

L'électricité

OMNIPRÉSENT DANS L'UNIVERS

Le terme électricité regroupe un ensemble de manifestations dues à des charges électriques. Omniprésentes dans l'univers, ces charges électriques sont de deux natures, positives et négatives. Si les charges de même nature se repoussent, les charges de nature opposée s'attirent : il se crée ainsi un potentiel électrique qui provoque un déplacement de charges, c'est-à-dire un courant électrique. À ce courant est associée une énergie qui est à la base d'un grand nombre d'applications de l'électricité (éclairage, appareils électriques, etc.).

NATURE ET PROPRIÉTÉS

Charges électriques

- Le noyau des atomes qui constitue la matière est composé de protons et de neutrons. Les protons ont une charge électrique positive ; les neutrons sont neutres.
- La périphérie des atomes est constituée d'électrons qui gravitent autour du noyau. Ils sont chargés négativement.
- S'il y a autant de charges négatives que de charges positives, l'atome est neutre. Cependant, si des électrons s'échappent (électrons libres), l'atome acquiert une charge positive et a tendance à récupérer les électrons manquants pour redevenir électriquement stable.

Champ électrique

- Un corps électriquement chargé influe dans l'espace sur les autres corps chargés : cet effet à distance est dû à l'existence d'un champ électrostatique (ou électrique) généré par les charges électriques.

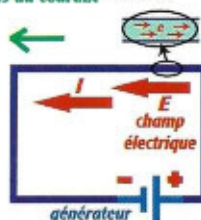
Différence de potentiel électrique

- Si l'on prend, d'un côté, de la matière chargée positivement (déficit d'électrons) et, de l'autre, de la matière chargée négativement (excès d'électrons), il se crée entre ces deux pôles une différence de potentiel électrique appelée aussi tension, que l'on mesure en volts (V).

COURANT ÉLECTRIQUE

- Si l'on relie les deux pôles par un conducteur qui laisse passer les électrons, ceux-ci se déplacent du pôle négatif (-)

Sens du courant Électrons



vers le pôle positif (+).

Ce déplacement est un courant électrique. L'énergie associée à ce courant peut être récupérée sous plusieurs formes :

- Énergie thermique (chaleur) : c'est l'effet Joule. L'énergie thermique rend incandescent le filament d'une ampoule électrique, par exemple.
- Énergie mécanique : c'est celle qui provoque un mouvement (moteurs électriques).
- Énergie rayonnante : sous forme de lumière (électroluminescence).
- Énergie chimique : par électrolyse.

Électricité statique et dynamique

- L'électricité statique met en jeu des charges électriques et des champs constants dans le temps.
- L'électrocinétique ou électrodynamique concerne les charges en mouvement.

Générateur électrique

- Pour établir une différence de potentiel, c'est-à-dire pour produire de l'électricité, il faut apporter une énergie initiale au système, ou énergie primaire : il faut un générateur.
- L'énergie électrique est donc une énergie secondaire.
- L'énergie primaire qui alimente le générateur peut être obtenue à partir :
 - de l'énergie solaire ;
 - de l'énergie chimique (piles électriques et accumulateurs) ;
 - d'une énergie thermique (combustion de charbon ou de fuel, par exemple) ou géothermique (chaleur produite par le globe terrestre) ;
 - d'une énergie mécanique hydraulique (marées, courants fluviaux, etc.) ou éolienne (vent) ;
 - d'une énergie issue d'une réaction nucléaire.

Isolants et conducteurs

- Les matériaux qui ne perdent ni ne gagnent facilement des électrons conduisent mal l'électricité : ce sont des isolants (caoutchouc, bois, verre...).
- Ceux qui possèdent des électrons mobiles sont des matériaux conducteurs (métaux : cuivre, argent...).

