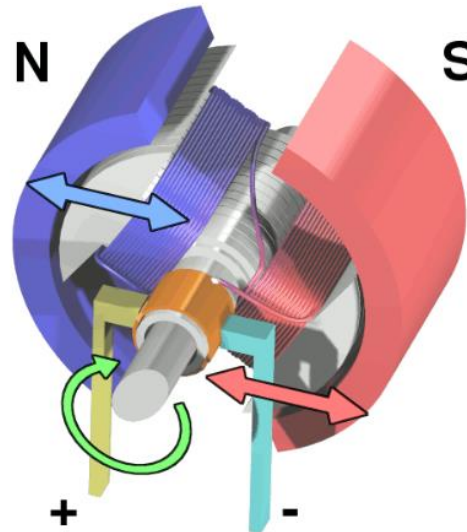


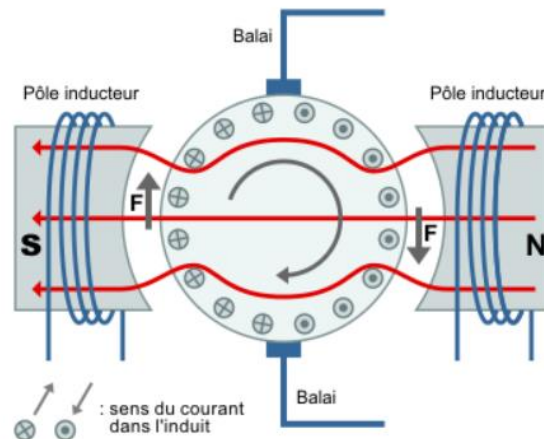
COURS

Conception des
systèmes électriques



Chapitre 03

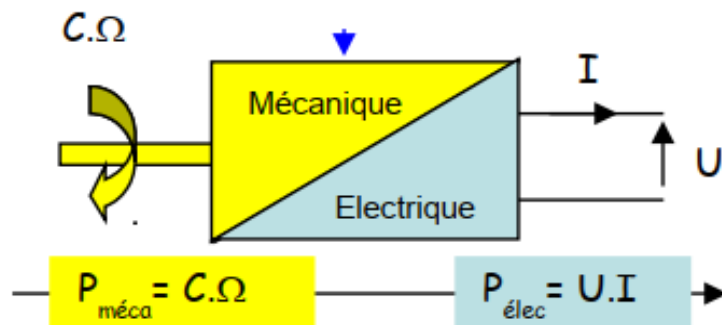
Machine électrique à courant continu



Généralités

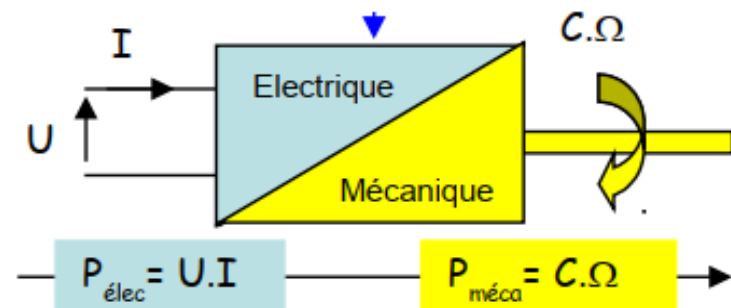
La machine à courant continu est un convertisseur d'énergie, totalement réversible, elle peut fonctionner soit en moteur, convertissant de l'énergie électrique en énergie mécanique, soit en génératrice, convertissant de l'énergie mécanique en énergie électrique. Dans les deux cas un champ magnétique est nécessaire aux différentes conversions. Cette machine est donc un convertisseur électromécanique.

Champ magnétique



Fonctionnement en génératrice

Champ magnétique



Fonctionnement en moteur

Constitution d'une machine à courant continu

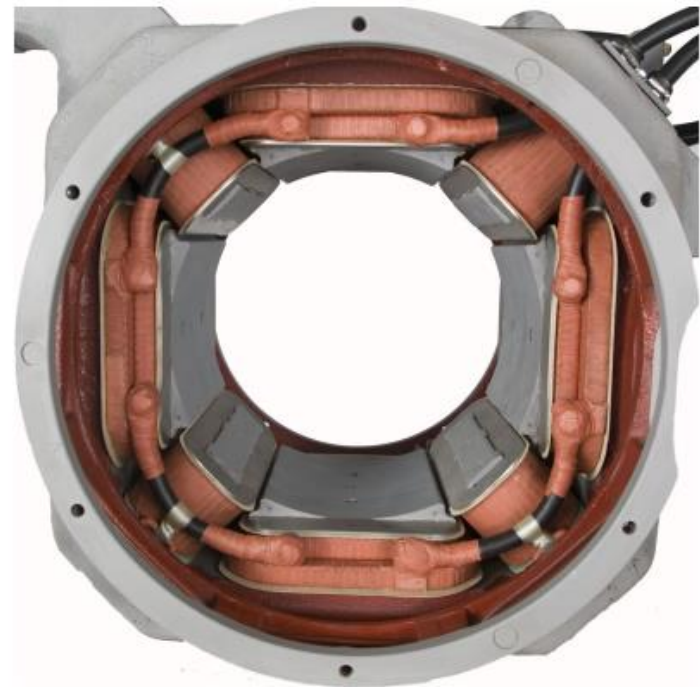
La machine à courant continu se compose de deux parties principales. Une **partie fixe** appelée **Stator** (ou inducteur) et une **partie mobile** appelée **Rotor** (ou induit).

- Le collecteur ;
- Les balais également appelés charbons.

