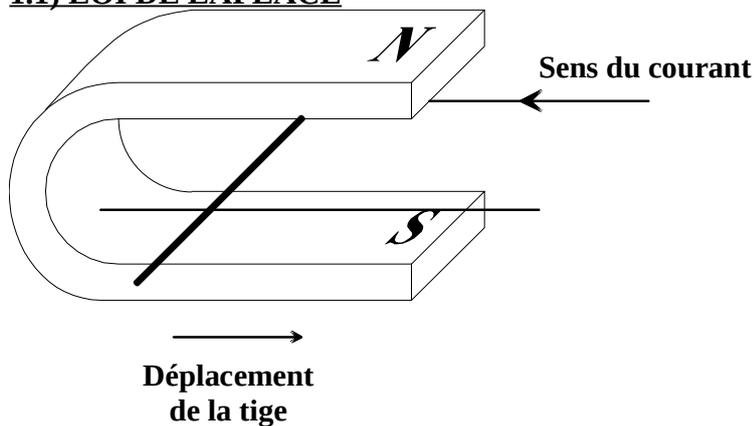


La propriété essentielle des MCC (Machines à Courant Continu) est leur remarquable capacité de variation de vitesse. Les domaines de d'utilisation privilégiée des MCC sont ceux de la traction électrique et des asservissements de vitesse très performants. On trouve aussi les MCC dans des systèmes de levage, voitures électriques, jouets,
 Cependant ces moteurs sont relativement coûteux à l'achat et à l'entretien : A puissance égale, le prix d'un MCC est le double du prix d'un MAS.
 Un MCC est une machine réversible ! Moteur ou Générateur !!!

1) PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Deux conducteurs du rotor, diamétralement opposés traversés par un même courant I_A , vont créer un couple de force sur le rotor, entraînant sa rotation.

1.1) LOI DE LAPLACE



Un conducteur mobile placé dans un champ magnétique est mis en mouvement lorsqu'il est parcouru par un courant.

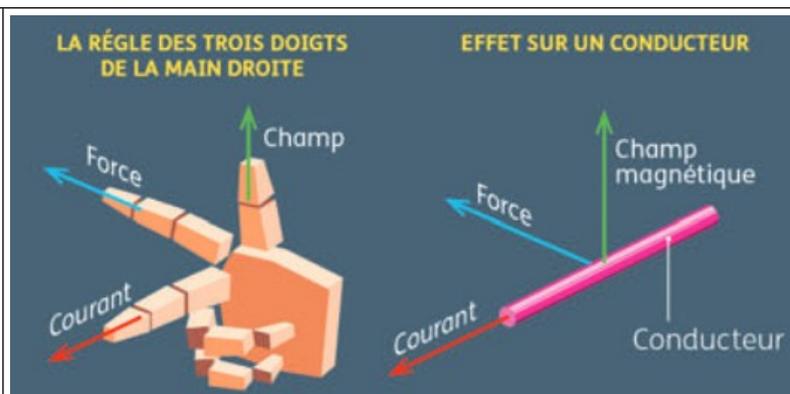
$$F = (I \wedge B) \cdot l$$

$$F = B \cdot I \cdot l$$

Règle de la main droite :
 Pouce → Poussée
 Index → Intensité
 Majeur → Magnétisme

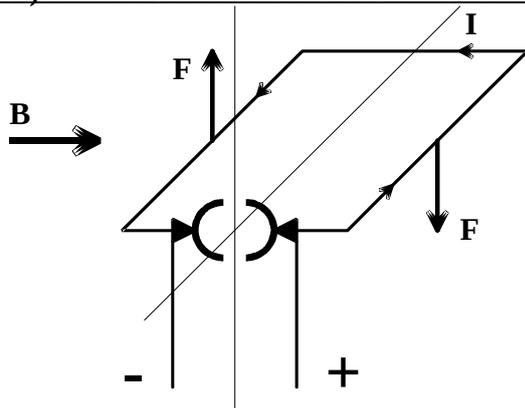
La loi de Laplace¹

Tout conducteur parcouru par un courant électrique placé dans un champ magnétique est soumis à une force électromagnétique tendant à le déplacer. Un moyen mnémotechnique pour s'en rappeler est « la règle des trois doigts de la main droite ». Cette force est dite force de Laplace s'exprime par la formule $F = il \wedge B$. C'est cette force qui est à la base du couple des moteurs électriques.

