

Lycée(s)	Général	Technologique	Professionnel	
Niveau(x)	CAP	Seconde	Première	Terminale
Enseignement(s)	Commun	De spécialité	Optionnel	
Physique-chimie				

L'essentiel sur le moteur électrique à courant continu

La première partie de cette ressource est consacrée à une description du principe de fonctionnement des moteurs électriques. Dans la deuxième partie, nous nous intéresserons plus particulièrement à une catégorie de moteurs électriques : le moteur à courant continu.

Mots-clés

Rotor, stator, induit, inducteur, rendement, convertisseur énergie, moteur.

Références aux programmes

Électricité : Comment obtenir et utiliser efficacement l'énergie électrique ?

Groupement 1 et 2

Module : obtenir de l'énergie mécanique à l'aide d'un moteur électrique synchrone ou asynchrone.¹

Sommaire

Introduction2

Contenus scientifiques2

- Composition d'un moteur 2
- Moteur à courant continu 4
- Convertisseur d'énergie 4
- Constitution 4
- Principe de fonctionnement..... 5
- Bilan énergétique..... 8
- Impact environnemental de l'utilisation des moteurs électriques 8

Annexe9

Bibliographie Erreur ! Signet non défini.

¹ Cette ressource ne compare que les moteurs à courant continu et les moteurs asynchrones. Les moteurs synchrones étant obsolètes.

Introduction

Au début du XIX^{ème} siècle, la découverte des phénomènes d'électromagnétisme marqua le point de départ de la conception des moteurs électriques. La roue de Barlow (construite en 1822) fut une invention annonciatrice des moteurs électriques. Les progrès techniques ainsi que l'avènement de la deuxième révolution industrielle, avec notamment l'arrivée de la « fée » électricité, ont permis leur développement. Les moteurs électriques ont été très rapidement considérés comme une alternative possible à l'utilisation de la force musculaire animale ou humaine.

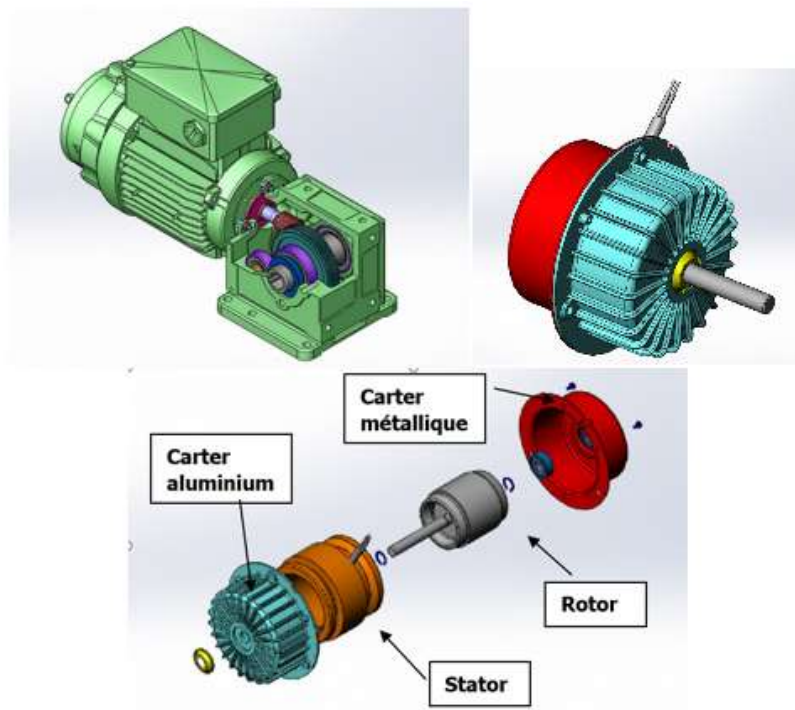
Les moteurs à courant continu sont fréquemment utilisés dans des appareils électroménagers, des drones, de l'électronique basse tension (platines, lecteurs de CD, PC, lecteurs de stockage magnétique, jouets, etc.). Historiquement, on trouve toujours trace de l'utilisation du courant continu dans les locomotives de fortes puissances. Ces moteurs ont joué un rôle important dans le ferroviaire urbain (RER et métro parisien).