L'inducteur

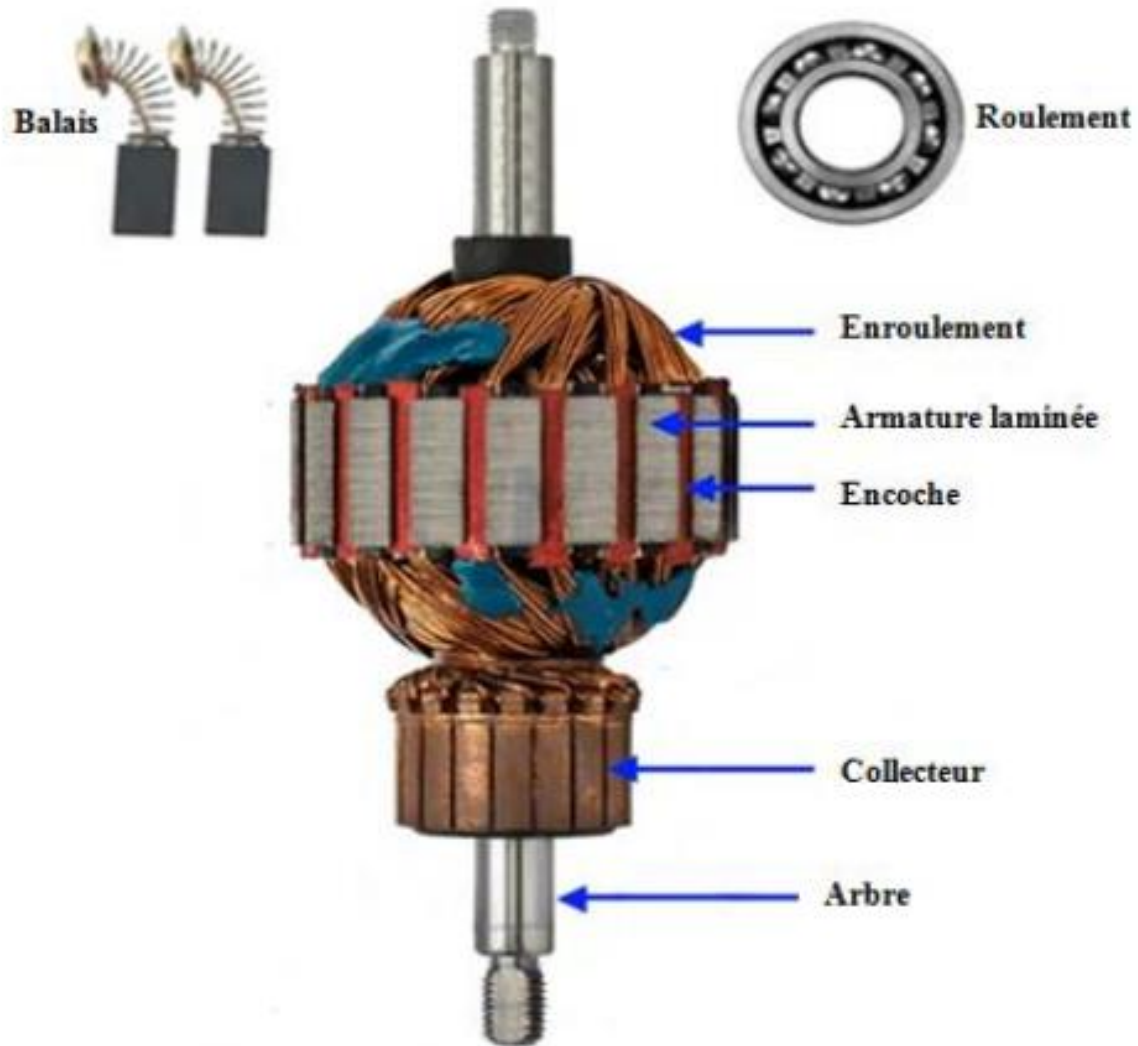
Le stator qui est à l'origine de la création du flux magnétique principal, soit par des enroulements statoriques (bobinage) soit par des aimants permanents. Il est aussi appelé « inducteur » en référence au fonctionnement en génératrice de cette machine. Il se compose principalement

- carcasse,
- paliers,
- flasques de palier,
- portes balais.



L'induit

L'induit du moteur à courant continu est composé d'un arbre sur lequel est empilé un ensemble de disques ferro-magnétiques. Des encoches sont axialement pratiquées à la périphérie du cylindre formé par les disques empilés. Dans ces encoches les enroulements (bobines de l'induit) sont "bobinés" selon un schéma très précis et complexe qui nécessite une main d'œuvre particulière (coûts importants). Pour cette raison, on préfère, en général, s'orienter vers des moteurs à [courant alternatif](#) plus robuste et simple dans leur conception.



collecteur balais

Le collecteur est un ensemble cylindrique de lames de cuivre isolées les unes des autres par des feuilles de mica. Le collecteur est monté sur l'arbre de la machine, mais isolé de celui-ci. Les deux fils sortant de chaque bobine de l'induit sont successivement et symétriquement soudés aux lames du collecteur.

Les balais assurent le passage du courant électrique entre l'alimentation et les bobinages de l'induit sous forme d'un contact par frottement. les balais sont en graphite et constituent, en quelques sortes, la pièce d'usure.