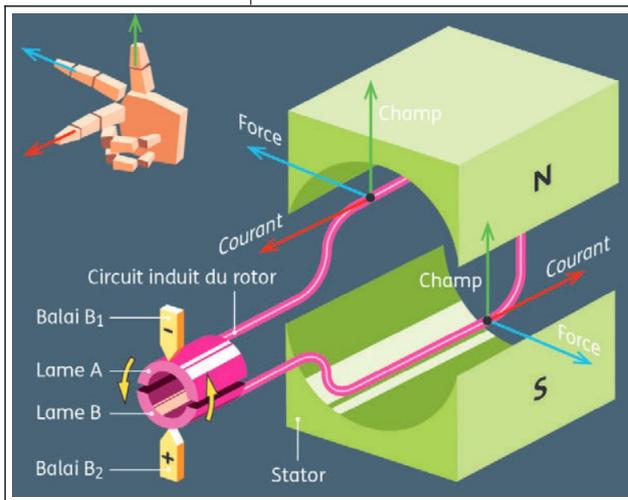


¹ Source : <https://eduscol.education.fr/>

1.2) APPLICATION À UN CADRE MOBILE TRAVERSÉ PAR UN COURANT



Si deux conducteurs diamétralement opposés sont traversés par un courant de sens contraire et sont placés dans un champ magnétique, ils seront soumis à deux forces de sens opposé qui créeront un appel à tourner dans le même sens.



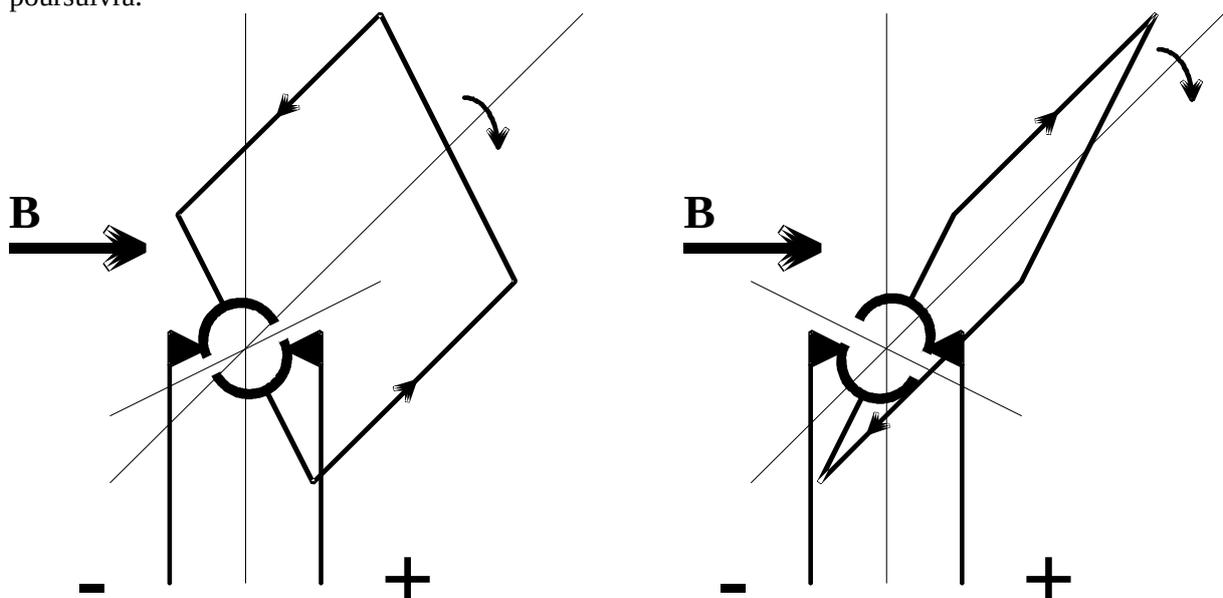
Le fonctionnement du moteur à courant continu

Le courant passe, via le balai B2 et la lame B, au travers du circuit induit porté par le rotor pour ensuite revenir par l'intermédiaire de la lame A et du balai B1.

