

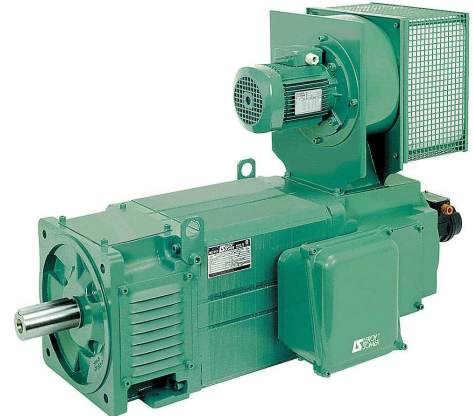
## MOTEURS A COURANT CONTINU

### I- GENERALITES

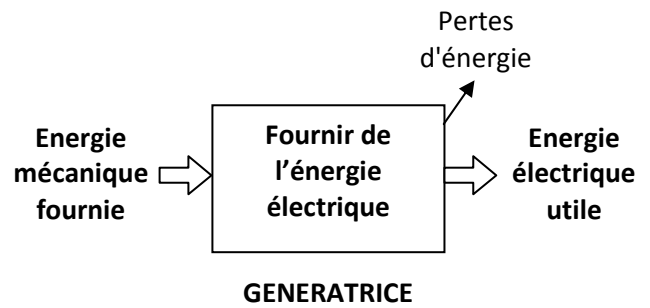
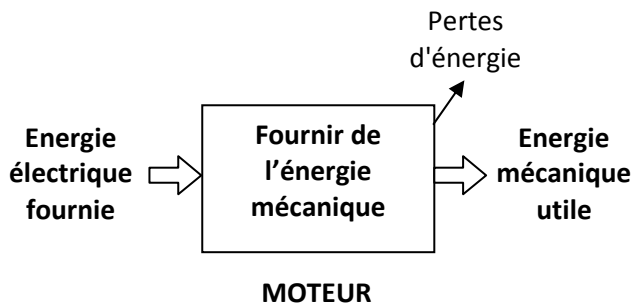
Les moteurs à courant continu à excitation séparée sont encore utilisés assez largement pour l'entraînement à vitesse variable des machines.

Leur vitesse de rotation nominale est adaptable aisément par construction à toutes les applications, car elle n'est pas liée à la fréquence du réseau. Les moteurs à courant continu sont de plus en plus remplacés par les moteurs asynchrones car ils sont moins robustes que ces derniers et nécessitent un entretien régulier du collecteur et des balais.

On les rencontre principalement dans les systèmes de traction : train, tramway, métro

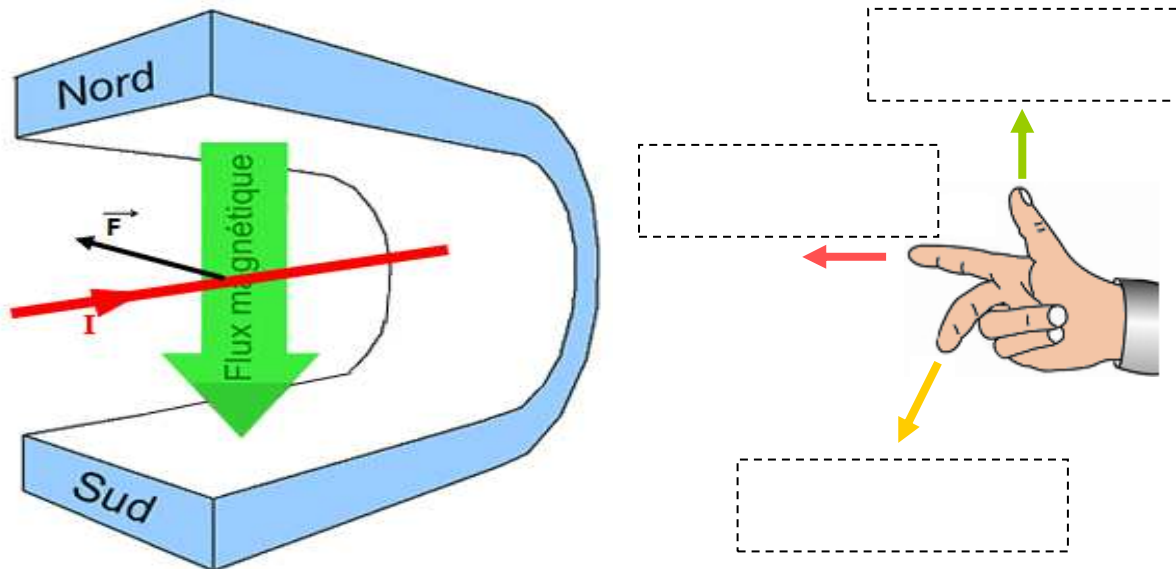


La machine à courant continu est réversible c'est à dire qu'elle peut fonctionner aussi bien en **moteur** qu'en **génératrice**.

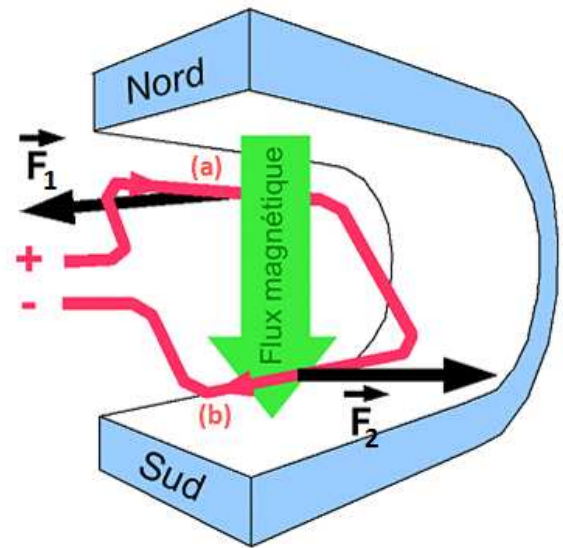


### II- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

D'après la loi de Faraday (règle des « trois doigts », main droite), si un conducteur traversé par un courant électrique est placé dans une zone de champ magnétique alors ce conducteur est soumis à ..... et il effectue .....



