

Quels sont les critères de choix pour un moteur électrique?

Le moteur électrique permet d'effectuer différents types de mouvements : rapides, précis, en continu, avec ou sans changement de vitesses... Autant d'applications qui nécessitent une technologie de moteur qui leur est propre.

1. Il faut d'abord choisir entre **trois grandes familles de moteurs électriques** :

- Le **moteur asynchrone AC** (monophasé ou triphasé)
- Le **moteur synchrone** : moteur DC (courant continu), brushless
- ...
- Le **moteur pas à pas**

2. Il faut ensuite déterminer le **type d'application** recherché car c'est lui qui oriente le choix du moteur parmi ces trois familles :

Si vous souhaitez que votre moteur fonctionne en continu et avec peu de changement de vitesse, privilégiez le moteur asynchrone.

Pour des applications dynamiques, le moteur synchrone s'impose.

Enfin, pour un positionnement précis, optez pour le moteur pas à pas.

3. En fonction du mouvement voulu, il vous faudra également déterminer les **spécifications techniques** et le **dimensionnement** du moteur :

Concernant les spécifications techniques, il faudra déterminer la puissance, le couple et la vitesse du moteur.

Concernant le dimensionnement, il faudra veiller à l'encombrement (la taille du moteur) et au type de montage (comment le moteur sera fixé dans le système).

4. Le choix des caractéristiques d'encombrement et de solidité du moteur dépend aussi de l'**environnement industriel** dans lequel le moteur est appelé à opérer :

Il existe une construction adaptée à tout type d'environnement particulier (atmosphère explosive, humide, corrosive, températures élevées...)

Pour les **environnements difficiles**, il existe des moteurs avec des carcasses renforcées, étanches, résistantes aux chocs ou à l'encrassement

5. Enfin, l'**efficacité énergétique** est devenue ces dernières années un critère important à prendre en considération dans le choix de son moteur :

Un moteur électrique moins gourmand en énergie aura un **faible impact énergétique** ce qui permettra de **réduire sa facture énergétique**.



Moteurs électriques industriels

Comment choisir entre un moteur AC et un moteur DC ?

Ces deux types de moteurs sont construits différemment :

La différence la plus fondamentale réside dans la **source d'alimentation** : le courant alternatif (monophasé ou triphasé) et le courant continu (CC/DC), pour les batteries par exemple.

La **vitesse** est un autre marqueur de différenciation. La vitesse d'un moteur AC est contrôlée en faisant varier le courant dans le moteur tandis que celle d'un moteur DC est contrôlée en faisant varier la fréquence, le plus généralement avec un variateur de fréquence. Ainsi, les moteurs AC tournent plus vite que les moteurs DC.

1. Les moteurs AC :

Les moteurs AC sont les moteurs les plus populaires dans l'industrie car ils présentent plusieurs avantages :

Ils sont simples de construction
Ils sont plus économiques du fait d'une consommation plus faible au démarrage
Ils sont également plus robustes et donc ont généralement une plus grande durée de vie.
Ils nécessitent peu d'entretien

En raison de leur fonctionnement qui implique une synchronisation entre la rotation du rotor et la fréquence du courant, la vitesse des moteurs AC reste constante. Ils sont donc particulièrement adaptés aux applications nécessitant des mouvements continus et peu de changements de vitesses. **Les pompes, les convoyeurs et les ventilateurs** sont ainsi des terrains d'application parfaits pour ce type de moteur.

Ils peuvent aussi être intégrés à des systèmes ne requérant pas une grande précision s'ils sont utilisés avec une vitesse variable.

En revanche, les fonctions de contrôle de vitesse les rendent plus coûteux que les autres moteurs.

Les moteurs AC se divisent en deux familles : les **moteurs monophasés** et les **moteurs triphasés**.

Les moteurs monophasés se distinguent par:

- La puissance électrique (en kW), qui déterminera le couple
- Le nombre de pôles, qui donnera la vitesse de rotation
- Le mode de fixation : flasque (B14, B5) ou pattes (B3)
- L'efficacité
- Un caractère moins industriel, car moins puissants
- La possibilité de les utiliser sur le réseau électrique domestique.

Les moteurs triphasés se distinguent par:

- Une architecture qui permet d'acheminer une puissance électrique beaucoup plus importante qu'un moteur sur tension monophasé
- Leur utilisation en milieu industriel (environ 80%)
- Leur utilisation pour les infrastructures et équipements nécessitant une forte puissance électrique.