L'interaction du champ magnétique et du courant traversant les portions axiales du circuit induit produit un couple de forces responsable de la rotation du rotor dans le sens anti-horaire. Lorsque le rotor a fait un demi-tour, le courant entre par la lame A et ressort par la B, mais la position de la spire ayant été inversée le couple de forces produit entraîne toujours le rotor dans le sens anti-horaire.²

1.3) INVERSION DU SENS DU COURANT

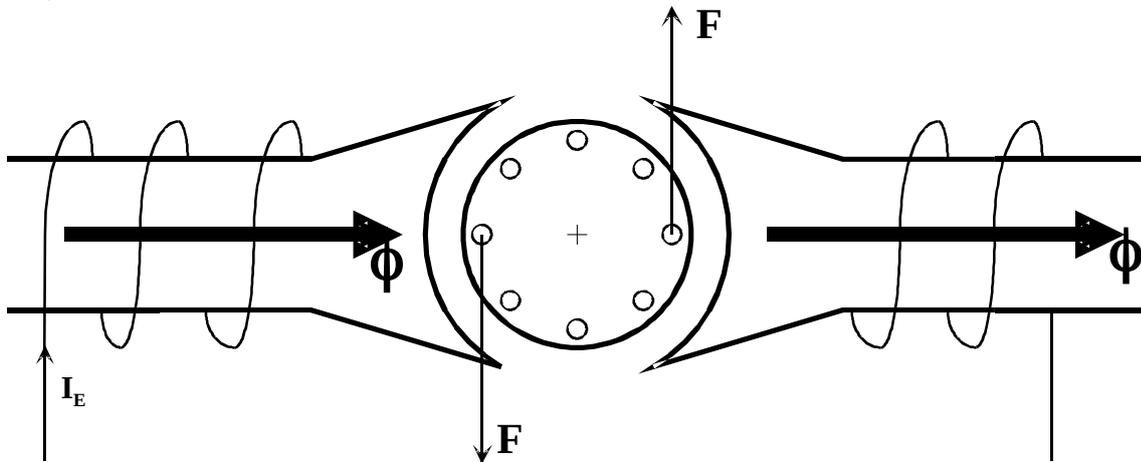
Lorsque les deux conducteurs arrivent sur la ligne dite « neutre », pour continuer la rotation, le sens des forces doit s'inverser pour chacune d'elle. Pour cela, le sens du courant dans chaque conducteur doit changer. Grâce au collecteur et bien que la tension soit continue, le courant dans la spire constituée des deux conducteurs s'inversera sous l'axe de commutation, et la rotation se poursuivra.



