

Machine électrique

☞ Pour les articles homonymes, voir Convertisseur.

Une **machine électrique** est un dispositif électromécanique basée sur l'électromagnétisme permettant la conversion d'énergie électrique en travail ou énergie mécanique. Ce processus est réversible et peut servir à produire de l'électricité :

- Les machines électriques produisant de l'énergie électrique à partir d'une énergie mécanique sont appelées des génératrices, dynamos ou alternateurs suivant la technologie utilisée.
- Les machines électriques produisant une énergie mécanique à partir d'une énergie électrique sont appelées des moteurs.

Toutes ces machines électriques étant réversibles et susceptibles de se comporter soit en « moteur » soit en « générateur » dans les quatre quadrants du plan couple-vitesse^{[1],[2],[3],[4]}, la distinction moteur/ générateur se fait « communément » par rapport à l'usage final de la machine.



Différents types de moteurs (la pile 9 V sert de référence d'échelle)

Les moteurs rotatifs produisent une énergie correspondant au produit d'un couple par un déplacement angulaire (rotation) tandis que les moteurs linéaires produisent une énergie correspondant au produit d'une force par un déplacement linéaire.

En dehors des machines électriques fonctionnant grâce à l'électromagnétisme il existe aussi des machines électrostatiques et d'autres utilisant l'effet piézoélectrique.

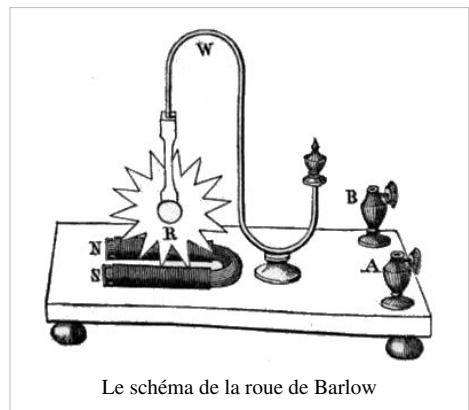
Historique

En 1821, après la découverte du phénomène du lien entre électricité et magnétisme, l'électromagnétisme, par le chimiste danois Ørsted, le physicien anglais Michael Faraday construit deux appareils pour produire ce qu'il appela une « rotation électromagnétique » : le mouvement circulaire continu d'une force magnétique autour d'un fil, en fait la démonstration du premier moteur électrique.

En 1822, Peter Barlow construit ce qui peut être considéré comme le premier moteur électrique de l'histoire : la « roue de Barlow » qui est un simple disque métallique découpé en étoile et dont les extrémités plongent dans un godet contenant du mercure qui assure le passage du courant. Elle ne produit cependant qu'une force juste capable de la faire tourner, ne lui permettant pas d'application pratique.

Le premier commutateur utilisable expérimentalement a été inventé en 1832 par William Sturgeon. Le premier moteur à courant continu fabriqué avec l'intention d'être commercialisé a été inventé par Thomas Davenport en 1834 puis breveté en 1837^[5]. Ces moteurs n'ont pas connu de développement industriel à cause du coût des batteries à l'époque.

On doit la vérification pratique de la réversibilité des machines électriques au physicien italien Antonio Pacinotti en 1864^[6].



Le schéma de la roue de Barlow

En 1869, l'inventeur belge Zénobe Gramme rend possible la réalisation des génératrices à courant continu en imaginant le collecteur. Il améliore les premières versions archaïques d'alternateurs (1867) et devient célèbre en retrouvant le principe de l'induit en anneau de Pacinotti. En 1871, il présentera à l'Académie des sciences de Paris la première génératrice industrielle de courant continu, que l'on appela machine de Gramme.

En 1873, Hippolyte Fontaine, partenaire de Zénobe Gramme réalise la première application industrielle de la transmission électrique des forces. Tout en démontrant à l'occasion de l'exposition de Vienne, la réversibilité de la machine de Gramme, il présente une expérience associant dynamo et moteur à courant continu, séparés par 2 km de fils électriques. Avant cette expérience décisive, l'énergie mécanique des cours d'eau devait être utilisée sur place, car intraversable sur de longues distances.