Moteurs asynchrones triphasés de la marque LEROY-SOMER

2. Les moteurs DC :

Les moteurs DC sont également très répandus en milieu industriel car ils présentent des avantages importants selon la construction (voir question moteur brushless) :

- Ils sont précis et rapides
- Leur vitesse peut être contrôlée en variant la tension d'alimentation
- Ils sont facilement installables, y compris dans des systèmes mobiles (sur batteries)
- Le couple de démarrage est élevé
- Le démarrage, l'arrêt, les accélérations ou marches arrière s'effectuent rapidement

Ils conviennent très bien aux **applications dynamiques** exigeant une **grande précision** notamment au niveau de la vitesse, comme dans le cas des **ascenseurs**, ou au niveau de la position comme pour les **robots** ou les **machines-outils**.

Ils peuvent être également intéressants pour des applications requérant de fortes puissances (10 000 kW par exemple).

Cependant, ils présentent certains inconvénients suivant leur construction par rapport aux moteurs AC :

- Ils sont moins courants car moins adaptés à des applications requérant de fortes puissances
- Ils sont composés de nombreuses pièces qui s'usent et sont coûteuses à remplacer



Moteurs DC de la marque Ametek

3. Quelle est la tendance sur le marché aujourd'hui?

Les moteurs DC à balais sont de moins en moins utilisés dans des applications industrielles. Pour les faibles puissances, on utilise plutôt les moteurs AC qui exigent peu de maintenance pour des usages équivalents.

Les pièces des moteurs DC étant trop coûteuses à remplacer, certains industriels optent pour des moteurs AC dans lesquels ils intègrent un contrôleur électrique.

- La combinaison d'un moteur à courant alternatif et d'un **variateur de fréquence** est devenue une solution rentable pour la plupart des applications nécessitant des variations de vitesse.

Pourquoi choisir un moteur brushless ou un moteur brushed (à balais) ?

Les deux types de moteur DC les plus courants sont les moteurs à balais et les moteurs brushless.

1. Les moteurs à balais (brushed)

Les moteurs à balais sont les moteurs les plus simples et les plus fréquemment utilisés notamment pour des **équipements industriels basiques** et pour des applications à **budget faible**.

- Les moteurs à balais ont en effet certains bénéfices :
- Ils sont simples à contrôler
- Le couple à bas régime est très bon
- Ils sont peu coûteux

Quatre types de moteurs à balais existent suivant l'application envisagée.

Les moteurs à excitation série :

Dans ce type de moteur, le stator est branché en série avec le rotor et la vitesse est contrôlée en variant la tension d'alimentation.

Cependant un tel contrôle de la vitesse est plutôt mauvais : la vitesse chute dès que le couple vers le moteur s'accroît.

Ce type de moteur est intéressant dans les applications nécessitant un couple de démarrage élevé comme les automobiles ou les grues.

Les moteurs à excitation shunt :

Dans ce type de moteur, le stator est raccordé en parallèle au rotor, ce qui permet un couple plus élevé sans réduire la vitesse quand le courant du moteur augmente.

Ce type de moteur convient aux applications avec des vitesses constantes type aspirateurs ou convoyeurs.

Les moteurs à excitation compound :

Ce type de moteur combine la structure des moteurs à excitation série et des moteurs à excitation shunt.

Ainsi, il offre un couple de démarrage élevé en même temps qu'une variation de vitesse plus importante.

Il est parfait pour des presses rotatives, des ascenseurs, des carrousels à bagages, des pompes centrifuges ou des compresseurs

Les moteurs à aimant permanent :

Ce type de moteur contient un aimant permanent qui permet un couple faible.

Il est pertinent dans le cas d'application nécessitant une commande précise comme dans la robotique ou les servo-systèmes.

Cependant, tous les moteurs à balais présentent des inconvénients importants :

Ils sont moins efficaces que les moteurs brushless (75-80% contre 85-90% pour les brushless).

Leur durée de vie est faible car les balais, du fait des frottements réguliers, s'usent plus rapidement avec le temps (entre 1 000 et 10 000 heures de service en fonction de la fréquence d'application, la puissance, la vitesse, les vibrations...)

L'arc des balais et du collecteur peut générer des bruits électromagnétiques de nature à créer des incendies.

De même, les risques d'étincelles dues au frottement rendent son utilisation en milieu explosif peu souhaitable.

La vitesse est généralement limitée en raison de l'échauffement des balais.

Les balais composés de graphite génèrent de la poussière qui peut abîmer d'autres appareils notamment les appareils optiques.

