit par un aimant en U dans l'animation précédente ? Pour répondre à cette question, on réalise une deuxième expérience en classe.

- f) Dans le cadre ci-dessous, schématiser puis rédiger une observation concernant l'expérience menée en classe.

Observation :

Je vois des lignes de champs magnétiques

Interprétation : L'aimant en U crée-t-il le même champ magnétique que l'aimant droit ?

NON

En conclusion, lorsque le champ magnétique dans lequel est plongé un circuit électrique évolue dans le temps, tout se passe comme si ce circuit contenait un générateur électrique : c'est la **loi de Faraday** (qui ne figure pas au programme de l'enseignement scientifique) qui décrit et quantifie le phénomène d'...induction.....

Le phénomène d'induction permet donc de réaliser une **conversion d'énergie** en mettant en mouvement un circuit ou un aimant permettant d'obtenir de l'énergie électrique Cette énergie n'est pas « gratuite » : pour l'obtenir, l'opérateur doit fournir une énergiemécanique..... .

3. L'alternateur

A l'échelle industrielle, le phénomène d'induction est exploité pour produire de l'électricité, notamment au sein des centrales électriques dans des dispositifs appelés **alternateurs**.

En effet, un alternateur est un convertisseur d'énergie mécanique en énergie électrique. L'énergie mécanique, qui est la grandeur d'entrée du convertisseur (énergie fournie, ou dépensée), est à l'origine de la mise en rotation d'une partie tournante (pales d'une éolienne, turbine d'une centrale hydroélectrique), qui elle-même entraîne en rotation des sources de champ magnétique : aimants ou électroaimants ; cette partie en rotation est nommée **rotor**. Ces sources de champ magnétique sont alors en mouvement à l'intérieur (parfois autour) d'un ou plusieurs circuits électriques fixes (le **stator**) dans le référentiel d'usage de l'alternateur. Ces circuits électriques sont alors le siège d'un phénomène d'**induction**, et peuvent être parcourus par un courant électrique lorsqu'ils sont reliés à une charge électrique. L'énergie électrique correspondante est la grandeur de sortie du convertisseur. Ce convertisseur associant stator et rotor est appelé alternateur. Les puissances mises en jeu vont du W au GW suivant les applications :



Figure 1



Figure 2



Figure 3

Fig 1 : Taille de l'ordre du cm. Puissance de l'ordre du W.

Fig 2 : Alternateur de voiture. Taille de l'ordre de la dizaine de cm. Puissance de l'ordre du kW.

Fig 3 : Alternateur de centrale nucléaire lors d'une opération de maintenance à Paluel : le rotor long de 20m et pesant 240 tonnes a été extrait du stator. Puissance de plusieurs centaines de MW.

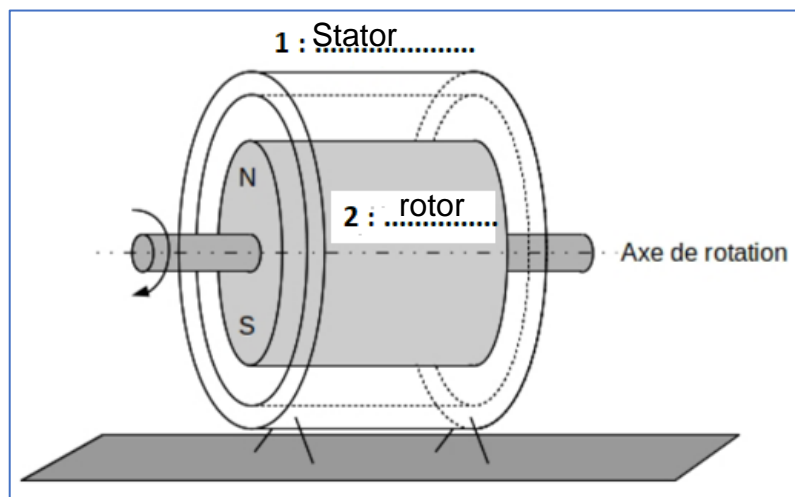
Principe de fonctionnement :

Quels que soient les ordres de grandeur des puissances délivrées par ces alternateurs, le schéma de principe est le même. Il comporte un rotor (composé d'aimants ou d'électroaimants qui doivent donc être alimentés électriquement, symbolisés par leurs pôles nord N et sud S en rotation), lié à l'axe de rotation du système, et un stator composé d'un ou plusieurs circuits électriques dans lesquels se produisent des phénomènes d'induction, et qui se comporteront dès lors comme des sources d'énergie électrique. L'énergie mécanique est apportée par des éléments mécaniques liés à l'axe de rotation : pales d'une éolienne entraînées par le vent, turbine d'une centrale hydroélectrique entraînée par l'eau, courroie pour un alternateur d'automobile ou encore galet d'une dynamo entraîné par frottement avec le pneu du vélo.