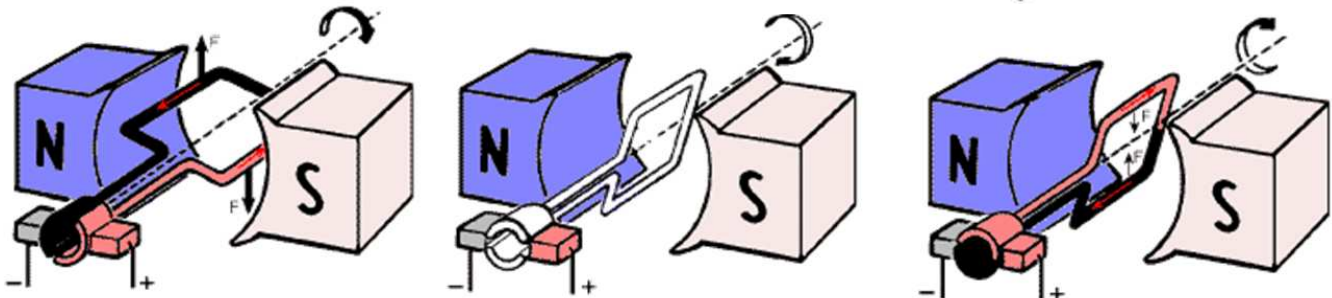
Remplaçons maintenant le conducteur précédent par un conducteur en forme de spire, formée par les fils (a) et (b). Quand ces conducteurs (a) et (b), parcouru par un courant  $I$ , sont placés dans un champ magnétique, ils sont soumis à des forces de Laplace  $F_1$  et  $F_2$ . Il se crée un couple de rotation qui tend à faire tourner la spire sur son axe.



Quand la spire a fait un demi-tour, il faut inverser .....

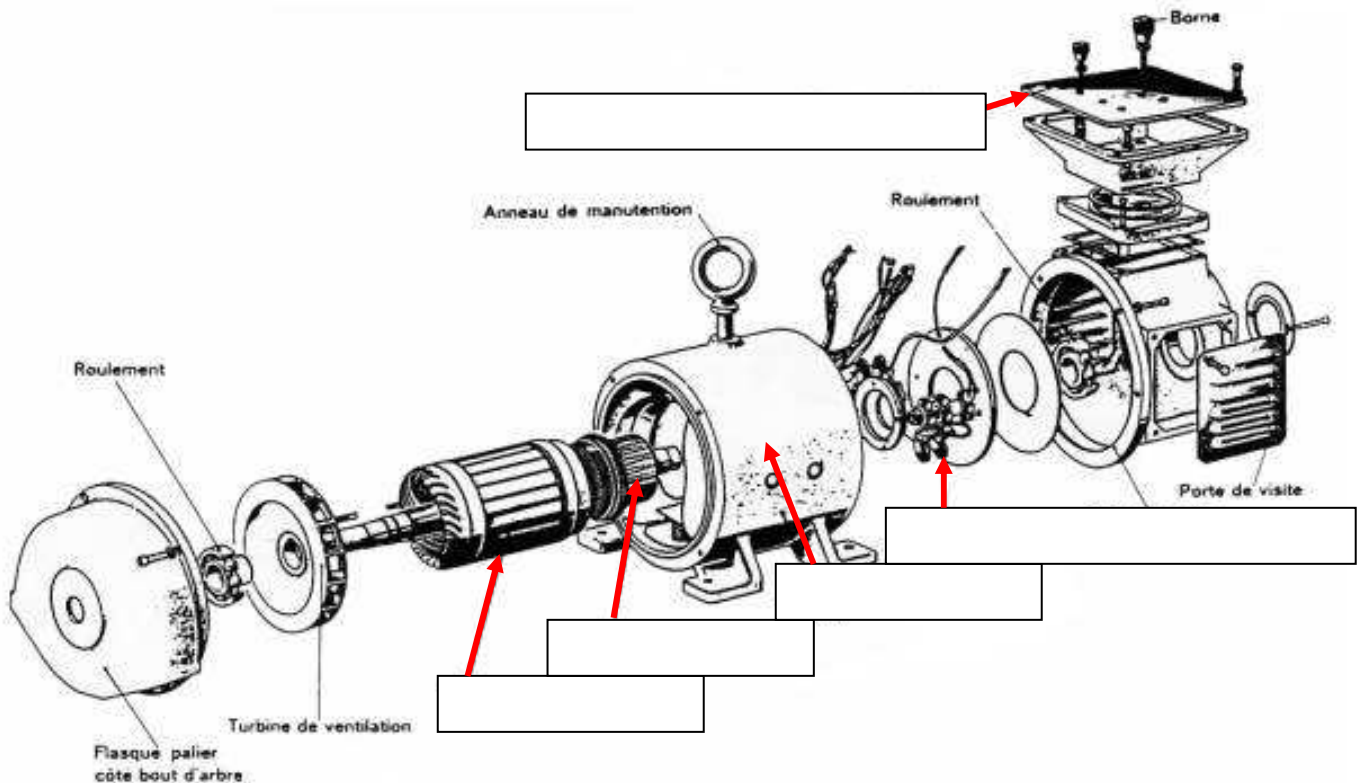
..... pour inverser le sens des forces et continuer le mouvement.