Contenus scientifiques

Composition d'un moteur

Il existe trois principales catégories de moteurs électriques : les moteurs asynchrones, les moteurs synchrones, les moteurs à courant continu. Chacun d'entre eux est composé d'une partie fixe (le stator ou inducteur) et d'une partie mobile (le rotor ou induit).

Document 1- Moteur électrique à courant continu d'une climatisation (vue d'ensemble et vue éclatée)



Source : [épreuve E3, unité U33 du bac professionnel « étude et définition de produits industriels » session 2002](#)

Pour obtenir une animation, cliquer [sur ce lien](#)

Les trois catégories de moteurs (courant continu, synchrone et asynchrone) se différencient par la constitution de leur rotor et leur stator.

Tableau comparatif des moteurs courant continu, synchrone et asynchrone

	Moteur courant continu MCC	Moteur synchrone MS	Moteur asynchrone MAS
Stator	Enroulements inducteurs Aimants	Enroulements avec production de champ tournant	Enroulements avec production de champ tournant
Rotor	Ensemble de bobines reliées à des collecteurs rotatifs	Electroaimants, enroulements bobinés (pour fortes puissances) Aimants	Enroulements de disques minces isolés sur arbre Cage d'écureuil

Le fabricant d'un moteur indique sur la plaque signalétique les principales grandeurs caractéristiques du moteur ainsi que les conditions nécessaires à son fonctionnement optimal.

Document 2- Exemple de plaque signalétique pour un moteur à courant continu

tension d'excitation.

Couple nominal

Puissance mécanique développée

Vitesse de rotation nominale

Tension nominale aux bornes de l'induit

Courant nominal dans l'induit

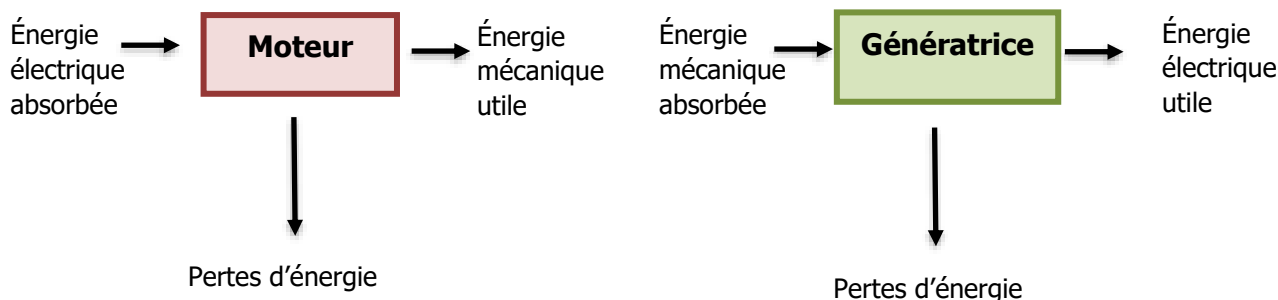
SP LR 57008		2 102 451 / A	
IEC 34.1.1990		MADE IN FRANCE	
MOTEUR A COURANT CONTINU DIRECT CURRENT MOTOR			
TYPE: LSK 1604 S 02	N° 700000/10	9/1992	M 249 kg
Classe / Ins class H	IM 1001	IP 23	IC 06
M _{nom} / Rated torque 301 N.m	Alt. 1000 m	Temp. 40 °C	
	kW	min ⁻¹	V
Nom./Raf.	36.3	1150	440
	3.63	115	44
	36.3	1720	440
			95.5
			360
			240
T	Système d'armature	Induit / Arm.	Excit. / Field
○ Service / Duty S1	DE 6312 2RS C3	NDE 6312 2RS C3	○