Le premier brevet n° 391968 du moteur électrique actuel, à courant alternatif, est déposé par le physicien d'origine serbe Nikola Tesla en 1887.

La paternité de la machine asynchrone est controversée entre trois inventeurs : en 1887, le physicien Nikola Tesla dépose un brevet sur la machine asynchrone^{[7],[8]}, puis en mai de l'année suivante cinq autres brevets. Pendant la même période Galileo Ferraris publie des traités sur les machines tournantes, avec une expérimentation en 1885, puis une théorie sur le moteur asynchrone en avril 1888^[9]. En 1889, Michail Ossipowitsch Doliwo-Dobrowolski, électricien allemand d'origine russe, invente le premier moteur asynchrone à courant triphasé à cage d'écureuil qui sera construit industriellement à partir de 1891^[10].

Machines tournantes

Article détaillé : Généralités sur les machines électriques.

Machine à courant continu

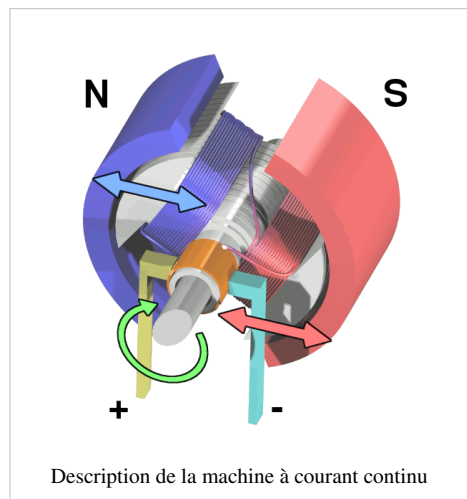
Article détaillé : Machine à courant continu.

Comme toutes les machines tournantes, les machines électriques à courant continu sont constituées d'un stator et d'un rotor^{[11],[12]}. Le stator crée une magnétisation longitudinale fixe à l'aide d'enroulements (inducteur) ou d'aimants permanents^[12]. Le rotor est constitué d'un ensemble de bobines reliées à un collecteur rotatif. Le collecteur rotatif permet de maintenir fixe la direction transversale de magnétisation du rotor lorsque celui-ci tourne. Grâce à ce dispositif, les magnétisations, rotorique et statorique, sont toujours décalées de façon optimale (en quadrature)^{[11],[12]}. Ce décalage provoque un couple selon la loi du flux maximum (un pôle nord attire un pôle sud), provoquant ainsi la rotation du rotor.

L'avantage principal des machines à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, leur couple et leur sens de rotation : les variateurs de vitesse. Voir leur raccordement direct à la source d'énergie : batteries d'accumulateurs, piles, etc.

Le principal défaut de la machine à courant continu réside dans l'ensemble balais/collecteur rotatif qui s'use, est complexe à réaliser et consomme de l'énergie. Un autre problème limite les vitesses d'utilisation élevées de ces moteurs lorsque le rotor est bobiné, c'est le phénomène de « défretage », la force centrifuge finissant par casser les liens assurant la tenue des ensembles de spires (le fretage).

Un certain nombre de ces inconvénients ont partiellement été résolus par des réalisations de moteurs sans fer au rotor, comme les moteurs « disques » ou les moteurs « cloches », qui néanmoins possèdent toujours des balais.



Description de la machine à courant continu

Les inconvénients ci-dessus ont été radicalement éliminés grâce à la technologie du moteur *brushless*, aussi dénommé « moteur à courant continu sans balais », ou moteur sans balais.

Les moteurs sans balais

Article détaillé : Moteur sans balais.

Un moteur sans balais, ou moteur « *brushless* », est un moteur synchrone^[13], dont le rotor est constitué d'un ou de plusieurs aimants permanents et pourvu d'origine d'un capteur de position rotorique (capteur à effet Hall, synchro-résolver, codeur incrémental par exemple). Vu de l'extérieur, il fonctionne en courant continu. Son appellation *Brushless* vient du fait que ce type de moteur ne contient aucun balai. Par contre un système électronique de commande doit assurer la commutation du courant dans les enroulements statoriques^[14]. Ce dispositif peut être soit intégré au moteur, pour les petites puissances, soit extérieur. Le rôle de l'ensemble capteur-électronique de commande est d'assurer l'auto-pilotage^[15] du moteur c'est-à-dire le maintien de l'orthogonalité^[15] du flux magnétique rotorique par rapport au flux statorique^[15], rôle autrefois dévolu à l'ensemble balais-collecteur sur une machine à courant continu^[15].