Ce sera le rôle du collecteur, comme le montre le schéma ci-dessous :

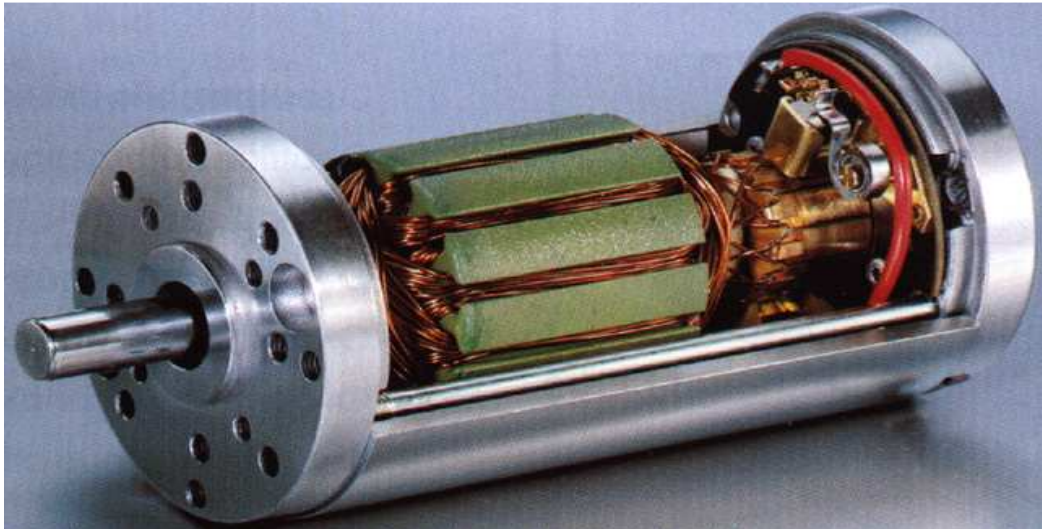


### III- CONSTITUTION

#### 1- Vue éclatée



Vue d'un moteur dont le rotor est monté sur le stator :



**2- Constituants électriques**

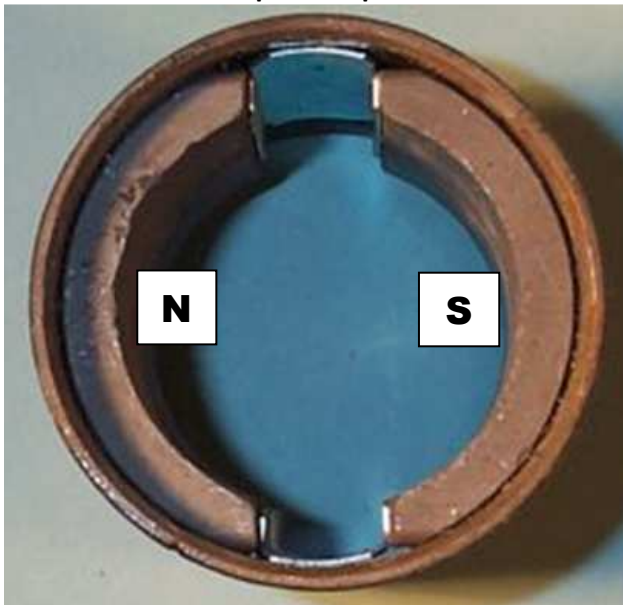
**a) Le stator**

Partie fixe appelé également ....., est constitué de la carcasse du moteur et du circuit magnétique proprement dit. Un circuit magnétique est constitué d'une structure ferromagnétique qui canalise le flux magnétique, créé par une source de champ magnétique :

- Soit des .....(réservés aux petites puissances, afin de réduire l'encombrement),
- Soit des .....

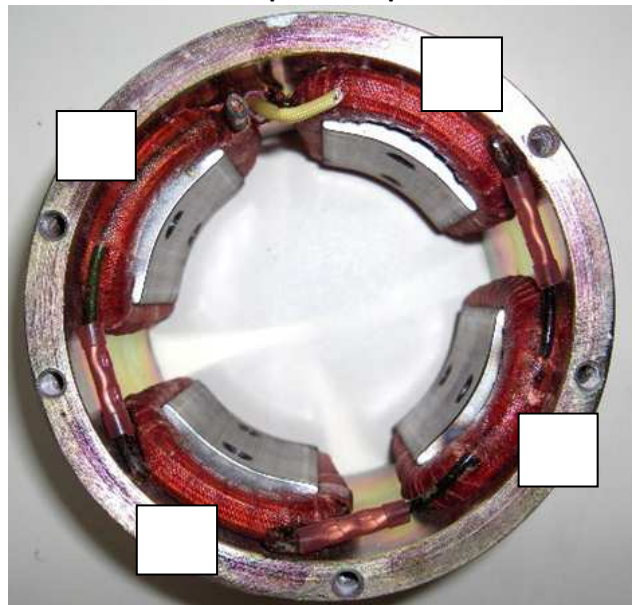
Le circuit magnétique du stator crée le champ magnétique appelé «.....»dans l'entrefer. L'entrefer est l'espace entre les pôles du stator et le rotor. Le flux magnétique est maximal au niveau des pôles magnétiques.

