

# RAPPEL

## Quatre lois déterminent le système électromécanique

1. La loi de **Faraday** : si la vitesse du conducteur est  $v$

Il apparaît une f.é.m.  $E$  :  $E = Blv$

2. La loi de **Laplace** : si le courant dans le conducteur est  $I$

Il existe une force électromagnétique :  $F_{em} = BIl$

3. La loi d'**Ohm** :  $U = E + RI$

4. La loi de la **dynamique** : si la vitesse  $v$  est constante, elle implique :  $F_{em} = F_{mec}$

Le fonctionnement sera **moteur** si  $F_{em}$  et  $v$  sont de même sens  $U = E + RI$

Le fonctionnement sera **générateur** électrique si  $F_{em}$  et  $v$  sont de sens opposé. La f.é.m.  $E$  va dans le sens du courant  $U = E - RI$

**La puissance**  $P_{em} = F_{em} \times v = B \times l \times I \times \frac{E}{B \times l} = EI$

## Chapitre 2 Machines à courant continu

Les moteurs à courant continu restent très utilisés dans le domaine de l'automobile (ventilateurs, lève-vitre, etc.) ainsi qu'en tant que « moteur universel » dans l'électroménager et l'outillage



Moteur lève vitre

Moteur lève-vitre



Moteur universel

Moteur universel

# Étude de la machine à courant continu

## Objectifs

- Connaître la constitution des machines à courant continu
- Établir les équations de fonctionnement en régime permanent
- Faire le bilan des puissances

Ce chapitre représente **le minimum** de ce qui doit être compris pour être capable de mener un **projet de machine à courant continu** ou **le maximum** de ce qui est **tolérable** pour comprendre ce qu'il y a dedans.

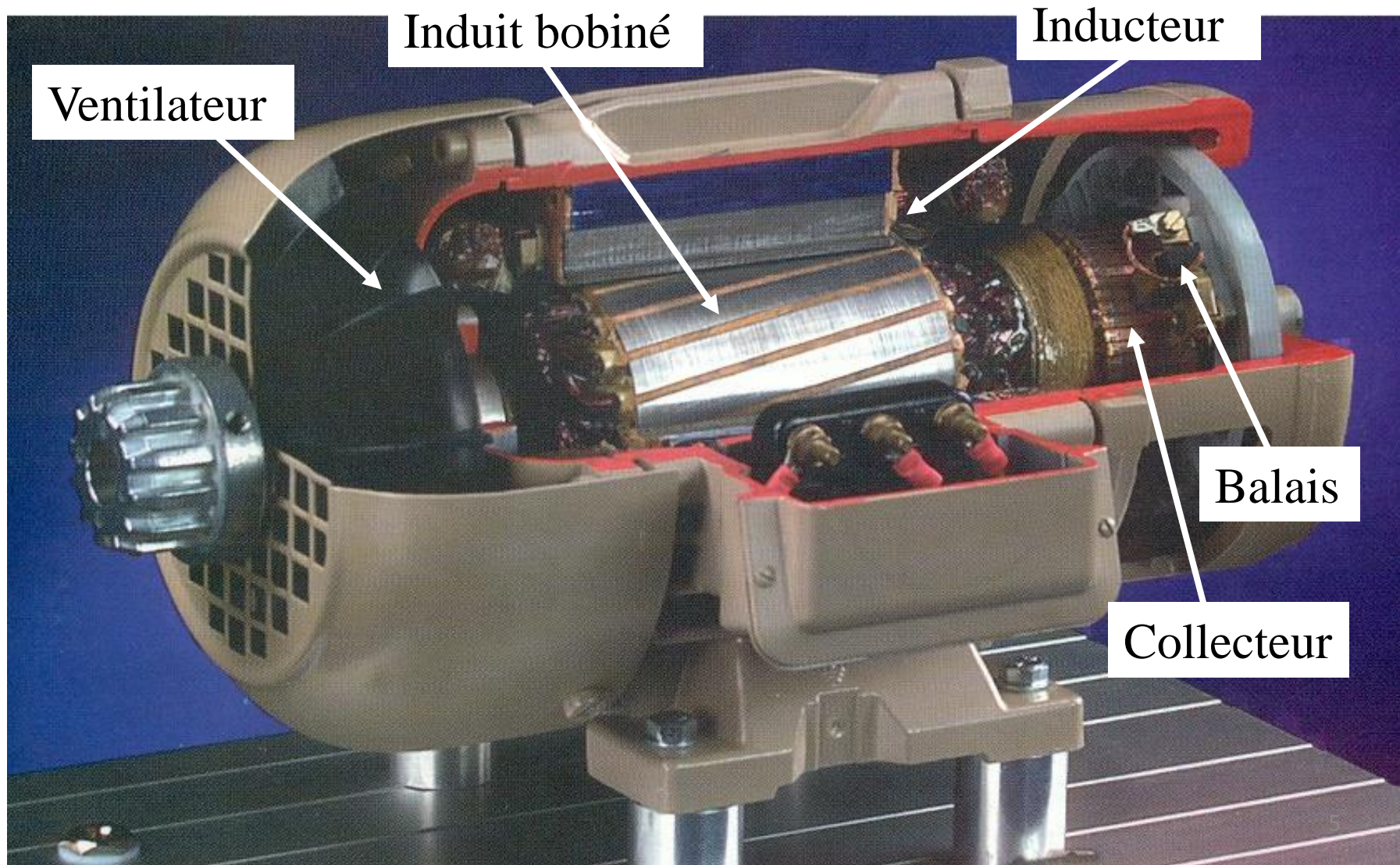
## CONSTITUTION D'UNE MACHINE À COURANT CONTINU