Les moteurs *brushless* équipent en particulier les disques durs et les graveurs de DVD de nos ordinateurs. Ils sont également très utilisés en modélisme pour faire se mouvoir des modèles réduits d'avions, d'hélicoptères et de voitures ainsi que dans l'industrie, en particulier dans les servo-mécanismes des machines-outils et en robotique^[16].

Machines à courant alternatif

Pour les applications de faible et moyenne puissance (jusqu'à quelques kilowatts), le réseau monophasé standard suffit. Pour des applications de forte puissance, les moteurs à courant alternatif sont généralement alimentés par une source de courants polyphasés. Le système le plus fréquemment utilisé est alors le triphasé (phases décalées de 120°) utilisé par les distributeurs d'électricité.

Ces moteurs alternatifs se déclinent en trois types :

- Les moteurs universels ;
- Les moteurs asynchrones ;
- Les moteurs synchrones.

Ces deux dernières machines ne diffèrent que par leur rotor.

Les moteurs universels

Article détaillé : Moteur universel.

Un moteur universel est un moteur électrique fonctionnant sur le même principe qu'une machine à courant continu à excitation série : le rotor est connecté en série avec l'enroulement inducteur. Le couple de cette machine indépendant du sens de circulation du courant est proportionnel au carré de son intensité. Il peut donc être alimenté indifféremment en courant continu ou en courant alternatif, d'où son nom. Pour limiter les courants de Foucault qui apparaissent systématiquement dans toutes les zones métalliques massives soumises à des champs magnétiques alternatifs, son stator et son rotor sont feuilletés.

Dans la pratique, ces moteurs ont un mauvais rendement, mais un coût de fabrication très réduit. Leur couple est faible, mais leur vitesse de rotation est importante. Quand ils sont utilisés dans des dispositifs exigeant un couple important, ils sont associés à un réducteur mécanique.

Ils sont principalement utilisés dans l'électroménager, par exemple les aspirateurs, l'outillage électroportatif de faible puissance (jusqu'à environ 1 200 W) et de nombreuses applications domestiques. On règle facilement leur vitesse de rotation avec des dispositifs électroniques peu coûteux tels que les gradateurs.

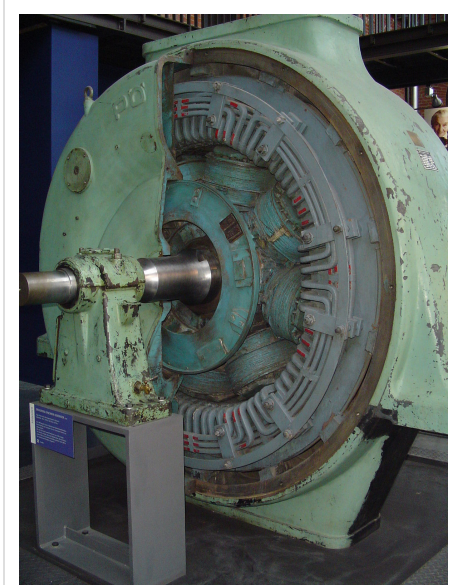
Les machines synchrones

Article détaillé : Machine synchrone.

La machine synchrone est souvent utilisée comme génératrice. On l'appelle alors « alternateur ». Mis à part pour la réalisation de groupe électrogène de faible puissance, cette machine est généralement triphasée. Pour la production d' électricité, les centrales électriques utilisent des alternateurs dont les puissances peuvent avoisiner les 1 500 MW.

Comme le nom l'indique, la vitesse de rotation de ces machines est toujours proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent. Ce type de machine peut être utilisé pour relever le facteur de puissance d'une installation. On appelle celle-ci un « compensateur synchrone ».