² Source : <https://eduscol.education.fr/>

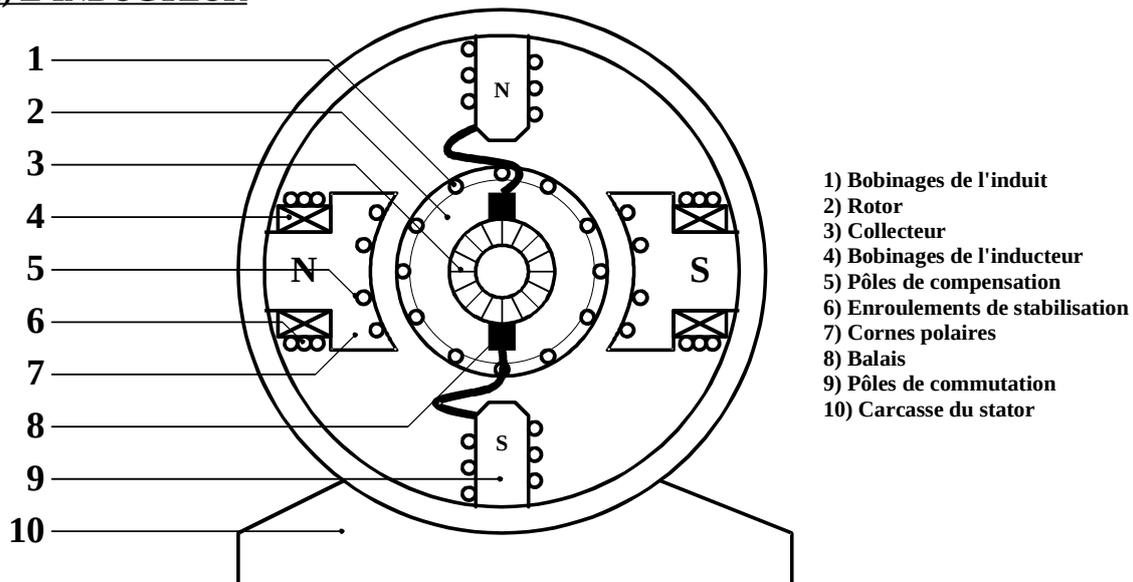
2) CONSTITUTION

2.1) DESCRIPTION GÉNÉRALE



Le moteur est constitué de deux parties principales : l'une fixe, le stator qui a un rôle d'électroaimant ou « d'inducteur », l'autre mobile, le rotor qui est l'armature tournante de l'électroaimant, « l'induit ».

2.2) L'INDUCTEUR



L'inducteur est constitué de bobinages enroulés autour de noyaux polaires disposés sur la périphérie du stator. Traversé par un courant I_E , il permet la production d'un flux magnétique ϕ . Sur les petites machines, l'inducteur est remplacé par des aimants permanents.

Pôle de compensation : destinés à compenser la réaction magnétique d'induit, ils sont placés dans les encoches des épanouissements polaires et sont traversés par le courant qu'absorbe l'induit. La compensation se trouve ainsi assurée à toute charge.

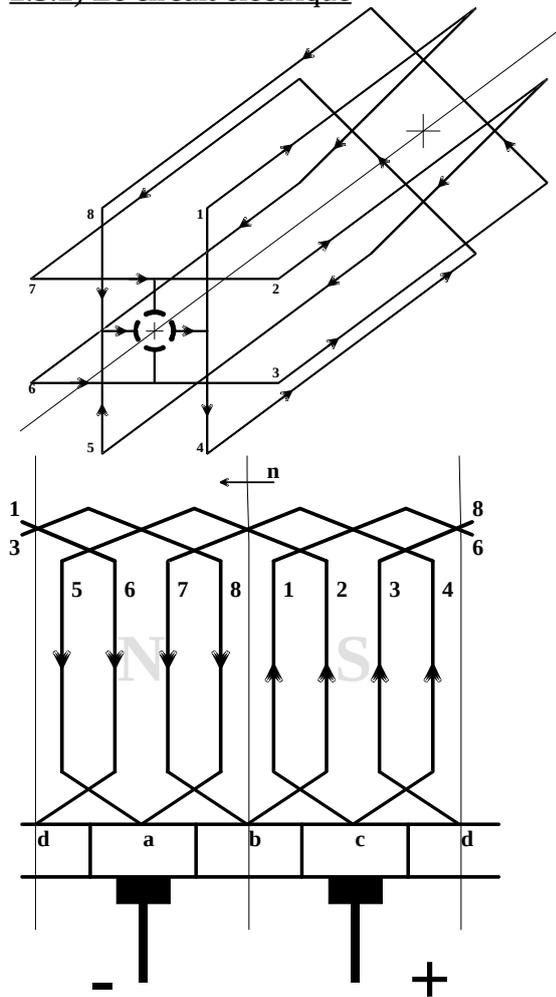
Pôle de commutation : ils favorisent la commutation du courant dans les conducteurs en dissociant la ligne neutre de l'axe de commutation.