Une machine à courant continu comprend quatre parties principales :

- l'inducteur ;
- l'induit ;
- le collecteur ;
- les balais également appelés charbons

Une machine à courant continu comprend quatre parties principales :

- l'inducteur ;
- l'induit ;
- le collecteur ;
- les balais également appelés charbons



# L'inducteur

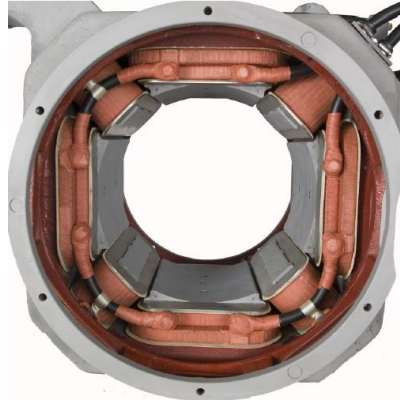


Pièces polaires

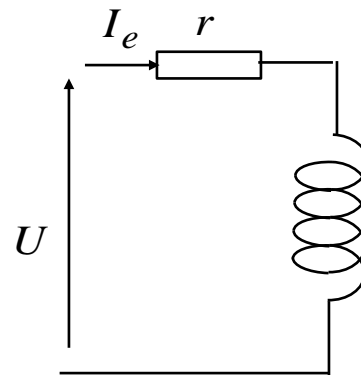
Enroulements

## L'inducteur

Le bobinage inducteur, traversé par le courant inducteur  $I_e$ , produit le flux magnétique dans la machine