**Circuit magnétique à aimant permanent, Une paire de pôles.**



**Figure 1**

**Circuit magnétique constitué par des enroulements, deux paires de pôles.**



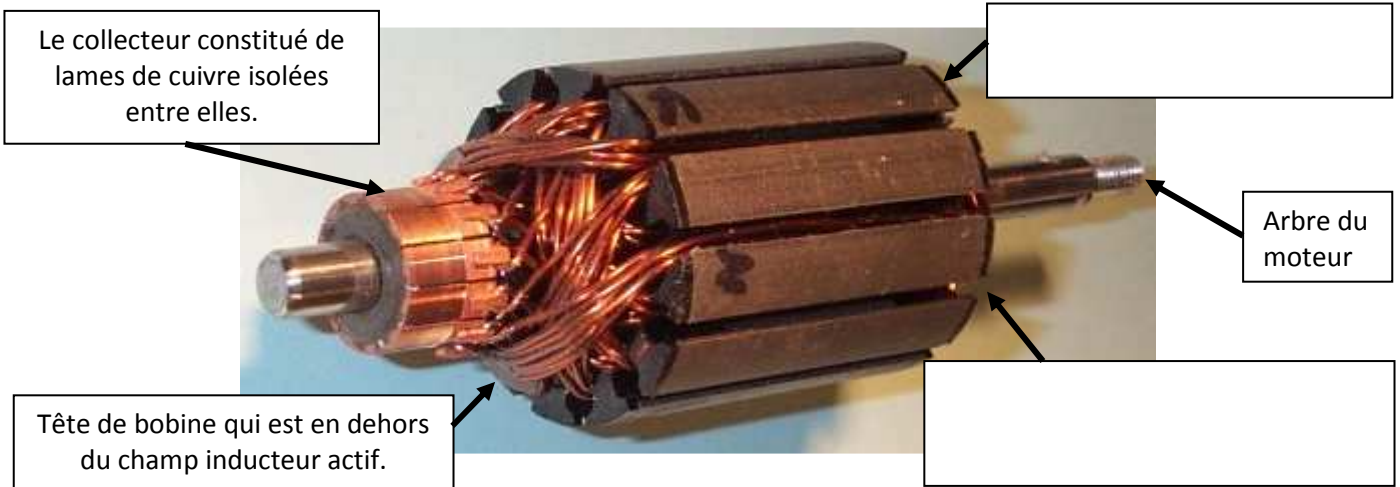
**Figure 2**

Sur la photo 1 on voit clairement les deux aimants permanents à l'intérieur de la carcasse du moteur.

Sur la photo 2 on voit les 4 enroulements l'inducteur montés sur les pôles magnétique feuilleté de l'inducteur (pour réduire le plus possible les pertes fers). Le moteur de droite possède 2 paires de pôles inducteurs (Nord – Sud) pour mieux répartir le flux magnétique dans la machine. Les lignes de champ magnétique vont du pôle ..... vers le pôle .....

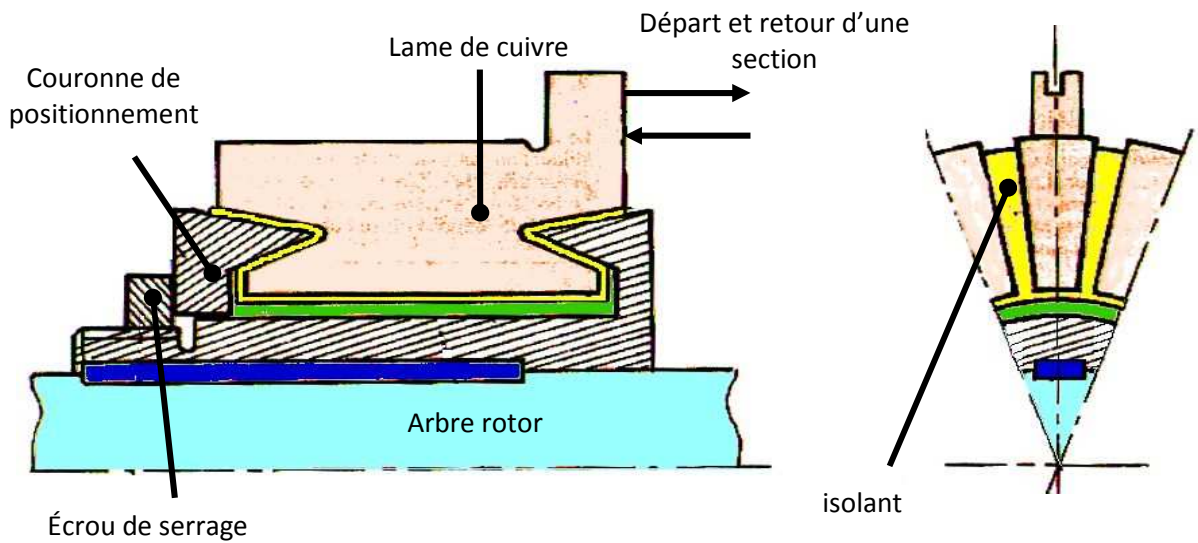
**b) Le rotor**

Partie mobile appelé également ....., est constitué par un cylindre d'acier à la périphérie duquel sont disposés les conducteurs des enroulements d'induit. Ces conducteurs sont reliés aux lames du collecteur.



**c) Le collecteur**

Le collecteur est constitué de lames de cuivre isolées entre elles. Elles sont disposées de sorte à former un cylindre et sur chacune d'entre elle sont soudés le départ et le retour d'une section d'enroulement.