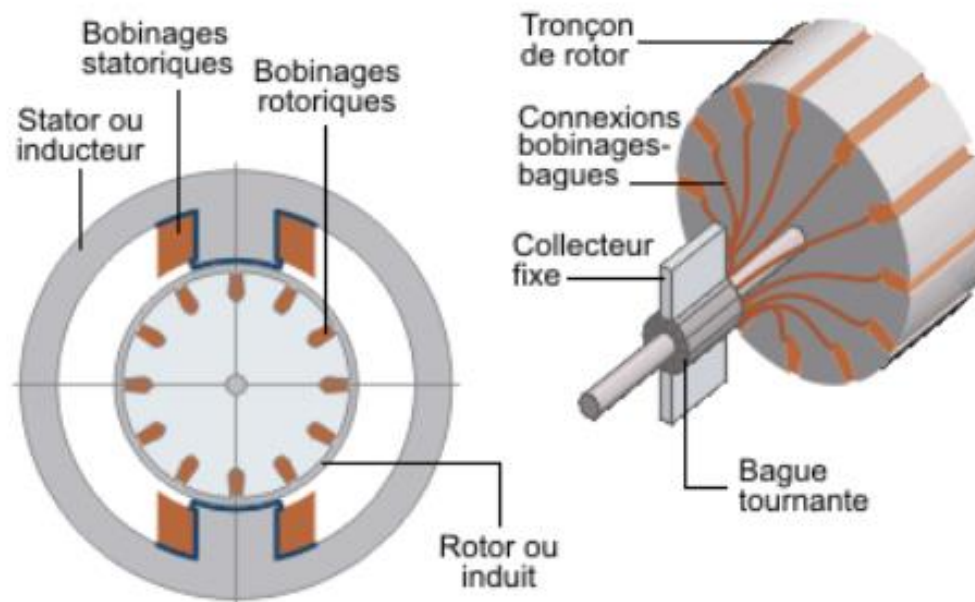


Faible puissance



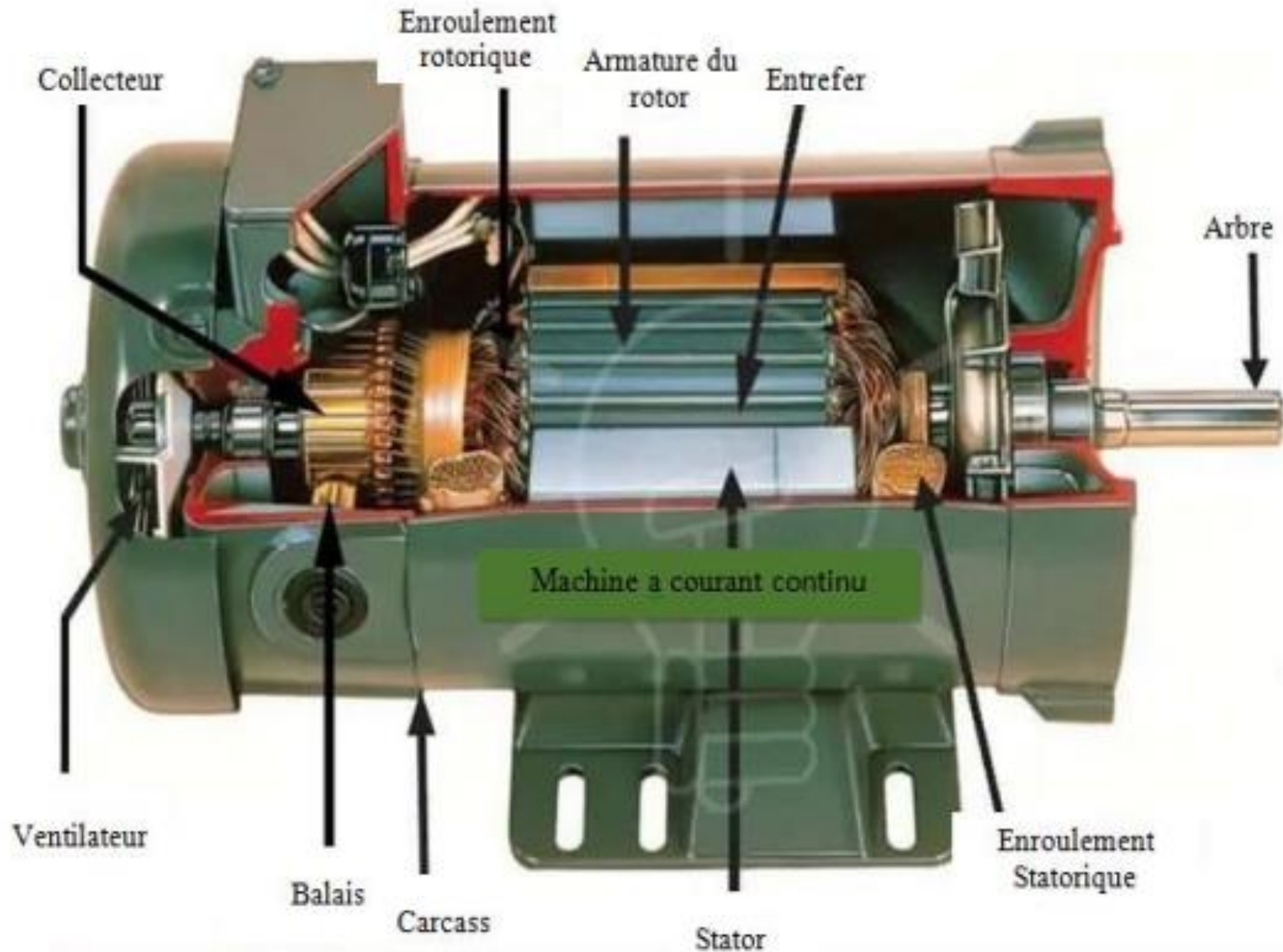
Forte puissance

Chaque enroulement est composé d'une série de sections, elles même composées de spires; une spire étant une boucle ouverte dont l'aller est placé dans une encoche de l'induit et le retour dans l'encoche diamétralement opposée. Pour que l'enroulement soit parcouru par un courant, ses conducteurs de départ et de retour sont connectés aux lames du collecteur (cylindre calé sur l'arbre et composé en périphérie d'une succession de lames de cuivre espacée par un isolant).

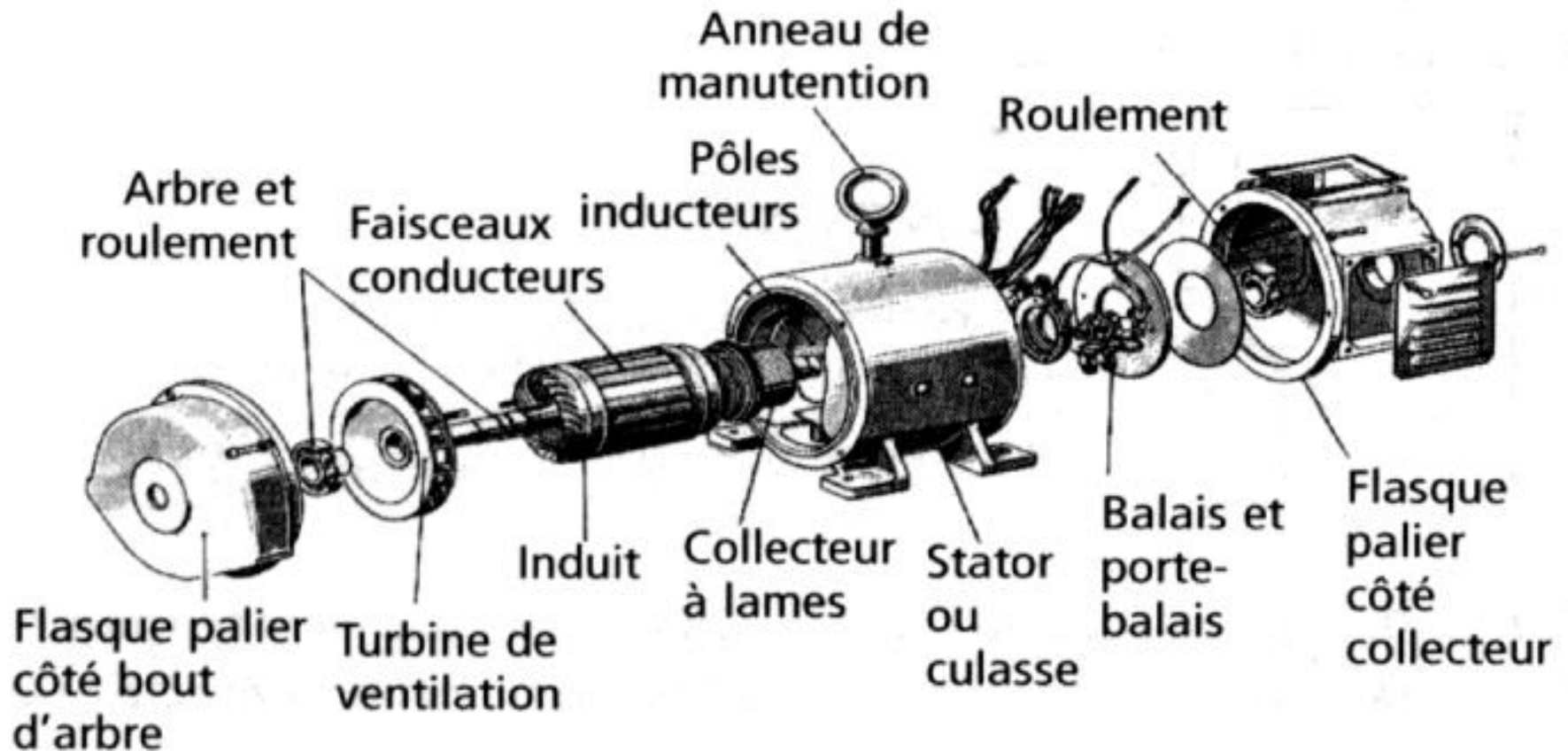


L'interface entre l'alimentation à courant continu et le collecteur de l'induit est assuré par les balais et les porte-balais.

