

Moteurs électriques

Pas de grandes formules, pas de connaissances préalables, c'est juste une présentation globale des moteurs électriques. Plus que "comment cela marche", je souhaite mettre en évidence quelques similitudes constructives entre les grandes catégories de moteurs.

Un moteur électrique c'est un transformateur de :



énergie électrique > énergie mécanique

Nous ne parlerons pas de tous les moteurs électriques, et certains choix feront probablement crier les spécialistes, car il est vrai qu'un moteur asynchrone et un moteur pas à pas sont notablement différents quoique ☐

Vous trouverez dans la littérature, les magazines, Internet ou les publicités, pléthores de dénomination pour ces moteurs électriques.

Moteur électrique cela signifie que l'énergie principale consommée par ce moteur est l'électricité. Oui, un moteur à explosion utilise de l'électricité pour provoquer l'étincelle de l'explosion, mais ce n'est pas l'énergie fondamentale de ce type de moteur.

Au hasard quelques noms de moteurs électriques :

synchrone, disque, plat, piézo, pas à pas, asynchrone, courant continu, brushless, linéaire,

motoréducteurs, servomoteurs, courant continu sans balai, à réluctance variable, etc.

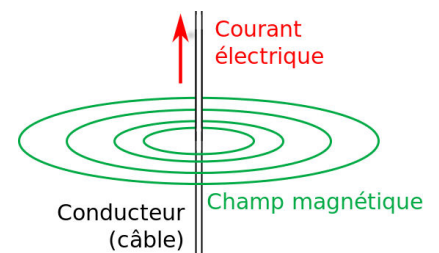
Un tout petit peu de théorie

Pour bien comprendre le moteur électrique il faut être clair avec les idées sur le champ électrique et le champ magnétique. Si vous n'êtes pas sûr de vos connaissances, vous avez le très court rappel ci-dessous, sinon vous avez l'article "[les champs électromagnétiques](#)". Vous pouvez également (re)lire l'article sur les "[opérateurs mathématiques](#)" pour la notion de champs en physique et/ou "[le courant électrique c'est quoi ?](#)" pour les rudiments d'électricité.

Couplage champ électrique et magnétique

Comme vous le savez le champ électrique et le champ magnétique sont intimement liés. Cette liaison se manifeste entre autres par la perpendicularité de leurs champs, voici une rapide présentation de leur interdépendance.

résumé de la vidéo ci-dessus



*un champ électrique induit un champ magnétique constant.
un champ magnétique variable induit un champ électrique variable.*

Les boucles vertes, de l'image ci-contre, représentent les lignes où la valeur du champ magnétique est identique (ce sont des équipotentielles)

Voilà c'est fini avec la théorie ! □

Premier tri

Ici nous allons tout de suite décevoir plusieurs d'entre vous, désolé mais c'est difficile de plaire à tous.

LES CHAMPS "PAS" TOURNANTS

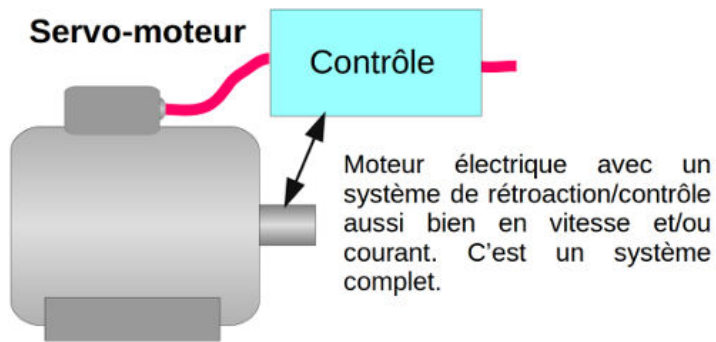
Dans les moteurs électriques il y a ceux avec champs tournants et les autres ! Vous n'avez pas idée de ce qu'est un champ tournant, c'est pas important, car comme nous ne parlerons que des moteurs avec champs tournants vous trouverez plus bas toutes les explications nécessaires. Les moteurs écartés de ce texte seront donc les autres, comme :

*On ne parlera pas directement des **moteurs linéaires**, vous utiliserez le mimétisme, depuis les moteurs à champ tournant, pour appréhender leur fonctionnement, ce sera à vous de faire preuve d'imagination.*

*On ne parlera pas des **moteurs piézo-électriques**, mais vous trouverez une première approche dans cette vidéo(14'43). Le moteur piézo-électrique "n'utilise pas" le champ magnétique.*