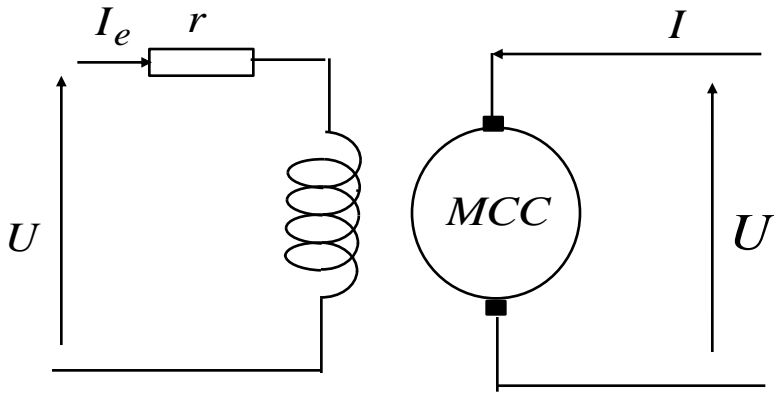


L'inducteur

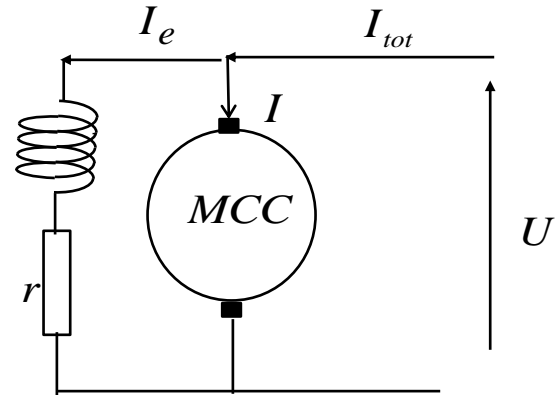


Modèle

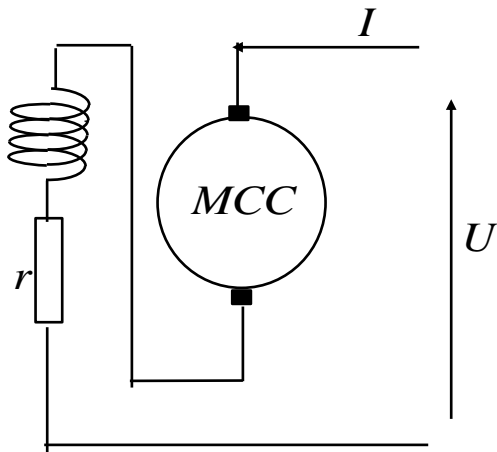
# 4 types d'excitation



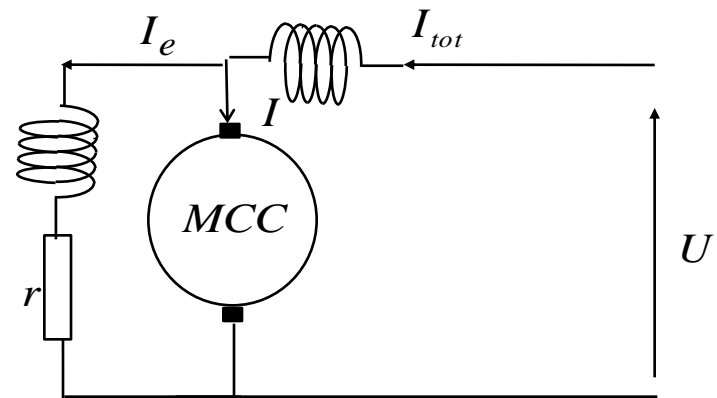
excitation indépendante



excitation Shunt

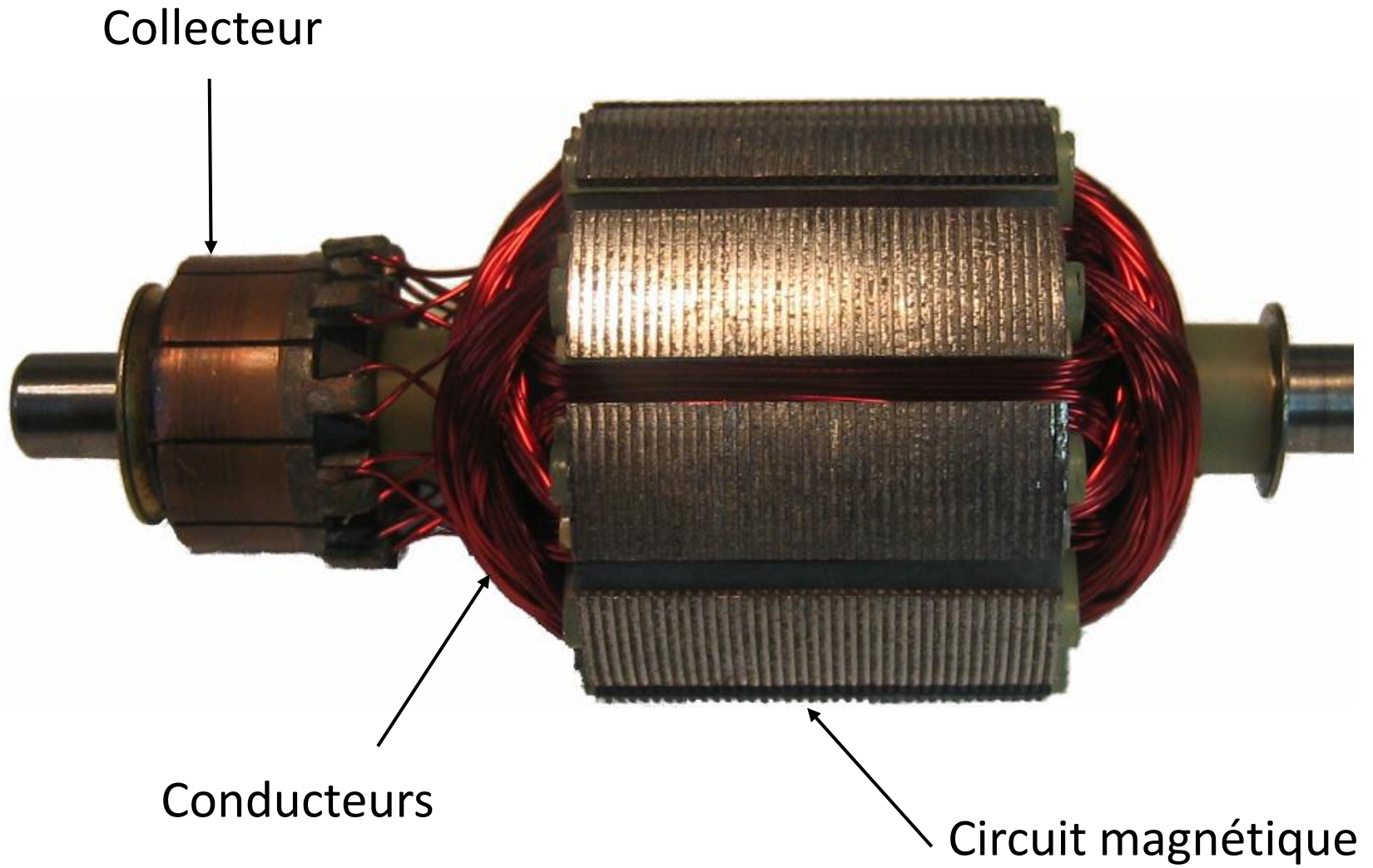


excitation Série



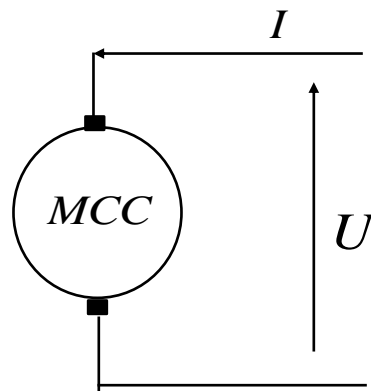
excitation composée

## Constitution



## L'induit

L'induit est composé d'un ensemble de bobines identiques réparties uniformément autour d'un noyau cylindrique. Il est monté sur un arbre et tourne entre les pôles de l'inducteur



Modèle

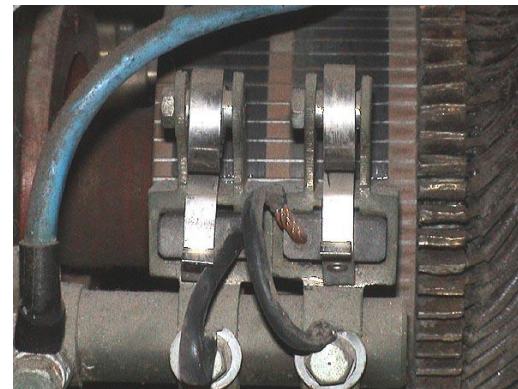
## Collecteurs

Le collecteur est un ensemble cylindrique de lames de cuivre isolées les unes des autres par des feuilles de mica