Moteur à courant continu

Convertisseur d'énergie

Le moteur à courant continu fait partie des machines tournantes dites « machines électriques ». Ce convertisseur électromécanique d'énergie peut avoir deux types de fonctionnement :

- Lorsque la machine électrique convertit l'énergie électrique en énergie mécanique, il s'agit d'un fonctionnement « moteur » (entraînement d'une charge mécanique en rotation).
- Lorsque la machine électrique convertit l'énergie mécanique en énergie électrique, il s'agit d'un fonctionnement « génératrice » (source de courant électrique : dynamos, alternateurs, éoliennes).

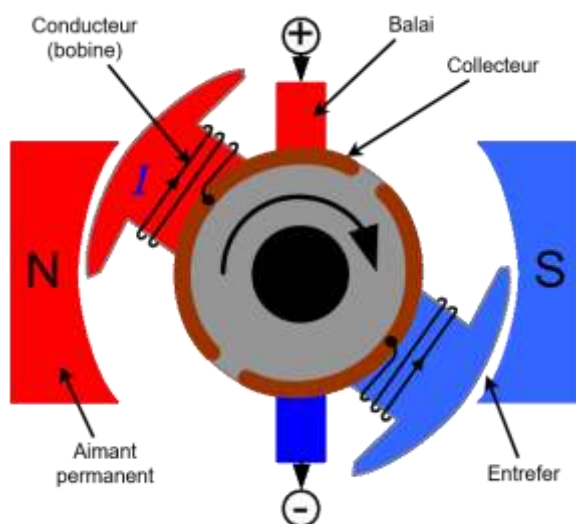


Constitution

Le moteur est composé d'un circuit magnétique comportant :

- une partie fixe, le **STATOR**, cette partie est aussi appelée « **inducteur** ». C'est la **source de champ magnétique** créée par un bobinage ou des aimants permanents ;
- une partie **tournante**, le **ROTOR**, cette partie (circuit électrique) est aussi appelée « **induit** ». Les conducteurs du rotor traversés par le courant sont immergés dans le champ magnétique statorique. Il apparaît alors un couple de forces de Laplace qui met le rotor en rotation ;
- d'un espace entre les deux afin de permettre la rotation du rotor autour de son axe : l'**entrefer** ;
- un **collecteur rotatif et les balais** qui alimentent l'induit. Un système balais-collecteurs a pour rôle de faire commuter le sens du courant à chaque demi-tour (pour le cas le plus simple) dans les deux conducteurs et donc de maintenir la connexion électrique entre la partie fixe et la partie tournante du moteur. Le courant étant inversé, les pôles nord et sud du rotor ainsi que les forces sur les conducteurs le sont aussi, permettant de poursuivre la rotation dans le même sens.

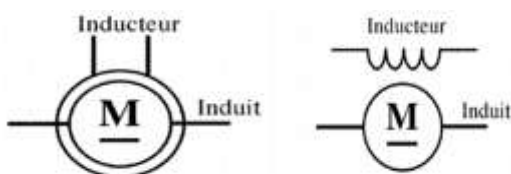
Document 3- Schéma en coupe d'un moteur à courant continu



Source [site Wikipédia](https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_%C3%A0_courant_continu)

Pour obtenir une animation, cliquer [sur ce lien](#)

Deux symboles peuvent être utilisés :



Principe de fonctionnement

Force électromotrice (f.é.m.)

Un conducteur se déplaçant dans un champ magnétique variable et uniforme va être le siège d'une f.é.m. induite E . Il s'agit donc d'une **conversion d'énergie mécanique en énergie électrique**. Ici, les bobines de l'induit se déplacent et subissent l'action du champ magnétique généré par l'inducteur.