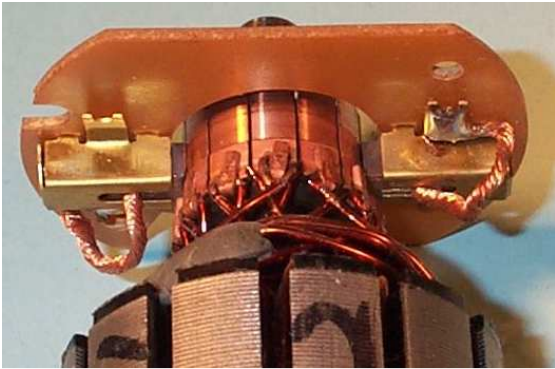


**d) Les balais**

Les balais, ou ....., assurent la liaison entre les conducteurs tournants et les bornes fixes du moteur. Ils assurent ainsi l'alimentation de l'induit (rotor) grâce à des contacts glissants entre les lames du collecteur et le circuit électrique fixe.

Ils sont constitués de petits cubes ayant une surface de contact de quelques mm<sup>2</sup> à quelques cm<sup>2</sup>, en graphite pur ou en alliage, qui doivent résister à des conditions d'utilisation sévères (courants et températures élevés, frottements, arc électriques, ...). Ils sont équipés de tresse de raccordement pour la liaison avec le circuit électrique.



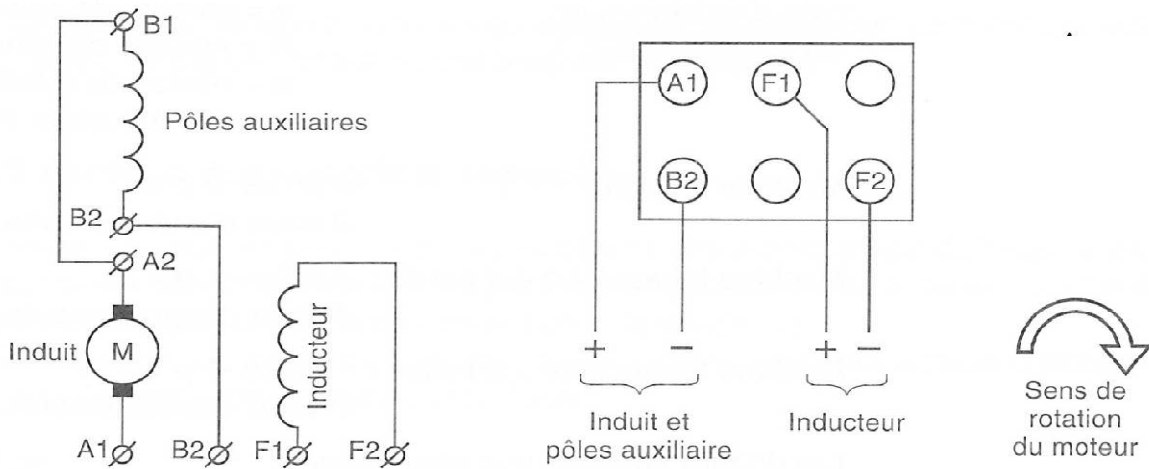


Les balais sont maintenus en place par des porte-balais solidaire du stator. Un système à ressort assure une pression constante du balai sur le collecteur quel que soit le degré d'usure du balai.

Sur la photo de droite les balais sont montés sur le collecteur. On voit bien comment lors de la rotation les balais alimentent successivement les différents enroulements.

### 3- Plaque à borne

Elle permet le raccordement du moteur à un réseau continu ou à un variateur de vitesse.



### 4- Plaque signalétique

Diagram of a Leroy-Somer motor nameplate with various technical specifications and labels. The nameplate includes the manufacturer's name, model number, and a table of performance characteristics.

TYPE:	LSK 1604 S 02	N°	7000000 / 001	M	249 Kg
Classe / Ins class	H	IM	1001	IP	23s
M / Rated torque	810 N.m	Altit.	1000 m	Temp.	40 °C
Nom./Rat.	36,3 kW	1150 min <sup>-1</sup>	440 V	95,5 A	360 V

Labels on the nameplate include: n° du moteur, indice de protection, constructeur, conformité européenne, date d'expédition, masse, indice de refroidissement, température ambiante de fonctionnement maximale, intensité d'excitation, tension d'excitation, type d'excitation, caractéristiques des enroulements côté opposé à l'entraînement, intensité d'induit, tension d'induit, caractéristiques des enroulements côté entraînement, type de service\*, vitesse de rotation, puissance nominale, altitude maximale de fonctionnement, couple nominal, classe d'isolation\*, position de fonctionnement\*, type, and n° du moteur.

\* Voir fiche technique Moteur asynchrone triphasé



Loi d'Ohm appliquée aux récepteurs :

Avec :

- U** : tension aux bornes de l'induit en Volt (V)
- E** : force contre électromotrice en Volt (V).
- I** : Courant absorbé en ampère (V).

**R** : C'est la résistance totale : câble, balais, lame de collecteur et enroulement d'induit. La résistance s'exprime en Ohm ( $\Omega$ )

**c) Puissances**

La puissance électromagnétique est :

**Pe** s'exprime en Watt (W).

La puissance absorbée sur le réseau est :

**Pa** s'exprime en Watt (W). Avec :

- U** : tension aux bornes de l'induit en Volt (V) ;
- u** : tension aux bornes de l'inducteur en Volt (V) ;

- I** : Courant absorbé par l'induit en ampère (A).
- i** : Courant absorbé par l'inducteur en ampère (A).