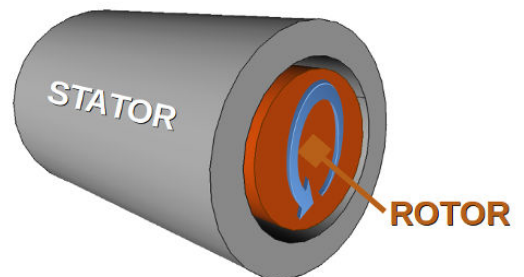
LES SPÉCIAUX

Leurs champs sont peut-être tournants, mais leur forme est particulière, nous n'en parlerons également pas ! Par exemple les moteurs plats, disques ou motoréducteurs. D'autres sont un mélange de moteur électrique et de leur pilotage (électronique appropriée), ils seront aussi exclus, comme les servomoteurs :



Vous devez vous dire qu'il reste pas grand-chose et que c'est un peu facile comme méthode de classement, je vous rassure malgré les "éliminations" il y a encore beaucoup à dire

Encore deux restrictions, enfin ... une surtout !

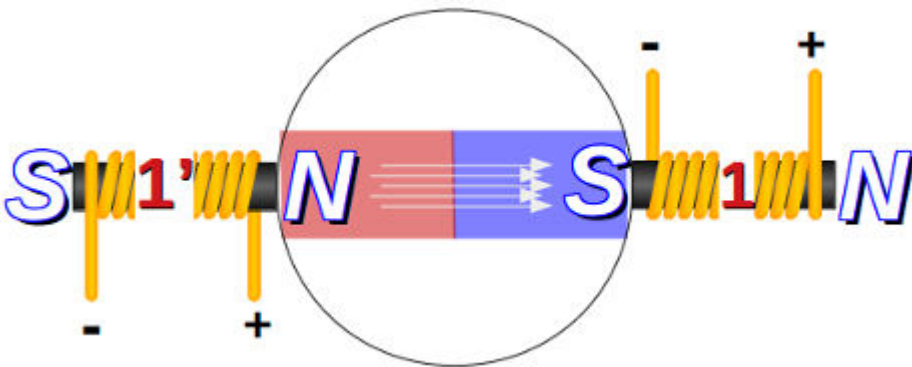


Et pour encore simplifier le discours, les moteurs que nous allons regarder seront constitué d'un extérieur et d'un intérieur ☐ !! L'extérieur ce sera comme un tube fixe, statique (le stator) et d'un intérieur constitué comme un cylindre tournant, rotatif (le rotor). Nous ne parlerons que de ce type de moteur électrique, voilà qui est dit !

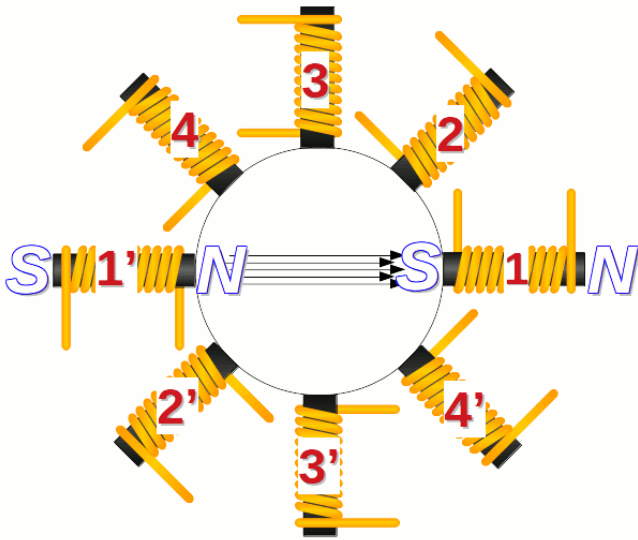
Et pour bien être sûr de se comprendre, comme nous parlons de champs magnétiques/électriques, les matériaux constituant les moteurs électriques sont des métaux. Ce sont des matériaux qui conduisent l'électricité et qui améliorent la pénétration du magnétisme. Vous aurez beaucoup de mal à trouver des moteurs électriques fabriqué en bois par exemple, matière résistante aux champs électriques et insensible aux champs magnétiques.

Moteurs électriques à champs tournants

Comment réaliser un champ "TOURNANT" ? Voici juste un exemple, mais on peut concevoir d'autres configurations. Dans notre cas on imagine deux bobines l'une en face de l'autre. Dans chacune on fait circuler un courant électrique (donc il y a champ électrique) qui induit un champ magnétique de tel façon que "l'aimant" de la bobine (1) soit dans le même sens N-S que celui de la bobine (1'). Donc entre les deux bobines on voit apparaître un champ magnétique N-S "comme un aimant" symbolisé par le rectangle bicolore rouge-bleu (rose-violet ? □).