Ceci génère une tension E au niveau de l'induit : $E = K\Phi\Omega$

Avec :

Φ : flux maximum à travers les spires (en webers Wb)

Ω : vitesse de rotation (en rad.s^{-1})

K : constante qui dépend des caractéristiques du moteur (nombre de conducteurs, nombre de paires de pôles, nombre de paires de voies d'enroulement)

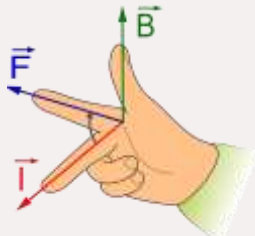
À **flux constant**, on pose : $E = K'\Omega$ avec $K' = K\Phi$

En conclusion, à flux constant, la f.é.m. est proportionnelle à la fréquence de rotation.

Couple électromagnétique du moteur à courant continu

Si un conducteur parcouru par un courant I , est placé dans un champ magnétique $\vec{B}$, il est soumis à des **forces de Laplace** $\vec{F}$, d'où une conversion d'énergie électrique en énergie mécanique.

Règle des trois doigts de la main droite



Pour obtenir une animation, cliquer [sur ce lien](#)

Le moteur se met alors en **rotation** grâce à la création de ces forces de Laplace. On dit qu'il y a création d'un **couple moteur** C : $C = K\Phi I$, ou encore, à **flux constant**, $C = K'I$

Avec K et K' mêmes constantes que pour l'expression de la f.é.m. et I intensité du courant électrique consommé par le moteur.

Schéma équivalent du moteur à courant continu

La f.é.m. E de la machine et l'intensité du courant dans l'induit I sont deux grandeurs indépendantes.

- Pour un générateur : $U = E - rI$
- Pour un récepteur : $U = E + rI$

Avec :