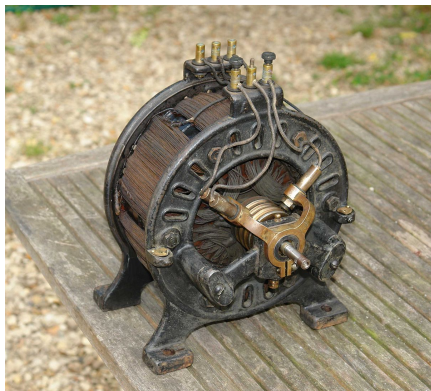
Les machines synchrones sont également utilisées dans les systèmes de traction (tel le TGV); dans ce cas elles sont souvent associées à des onduleurs de courants, ce qui permet de contrôler le couple moteur avec un minimum de courant. On parle d'« autopilotage » (asservissement des courants statoriques par rapport à la position du rotor).



Une génératrice synchrone de 2 000 kVA datant de 1920

Les machines asynchrones

Article détaillé : machine asynchrone.



Ancien moteur à courant alternatif triphasé asynchrone à bagues, bobiné en anneau au stator, aux environs de 1910.

La machine asynchrone, connue également sous le terme d'origine anglo-saxonne de « machine à induction », est une machine à courant alternatif sans alimentation électrique du rotor. Le terme anglais provient des courants induits dans le rotor par induction magnétique. Le terme « asynchrone » provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence des courants qui les traversent.

La machine asynchrone a longtemps été fortement concurrencée par la machine synchrone dans les domaines de forte puissance, jusqu'à l'avènement de l'électronique de puissance. On la retrouve aujourd'hui dans de nombreuses applications, notamment dans le transport (métro, trains, propulsion des navires), de l'industrie (machines-outils), dans l'électroménager. Elles étaient à l'origine uniquement utilisées en moteur mais, toujours grâce à l'électronique de puissance, elles sont de

plus en plus souvent utilisées en génératrice. C'est par exemple le cas dans les éoliennes.

Pour fonctionner en courant monophasé, ces machines nécessitent un système de démarrage, condensateur en série sur l'un des enroulements (P max. 6 kW) ou bague de démarrage (P max. 400 W). Les moteurs à bague de démarrage sont employés dans les hottes aspirantes, pompes de vidange de machine à laver et ventilateurs car le couple de

démarrage est extrêmement faible. Pour les applications de puissance, au-delà de 6 kilowatts, les moteurs asynchrones sont uniquement alimentés par des systèmes de courants triphasés



Machine asynchrone 8 kW

Les machines autosynchrones

Ce sont des machines synchrones dont le démarrage se fait en asynchrone et lorsque la fréquence de rotation est proche du synchronisme, le rotor s'accroche au champ statorique en se synchronisant sur la vitesse du champ magnétique.

L'autopilotage (contrôle de la fréquence statorique en fonction de la vitesse rotorique) tend à faire disparaître cette technologie.

Caractéristiques communes des machines à courant alternatif

Excepté pour le moteur de type universel, la vitesse des machines à courant alternatif est généralement liée à la fréquence des courants qui traversent ces machines.

Il existe une grande variété de moteurs hybrides (par exemple « asynchrone synchronisé » dans les pompes de lave-vaisselle).

Moteurs pas à pas

Article détaillé : Moteur pas à pas.

Un autre genre de moteur électrique est le moteur pas à pas. Un rotor interne contenant des aimants permanents est déplacé par un ensemble d'électroaimants placés dans le stator commutés par une électronique de puissance. L'alimentation ou non de chacun définit une position angulaire différente (l'enchaînement permet le mouvement). Les moteurs pas à pas simples ont un nombre limité de positions, mais les moteurs pas à pas à commande proportionnelle (alimentation variable des bobines) peuvent être extrêmement précis. On parle alors de « micro pas » puisque le moteur peut s'équilibrer entre deux pas.