Courant alternatif et courant continu

- Un courant électrique est dit continu si les électrons circulent toujours dans le même sens.
- Le courant délivré par une pile électrique est un courant continu.
- Un courant est dit alternatif quand le sens du courant (et donc le sens de déplacement des électrons) varie périodiquement ; généralement, l'intensité du courant n'est pas constante, elle varie de façon sinusoidale (courant alternatif sinusoidal).
- Ces changements sont si rapides qu'on ne les perçoit pas

et que les appareils électriques semblent fonctionner avec constance.

- En général, le courant qui alimente nos maisons a une fréquence de 50 périodes par seconde.
- L'unité de cette fréquence est le hertz (Hz). On dit que ce courant est de 50 hertz ou 50 Hz.
- Hors de France, la fréquence est généralement de 60 Hz.
- En électronique, on utilise des courants de haute fréquence.
- Le courant délivré par une prise de courant (secteur) est alternatif, c'est pourquoi les prises ne présentent pas de pôle + et de pôle -.

Sens du courant

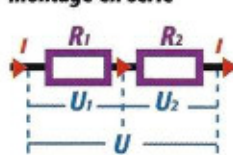
- Avant de savoir ce qui se passait vraiment à l'intérieur d'un circuit électrique, les scientifiques ont décrété que le courant circulait du pôle + vers le pôle -. Or ce sont les électrons qui se déplacent, du pôle - vers le pôle +.
- Donc, le sens conventionnel du courant est l'opposé du sens de déplacement des électrons.

CIRCUITS ÉLECTRIQUES

Composants des circuits électriques

- Un circuit électrique est formé de composants électriques (résistance, générateur, récepteurs...) reliés par des fils conducteurs et traversés par un courant. Pour que les électrons puissent circuler, le circuit doit être fermé.
- Série : quand les composants d'un circuit sont branchés les uns à la suite des autres, le circuit est dit en série.

montage en série

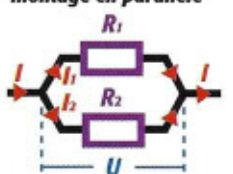


$$U = U_1 + U_2 = I (R_1 + R_2)$$

résistance équivalente

- Parallèle : dans un circuit en parallèle, les composants ne sont pas distribués à la suite les uns des autres, mais dans des branches différentes de fils conducteurs.

montage en parallèle



$$I = I_1 + I_2 = U (1/R_1 + 1/R_2) = U (G_1 + G_2)$$

conductance équivalente

Champ magnétique

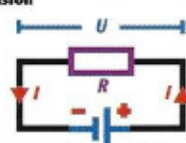
- Un circuit parcouru par un courant continu produit un champ magnétique (ou magnétostatique) : un fil électrique enroulé en bobine et parcouru par un courant continu génère un champ magnétique analogue à celui d'un aimant.
- La grandeur qui caractérise la densité de flux magnétique ainsi généré est l'induction magnétique. L'unité de mesure de l'induction magnétique est le henry (H). Cette unité remplace le gauss (G) dans le système international d'unités.

Champ électromagnétique

- Lorsqu'un circuit électrique est soumis à un champ magnétique qui varie dans le temps ou lorsque ce circuit est en mouvement dans un champ magnétique uniforme, une force motrice (dite électromotrice) se crée au sein d'un circuit : c'est l'induction électromagnétique. Les champs électrique et magnétique ne forment alors qu'une entité, un champ électromagnétique.
- L'induction électromagnétique a de nombreuses applications (moteurs électriques). Quant au champ électromagnétique, il a la propriété de se déplacer dans l'espace : les rayonnements électromagnétiques, tels que la lumière et les ondes hertziennes (radio, télévision) sont des champs électromagnétiques.

GRANDEURS DE L'ÉLECTRICITÉ

Tension



$$\begin{aligned} \text{courant} & I = U/R \\ \text{tension} & U = IR \\ \text{résistance} & R = U/I \\ \text{conductance} & G = 1/U \end{aligned}$$

- La tension est la différence de potentiel entre deux points d'un circuit.
- Symbole : U. Unité : volt (V).
- Appareil de mesure : voltmètre.

