

L'énergie électrique au cours des deux derniers siècles : le XIXe siècle

Introduction :

L'électricité est un phénomène physique naturel (exemple : les éclairs lors des orages) qui a toujours existé. Pour autant, sa maîtrise et son exploitation par les êtres humains sont assez récentes : la première machine électrique date de 1822 (Peter Barlow) et la première ampoule électrique de 1879 ([Thomas Edison](#)).

Nous allons donc nous intéresser à l'évolution des connaissances sur les phénomènes électriques au XIX^e siècle et à la façon dont elles ont permis de créer un moyen de production d'énergie électrique : l'alternateur.

Pour cela, nous aborderons dans un premier temps la manière dont les travaux de Faraday et Maxwell ont contribué à lier le magnétisme et l'électricité, puis nous verrons comment à partir de l'induction électromagnétique est né et s'est perfectionné l'alternateur.

1 | L'induction électromagnétique, quésaco ?

a. L'électricité devient « attractive » !

Évoquons tout d'abord les deux phénomènes à l'œuvre lorsque l'on parle d'induction électromagnétique.

- Le **magnétisme** désigne les forces d'attraction ou de répulsion exercées par certains objets (aimants naturels ou artificiels) sur d'autres.
C'est un phénomène physique connu depuis l'Antiquité, avec la découverte par [Thalès de Milet](#) (VI^e siècle avant J.-C.) de l'attraction du fer par un aimant, puis celle du magnétisme terrestre au XVI^e siècle.

→ Les scientifiques constatent ainsi qu'il est possible de produire une action à distance grâce au magnétisme.

- Les effets de l'**électricité** sont également étudiés dès l'Antiquité, notamment l'attraction engendrée par un morceau d'ambre frotté : on constate que lorsque l'on frotte un morceau d'ambre, celui-ci attire des brindilles de paille. D'ailleurs, pour la petite histoire, le terme « électricité » (diffusé par William Gilbert au XVI^e siècle) a pour origine le mot grec *elektros* qui signifie « ambre jaune ».

Jusqu'au XVIII^e siècle, on ne maîtrise donc que l'**électricité statique**. Puis, on découvre que certains corps permettent la **propagation de l'électricité**.



Définition

Électricité statique :

Lorsque deux matériaux différents sont frottés l'un sur l'autre, il en résulte un « arrachement » de quelques électrons périphériques sur l'un des matériaux (qui devient alors légèrement positif) et une accumulation de ces électrons sur le second (qui devient alors légèrement négatif).

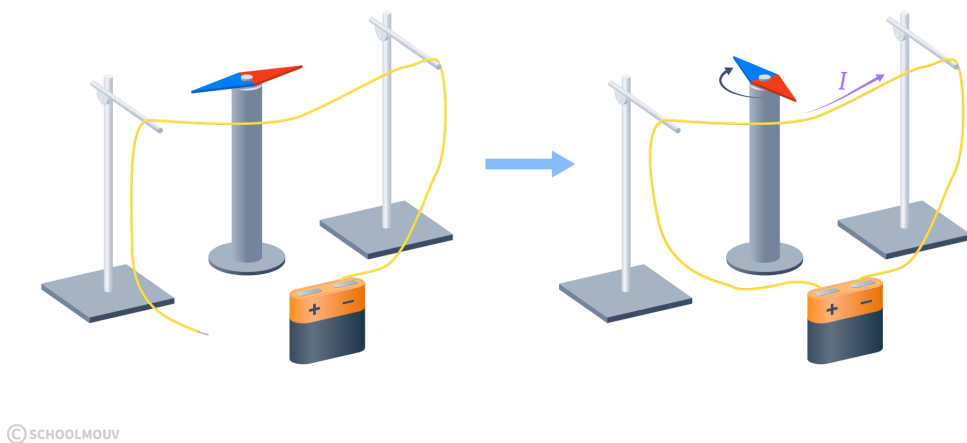
Naturellement, un rééquilibrage de la charge électrique va se produire : c'est ce phénomène que l'on nomme électricité statique.

Ce rééquilibrage peut être lent (c'est le cas du morceau de papier ou des cheveux attirés par une règle) ou bien très rapide (c'est le cas du « choc » ressenti de temps en temps quand on touche un objet). C'est aussi ce rééquilibrage qui est à l'origine des éclairs.

→ Les scientifiques constatent qu'il est possible de produire une action à distance également grâce à l'électricité. Le premier à évoquer la notion d'écoulement électrique, et donc de **courant électrique**, fut Benjamin Franklin.