2.3) L'INDUIT

2.3.1) Le circuit magnétique

Le rotor est la continuité du circuit magnétique du stator. Puisqu'il tourne dans un champ magnétique fixe, il est en tôles feuilletées. Sur la périphérie, on a taillé des encoches dans lesquelles viendront se loger les conducteurs du circuit électrique de l'induit. L'entrefer entre l'induit et l'inducteur doit être très faible : $\phi_{\text{ext}} \text{ induit} \approx \phi_{\text{int}} \text{ inducteur}$

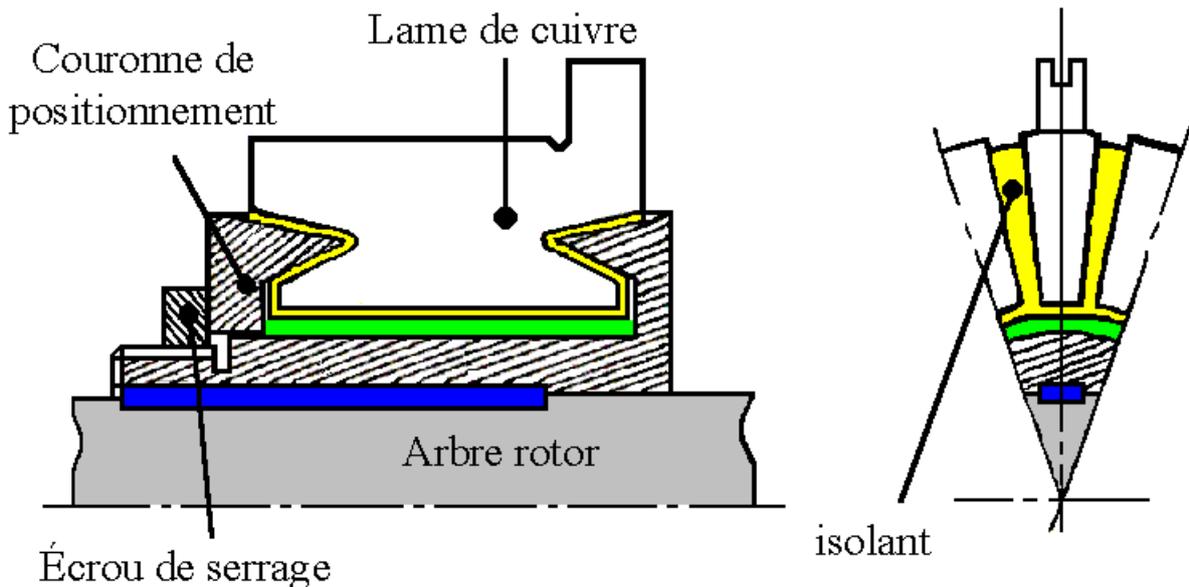
2.3.2) Le circuit électrique



Bobinages: Chaque fil pris isolément s'appelle un « conducteur », deux conducteurs forment une « spire », les spires sont groupées par « section » et les sections par bobine.

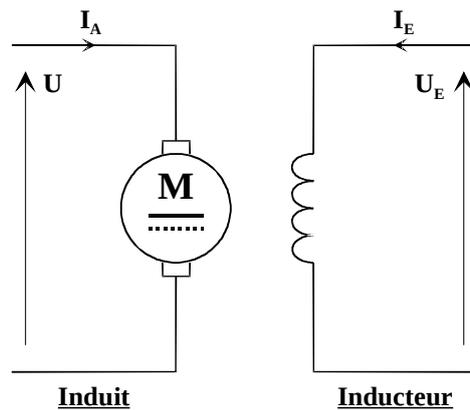
Les deux moitiés d'une section sont logées dans des encoches presque diamétralement opposées. Les conducteurs d'entrée et de sortie de la section sont soudés à deux lames de collecteur voisines.

Collecteur et balais: le collecteur est un ensemble de lames de cuivre, isolées latéralement les unes des autres, et disposées suivant un cylindre, en bout de rotor. Les balais, portés par le stator, frottent sur les lames du collecteur. L'ensemble collecteur-balais permet l'inversion du sens du courant dans les conducteurs du rotor au moment où ils traversent la ligne neutre de la machine.