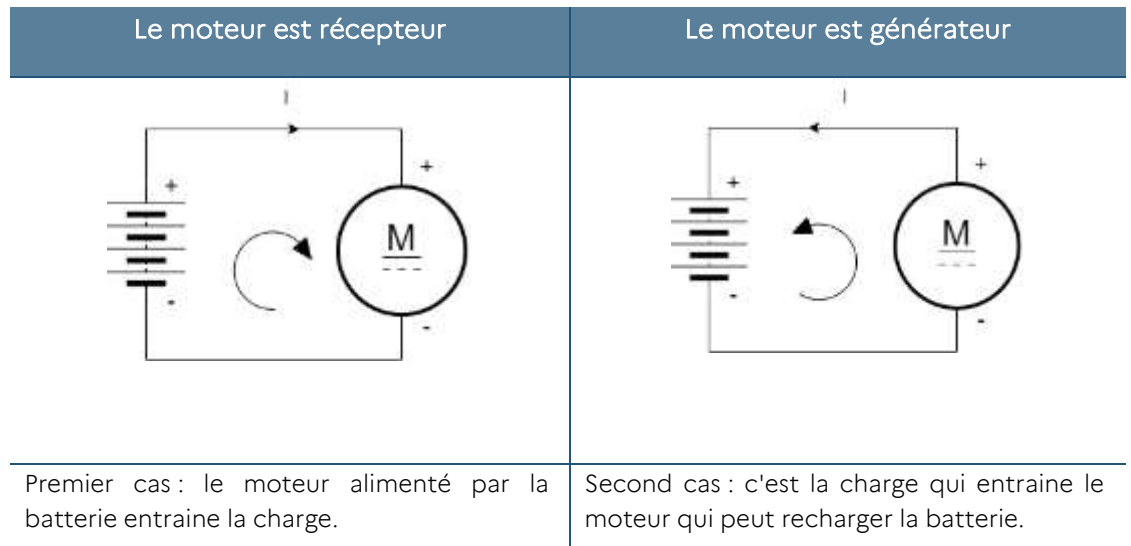
I : Courant consommé par le moteur

U : Tension d'alimentation du moteur

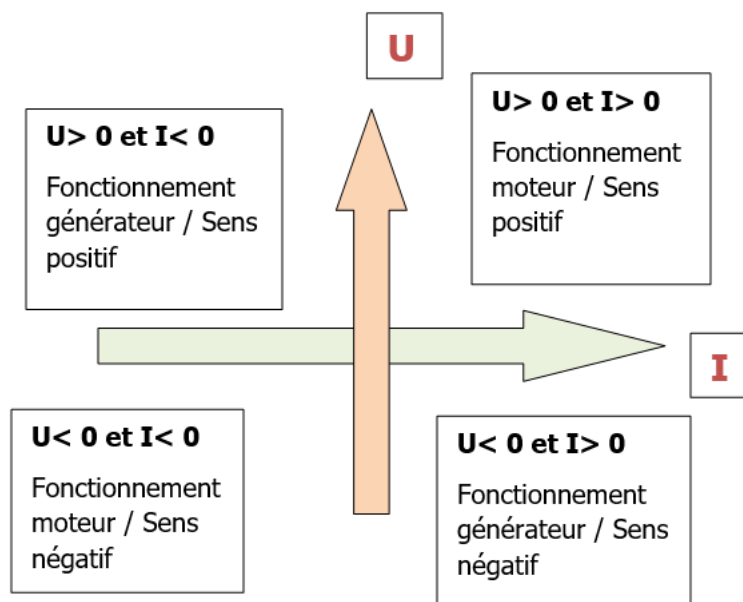
E : Force électromotrice

r : Résistance interne du bobinage

La machine peut donc indifféremment fonctionner **en moteur** ou en **génératrice**.



On dit que ce moteur **est réversible** et qu'il peut fonctionner dans **quatre quadrants**.



Fonctionnement à couple constant du moteur à courant continu

Au vu des relations existant entre la vitesse, le flux et la force électromotrice, il est possible de faire varier la vitesse du moteur en augmentant la tension aux bornes de l'induit tout en maintenant le flux de l'inducteur constant. On a un fonctionnement dit à "couple constant".

Bilan énergétique

Le rendement η du moteur est le rapport de la puissance utile P_u par la puissance absorbée P_a soit

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \text{ avec } 0 \leq \eta \leq 1$$

Les enjeux actuels de développement durable induisent une attention particulière apportée au rendement du moteur. En effet, ce rendement qui caractérise l'efficacité énergétique est à optimiser afin d'éviter les déperditions d'énergie. Les pertes identifiées peuvent être de différentes natures.

Pertes	Pertes magnétiques (ou pertes ferromagnétiques ou pertes fer) P_{fer}	Pertes par effet Joule P_J (ou pertes cuivre)	Pertes mécaniques $P_{\text{méca}}$
Causes	Elles sont dues à l'hystérésis (champ rémanent) et aux courants de Foucault (courant induit dans le fer) et dépendent de B et de Ω .	Pertes dans l'induit et l'inducteur dues aux résistances des bobinages.	Elles sont dues aux frottements des diverses pièces en mouvement.
Solutions	Utilisation de matériaux à cycles étroits, comme le fer au silicium ou grâce au feuilletage de l'induit.	Utiliser d'excellents conducteurs (il faudra ventiler pour éviter l'échauffement).	Utilisation de roulements et de lubrifiants.

Du fait des différentes pertes, le rendement réel d'une machine à courant continu varie entre 80 et 95 %.