Différentes parties constituant une machine électrique tournante à courant continu



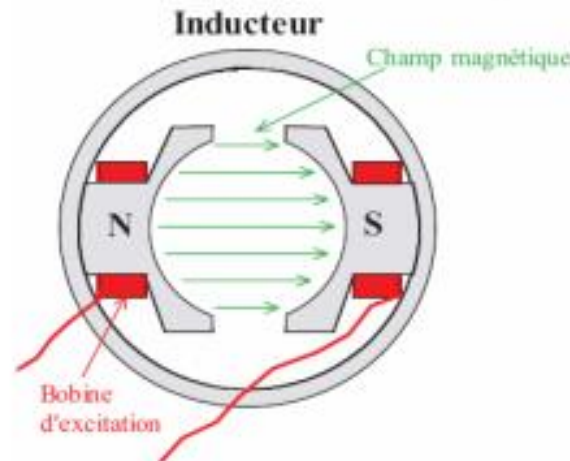
Constitution de la machine à courant continu



La machine à courant continu se compose d'une carcasse, pôles principaux, culasse ou sont fixés les pôles, armature d'induit comportant les enroulements, collecteur, balais avec leur dispositif de fixation dit communément « porte balais » et un arbre

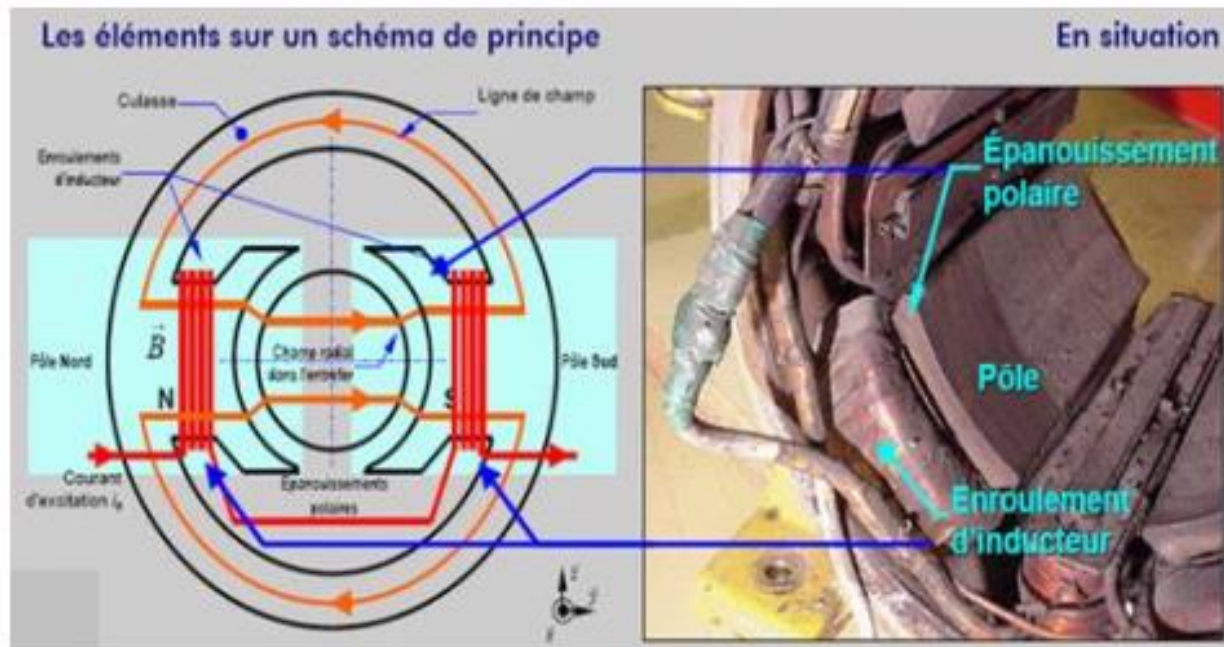
Carasse : Elle protège mécaniquement la machine et la couvre. Généralement fabriqué en fente pour son prix bon marché.

Culasse : C'est l'armature statorique sur laquelle sont fixés les pôles principaux et auxiliaires



Culasse magnétique sur laquelle sont montés les pôles principaux

Pôles principaux et auxiliaires : L'enroulement du champ magnétique est placé autour du noyau polaire. Lorsqu'il est parcouru par le courant d'excitation, il crée un champ magnétique et se comporte comme un électroaimant.



PRINCIPE DE REVERSIBILITE

Selon la nature de la conversion énergétique réalisée, deux types de machines sont distingués

❖ La génératrice à courant continu

Elle transforme une énergie mécanique en énergie électrique sous forme de courant continu.

❖ Le moteur a courant continu

Il transforme une énergie électrique de forme continue en une énergie mécanique. La machine à courant continu possède la propriété de réversibilité

Équation générale

Force électromotrice

Nous savons qu'une bobine en mouvement dans un champ magnétique voit apparaître à ses bornes une force électromotrice (f.é.m.) donnée par la loi de Faraday:

$$dE = B(\overrightarrow{dL} \wedge \vec{v})$$

Sur ce principe, la machine à courant continu est le siège d'une f.é.m. donnée par :

p : le nombre de paires de pôles.

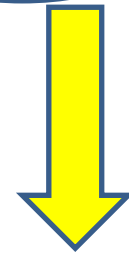
a : le nombre de paires de voies d'enroulement.

Φ : le flux maximum à travers les spires [Wb].

Ω : la vitesse de rotation [rd/s].

N : nombre de conducteur actif

$$E = \frac{p}{2\pi a} \cdot N \cdot \Phi \cdot \Omega$$



$$E = K \cdot \Phi \cdot \Omega$$

Puissance et couple électromagnétiques

Si l'induit présente une f.é.m. E et s'il est parcouru par le courant I , il reçoit une puissance électromagnétique ;

$$P_{em} = E.I$$

D'après le principe de conservation de l'énergie cette puissance est égale à la puissance développée par le couple électromagnétique.

$$P_{em} = C_{em} . \Omega = E.I$$

D'où l'expression du couple électromagnétique

$$C_{em} = K . \Phi . I$$

Moteur à courant continu

L'utilisateur d'un moteur s'intéresse en premier lieu à la caractéristique mécanique $C_e = f(N)$

qui donne le couple produit en fonction de la vitesse. Il faut par ailleurs connaître le courant absorbé en fonction du couple demandé : c'est la caractéristique électromécanique $C_e = f(I)$.

On utilise aussi la caractéristique de vitesse $N = f(I)$.