Deux moteurs pas à pas

Ces moteurs commandés par une électronique numérique sont une des formes les plus souples des systèmes de positionnement, en particulier dans les organes servocommandés numériquement : exemple, les moteurs de positionnement des têtes de lecture/écriture des disques durs d'ordinateur ont longtemps été positionnées par ce type de moteur, désormais trop lents pour cette application, ils ont été remplacés par des **moteurs linéaires à impulsion** beaucoup plus rapides.

Moteurs linéaires

Un moteur linéaire est essentiellement un moteur asynchrone dont le rotor « a été déroulé » de sorte qu'au lieu de produire un couple (rotation), il produise une force linéaire sur sa longueur en installant un champ électromagnétique de déplacement. Ces moteurs se divisent en deux grands groupes :

- ceux à accélération faible utilisés dans le transport aussi bien le Transrapid que le SkyTrain ;
- ceux à accélération rapide dans les armes comme le canon magnétique et les engins spatiaux.

Dans la même catégorie figurent les pompes électromagnétiques à induction qui permettent de véhiculer un fluide conducteur. Les premiers essais de ce type de pompe ont été faits avec du mercure, puis du NaK (mélange de Sodium/Potassium). Les grandes réalisations industrielles concernent la circulation du sodium dans certains types de réacteurs nucléaires et des pompes doseuses d'aluminium liquide.



Les trains ART de Bombardier se déplacent grâce à la bande d'aluminium que l'on voit entre les voies

Moteurs électriques et environnement

Les performances des moteurs (moindre usure) ainsi qu'en terme d'empreinte écologique et d'efficacité énergétique peuvent être améliorées par divers systèmes permettant d'optimiser leur vitesse selon les besoins. Leur recyclage ou réutilisation en fin de vie peuvent en outre être améliorés par l'écoconception^[17].

Notes et références

- [1] Les quadrants à du plan couple-vitesse (dit des « des quatre quadrants »), figurant dans l'article « Quadrant (mathématiques) », avec la vitesse en ordonnée et le couple en abscisse. Toutes ces machines électriques passent sans discontinuité du fonctionnement « moteur » au fonctionnement « générateur » par simple inversion du signe du couple (charge entraînée ou entraînant, par exemple pendant les phases d'accélération ou de freinage) ou du signe de la vitesse (inversion du sens de rotation).
- [2] BTS Électrotechnique (deuxième année) – Machine à courant continu – Quadrants de fonctionnement (<http://physique.vije.net/BTS/index2.php?page=mcc6>), site physique.vije.net, consulté le 8 août 2012.
- [3] Robert Chauprade, *Commande électronique des moteurs à courant continu – À l'usage de l'enseignement supérieur, écoles d'ingénieurs, maîtrise, IUT*, Paris, Eyrolles, , 1975, 243, .
- [4] Robert Chauprade, Francis Milsant, *Commande électronique des moteurs à courant alternatif – À l'usage de l'enseignement supérieur, écoles d'ingénieurs, facultés, CNAM*, Paris, Eyrolles, , 1980, 200, .
- [8] Voir histoire de l'électricité.
- [9] Museo Elettrico - Galileo Ferraris (<http://www.museoelettrico.com/storia/ferraris.html>).
- [10] .
- [11] Ch. Harel, *Machines électriques et essais de Machines*, Société française des électriciens – École supérieure d'électricité, Paris, 1960, .
- [12] Mikhail Kostenko et Ludvik Piotrovski, *Machines électriques*, , Éditions de Moscou (Mir), 1969 (réédité en 1979), ; , 44-48.
- [13] P. Zimmermann, , Robert Bosch GmbH – Geschäftsbereich Industrieausrüstung, Erbach, Germany, 69-86 in *Proceeding of PCI Motorcon*, septembre 1982, 72.
- [14] P. Zimmermann, , 81.
- [15] P. Zimmermann, , 78-81.
- [16] P. Zimmermann, , 69.
- [17] Walid Boughanmi, auteur d'une thèse soutenue le 30 novembre 2012 à Béthune (soutenue par EDF R&D et l'ADEME) dans le cadre du projet MEDEE 3 – (3E2D). Voir aussi article sur la présentation du « moteur vert » au salon EnviroNord 2012. « Eco-conception des motorisations électriques (<http://www.pole-medee.com/2012/12/en-direct-des-laboratoires-4/>) ».