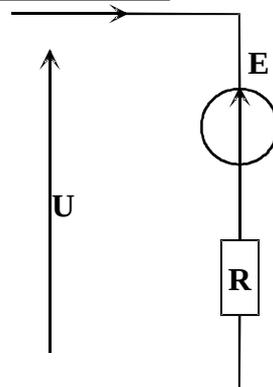
3) RELATIONS ÉLECTRIQUES DU MCC

3.1) SYMBOLE



NB : L'inducteur peut être des aimants permanents

3.2) SCHÉMA ÉQUIVALENT DE L'INDUIT



NB : Le schéma équivalent fait apparaître également la bobine de l'induit

3.3) EXPRESSION DE LA TENSION AUX BORNES DU MOTEUR

$$U = E + R.I$$

U: tension d'alimentation en Volts
E: f.e.m. en Volts
R: résistance de l'induit en Ohms
I: courant traversant l'induit en Ampères

3.4) EXPRESSION DE LA FORCE-CONTRE-ÉLECTROMOTRICE

$$E = \frac{p}{a} N n \Phi$$

En général, on utilise:

$$E = k n \Phi$$

E: f.e.m. en Volts
p: nombre de paires de pôles
a: nombre de voies d'enroulement
N: nombre de conducteurs de l'induit
n: vitesse de rotation en tr/s (ou en tr/min)
 Φ : flux produit par l'inducteur en Wb

3.5) EXPRESSION DE LA VITESSE

Vitesse de rotation (en tr/min) :

$$n = \frac{E}{k\Phi} = \frac{U - R I_A}{k\Phi}$$

Vitesse angulaire (en rad/s) :

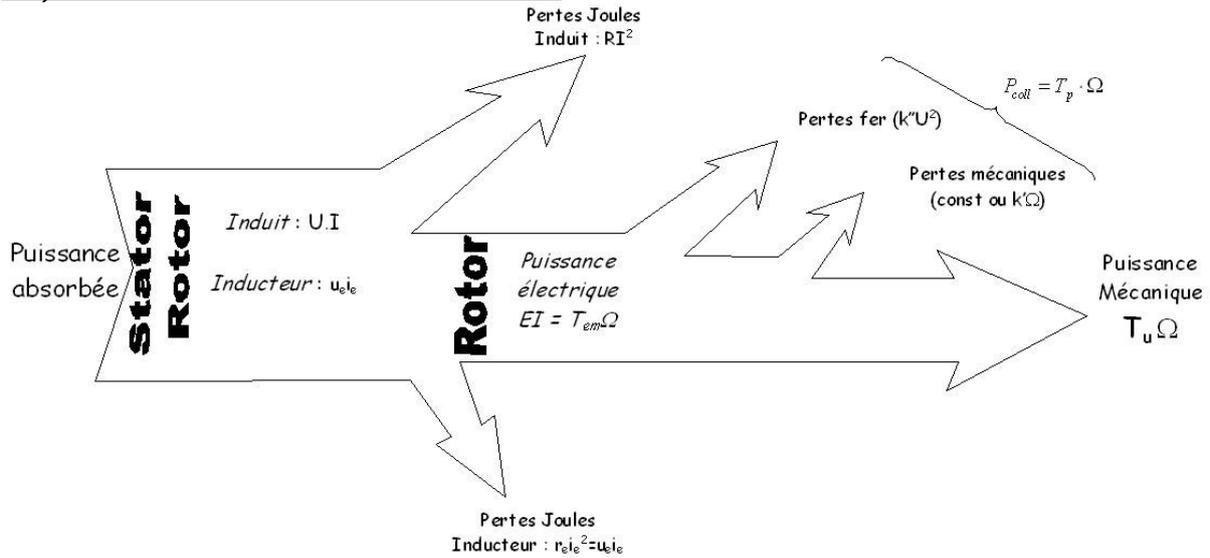
$$\Omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