Ils ont besoin d'être lubrifiés, ce qui rend leur utilisation impossible dans les aspirateurs.



Moteur DC à balais de la marque BODINE

2. Les moteurs brushless (sans balais)

Les moteurs brushless comblent certains points faibles des moteurs à balais, notamment la présence de balais. Mais ces moteurs présentent également d'autres avantages :

Ils peuvent opérer à des vitesses plus importantes (jusqu'à 100 000 tours par minute contre 20 000 pour les moteurs à balais).

Leur durée de vie est plus longue (au-delà de 10 000 heures de service)

Ils sont plus fiables et plus efficaces.

Il n'y a pas de pièce d'usure à part les roulements, ce qui réduit les opérations de maintenance.

La possibilité de ces moteurs d'opérer à de très grandes vitesses rend ce type de moteur particulièrement approprié pour des **meuleuses, des ventilateurs ou des scies**.

Les moteurs brushless sont systématiquement dotés d'un encodeur, un capteur qui permet de commuter électroniquement et de déterminer la position du rotor. Ces moteurs sont donc parfaits pour des **servomoteurs** dans le cadre d'applications de précision.

Cependant, ils présentent certains inconvénients :



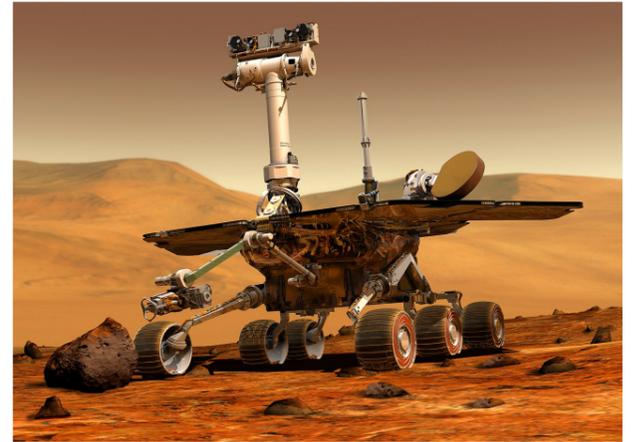
Moteur brushless de la marque Maxon

Le coût initial est élevé car il est nécessaire d'intégrer un dispositif de commutation (contrôleur) dédié. Ils nécessitent aussi généralement un réducteur dans les applications d'entraînement.

Est-ce la fin des moteurs à balais ? Cas d'utilisation avec Opportunity

On pourrait croire que dans le match moteurs à balais vs. moteurs brushless, les balais sortent perdants et n'aient d'autre choix que de rejoindre le placard. Il n'en est rien car les moteurs à balais restent populaires dans l'industrie et même dans l'espace. **Maxon**, fabricant suisse de moteurs électriques, développe constamment de nouvelles technologies pour les moteurs à balais et ce sont justement leurs moteurs à balais qui ont équipé Opportunity, le rover de la NASA envoyé sur Mars en 2003.

Opportunity a ainsi embarqué **34 moteurs DC à balais** qui ont pu opérer avec succès dans des conditions extrêmes avec de grandes variations de température. Le choix de la NASA était simple : bénéficier de la simplicité de contrôle des moteurs à balais et donc de la possibilité de contrôler les 34 moteurs depuis un seul contrôleur. Les moteurs brushless auraient quant à eux nécessité d'avoir un contrôleur par moteur avec des risques de coûts et de complications



Opportunity Mars Rover

Pourquoi choisir un moteur pas à pas ?

Un **moteur pas à pas** convertit une impulsion électrique en un mouvement angulaire. Il est utile pour les applications nécessitant un contrôle de la position en boucle ouverte.

Il existe trois catégories de moteurs pas à pas :

Le moteur à réluctance variable : à caractéristique électrique identique, un tel moteur est moins puissant, mais plus rapide que les moteurs à aimants permanents.

Le moteur à aimants permanents : c'est un moteur à faible coût de revient, et de résolution moyenne (jusqu' à 100 pas/tour).

Le moteur hybride : ce moteur combine les deux technologies précédentes mais est plus cher. Son intérêt réside dans un meilleur couple et une vitesse plus élevée. Il a une résolution de 100 à 400 pas/tour.