À partir de ces deux bobines il est aisé d'imaginer un ensemble de paires de bobines réparties sur une circonférence et que l'on puisse alimenter les unes après les autres. Ce qu'il faut comprendre c'est que le champ magnétique, créé par les bobines, tourne sur lui même, c'est comme un aimant permanent en rotation.



Voilà ! on a un champ (magnétique) tournant

Remarque : Un champ magnétique tournant peut être produit par des aimants permanents tournants mais pour cela il faut une énergie mécanique qui entraîne ces aimants. On parle de générateurs dans ce genre de configuration.

Aimant permanent en rotation

Maintenant comment faire pour que le centre (le cylindre, le rotor) "suive" ce champ magnétique ? Une première idée, qui semble simple, c'est d'installer un aimant permanent au centre et en rotation libre. Il suivra logiquement le champ magnétique tournant. Reprenons notre configuration avec les bobines en pair, nous aurions quelque chose comme cette petite vidéo (0'16) :

Voilà notre premier moteur électrique, ce pourrait être un moteur pas à pas, un moteur brushless ou bien un moteur synchrone. Alors pourquoi des noms différents si c'est la même chose ?

Ces petites différences qui font toute LA différence

Nous avons donc un champ magnétique tournant piloté par les bobines du stator via le courant électrique circulant dans ces bobines. Nous pouvons envisager plusieurs cas (liste non exhaustive):

Je vous conseille de lire l'ensemble de l'article avant de cliquer sur les liens proposés, car le but de cet article est d'essayer de montrer que les moteurs, malgré leurs noms différents, sont très semblables et si vous cliquez direct, ça risque un joli mixte, mais bon "c'est vous qui voyez" !

1.- le courant circulant dans les bobines est continu ([moteur pas à pas](#))

2.- le courant circulant dans les bobines est alternatif ([moteur synchrone](#) à aimants permanents)

3.- le nombre de pôle de l'aimant du rotor est différent du nombre de pair de bobines ([moteur brushless](#))

4.- le rotor présente une réluctance variable (qu'est-ce que c'est cette bête-là ?) ([réluctance variable](#) lisez jusqu'au début de la page 4)

COURANT CONTINU

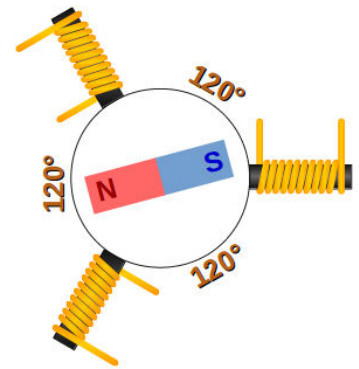
C'est comme le cas présenté par la vidéo du fil et la boussole, l'aimant suit le champ des bobines, voici une vidéo (0'35) présentant ce type de moteur

Le rotor tourne d'un pas et se positionne (s'immobilise) en face de l'aimant créé par la bobine. Il avance d'un pas et s'arrête. C'est pratique car un nombre d'excitation de bobine correspond un angle de rotation.

Pour montrer que la configuration des rotors peuvent être plus subtile qu'un simple cylindre, cette vidéo (en anglais 5'52) est assez explicite malgré tout. Notez que l'aimant permanent est orienté axialement et la forme du rotor/stator permet une division très fine des pas du moteur.

Petite remarque : le courant est considéré comme continu, car sa forme est rectangulaire (courant / pas de courant). Notez que lors de la montée et de l'arrêt du courant, il y a quelques effets transitoires.

COURANT ALTERNATIF



Ici nous allons parler du moteur synchrone. Imaginons un moteur avec des bobines disposées comme l'image ci-contre :

Maintenant alimentons ces bobines par du courant triphasé (voir rappel ci-dessous). Nous aurons la mise en rotation de notre aimant permanent (le rotor) par les champs magnétiques alternatifs des bobines (le stator) qui par addition donne un champ magnétique tournant au niveau du rotor. Il est vrai que souvent dans le cas des moteurs synchrones l'aimant du rotor est en fait une bobine plutôt qu'un aimant permanent mais cela ne change pas fondamentalement le principe. Voici une vidéo (5'16) qui vous présente ce moteur. Laissez passer les formules mathématiques compliquées

La dénomination "moteur synchrone" définit un moteur avec des bobines au rotor et "moteur synchrone à aimants permanents" c'est avec des aimants permanents au rotor.