Si le flux est constant, la vitesse est proportionnelle à la tension :

$$n = k' \cdot E$$

Si le flux est nul, le moteur s'emballe

3.6) EXPRESSION DE LA PUISSANCE



Puissance électrique utile ou électromotrice
 $P_{EU} = P_{EM} = E I$

Puissance électrique absorbée au réseau
 $P_A = U I_A + U_E I_E$

Puissance utile
 $P_U = P_{EM} - P_C$

Rendement
 $\eta = \frac{P_U}{P_A}$

3.7) EXPRESSION DU COUPLE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

$$T_{EM} = \frac{E I_A}{\Omega}$$

$$T_{EM} = \frac{k n \Phi I_A}{2 \pi n}$$

$$T_{EM} = \frac{k \Phi I_A}{2 \pi}$$

Le couple utile qui tient compte des pertes est légèrement plus petit. Si le flux est constant, T_{em} est proportionnel à I_A

$$T_{EM} = k'' \cdot I \quad \text{avec } k'' = \frac{k \Phi}{2 \pi}$$

3.8) ÉTUDE DU DÉMARRAGE

Au moment du démarrage, $E = 0$ or $E = U + R I$ donc le courant de démarrage I_d vaut:

$$I_d = U / R$$

Pour limiter le courant qui sera très important, R étant faible, on pourra:

- augmenter artificiellement la résistance du circuit induit,
- démarrer sous tension réduite à l'aide d'un système électronique.

3.9) EXERCICE D'APPLICATION

Sur un MCC, On fait les mesures suivantes: $U = 230V$ pour $I_A = 9,5A$ et $R = 2\Omega$. Calculez la f.e.m et la P_{EM} sachant que $n = 1900$ tr/min et T_{em} à cette vitesse.

$$E = 211 V$$

$$P_{em} = 2004.5 W$$

$$T_{em} = 10 Nm$$

4) VARIATION DE LA VITESSE DU MCC

$$n = \frac{E}{k\Phi} = \frac{U - RI_A}{k\Phi} \text{ or } RI_A \ll U \text{ donc on peut \u00e9crire: } n \approx \frac{U}{k\Phi}$$

On fait donc varier la vitesse d'un MCC:

- en agissant sur le flux inducteur Φ en modifiant I_E par l'interm\u00e9diaire de U_E , tout en gardant la tension U de l'induit constant,
- ou en agissant sur la tension d'alimentation de l'induit U tout en gardant I_E constant.

4.1) ACTION SUR LE FLUX Φ

$$\text{Puisque } n = \frac{U}{k\Phi} \text{ et } U \text{ est constante, on a: } n = \frac{k_1}{\Phi}$$

La vitesse est inversement proportionnelle au flux. Si ϕ augmente, n diminue; si ϕ diminue, n augmente. La vitesse maximum d\u00e9pend des limites m\u00e9caniques de la machine. La vitesse minimum d\u00e9pend du courant I_E maximum que l'inducteur peut admettre. La plage de variation de la vitesse avec cette m\u00e9thode est faible.

Evolution du couple T_{EM}

$$T_{EM} = \frac{k\Phi I_A}{2\Pi} \quad T_{EM} = k_2 \Phi$$

Lorsque n augmente, T_{EM} diminue et quand n diminue, T_{EM} augmente.

Evolution de la puissance P_{EM}

$$P_{EM} = T_{EM} \times 2\pi \times n = \frac{k_2 \Phi \times 2\pi \times k_1}{\Phi} \quad P_{EM} = 2\pi \times k_1 k_2$$

P_{EM} est ind\u00e9pendant de ϕ .

4.2) ACTION SUR LA TENSION D'INDUIT U

Le flux inducteur Φ reste constant.

Evolution de la vitesse n

$$n = k' \cdot U$$

La vitesse est proportionnelle \u00e0 la tension d'alimentation U . Si U augmente, n augmente; si U diminue, n diminue.

Evolution du couple T_{EM}

$$T_{EM} = \frac{k\Phi I_A}{2\Pi}$$

Le couple reste constant puisqu'il ne d\u00e9pend pas de U

Evolution de la puissance P_{EM}

$$P_{EM} = E \cdot I_A = (U - RI_A) \cdot I_A$$

Elle d\u00e9pend de la tension U . Si U augmente, P_{EM} augmente. Ce type de fonctionnement est dit \u00e0 couple constant.