Les moteurs à aimants permanents et les moteurs hybrides sont les moteurs les plus couramment utilisés car ils présentent certains avantages :

- Ils sont précis
- Ils sont peu chers
- Ils sont robustes
- Leur construction est simple
- Le couple est élevé au démarrage et à basses vitesses

Cependant, ils ne vont pas sans certains inconvénients :

- La vitesse et le couple sont relativement faibles
- Le couple diminue fortement lorsque la vitesse augmente
- Ils engendrent des vibrations qui peuvent créer des problèmes de résonance
- Il y a des risques de surchauffe

Pour sélectionner votre moteur pas à pas, veuillez à regarder :

- Le couple et la charge
- Le nombre de pas
- Les dimensions du moteur (poids, brides de fixation du moteur..).
- Le coût



Moteur pas à pas 2 phases de la marque SANYO DENKI

Quels sont les standards d'efficacité énergétique des moteurs électriques?

Les industriels se posent de plus en plus la question de l'**efficacité énergétique**. Une économie plus verte et plus respectueuse de l'environnement est en effet l'un des objectifs de la COP 21 pour lesquels se sont engagés de nombreux États. Mais c'est surtout pour limiter la consommation et réaliser des économies que l'industrie depuis ces dernières années se dote d'équipements ayant une plus

grande efficacité énergétique. D'après une étude de la Commission Européenne, les moteurs représentent 65% de la consommation industrielle d'énergie en Europe. Agir au niveau des moteurs est donc un levier important pour réduire les émissions de CO₂. La Commission prévoit même qu'il est possible d'améliorer de 20 à 30% l'efficacité énergétique des moteurs de fabrication européenne d'ici 2020. À la clé ce sont 63 millions de tonnes de CO₂ en moins dans l'atmosphère et 135 milliards de kWh d'économies.

Si vous souhaitez vous aussi intégrer des moteurs moins gourmands en énergie et réaliser à la fois des économies et un geste pour la planète, il vous faudra d'abord regarder les **normes d'efficacité énergétique** des moteurs **en vigueur dans votre pays ou votre zone géographique**. Mais attention, ces normes ne concernent pas tous les moteurs, seulement les **moteurs électriques AC asynchrones**.

Les normes internationales

La Commission Électronique Internationale (IEC) a défini des classes d'efficacité énergétique pour les moteurs électriques mis sur le marché, connues sous le nom de code IE, qui sont résumées dans la norme internationale IEC

L'IEC a déterminé quatre niveaux d'efficacité énergétique qui définissent le rendement énergétique du moteur :

IE1 renvoie au rendement niveau STANDARD

IE2 renvoie au rendement niveau HAUT

IE3 correspond au rendement niveau PREMIUM

IE4, encore à l'étude, promet un rendement SUPER PREMIUM

L'IEC a également mis en place la norme IEC 60034-2-1:2014 pour le **test des moteurs électriques**. De nombreux pays utilisent des normes d'essai nationales, tout en faisant aussi référence à la norme internationale IEC 60034-2-1.

En Europe

L'UE a déjà adopté plusieurs directives visant à réduire la consommation énergétique des moteurs, avec notamment l'obligation pour les constructeurs de mettre sur le marché des moteurs à haut rendement énergétique :

La classe IE2 est ainsi obligatoire pour tous les moteurs depuis 2011

La classe IE3 est obligatoire depuis janvier 2015 pour les moteurs ayant une puissance de 7,5 à 375 kW (ou IE2 si ces moteurs ont un variateur de fréquence)

La classe IE3 est obligatoire depuis le 1er janvier 2017 pour les moteurs ayant une puissance de 0,75 à 375 kW

Aux États-Unis

Aux États-Unis, ce sont les normes définies par l'association américaine **NEMA** (National Electrical Manufacturers Association) qui sont en vigueur. Depuis 2007, le niveau minimal requis est fixé à IE2.

Cette même classification s'applique à l'**Australie** et la **Nouvelle-Zélande**.

En Asie

En **Chine**, ce sont les normes coréennes **MEPS** (Minimum Energy Performance Standard) qui s'appliquent pour les moteurs asynchrones triphasés de petite et moyenne taille et ce depuis 2002 (GB 18693). En 2012, les normes MEPS ont été harmonisées avec les normes IEC, passant de IE1 à IE2 et maintenant à IE3.

Le **Japon** a harmonisé sa réglementation nationale avec les classes de rendement IEC et a inclus les moteurs électriques aux niveaux IE2 et IE3 dans son programme Top Runner en 2014. Instauré en 1998, le programme Top Runner oblige les constructeurs japonais à toujours proposer sur le marché de nouveaux modèles plus économes en énergie que les générations précédentes, forçant ainsi l'émulation et l'innovation énergétique.

L'**Inde** a un label d'efficacité comparative depuis 2009 et une norme nationale au niveau IE2 depuis 2012.