**2- Caractéristiques mécaniques**

**a) Couple utile**

Le couple utile sur l'arbre moteur est donné par la relation suivante :

**Tu** s'exprime en Newton-mètre (N.m). Avec :

**Tu** : Couple utile en Newton-mètre (N.m)

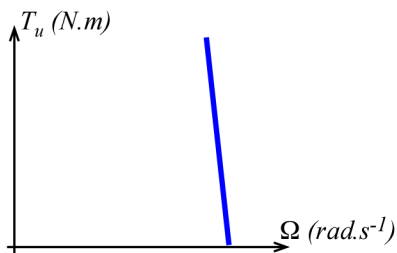
$$k = \frac{P}{a} \times \frac{n}{2\pi} = \text{constante}$$

$\Phi$  : flux magnétique inducteur en Weber (Wb).

**I** : Courant absorbé par l'induit en ampère (A).

**b) Caractéristique de couple**

On déduit des relations précédentes la caractéristique du **couple en fonction de la vitesse** :



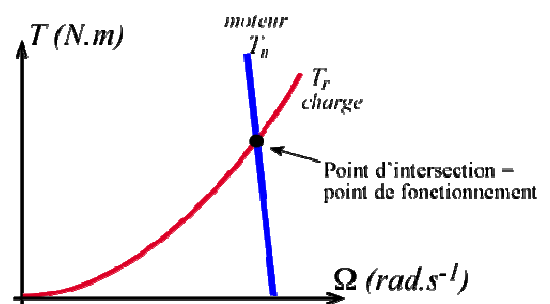
ant continu varie très peu

**c) Point de fonctionnement**

Une charge oppose au moteur un couple résistant **Tr**.  
 Pour que le moteur puisse entraîner cette charge, le moteur doit fournir un couple utile **Tu** de telle sorte que : .....

C'est .....

.....



**d) Puissance utile**

La puissance utile est la puissance disponible sur l'arbre moteur. C'est cette puissance .....

$P_u$  s'exprime en Watt (W). Avec :

$P_u$  : puissance utile en Watt (W)

$\Omega$  : Vitesse angulaire en radian par seconde (rad/s)

$T_u$  : Couple utile en Newton-mètre (N.m)

**e) Conclusion :**

- ↪ La tension d'alimentation  $U$  impose la vitesse de rotation  $\Omega$  (donc  $n$ ):  $\Omega \approx \frac{U}{K\Phi}$
- ↪ La charge de couple résistant  $T_r$  impose la valeur du courant d'induit  $I$  :  $I \approx \frac{T_r}{K\Phi}$

**3- Variation de vitesse**

Des deux relations .....et ..... on en déduit une relation entre la tension d'alimentation, la vitesse de rotation et le flux : ..... (R.I négligeable)

$K$  est une constante de construction du moteur : nombre de paires de pôles, nombre de voies d'enroulement, nombre de conducteurs par section.

Cette relation indique deux possibilités de réglage de la vitesse :

**a) Action sur la tension d'alimentation aux bornes de l'induit :**

La relation ci-dessus montre que la vitesse est directement proportionnelle à la tension d'alimentation ( $U$ ) lorsque le flux magnétique ( $\Phi$ ) est constant.

La puissance varie mais le couple reste constant. On dit alors qu'on fait de la variation de vitesse à couple constant.

La variation de la tension d'alimentation est obtenue par un montage redresseur d'électronique de puissance.

**b) Action sur le flux inducteur**

Lorsque le courant inducteur diminue, le flux magnétique dans le moteur diminue. Cette diminution provoque une augmentation de la vitesse mais elle conduit aussi à une diminution du couple moteur qui est directement proportionnel au flux.

L'action sur le flux permet une légère survitesse avec une diminution du couple utile. Son utilisation est très spécifique, on dit alors qu'on fait de la variation de vitesse à puissance constante.

**Attention :** Si le flux inducteur devient nul, la vitesse de rotation tend vers l'infini c'est à dire l'emballement du moteur et cela peut provoquer sa destruction.

**4- Inconvénients et entretien d'un moteur à courant continu**

Par rapport aux moteurs asynchrones, les machines à courant continu nécessitent une maintenance préventive importante. En effet, le principal problème de ces machines vient de la liaison entre les balais, ou « charbons » et le collecteur rotatif et nécessitent une surveillance régulière de leur état d'usure.

- ↪ Les balais assurent le contact glissant et subissent une usure importante. A des vitesses élevées les balais doivent donc être remplacés très régulièrement.
- ↪ Plus la vitesse de rotation est élevée, plus la pression des balais doit augmenter pour rester en contact avec le collecteur donc plus le frottement est important ;



↳ Le collecteur imposant des ruptures de contact provoque des arcs, qui usent rapidement le commutateur et génèrent des parasites dans le circuit d'alimentation. Il est vivement recommandé d'installer des dispositifs de filtrage du courant afin de minimiser ces parasites sur le réseau.

↳ Un autre problème limite les vitesses d'utilisation élevées de ces moteurs lorsque le rotor est bobiné, c'est le phénomène de « défretage ». En effet, la force centrifuge peut provoquer l'usure puis la casse des liens assurant la tenue des ensembles de spires (le frettage).

↳ De plus, il est nécessaire d'assurer la ventilation intérieure du moteur pour évacuer les résidus de l'usure des balais et du collecteur car ces résidus conducteurs peuvent entraîner des courts-circuits.

A conception des machines à courant continu est telle qu'ils coûtent en moyenne trois fois plus cher qu'un moteur asynchrone.

**V- DIFFERENTS TYPES DE MOTEURS A COURANT CONTINU**

**1- Moteur à aimant permanent**

Ces moteurs sont utilisés pour les faibles puissances, généralement en robotique ou modélisme. Le bobinage inducteur est remplacé par des aimants permanents.