Animation sur le fonctionnement de l'alternateur :

<https://www.cea.fr/multimedia/Lists/StaticFiles/animations/noflash/energie/incollables-turbine-alternateur.mp4>

- g) Compléter la légende du schéma de principe de l'alternateur ci-contre.
- h) Compléter le schéma énergétique suivant en indiquant le nom des puissances mises en jeu.



- i) Dans un vélo, de quelle façon le rotor de la dynamo est-il mis en mouvement ? Dans quel but ?

Il est mis en mouvement grâce au mouvement de la roue pour alimenter le phare

- j) Dans une centrale, de quelle façon le rotor de l'alternateur est-il mis en mouvement ?

le rotor est mis en mouvement par la turbine ou les pales de l'éolienne

Rendement de l'alternateur :

Le **rendement d'un convertisseur** tel que l'alternateur est une propriété déterminante. Dans un système de type électro-magnéto-mécanique (ou électromécanique), les sources de dissipation d'énergie sont de plusieurs natures : pertes mécaniques (frottements) ou pertes par effet Joule dans les circuits électriques. Dans tous les cas, la puissance dissipée l'est sous forme de chaleur. Si cette puissance est trop élevée et mal évacuée, le système va s'échauffer au risque de se détériorer. On définit alors le rendement r (ou η) d'un alternateur comme le rapport de l'énergie utile qu'il fournit sur une certaine durée, sous forme électrique donc (notée E_{elec}), à l'énergie mécanique qu'il reçoit pour fonctionner sur cette même durée (notée $E_{méca}$). L'énergie mécanique non transformée en énergie électrique est dite « dissipée ».

k) Compléter l'expression du rendement r d'un alternateur dans le cadre ci-dessous :



Le barrage des Trois-Gorges en Chine est le barrage qui délivre la plus grande puissance électrique au monde. Il est constitué de 32 turbo-alternateurs mis en mouvement par l'eau retenue par le barrage. Les caractéristiques moyennes du barrage sont les suivantes :

> hauteur de chute moyenne : 80,6 m ;	> rendement nominal d'un turbo-alternateur : 0,96 ;
> puissance délivrée par un turbo-alternateur : 710 MW ;	> débit moyen maximal : 1 065 m ³ ·s ⁻¹ .

Expression du rendement de l'alternateur :

$$r = \frac{P_{elec}}{P_f}$$

Données

- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1,0 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

Formules

- Rendement : $r = \frac{P_u}{P_f}$
- Puissance fournie par l'eau en watt : $P_f = h \cdot d \cdot \rho \cdot g$ avec : h la hauteur en m, d le débit en m³·s⁻¹, ρ la masse volumique en kg·m⁻³ et g l'intensité du champ de pesanteur en m·s⁻².

Vocabulaire

Rendement : le rendement r d'un appareil est le rapport entre la puissance utile P_u délivrée par celui-ci et la puissance P_f qui lui est fournie.

Source : Lelivrescolaire

l) Calculer la puissance fournie par l'eau à un turbo-alternateur du barrage des Trois-Gorges. En déduire le rendement r du turbo-alternateur.

$$P_f = 80.6 \cdot 1065 \cdot (1.0 \cdot 10^3) \cdot 9.81 = 842 \text{ MW}$$

Le rendement est ainsi nécessairement compris entre 0 et 1. Pour les systèmes industriels haute performance, les rendements dépassent 0,99 (soit 99 %). Pour un alternateur de 100MW, un rendement de 99 % signifie tout de même qu'il est nécessaire d'évacuer une puissance thermique de 1MW, soit l'équivalent d'un millier de radiateurs électriques de 1kW.