Intensité

- L'intensité est la quantité d'électricité ou charge électrique qui passe en un point du circuit par unité de temps.
- Symbole : I. Unité : ampère (symbole : A). Un ampère correspond au passage de $6,25 \cdot 10^{18}$ électrons en une seconde.
- Appareil de mesure : galvanomètre ou ampèremètre.
- Formule : $I = P/U$ (en courant continu) ou $I = U/R$.

Puissance

- Elle correspond au travail produit par unité de temps. En courant continu, elle est donnée par le produit de la tension par l'intensité.
- Symbole : P. Unité : watt (symbole : W). Un watt correspond

donc au produit d'un volt par un ampère.

- Appareil de mesure : wattmètre.
- Formule : $P = U \times I$ (en courant continu).

Résistance

- La résistance correspond à la tension divisée par l'intensité. Elle traduit l'opposition du matériau à se laisser traverser par les électrons.
- Symbole : R. Unité : ohm (symbole : Ω). 1 ohm correspond à la résistance d'un conducteur traversé par un courant de 1 ampère sous une tension de 1 volt (V).
- Formule : $R = U/I$.

Conductance

- La conductance est l'inverse de la résistance d'un conducteur.
- Symbole : G. Unité : siemens (symbole : S). 1 S = $1 \Omega^{-1}$.
- Formule : $G = 1/R$.

Impédance

- L'impédance correspond au quotient de la tension entre deux points divisée par l'intensité existant entre ces deux points.

- Symbole : Z. Unité : ohm (symbole : Ω)

Énergie

- L'énergie correspond au produit d'une puissance par une durée.
- Unité : joule (symbole : J) ou wattheure (symbole : Wh). 1 Wh = 3 600 J.

Résistivité

- Chaque matériau présente une certaine résistance à la traversée du courant. Cette résistance est évaluée par la mesure de la résistivité.
- Unité : ohm-mètre (symbole : Ωm).

Conductivité

- La conductivité correspond à l'inverse de la résistivité, c'est-à-dire à la capacité d'une substance à se laisser traverser par le courant.
- Unité : siemens par mètre (symbole : $S m^{-1}$).

Charge électrique

- La charge électrique est la grandeur positive ou négative associée à la quantité d'électricité. Un atome neutre présente une charge nulle, un électron possède une charge élémentaire, notée e.
- Unité : coulomb (symbole : C).

Période et fréquence

- Les changements de sens et d'intensité du courant alternatif se répètent périodiquement.
- Le temps nécessaire pour réaliser un cycle complet est la période.
- Le nombre de cycles en une seconde correspond à la fréquence.
- Unité : hertz (symbole : Hz).

Induction électromagnétique

- La variation du flux magnétique dû à un champ magnétique dans un circuit électrique conduit à la formation d'un courant électrique (courant induit). Ce phénomène est l'induction électromagnétique. Il est

C'est du tonnerre !

Paratonnerre



C'est le pape Sylvestre II qui a inventé le paratonnerre vers l'an 1000.

Benjamin Franklin



le démocratiser en 1760 à Philadelphie.

SYMBOLES

Conducteur électrique



à la base du fonctionnement des dynamos, dans lesquelles une bobine de fil conducteur en rotation dans un champ magnétique produit un courant électrique.

- Unité : le tesla (symbole : T) ou le gauss (symbole : G) dans le système d'unités CGS (centimètre-gramme-seconde) électromagnétique, peu utilisé aujourd'hui.
- Dans un circuit électrique où le flux magnétique Φ (Unité : weber ; symbole : Wb) varie en fonction du temps (t) se crée une force électromotrice (e). Sa valeur est donnée par la loi de Lenz : $e = - d\Phi/dt$

LOIS ET FORMULES EN COURANT CONTINU

Loi d'Ohm

- Établie par Georg Simon Ohm en 1827.

$$U = R \times I$$

$$G = 1/R$$

$$P = U \times I = R \times I^2 = U^2/R$$

Effet Joule

- Loi établie par James Joule en 1841. Le passage d'un courant constant dans un conducteur produit de la chaleur (énergie calorifique) proportionnellement à la résistance du système électrique et au carré de l'intensité de ce courant électrique. La puissance perdue par le système s'écrit donc : $P = R \times I^2$.