**2- Génératrice tachymétrique**

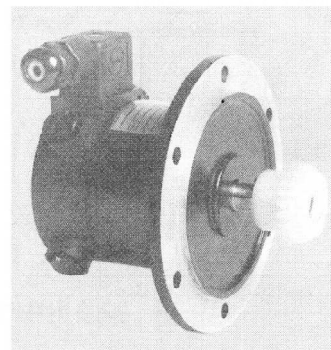
Les génératrices tachymétriques délivrent une tension continue dont la valeur est proportionnelle à la fréquence de rotation.

Les polarités changent avec le sens de rotation.

Le rotor de la génératrice tachymétrique est solidaire du rotor du moteur dont on veut connaître la fréquence de rotation.

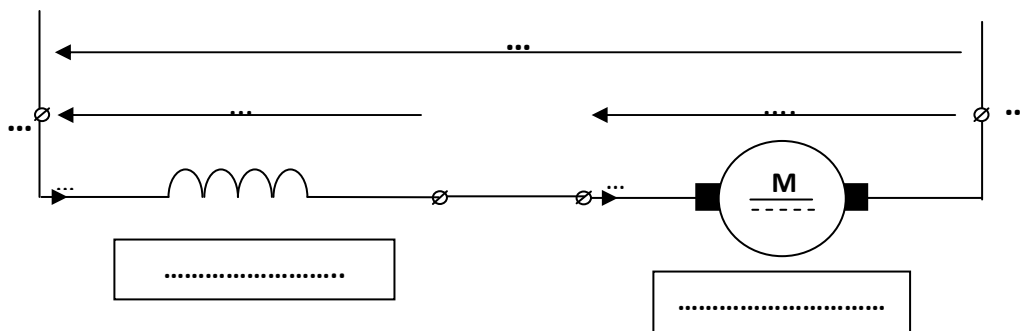
Elles sont couramment utilisées pour afficher la vitesse des systèmes et pour les boucles de régulation en vitesse des moteurs commandés par variateur.

Une consigne de vitesse est donnée au variateur, celui-ci adapte les paramètres de tension et de courant envoyés au moteur pour que l'information de vitesse issue de la génératrice corresponde à la consigne.



**3- Le moteur série**

Ce type de moteur est caractérisé par le fait que le stator (inducteur bobiné) est raccordé en série avec le rotor (induit), comme le montre le schéma ci-dessous :



Dans ce type de moteur, le même courant I traverse le rotor et le stator ( $I_{induit} = I_{excitation}$ ):

l'équations du couple de la machine devient :  $T = (k \cdot I) \cdot (k_e \cdot I) = \dots\dots\dots$

Cette équation permet de montrer que les moteurs à excitation série peuvent développer un très fort couple en particulier à basse vitesse, celui-ci étant proportionnel au carré du courant. C'est pourquoi ils ont été utilisés pour réaliser des moteurs de traction de locomotives jusque dans les années 1975. Ce type de machine présente toutefois, du fait de ses caractéristiques, un risque de survitesse et d'emballement à vide.

Aujourd'hui, les principales applications sont les démarreurs d'automobiles et les moteurs universels (perceuses, outillage à main, etc.) : le couple  $T = K \cdot I^2$  reste de même sens quel que soit le signe de  $I$ .

Une des conditions pratiques pour qu'un moteur série soit un moteur universel est que son stator soit feuilleté, car dans ce cas le flux inducteur peut être alternatif.

#### 4- Le moteur à excitation séparée

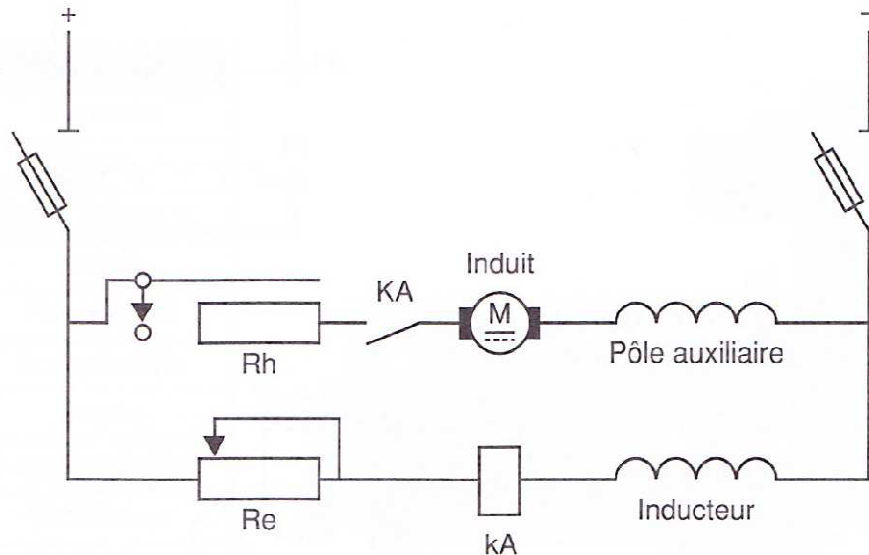
Ces moteurs sont utilisés lorsque l'on désire obtenir une grande plage de fréquences de rotation. On les rencontre dans les systèmes nécessitant des vitesses contrôlées (machines-outils, traction, ligne de production industrielle,...)

Au démarrage ( $E' = 0$ ), ce type de moteur doit démarrer sous une tension d'induit progressive afin de limiter le courant dans l'induit.