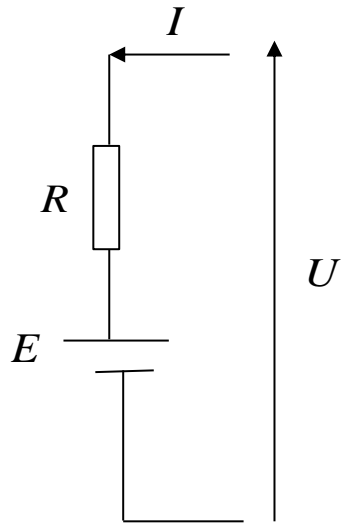


## Balais ou charbons

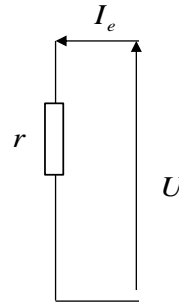
Les balais, portés par le stator, frottent sur les lames du collecteur, et permettent d'établir une liaison électrique entre l'induit qui tourne et l'extérieur de la machine



# SCHÉMA ÉLECTRIQUE ÉQUIVALENT D'UNE MACHINE À COURANT CONTINU

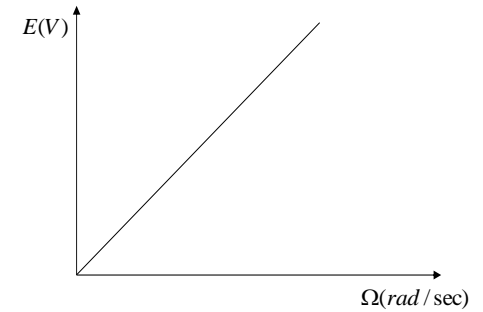


**Induit**



**Inducteur**

$$U = rI$$



$$E = f(\Omega) \rightarrow I_e(\text{fixe})$$

## Expression de E

$$U = E + RI$$

$$E = \frac{p}{a} n \times \phi \times \Omega$$

$$E = k_1 \times \Omega \times \phi$$

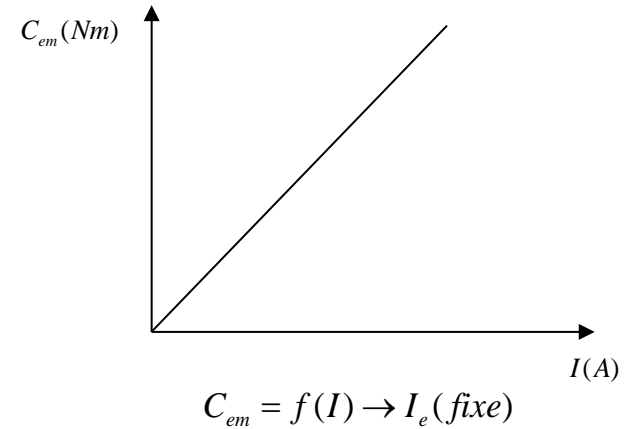
$$E = k_1 \times k_2 \times I_e \times \Omega$$

$$E = k_\phi \times \Omega$$

## Expression de couple électromagnétique

$$C_{em} = k_1 \times \phi \times I = k_\phi \times I$$

$$C_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega}$$



## Expression de couple utile

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega} = C_{em} - c_p \rightarrow c_p = \frac{P_{fer} + P_{mec}}{\Omega}$$