Principe de fonctionnement, couple et puissance électromagnétique

L'inducteur (ou stator) crée un champ magnétique fixe B . Ce stator peut être à « aimants permanents » ou constitué d'électro-aimants. L'induit (ou rotor) porte des conducteurs parcourus par un courant continu (alimentation du moteur) ; ces spires, soumises à des forces (forces dites «de Laplace »), entraînent la rotation du rotor. Il en résulte une variation du flux du champ magnétique à travers chaque spire ; elle engendre une f.é.m. qui est « redressée » par l'ensemble {collecteur + balais}

La valeur moyenne E de cette f.é.m. est proportionnelle à la vitesse angulaire de rotation Ω du rotor, au flux maximal du champ magnétique créé par l'inducteur à travers une spire) $\Phi = S.B$ et à une constante K qui dépend des caractéristiques de la conception du moteur (nombre de conducteurs, surface de chaque spire, nombre de paires de pôles,..)

Si l'induit présente une f.é.m. E alors qu'il est parcouru par un courant d'intensité I , il reçoit une puissance électromagnétique P_{em} : $P_{em} = I.E$. Le rotor tourne à la vitesse angulaire Ω de sorte que cette puissance s'écrit aussi :

$$P_{em} = I.E = T_{em} . \Omega$$

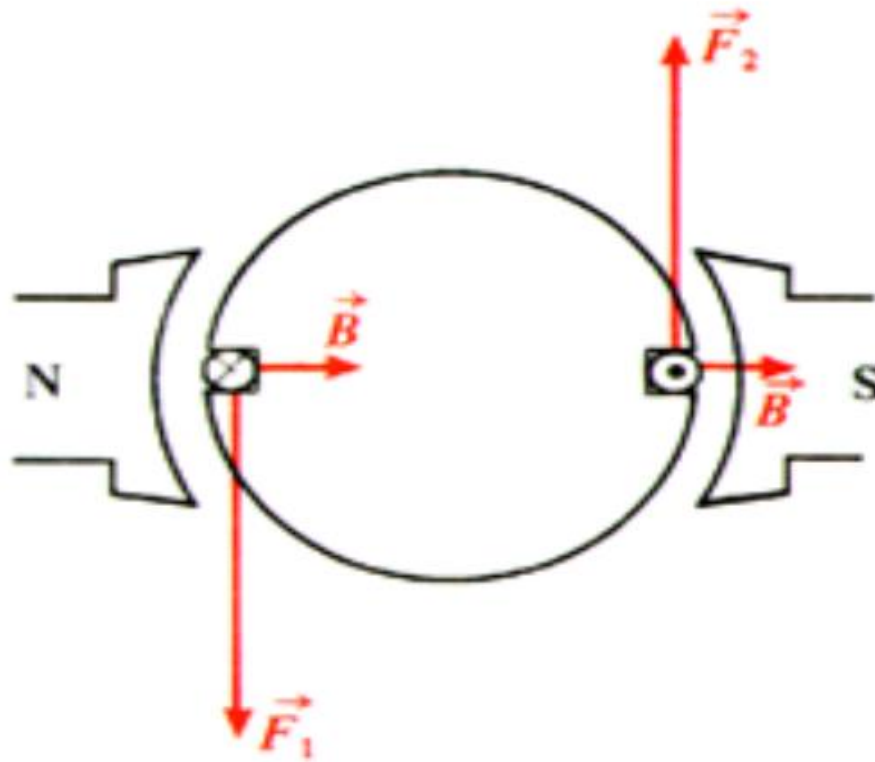
Compte tenu de l'expression de la f.é.m. E , on peut écrire :

$$T_{em} = K . \Phi . I ; \text{ en N.m}$$

K est la même constante que dans la formule de la f.é.m.:

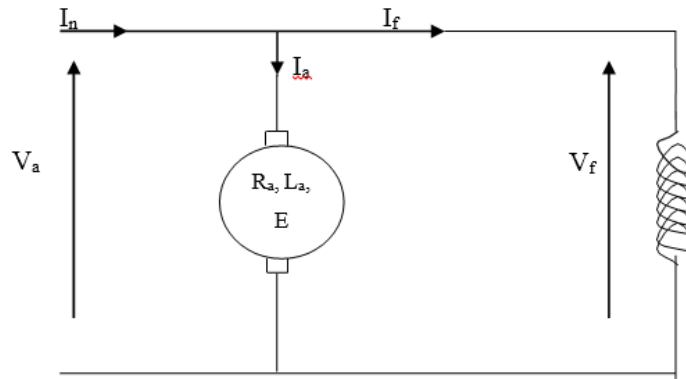
$$E = K . \Phi . \Omega.$$

la force électromotrice et son sens par rapport à l'induction magnétique et au sens du courant dans la spire dans une machine bipolaire