Bibliographie

- Ch Harel, *Machines électriques et essais de Machines*, Société française des électriciens – École supérieure d'électricité, Paris, 1960.
- J.Chatelain, *Machines électriques – Volume X du traité d'électricité, d'électronique et d'électrotechnique*, Presse polytechnique romande – Éd. Georgi, 1983 ; réédité par Dunod, 1993.
- A. Fouillé, *Électrotechnique à l'usage des ingénieurs. T.2, Machines électriques*, Dunod, 1969.
- Mikhail Kostenko et Ludvik Piotrovski, *Machines électriques*, tomes I et II, Éditions de Moscou (Mir), 1969 (réédité en 1979), 1348 p.
- M. Poloujadoff, *Conversions électromécaniques : maîtrise d'EEA et C3 - Électrotechnique*, Dunod, Paris, 1969.
- B. Saint-Jean, *Électrotechnique et Machines électriques*, Lidec - Eyrolles, 1976, 373 p. (ISBN 0-7762-5651-3).
- Guy Segulier et Francis Notelet, *Électrotechnique industrielle*, Tec et doc, 2006, 552 p. (ISBN 2-7430-0791-5).
- Francis Labrique, Ernest Matagne, Damien Grenier et Hervé Buyse, *Électromécanique, convertisseurs d'énergie et actionneurs*, Dunod, 2001, 306 p. (ISBN 2-1000-5325-6).
- P. Zimmermann, « Electronically Commutated D.C. Feed Drives for Machines Tools », Robert Bosch GmbH – Geschäftsbereich Industrieausrüstung, Erbach, Germany, in Proeeding of PCI Motorcon, september 1982, p. 69-86.

Annexes

Articles connexes

- Électricité
- Electroaimant
- Sustentation électromagnétique
- Magnétohydrodynamique (MHD)

Les concepts physiques

- Énergie électrique
- Force électromotrice
- Piézoélectricité





Les machines

- Machine électrostatique
 - Dynamo
 - Machine à courant continu
 - Machine synchrone
 - Machine asynchrone
 - Générateur électrique
 - Voiture électrique
 - Moteur universel
 - Moteur pas à pas
 - Moteur sans balais
-

Les inventeurs

- Peter Barlow
- Thomas Davenport
- Mikhaïl Dolivo-Dobrovolski
- Galileo Ferraris
- Paul-Gustave Froment
- Zénobe Gramme
- Marius Lavet
- Werner von Siemens
- William Sturgeon
- Nikola Tesla

Liens externes

- Moteur synchrone (<http://sitelec.org/cours/abati/synch.htm>), Machine asynchrone triphasée (<http://sitelec.org/cours/bonnet/machineasynchrone.htm>), Machine à courant continu (<http://sitelec.org/cours/bonnet/machinecc.htm>), Moteur pas à pas (<http://sitelec.org/cours/abati/motpas.htm>), Animation (<http://sitelec.org/cours/abati/flash/pas.swf>), sitelec.org (origine : académie d'Aix-Marseille)
- Le moteur électrique : animation (<http://www.youtube.com/watch?v=nvqGOn1ZFIw>) - YouTube **[vidéo]**
- Historique des machines électromagnétiques et plus particulièrement des machines à réluctance variable (http://www.bretagne.ens-cachan.fr/pdf/mecatronique/Page_SystemesEM_HautesPerf/HistoriqueMRV_Multon3EI1995.pdf) par Bernard Multon **[PDF]**
- Les moteurs électriques pour applications de grande série (http://www.bretagne.ens-cachan.fr/pdf/mecatronique/3EI_moteursGdeSerie.pdf), par Bernard Multon, H. Ben Ahmed, N. Bernard, P.E. Cavarec, *Revue 3E.I.*, juin 2000, p. 5-18 **[PDF]**
-  Portail de l'électricité et de l'électronique
-  Portail de l'automobile
-  Portail du génie mécanique
-  Portail de l'énergie