Le courant alternatif

Pour la suite des explications et comme nous allons alimenter notre moteur (nos bobines) par du courant alternatif triphasé, je vous propose un petit rappel sur le triphasé via la vidéo ci-contre (7'59). Pour ceux qui ne savent pas ce qu'est un courant triphasé et qui souhaitent diminuer leur inculture d'un point, vous trouverez ici et/ou ici de très bonnes explications.

NOMBRE DE PÔLES ET BOBINES DIFFÉRENTS

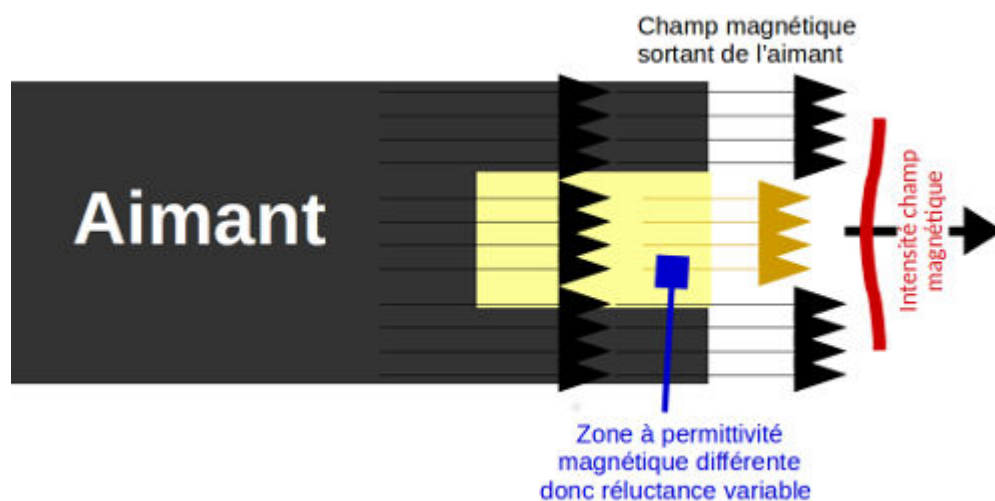
Ce sont les moteurs brushless ou moteurs sans balai. Ils sont aussi appelés moteur à

courant continu sans balai. Le pourquoi de cette dénomination est dû au fait que leur fonctionnement correspond à celui d'un moteur à courant continu (voir plus bas) auquel on aurait mécaniquement inversé la partie mobile et la partie fixe. Une vidéo anglaise (0'42), mais le son n'est pas nécessaire !

RÉLUCTANCE VARIABLE

La réluctance qu'est ce ? Le champ magnétique se propage toujours, quel que soit le matériau (ou le vide), mais les matériaux non pas tous la même aptitude à faciliter son passage. Certain matériaux sont plus permissifs que d'autre. Cette [perméabilité magnétique](#) dépend du matériau et elle est, en principe, plus grande que celle du vide. Oui, mais la réluctance ? C'est l'inverse de cette perméabilité, une résistance, un peu comme la résistance électrique mais pour les circuits magnétiques.

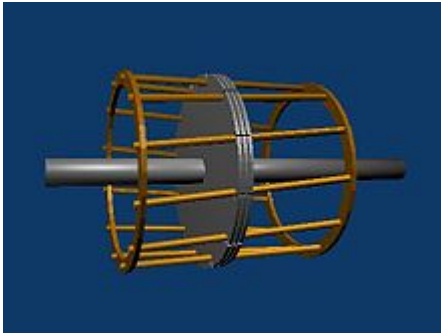
La réluctance variable c'est aussi une permittivité variable, si un aimant présente au pôle une forme un peu particulière comme :



On peut constater que les lignes du champ magnétique résultant de la forme de l'aimant ne sont pas constantes mais variables suivant la position d'observation. Donc la réluctance de l'aimant est variable. Une visualisation des flux magnétiques (0'48) :