En 1820, le scientifique danois **Ørsted** réalise une expérience à l'aide d'un fil électrique et d'une aiguille aimantée : lorsque le courant électrique traverse le fil conducteur, l'aiguille aimantée dévie.

Expérience d'Ørsted



L'union du magnétisme et de l'électricité date ainsi du début du XIX^e siècle, lorsqu'Hans-Christian Ørsted montre qu'**un courant électrique est capable d'engendrer un champ magnétique** et qu'il existe donc bien un lien entre magnétisme et électricité : c'est la naissance de l'**électromagnétisme**.

b. Entre l'aimant et la bobine, le courant passe !

Suite à l'expérience d'Ørsted, **Michael Faraday** imagine que l'inverse est également possible, c'est-à-dire qu'il est possible d'induire un courant électrique dans un fil grâce à un aimant : c'est précisément ce que l'on nomme l'**induction électromagnétique**.

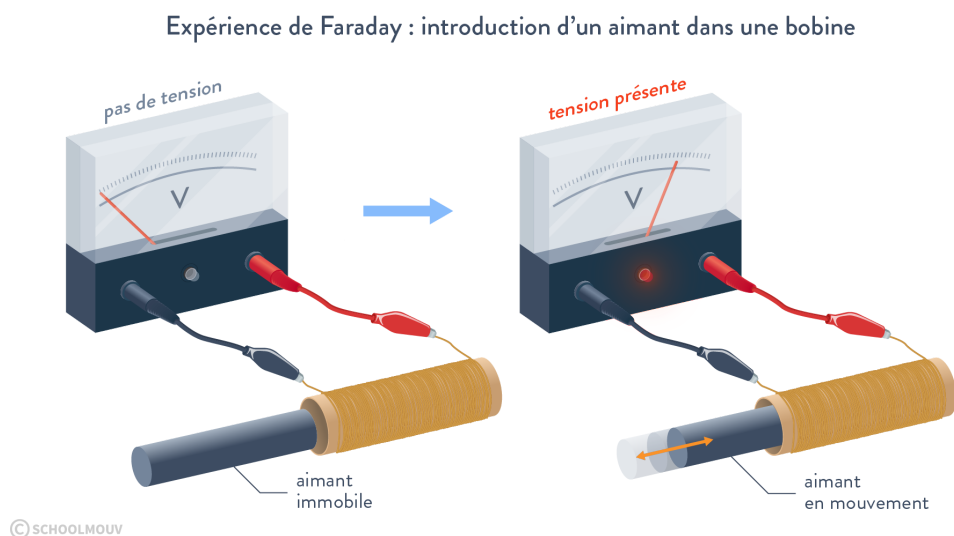


Induction électromagnétique :

Processus de génération d'un courant électrique à partir d'un champ magnétique.

En 1831, après plusieurs expériences, Faraday parvient à montrer qu'un aimant peut induire un courant électrique : il enroule du fil de fer autour d'un isolant (carton) pour former une bobine et constate qu'un courant

apparaît un court instant au moment où il met la bobine en contact avec un aimant et au moment où il supprime ce contact. Cependant, le phénomène n'est pas durable.



Par la suite, en utilisant un aimant en U beaucoup plus puissant, Faraday constate que le courant existe dans la bobine pendant toute la durée de l'approche ou de l'éloignement de l'aimant de celle-ci. De plus, l'aiguille du **galvanomètre** change de sens de déviation suivant l'approche ou l'éloignement de l'aimant, mais aussi suivant le pôle de l'aimant.



À retenir

Faraday déduit de ces expériences qu'il suffit d'un mouvement relatif entre un aimant et une bobine pour induire un courant électrique dans celle-ci.

Si Faraday montre expérimentalement les liens entre le magnétisme et l'électricité, c'est **James Clerk Maxwell** qui apporte ensuite le **formalisme mathématique** nécessaire.

En 1862, il propose la notion de **champ électrique et magnétique**.



Définition

Champ :

On appelle champ l'ensemble des valeurs d'une grandeur physique en tout point de l'espace. Un champ peut dépendre également du temps. Un champ peut être scalaire (nombre), comme pour la température ou la pression, ou alors vectoriel, comme pour le magnétisme et l'électricité.



En se basant sur le fait que la variation de l'un de ces champs (électrique ou magnétique) entraîne la variation du second, il propose des équations qui relient les champs électrique et magnétique, fondant ainsi officiellement une nouvelle branche de la physique : l'électromagnétisme.