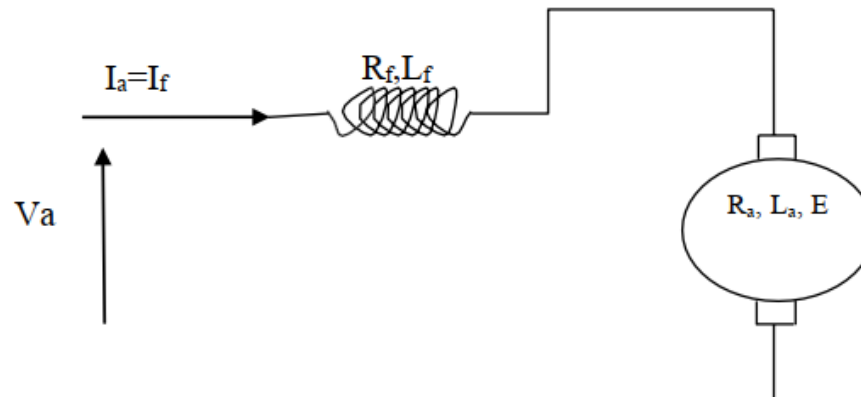


Différents modes d'excitation des moteurs à courant continu

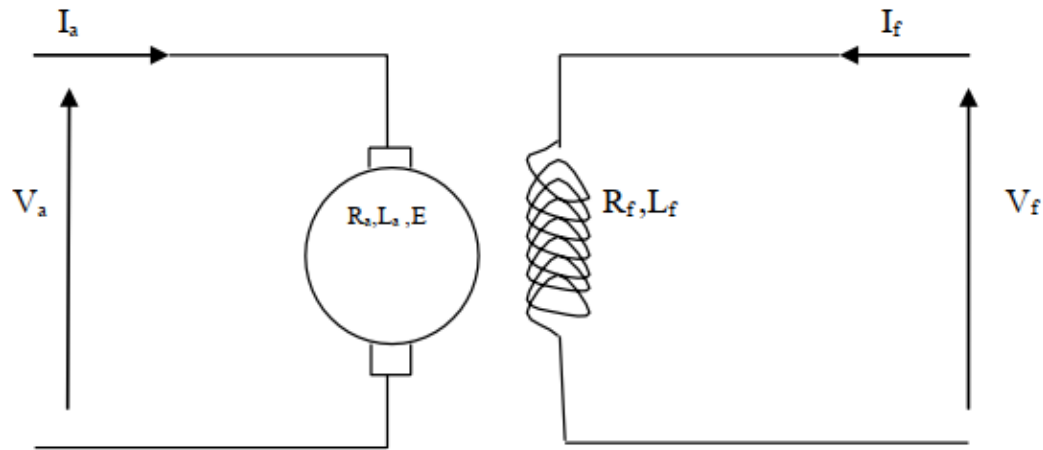
Excitation dérivation ou shunt



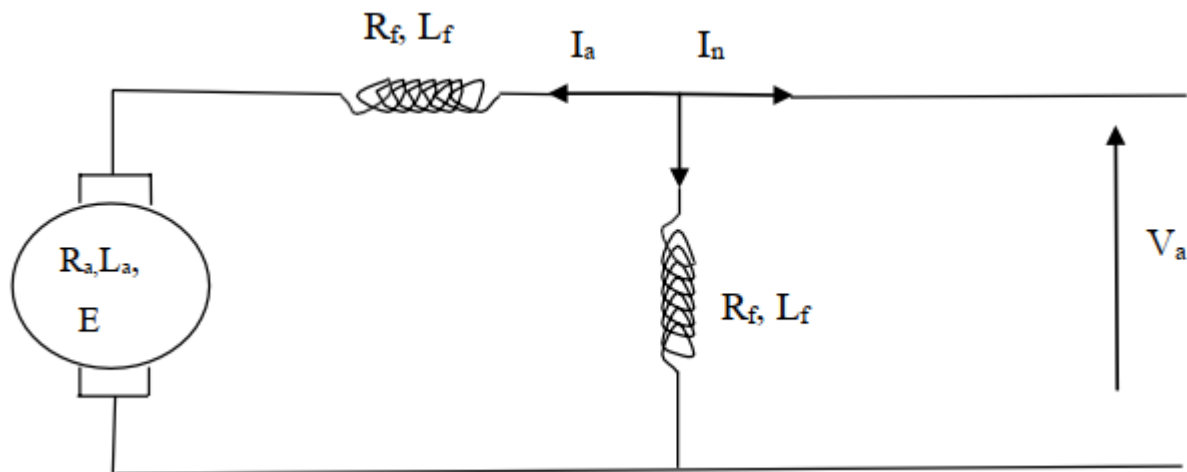
Excitation série



Excitation séparée (indépendante)



Excitation composée (compound)



Applications des machines à courant continu

L'utilisation de l'énergie électrique augmente de jour en jour à cause de la dynamisation industrielle croissante. L'acteur principal de cette révolution est bel et bien les machines électriques qui ne cessent d'évoluer également. Généralement, les machines à courant continu sont utilisées comme excitatrices des alternateurs dans les centrales de production de l'énergie électrique mais elles sont également utilisées dans de nombreuses applications telles que les processus de soudage, les entraînements des moteurs à vitesses variables et les processus d'électrolyse et de galvanoplastie. Les petites machines à courant continu sont utilisées comme dispositif de contrôle tel que la détection de vitesse, le positionnement et le suivi.

A- Application de la machine à courant continu en tant que moteur

Les moteurs à courant continu sont répartis en trois types ; Moteur série, moteur shunt et composé.

- **Moteur série** : Les moteurs série sont utilisés dans les applications où le couple de démarrage nécessaire est élevé et une possible variation de vitesse. Exemple - Aspirateur, compresseur d'air, grues, système de traction, systèmes d'extraction etc.

- **Moteur shunté** : Le moteur shunt est utilisé dans les applications où le couple de démarrage n'est pas nécessairement élevé et fonctionne à vitesse constante. Exemple - convoyeur, ascenseur, ventilateurs, tour, machine à filer, pompe centrifuge, etc

- **Moteur composé** : Les moteurs composés sont utilisés dans des applications où un démarrage plus élevé à vitesse constante est requis.
Exemples - Laminaires, ascenseurs, convoyeurs, presses, etc.

B- Application de la machine à courant continu comme générateur

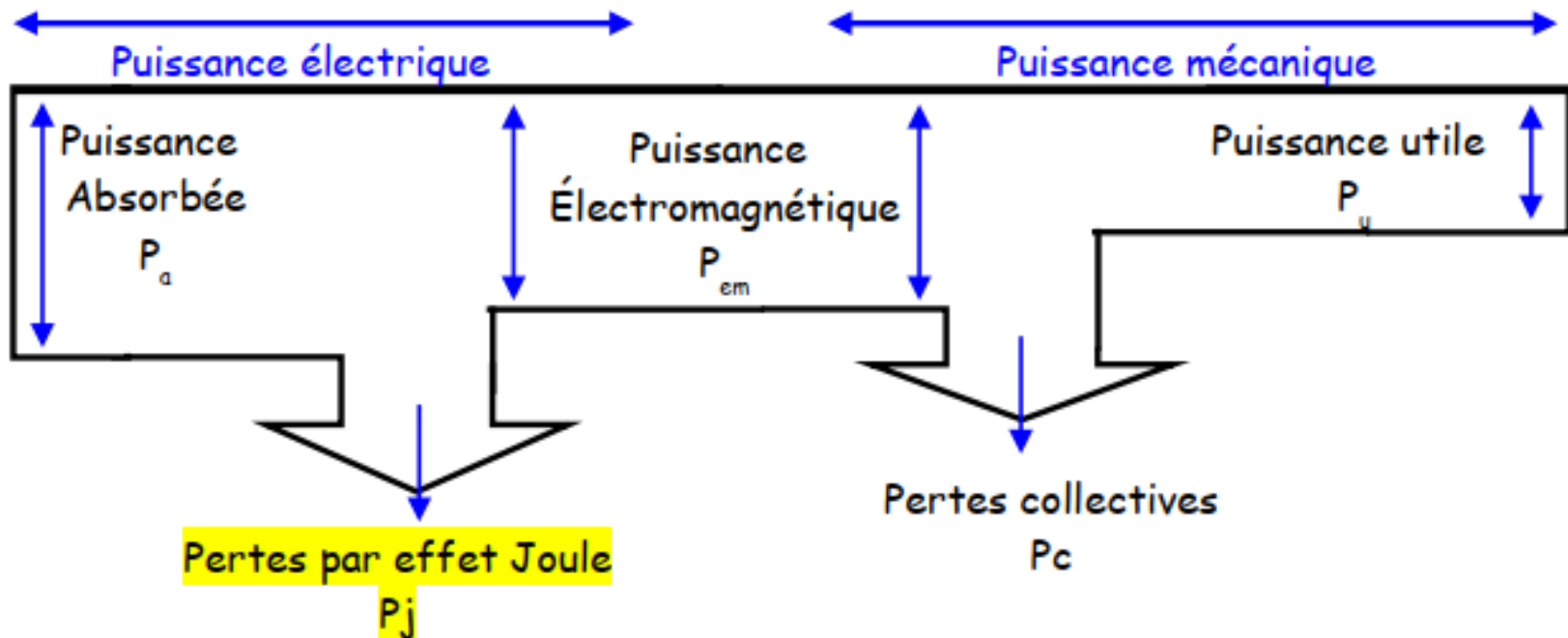
Les générateurs à courant continu sont classés en tant que générateur à excitation séparée, générateur à enroulement shunt et générateur à enroulement série.