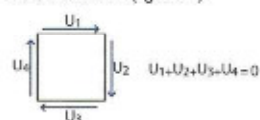
Lois de Kirchhoff

(loi des nœuds et loi des mailles)

- Dans un circuit en parallèle, la somme des courants

parlant d'un nœud est égale à la somme des courants qui arrivent à ce nœud.

- Dans une maille (boucle dans un circuit électrique), la somme des tensions est nulle (égale à 0).



Résistance totale d'un circuit

- Dans un circuit électrique, si n résistances sont branchées en série, la résistance totale du circuit R est égale à la somme des résistances : $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
- Dans un circuit, si n résistances sont branchées en parallèle, l'inverse de la résistance 1/R est donné par la formule : $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$
- Si deux résistances seulement sont branchées en parallèle, la résistance totale R est donnée par la formule : $R = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2)$

DISCIPLINES SCIENTIFIQUES

Électrostatique

- Discipline de la physique qui s'intéresse aux charges électriques immobiles. Elle permet d'expliquer certaines réactions chimiques et des phénomènes comme la foudre, les décharges ressenties lors du contact avec une carrosserie de voiture... Elle a de multiples applications, comme, par exemple, les condensateurs.

Électrocinétique

- Étude du déplacement des charges électriques dans les conducteurs.

Électromagnétisme

- Cadre général de l'étude des phénomènes électriques et magnétiques.

Électronique

- Discipline de la physique appliquant les caractéristiques du courant électrique au traitement et au transport de l'information (puces électroniques, ordinateurs, télécommunications, etc.).

HISTOIRE DE L'ÉLECTRICITÉ

Grandes dates

- **Antiquité** : Thalès de Milet décrit un phénomène électrostatique ; après avoir été frotté l'ambre attire des corps légers. Le même phénomène s'observe avec le verre.
- **Moyen Âge** : les Chinois utilisent la boussole, dont le fonctionnement est fondé sur le magnétisme terrestre.
- **Vers l'an 1000** : le pape Sylvestre II fait planter des pics pointus à l'approche des orages. Début de l'utilisation du paratonnerre.
- **xv^e s.** : William Gilbert propose le mot *electric* (du grec *elektron*, qui signifie « ambre jaune ») pour rendre compte du phénomène d'attraction de certaines matières. Il met en évidence le magnétisme de la Terre.
- **1672** : Otto von Guericke fabrique le premier générateur électrostatique (boule de soufre traversée par une manivelle) et observe la luminescence induite par un champ électrique.
- **Début du xviii^e s.** : on découvre que des matériaux sont isolants et d'autres conducteurs. Charles Du Fay de Cisternay distingue les charges « vitreuses » (positives) des charges « résineuses » (négatives).
- **1745** : le premier condensateur (composant emmagasinant des charges électriques) est créé (bouteille de Leyde).
- **1760** : Benjamin Franklin découvre le paratonnerre et l'installe à Philadelphie.
- **Fin du xviii^e s.**

- Luigi Galvani découvre la nature électrique de l'excitation des nerfs et des muscles.
- Alessandro Volta invente le premier générateur de courant électrique continu : la pile voltaïque.
- Laplace énonce les premières lois de l'électromagnétisme.
- Coulomb énonce les premières lois de l'électrostatique.