Impact environnemental de l'utilisation des moteurs électriques

L'automatisation industrielle a permis un développement important du marché des moteurs industriels. Toutefois la crise énergétique et les enjeux de développement durable posent plusieurs questions concernant cette utilisation massive, notamment celle de la réduction de la consommation énergétique. Plusieurs pistes sont explorées afin de limiter leurs consommations et donc l'impact sur l'environnement :

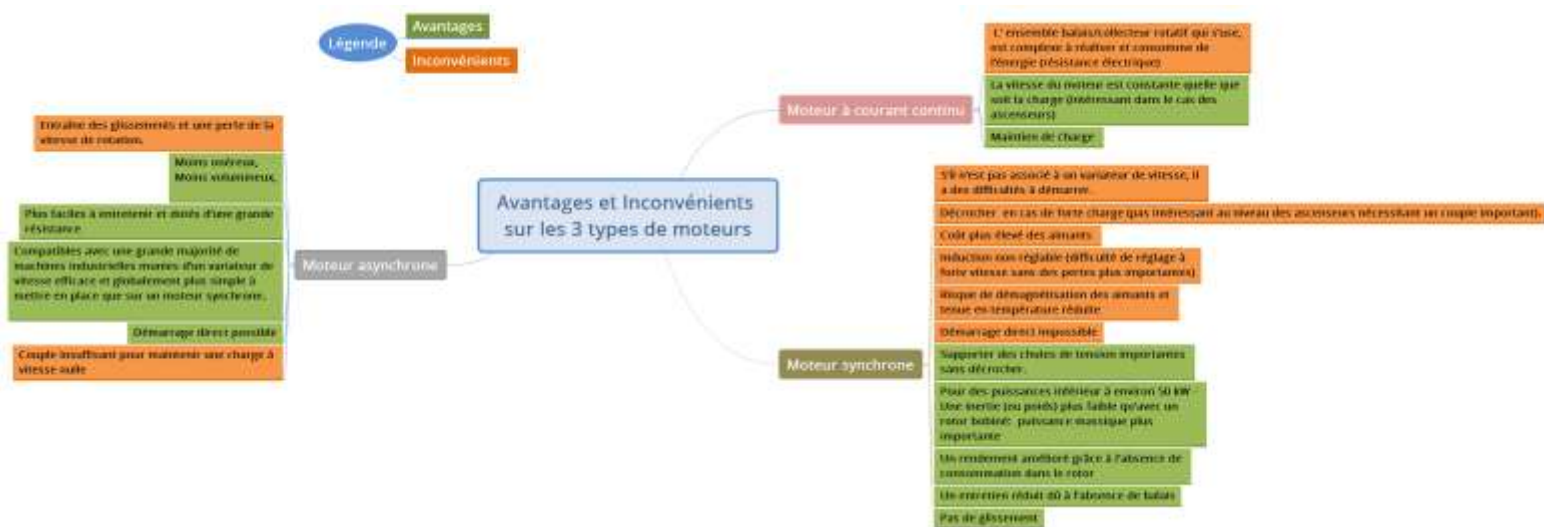
- le choix pertinent du moteur en fonction de sa charge (dimensionnement du moteur en fonction de la charge à soulever) ;
- les moteurs à haut rendement énergétique ;
- l'arrêt du moteur lors de la non-utilisation ;
- la réduction de la vitesse de rotation ;
- l'entretien et la réparation ;
- les énergies alternatives comme l'énergie solaire photovoltaïque pour alimenter le moteur ;
- le développement de moteur « nouvelle génération » à faible impact environnemental.

Il est important de noter que le moteur électrique ne rejette pas de dioxyde de carbone dans l'atmosphère mais la production de l'énergie qui alimente ces moteurs peut être source de pollution. De plus, la récupération et le recyclage des matériaux ferromagnétiques présents au sein des moteurs doivent être organisés pour éviter toute pollution industrielle.

Les enjeux de formation liés aux transitions énergétiques de certaines spécialités professionnelles permettront d'aborder ces questions en lien avec le développement durable (notamment l'amélioration du rendement d'un moteur) afin d'enrichir les compétences métiers.

Annexe

Carte mentale avantages et inconvénients des différentes catégories de moteur



Sitographie

Site [Musée de physique de l'université de Lille](#) pour les photos des divers moteurs

Site EDUSCOLSTI pour [l'épreuve E3, unité U33 du bac professionnel « étude et définition de produits industriels » session 2002](#)