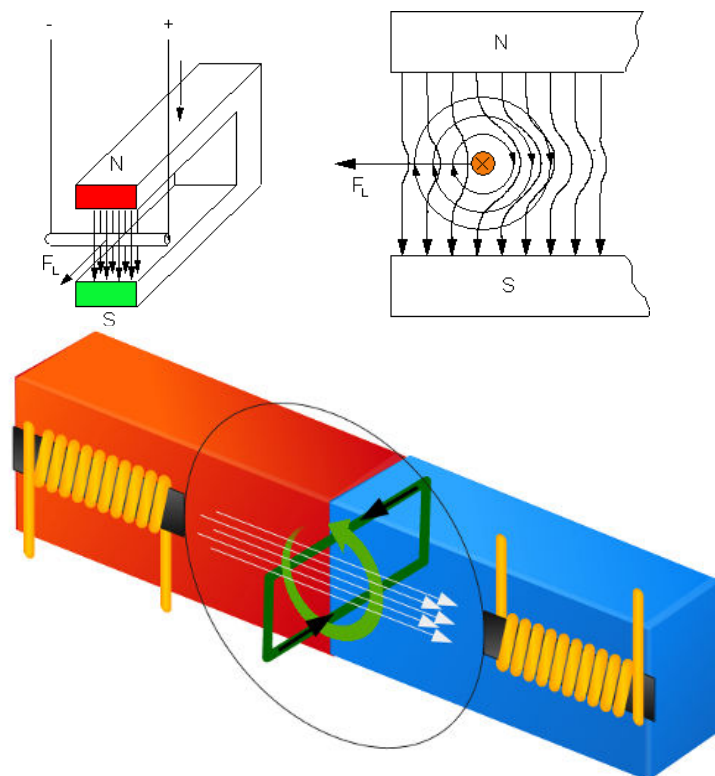
Rotor sans aimant permanent

Nous avons ici affaire à un des moteurs les plus répandus dans l'industrie. Le moteur asynchrone, qu'a-t-il de particulier ? Il n'a pas d'aimant au niveau du rotor, c'est comme un simple cylindre ! Un fait, le rotor est plus comme une cage circulaire, on parle de cage d'écureuil. (Il y a d'autres types de rotors, mais on s'attardera que sur celui-ci)



Pourquoi le rotor suit-il le champ magnétique ?

Il faut se souvenir qu'un champ magnétique variable induit un champ électrique (courant électrique) et si un circuit électrique fermé se trouve dans ce champ magnétique, il apparaît une force sur la partie du circuit électrique soumis au champ magnétique.



Dans notre cas le rotor peut être vu comme une simple boucle, une spire, c'est plus simple pour l'explication. Le champ magnétique tournant, induit par les bobines du stator, induit dans cette spire un courant électrique qui tend à la mettre en rotation. La spire va vouloir suivre le champ magnétique. Si la différence de vitesse (champ/spire) est grande la force de mise en rotation est grande, si par contre la différence est nulle cette force de mise en rotation est nulle. Donc le rotor doit juste tourner moins vite que le champ tournant pour un équilibre entre la force de rotation et force de charge moteur (frottement et charge), on parle de glissement. Donc on comprend également que le rotor n'est pas synchrone avec le champ tournant du stator, il est asynchrone.

Vous avez bien sûr compris que le champ magnétique tournant est très souvent, particulièrement dans le milieu industriel, fabriqué directement par le courant triphasé. À noter que, maintenant, les variateurs de fréquence se sont fortement répandus et permettent de piloter la variation de la vitesse de ces moteurs asynchrones triphasés. Si vous revenez sur la première photo de l'article, vous verrez un moteur asynchrone triphasé !

Moteurs avec un champ "tournant" au rotor

De tout ce que l'on voit c'est que le champ tournant est créé par des bobines situées sur le stator et donc fixes par rapport à la carcasse du moteur. Peut-on imaginer un système un peu différent ? Oui bien sûr, par exemple des bobines solidaires au rotor et donc elles tournent, ce faisant elles créent ce fameux champ tournant. C'est même le principe du moteur à courant continu, voici une vidéo explicative (7'31) :

Conclusion

Pas de très grande différence constructive en fin de compte, mais le type d'alimentation électrique et la disposition des bobines et enfin la forme et les matières vous indiquent généralement "assez bien" le type de moteur que vous avez devant vous. Bobines et aimants, même combat !

Le rendement entre l'énergie électrique engloutie par le moteur électrique et l'énergie mécanique restituée est généralement de 60 à 90% suivant le type. Par comparaison un moteur thermique à un rendement de 30 à 50%.

*Dernier point avant de clore ce texte, sachez que **chaque type de moteur à des avantages et des inconvénients** d'usage. Un site, un peu technique pour avoir une vue générale : [sciences et techniques](#)*

Et si vous n'avez rien compris, alors peut-être cette vidéo (5'51)