- **xix^e s.**
- 1800 : Nicholson et Carlisle découvrent l'électrolyse. Davy observe l'arc électrique et crée la première lampe à arc.
- 1819 : expériences de Hans Cærdsted sur l'électromagnétisme.
- 1820 : André-Marie Ampère énonce les premières lois de l'électromagnétisme.
- 1821 : Michael Faraday crée le premier moteur électrique.
- 1827 : Georg Simon Ohm énonce la loi qui porte son nom.
- 1831 : Michael Faraday découvre l'induction.
- 1841 : James Joule énonce les lois sur la déperdition de chaleur. Paris s'éclaire avec des lampes à arc électrique.
- 1847 : Gustav Kirchhoff énonce les lois qui portent son nom.
- 1864 : James Maxwell expose les équations générales du champ électromagnétique.

- 1871 : Zénobe Gramme invente la dynamo.
- 1876 : Graham Bell met au point le téléphone.
- 1878 : Thomas Edison met au point la première lampe à incandescence.
- 1881 : Joseph Thomson découvre l'existence de l'électron.
- 1882 : Marcel Deprez invente le système des lignes électriques.
- 1887 : le métro londonien se dote d'une traction électrique.
- 1896 : Guglielmo Marconi utilise les ondes radioélectriques pour mettre au point la radio.
- **Fin du xix^e s.**
- Siemens conçoit le tramway électrique.
- On découvre l'électrocardiogramme.
- Les premiers accidents par électrocution entraînent l'élaboration de règles de sécurité.
- Les premières exécutions sur chaise électrique ont lieu aux États-Unis.
- Wilhelm Röntgen découvre les rayons X, ouvrant la voie à la radiologie.
- **xx^e s.**
- Le siècle du « tout-électrique » débute avec de nombreuses inventions : sonnettes, radiateurs, réveils, pistolets à peinture, labourseuses, voitures, rails, etc.

Personnages clés

- **Ampère, André Marie (1775-1836)**
- Physicien et mathématicien français. Jette les bases de l'électro-magnétisme, de l'électrodynamique et de la théorie électronique de la matière. Invente notamment le télégraphe électrique et, avec Arago, l'électro-aimant.

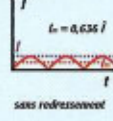
Les diodes

- Les diodes sont des composants électroniques laissant passer le courant dans un sens et pas dans l'autre.
- Elles servent à redresser le courant, c'est-à-dire à transformer un courant alternatif en courant continu.
- Une diode ne laisse en fait passer qu'une partie de la sinusoïde, c'est pourquoi on parle de « courant redressé » et non de véritable « courant alternatif ».

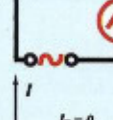
redressement en pont



sans redressement



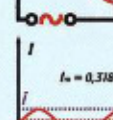
redressement à simple diode



redressement à double diode



redressement à double diode



Becquerel, Antoine (1788-1878)

- Physicien français. Découvre l'effet piézoélectrique et la pile photovoltaïque.

Cavendish, Henri (1731-1810)

- Physicien et chimiste anglais. Fonde l'électrostatique avec Charles Coulomb.

Coulomb, Charles de (1736-1806)

- Physicien français. Fait progresser l'électrostatique et le magnétisme. Énonce les lois qui régissent l'attraction et la répulsion des charges électriques (lois de Coulomb). Laisse son nom à l'unité de quantité d'électricité.

Edison, Thomas (1847-1931)

- Inventeur américain. Crée le télégraphe duplex, le phonographe (dont le principe est conçu par le Français Charles Cros en 1876), le microtéléphone et la lampe à incandescence. Installe, à New York, la première centrale électrique.



Faraday, Michael (1791-1867)

- Physicien et chimiste anglais. Invente le moteur électrique, découvre l'induction électromagnétique et explique le phénomène de l'électrolyse.

Franklin, Benjamin (1706-1790)

- Homme politique et physicien américain. Découvre la nature électrique de l'éclair et invente le paratonnerre.