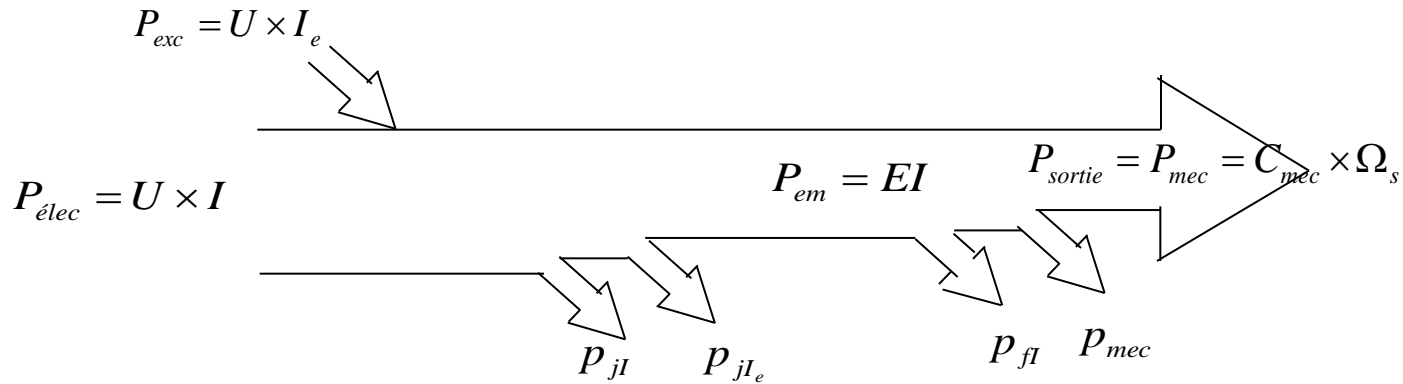
## Expression de la puissance

$$P_{abs} = U \times I + U \times I_e$$

$$P_u = C_u \times \Omega = P_{em} - P_F - P_{mec}$$

# Bilan des puissances et rendement

## Fonctionnement moteur à excitation indépendante



$$P_c = P_{fl} + P_{mec}$$

$$P_{mec} = P_u + P_{mec}$$

$$\eta = \frac{P_{sortie}}{P_{entree}} = \frac{P_u}{P_u + P_{jl} + P_{jle} + P_F + P_{mec}}$$

$P_{ent}$  : Puissance d'entrée

$P_{jl}$  : Pertes joules de l'induit

$P_{fl}$  : Pertes fer de l'induit

$P_{em}$  : Puissance transmise au rotor ou puissance électromagnétique

$P_{jl_e}$  : Pertes joules de l'inducteur

$P_{mec}$  : Pertes mécaniques

$P_{elec}$  : Puissance électrique

$P_c$  : Pertes constantes

En entrée :

$$\text{Circuit induit : } P_{ent} = P_{elec} = U \times I$$

$$\text{Circuit d'inducteur: } P_{exc} = U \times I_e$$

En sortie :  $P_{sortie} = P_{mec} = C_{mec} \times \Omega$

$$\text{Le rendement s'écrira : } \eta = \frac{P_{sortie}}{P_{entrée}} = \frac{P_u}{P_u + p_{jl} + p_{jle} + p_F + P_{mec}}$$