- **Générateur à excitation séparée** : Ce type de générateur de courant continu est utilisé pour les tests en laboratoire à cause de sa large gamme d'entrée de tension. Il est également utilisé comme alimentation du moteur à courant continu appelé (système Reynolds).

- **Générateur à excitation shunt** : Ce type de générateur sert à charger les batteries et à fournir une excitation aux alternateurs. Ce type de générateur est également utilisé à des fins d'éclairage
- **Générateur excitation en série** : Les générateurs à enroulement en série sont utilisés dans les locomotives pour fournir un courant d'excitation du champ ainsi que pour le freinage régénératif. Dans un système de distribution électrique, il est utilisé comme amplifi

Bilan des puissances

Le bilan des puissances décline toutes les puissances, depuis la puissance absorbée d'origine mécanique jusqu'à la puissance utile de nature électrique



Bilan des puissances d'un moteur

Couple utile, Puissance utile :

Les pertes mécaniques (frottement dans les paliers, action de l'aire de ventilation) et les pertes fer dans l'induit produisent un couple C_p appelé couple de pertes.

Le couple utile disponible sur l'arbre du moteur sera exprimé par :

$$C_u = C_{em} - C_p$$

La puissance utile développée par le moteur est donnée par:

$$P_u = C_u . \Omega$$

Rendement

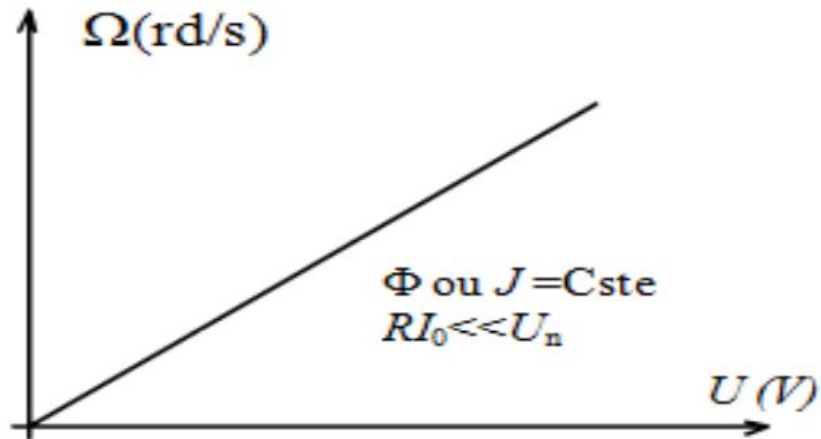
$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

Les pertes dans une machine électrique

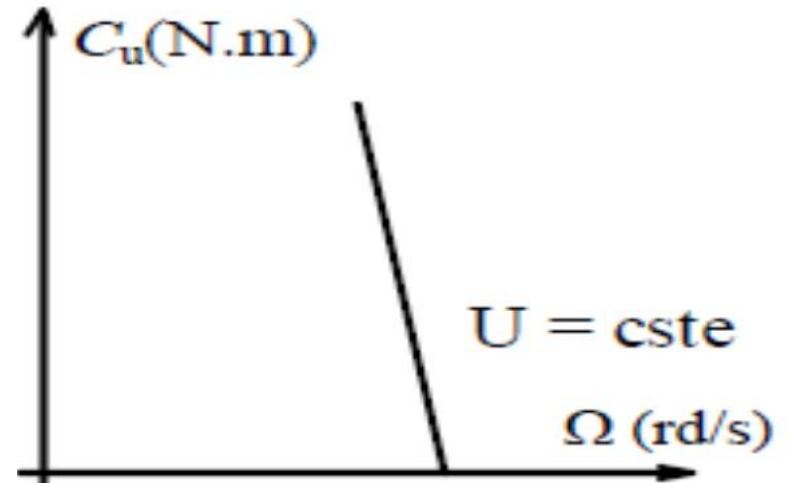
Pertes	Pertes dans le fer P_f	Pertes joule P_j	Pertes mécaniques $P_{méca}$
Causes	Elles sont dues à l'hystérésis (champ rémanent) et aux courants de Foucault (courant induit dans le fer) et dépendent de B et de Ω .	Pertes dans l'induit ($R.I^2$) et l'inducteur ($r_e.J^2$) dues aux résistances des bobinages.	Elles sont dues aux frottements des diverses pièces en mouvement.
Parades	Utilisation de matériaux à cycles étroits, comme le fer au silicium et le feuilletage de l'induit.	Il faut surtout éviter l'échauffement par ventilation.	Utilisation de roulements et de lubrifiants.

Caractéristiques générales

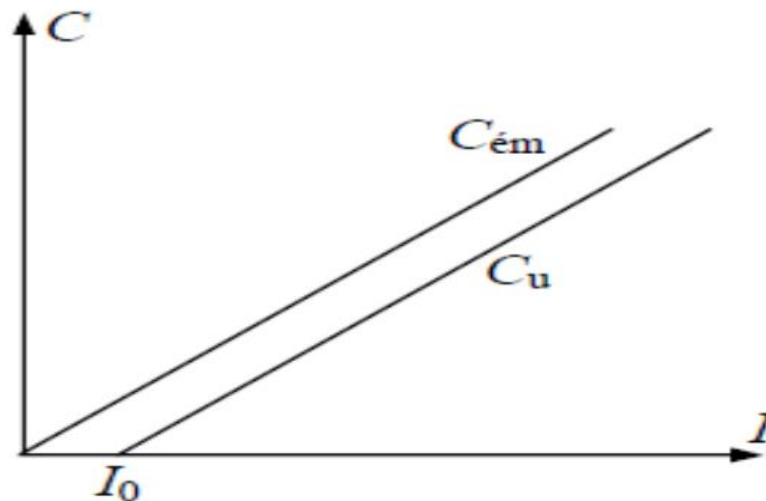
Caractéristique à vide à flux constant d'un moteur DC