Galvani, Luigi (1737-1798)

- Physicien et médecin italien. Pratique de nombreuses expériences d'excitabilité des nerfs et des muscles par l'électricité sur les animaux.

Joule, James Prescott (1818-1889)

- Physicien et industriel anglais. Étudie la chaleur dégagée par un circuit électrique (effet Joule). Nombreuses expériences sur les lois de conservation de l'énergie. Ses travaux en thermodynamique sont à l'origine de la découverte de la réfrigération. Laisse son nom à l'unité de l'énergie.

Maxwell, James Clerk (1831-1879)

- Physicien anglais. Énonce les équations de l'électromagnétisme liant champs électriques et magnétiques.

Volta, Alessandro (1745-1827)

- Physicien italien, invente l'eudiomètre et la pile électrique. Laisse son nom à l'unité de la tension électrique.



PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

Centrales thermiques

- Production d'électricité par combustion de charbon, de fuel ou de gaz (transformation de l'énergie thermique en énergie électrique). En France, elles fournissent 5 % de l'électricité produite par EDF.

Centrales nucléaires

- Production d'électricité par récupération de la chaleur dégagée par une réaction nucléaire (fission de l'uranium 235). L'énergie calorifique est ensuite transformée en énergie mécanique, puis électrique. Fournissent 17 % de la production mondiale d'électricité.



Centrales hydrauliques

- Utilisation de l'énergie mécanique produite par les déplacements de l'eau (marées, fleuves) dans les usines marémotrices ou au niveau des barrages. Cette énergie mécanique est convertie en énergie électrique.

Piles et accumulateurs

- Fabrication d'énergie électrique à partir d'énergie chimique. Ils sont utilisés pour fournir une énergie électrique aisément transportable (piles, batteries rechargeables, etc.).

Éoliennes

- L'énergie fournie par le vent (déplacement de masses d'air) fait tourner les pales de grandes hélices ou éoliennes. L'énergie mécanique est transformée en électricité.

Centrales solaires

- L'énergie solaire peut être utilisée pour chauffer une substance dont l'énergie calorifique est ensuite transformée en électricité. Les études s'orientent aujourd'hui vers une production directe à partir de l'énergie solaire qui évite les déperditions d'énergie (électricité photovoltaïque).

Centrales géothermiques

- Exploitation de la chaleur dégagée par la Terre (en Islande). Les sources d'eau chaude sont utilisées directement (chauffage central) ou traitées en centrales thermiques. Des roches chaudes et sèches sont forcées pour être traversées par des courants artificiels d'eau qu'elles réchauffent.

Énergie des déchets

- La majeure partie des déchets peut être brûlée en centrale thermique pour produire de l'électricité.

Quelques chiffres de production

En milliards de kWh (2000)

- États-Unis : 3 212
- Chine : 1 128
- Russie : 827
- Canada : 543
- Allemagne : 505
- France : 486
- Royaume-Uni : 337
- Brésil : 307

Transport de l'électricité

En France, le réseau de distribution de l'électricité (du site de production au consommateur) comprend :

- 60 000 km de lignes à très haute tension (400 000 V et 225 000 V) et à haute tension (63 000 V et 90 000 V) ;
- 590 000 km de lignes à moyenne tension (20 000 V) ;
- 630 000 km de lignes à basse tension (380 et 220 volts).

CONSUMMATION D'ÉLECTRICITÉ

Consommation d'électricité dans quelques pays

En milliards de kWh (2000)

- États-Unis : 3 859
- Union européenne : 2 503
- Chine : 1 198
- Allemagne : 556
- Canada : 534
- France : 453
- Royaume-Uni : 371
- Brésil : 361
- Espagne : 199

Consommation individuelle

Consommation d'électricité par habitant et par an, en kWh

- Canada : 17 500
- États-Unis : 13 500
- France : 7 200
- Grande-Bretagne : 5 800
- Espagne : 4 200
- Chine : 800