Sources et contributeurs de l'article

Machine électrique *Source:* <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?oldid=94520357> *Contributeurs:* .melusin, 2A01:E34:EECA:5680:30F4:8DC:A8C6:A020, ABACA, Admi 0, Ascaron, Atvaark, Aurelienbis, Balougador, Barthulley, Brunodesacacias, Cdang, Christophe Dioux, CommonsDelinker, Croquant, Céréales Killer, DC2, Daniel*D, Deselliers, Dinan, DocteurCosmos, Domsau2, Doublehp, Duckysmokton, Erasme 34, Escaladix, Fabriced28, Fafnir, FvdP, Fylyp22, GLec, GaMip, GabHor, Garfieldairlines, GdA-TS, Gerfaut, Glenn, Hemmer, Ibou02, Ico, Jaccard, Jerome66, Jotun, King31, Korg, Korrigan, Laddo, Lamiot, Laurent Nguyen, Leag, Lydie Noria, M4RC0, MagnetiK, Manumax, Max81, Megaman25, MicRob, MickaëlG, Mit-Mit, Moe, Nanoxyde, NicoV, Obscurs, Ohma, Orthogaffe, P.loos, PNLL, Pano38, Papatt, Pberger2, Phe, Phileras, Pierre cb, Pld, Ploum's, Poleta33, Pulsar, Rag.lien, Romanc19s, Romary, Rémy, Shawn, Sitelec, Skiff, Stanlekub, Symac, Tornad, Traleni, Van Rijn, Vargenau, Vlaam, Wam 1, Weft, Wikig, Xerti, Xhienne, Xic667, Xofc, Xulin, Yassine Ayari, Yves-Laurent, Zedh, Zetud, Ziron, 211 modifications anonymes

Source des images, licences et contributeurs

Image:Disambig colour.svg *Source:* https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Disambig_colour.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Bub's

Image:Motors01CJC.jpg *Source:* <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Motors01CJC.jpg> *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* en>User:C_J_Cowie

image:Diagram_of_barlow's_wheel.jpg *Source:* https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Diagram_of_barlow's_wheel.jpg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Kelson, Pieter Kuiper, Wdwd, 1 modifications anonymes

Image:Electric motor cycle 1.png *Source:* https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Electric_motor_cycle_1.png *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* en:Image:Electric motor cycle 1.png

Image:Drehstrom-Synchron-Generator.jpg *Source:* <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Drehstrom-Synchron-Generator.jpg> *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 2.0 *Contributeurs:* D-Kuru, Dermartinrockt, Ies, Kolossos, Ma-Lik, Markus Schweiss, Sudo12105, WikipediaMaster

Fichier:Ancien moteur à courant alternatif bobiné en anneau au stator.jpg *Source:* https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Ancien_moteur_à_courant_alternatif_bobiné_en_anneau_au_stator.jpg *Licence:* Creative Commons Attribution-Sharealike 3.0,2.5,2.0,1.0 *Contributeurs:* Moteuralioth

Fichier:Machine_asynchrone_8_kW.jpg *Source:* https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Machine_asynchrone_8_kW.jpg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* P.loos

Image:Motori passo-passo.jpg *Source:* https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Motori_passo-passo.jpg *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* Yves-Laurent

Image:JFK_AirTrain.agr.jpg *Source:* https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:JFK_AirTrain.agr.jpg *Licence:* GNU Free Documentation License *Contributeurs:* User:ArnoldReinhold

Fichier:Nuvola apps_ksim.png *Source:* https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Nuvola_apps_ksim.png *Licence:* GNU Lesser General Public License *Contributeurs:* Alno, Alphax, It Is Me Here, Seahen, Tothwolf, Ysangkok

Fichier:TheStructorr_Lamborghini Gallardo.svg *Source:* https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:TheStructorr_Lamborghini_Gallardo.svg *Licence:* Public Domain *Contributeurs:* Michał Pecyna

Fichier:Crankshaftrendering.png *Source:* <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Crankshaftrendering.png> *Licence:* Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported *Contributeurs:* Boroski,

Fichier:Crystal_energy.svg *Source:* https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fichier:Crystal_energy.svg *Licence:* GNU Lesser General Public License *Contributeurs:* Dhatfield

Licence

Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported
[//creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/)