Ainsi, Maxwell formalise le lien entre le champ magnétique et le champ électrique : la variation du champ magnétique \vec{B} au cours du temps est liée à l'existence du champ électrique \vec{E} .

Par la suite, en étudiant ces champs électrique et magnétique, Maxwell montre qu'ils se propagent dans l'espace sous forme d'ondes à une vitesse proche de $300\,000\text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, soit à une vitesse équivalente à celle de la lumière.

Cette « coïncidence » de vitesse lui souffle l'idée que la lumière pourrait également être décrite comme une perturbation électromagnétique se déplaçant selon les lois de l'électromagnétisme.

Cette intuition sera démontrée par [Heinrich Hertz](#) en 1887.

→ Les travaux de formalisation de la part de Maxwell constitueront une base au développement de la théorie de la relativité ([Heinrich Hertz](#)[Albert Einstein](#)) et à celui de la physique quantique au XX^e siècle.



Pour récapituler, un courant électrique constant ou variable dans un conducteur crée un champ magnétique au voisinage de celui-ci. Réciproquement, la variation d'un champ magnétique à proximité d'une bobine induit un courant électrique dans cette bobine. Faraday démontre ainsi qu'il est possible de transformer un mouvement (énergie mécanique) et électricité (énergie électrique) : les conséquences

de cette découverte vont révolutionner la façon de produire de l'électricité.

2 | Du mouvement naît l'électricité : l'alternateur

a. Principe de l'alternateur : une bobine, c'est bien...

Dès 1832, le premier générateur électrique est mis au point par Antoine Hippolyte Pixii, sur les indications d'[André-Marie Ampère](#). (Mais la première production d'alternateurs utilisables pour produire du courant alternatif pour les réseaux électriques date de 1882, grâce aux travaux de Nikola Tesla.)

Un aimant est entraîné par une manivelle devant une bobine : l'alternance des polarités nord et sud de l'aimant provoque des inversions du champ magnétique devant la bobine, induisant par conséquent un courant électrique.



À retenir

L'alternance des polarités de l'aimant devant la bobine provoque un changement de sens de circulation du courant : le courant produit est alors qualifié de **courant alternatif**.

L'ensemble du dispositif qui produit ce courant alternatif (bobine et source rotative de champ magnétique) porte quant à lui le nom d'**alternateur**.

De la vitesse de rotation de l'aimant dépend la fréquence (Hz) du courant électrique.



Définition

Courant alternatif :

Un courant alternatif est un courant d'intensité variable qui change de sens de circulation à intervalles de temps réguliers.

Toutefois, le courant produit par cette première expérience est très faible et non exploitable à grande échelle.



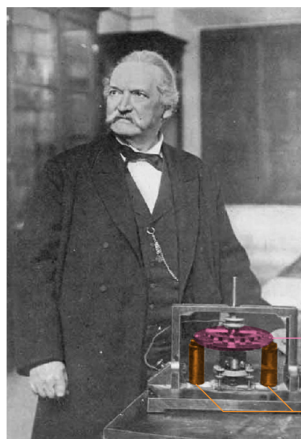
Perfectionnement de l'alternateur : ...plusieurs bobines, c'est mieux !

Parallèlement, les recherches sur le moteur électrique se poursuivent : si le mouvement peut engendrer un courant électrique, l'inverse est également vrai et on se plaît à imaginer un remplaçant au moteur à vapeur, réputé sale, bruyant, contraignant à l'entretien et qui possède un rendement assez faible.

Toutefois, le moteur électrique se heurte rapidement à un problème : le mode de production de l'électricité, par voie chimique à l'époque, est très peu performant et le coût d'utilisation est prohibitif par rapport au moteur à vapeur.

Pour améliorer le **rendement de production d'électricité** des premiers générateurs et rendre ainsi viable la solution du moteur électrique, Ernst Werner von Siemens et Antonio Pacinotti ont l'idée, en 1869, d'associer deux bobines sur même noyau de fer, multipliant ainsi le nombre de fois où le champ magnétique varie devant une bobine.