##### Attention !

En fonctionnement, si le flux produit par l'inducteur devient nul, la fréquence du moteur tend vers l'infini, le moteur s'emballe et il y a danger. Pour éviter cela, on place un relais à minimum de courant dans le circuit inducteur et ce relais coupe automatiquement l'alimentation du moteur.

##### a) Démarrage manuel d'un moteur à excitation séparée



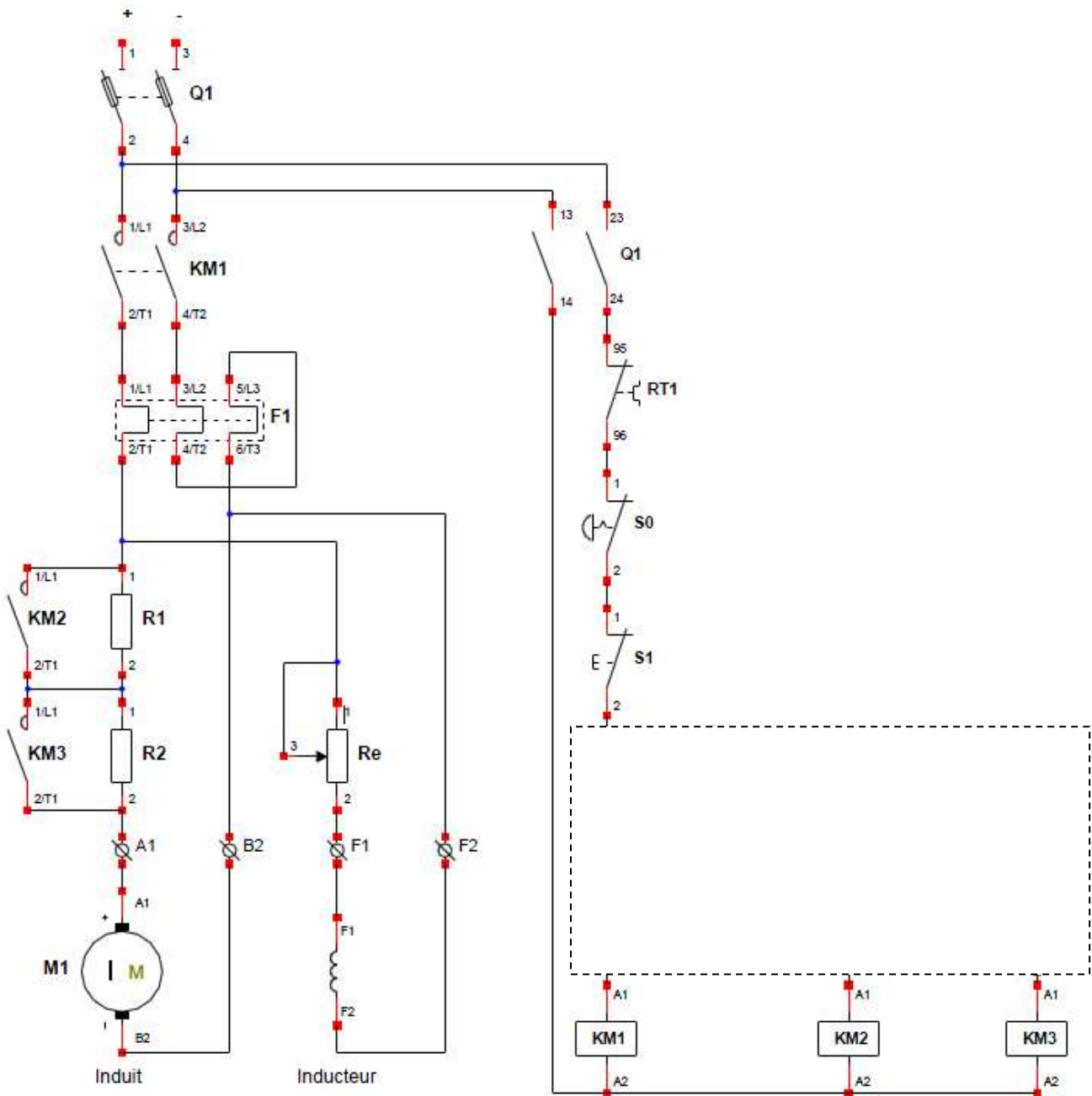
Au démarrage, l'inducteur (circuit d'excitation) est traversé par le courant maximum (rhéostat d'excitation  $R_e$  au minimum de résistance).

En déplaçant le curseur de  $R_h$  (rhéostat de démarrage à plot mort), on passe du plot mort (pas de courant dans l'induit) à la résistance maximale (courant réduit dans le circuit de l'induit).

En continuant l'action sur  $R_h$ , on diminue progressivement sa résistance afin d'augmenter le courant dans l'induit jusqu'à sa valeur nominale.

À la fin du démarrage, le curseur de  $R_h$  est maintenu en position grâce à la bobine à manque de courant  $kA$  alimentée en série avec l'inducteur.

**b) Démarrage automatique d'un moteur à excitation séparée, 1 sens de rotation**



L'action sur le bouton poussoir S2 entraîne la mise sous tension de :

- l'inducteur au travers du rhéostat d'excitation Re (minimum de résistance au démarrage),
  - l'induit au travers des résistances de démarrage R1 et R2.
- Les résistances R1 puis R2 sont éliminées successivement après un temps prédéterminé.

**c) Moteur alimenté par un variateur de vitesse**

Exemple de raccordement d'un moteur à courant continu sur un réseau triphasé grâce à un variateur électronique LEROY SOMER DMV 2342).