Caractéristique mécanique du moteur DC



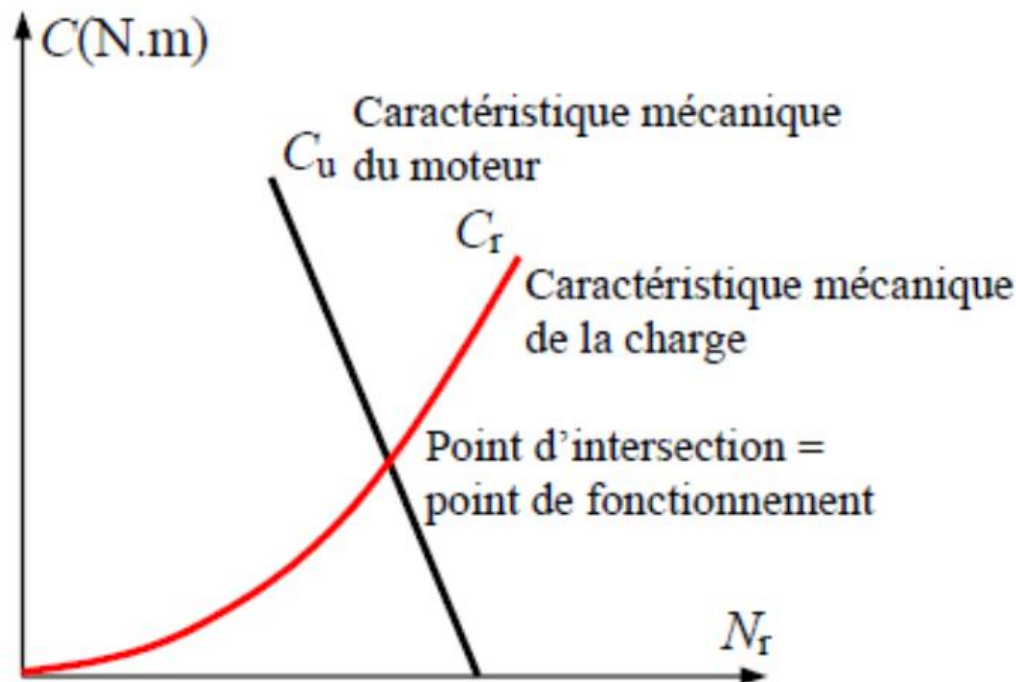
Caractéristique des couples du moteur DC



Point de fonctionnement :

La charge impose au moteur un couple résistant C_r , et pour que ce moteur puisse entraîner cette charge, le moteur doit fournir un couple utile C_u de telle façon que : $C_r \geq C_u$. Cette équation détermine le point de fonctionnement du moteur

Détermination du point de fonctionnement d'un moteur DC

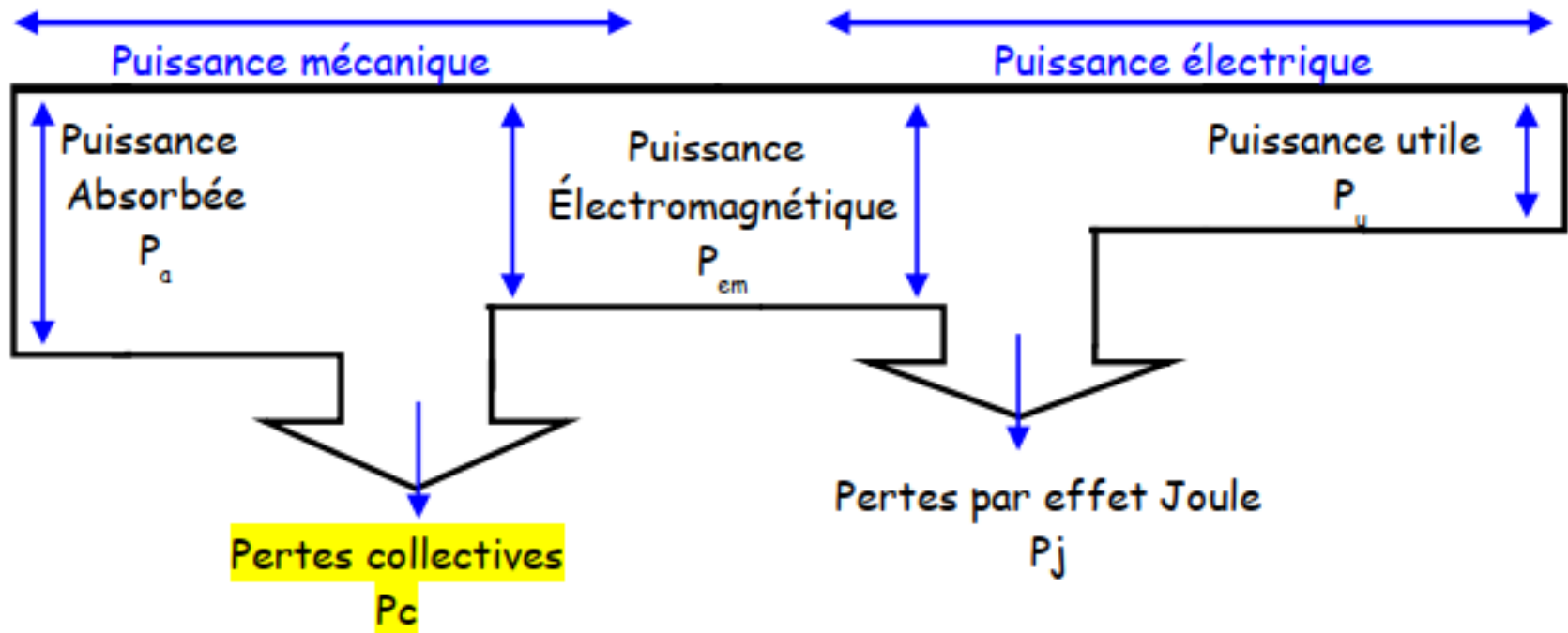


Les caractéristiques du moteur à courant continu dépendent du **mode d'excitation** et de **la tension continue** qui l'alimente. Pour une tension variable la vitesse varie aussi au fur et à mesure. Il en résulte que chaque cas correspondant à un mode d'excitation donné doit être étudié séparément

Génératrice à courant continu :

L'inducteur est alimenté par une tension continue et produit un champ magnétique constant. L'induit est entraîné en rotation par un moteur. Il est le siège de variation de flux au travers de spires qui le constituent. Ils en résultent la création d'une f.é.m. alternative qui est redressée et transmise au circuit extérieur par l'ensemble collecteur-balais.

Bilan des puissances



Bilan des puissances d'une génératrice

Plaque signalétique du moteur

ABB



GLEICHSTROMMASCHINE
MACHINE À COURANT CONTINU
DIRECT CURRENT MACHINE

No.	HM 2352120	1998-08	Typ. DMA+ 315 S 62 V		
P	400	kW	m _{rot.} 595	kg	m _{tot.} 2010 kg
n	1373	1 / min	J 9.54	kg m ²	IC 06
U	420	V	U _e 260	v	IM 1001
I	1009	A	I _e 11.2	A	IP 23
Duty	S1		El. IEC 34-1		Cl. H / F
2880 M.N.N.		Δp 18.0 mbar	V 0.94	m ³ / s	t 38 °C

MOTOR