Antonio Pacinotti et son prototype de machine électrique, fin du XIX^e siècle-début du XX^e siècle



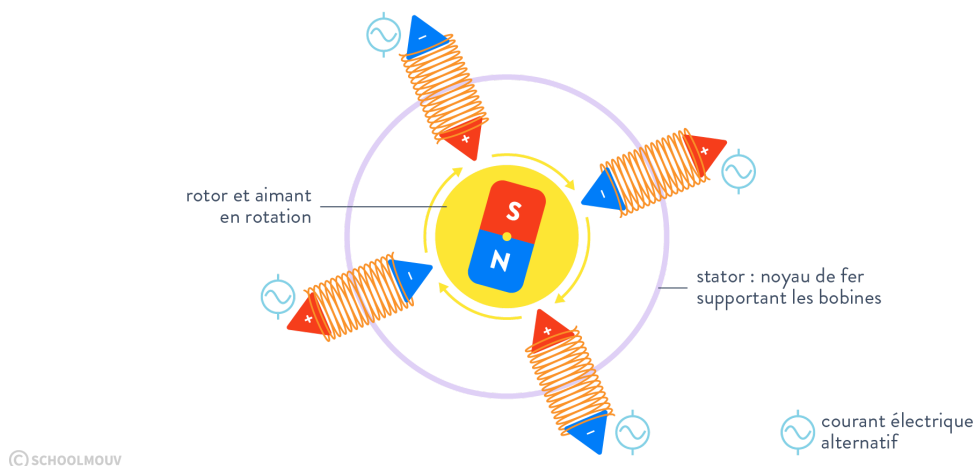
anneau mobile
entouré d'un fil
de cuivre

bobines fixes

© SCHOOLMOUV

Puis en 1900, Zénobe Gramme améliore ce prototype en plaçant quatre bobines et en modifiant le mode d'enroulement du fil dans chaque bobine pour augmenter encore le rendement de l'alternateur : l'électricité ainsi produite devient économiquement rentable.

Production d'un courant alternatif à l'aide d'un alternateur (modèle de Z. Gramme)



Remarque :

On appelle **stator** la partie fixe d'un alternateur ou d'un moteur électrique. Le stator est le plus souvent constitué de plusieurs bobines. On appelle **rotor** la partie d'un alternateur ou d'un moteur électrique qui est animée d'un mouvement de rotation.

c. L'alternateur : Un convertisseur d'énergie efficace



Toute transformation énergétique s'accompagne d'une perte d'énergie. Mais en réalité, l'énergie n'est pas « perdue » : elle est convertie en une forme non exploitable.

Prenons le cas d'une lampe : une partie de l'énergie électrique est transformée en chaleur, non exploitable pour produire de la lumière.

→ Le but est donc de trouver le moyen de réaliser ces conversions énergétiques en minimisant les « pertes » : on définit ainsi la notion de **rendement énergétique**.



Rendement énergétique :

Le rendement énergétique (symbolisé η) est défini comme le rapport entre l'énergie utile (celle qui est disponible après la conversion) et l'énergie absorbée (celle qui est apportée).



Pour un alternateur le rendement correspond à :

$$\eta = \frac{\text{énergie}_{\text{électrique}}}{\text{énergie}_{\text{mécanique}}}$$

Durant le fonctionnement de l'alternateur, les pertes d'énergie sont principalement dues :

- aux frottements de l'axe de rotation ;
- aux frottements avec l'air ;
- à l'**effet Joule** dans les fils de la bobine.



Effet Joule :

On appelle effet Joule la chaleur dégagée lorsqu'un courant électrique passe dans un conducteur de résistance non nulle. En réaction à cette résistance, une partie de l'énergie électrique est ainsi convertie en énergie thermique.

Les alternateurs actuels ont un rendement très élevé, souvent supérieur à 95 %. Ils sont utilisés pour **produire de l'électricité de façon industrielle** dans toutes les centrales thermiques, nucléaires, mais aussi dans le secteur des énergies renouvelables, comme les centrales hydroélectriques ou les éoliennes.

Avec les problématiques des énergies fossiles, les ingénieurs ont rapidement cherché d'autres sources pour produire de l'électricité, telle

que l'énergie solaire.

Conclusion :

Durant le XIX^e siècle, les travaux scientifiques ont permis la compréhension et une meilleure maîtrise de l'électricité et du magnétisme.

Des solutions au déclin du charbon ont ainsi été apportées par la mise au point et le développement de technologies visant à produire de l'électricité à partir de la transformation d'énergie mécanique, notamment grâce à l'alternateur.

L'énergie mécanique nécessaire est le plus souvent obtenu à partir d'une transformation d'énergie chimique (pétrole, gaz) ou nucléaire. Face à de nouvelles considérations environnementales et au déclin des ressources fossiles disponibles, les scientifiques vont peu à peu s'intéresser à une autre source d'énergie, celle fournie par le soleil.