$$\text{Pertes joules de l'induit : } p_{jl} = RI^2$$

$$\text{Pertes joules de l'inducteur : } p_{jle} = rI_e^2$$

$$\text{Pertes fer de l'induit : } P_{fI}$$

$$\text{Pertes mécaniques : } P_{mec}$$

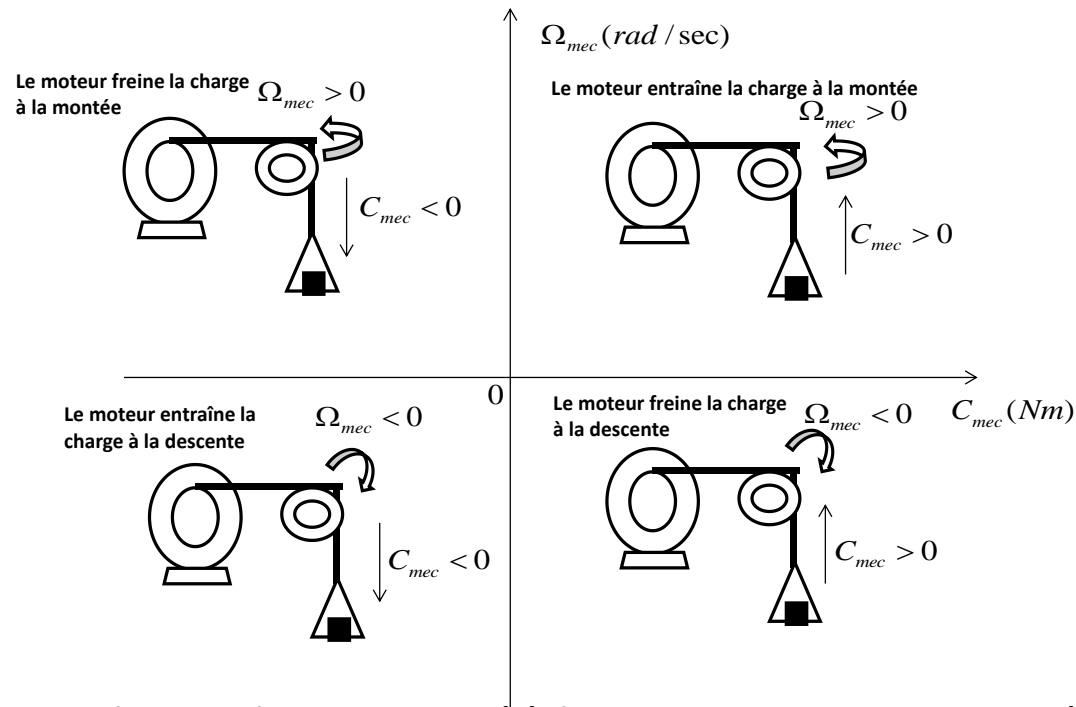
moteur à excitation série

$$C_{em} = k_\phi I^2$$

## MODES DE FONCTIONNEMENT

Dans les quadrants **1** et **3**, le couple et la vitesse sont de même sens : la puissance électrique est transformée en puissance mécanique fournie à la charge

Le quadrant **1** correspond au fonctionnement moteur en marche avant, tandis que le **3** correspond à un fonctionnement moteur en marche arrière.



Dans les quadrants **2** et **4**, le couple est opposé à la vitesse. La puissance mécanique est fournie par la charge qui est alors entraînante, le moteur se comporte en frein

La machine convertit la puissance mécanique en puissance électrique qui sera soit renvoyée vers l'alimentation (récupération) soit dissipée dans des résistances (freinage rhéostatique).

## QUESTIONS DE COURS

Q1. Dans une machine à courant continu, pourquoi l'inducteur est-il au stator et non au rotor ?

R1. Une machine à courant continu avec inducteur au rotor nécessiterait **deux bagues** pour l'excitation, comme pour la machine synchrone, mais en plus **deux balais tournants** liés électriquement aux deux bagues pour la liaison avec l'extérieur, les balais étant en quadrature avec l'axe des pôles.

Q2. A quel niveau la conversion électromécanique se fait dans une machine électrique?

R2. Au niveau de la f.é.m. de l'induit

Q3. Pourquoi chaque fil actif est-il le siège d'une f.é.m. alternative au cours de la rotation ?

R3.  $e = B.l.v$ ,  $l$  et  $v$  étant constant au cours de la rotation,  $e(t)$  reproduit dans le temps l'image de  $B$ , à répartition sinusoïdale dans l'espace,  $e$  est nulle sur la ligne neutre et maximale sur la ligne des pôles,  $e$  est de pulsation  $w$

Q4. Quelle est la fonction de l'inducteur de la machine ?

R4. Création du champ magnétique

Q5. Pour inverser le sens de rotation d'un moteur, que faut-il inverser ?

R5. Les bornes d'alimentation de l'induit **ou** de l'inducteur après avoir éteint toutes les alimentations mais pas les deux à la fois.

### *Exercice 3. Treuil entraîné par machine à courant continu : montée et descente*

*Un moteur à courant continu à excitation indépendante entraîne un treuil soulevant verticalement une charge de masse  $M$  kg suspendue à l'extrémité d'un filin enroulé sur le tambour du treuil, de rayon supposé constant égal à  $0,1$  m. La vitesse de rotation du tambour est égale au vingtième de la vitesse de rotation du moteur. L'induit du moteur de résistance intérieure  $0,5$  Ohm est connecté aux bornes d'une source d'énergie fournissant une tension réglable de  $U = 0$  V à  $U_n = 240$  V = tension nominale du moteur.*

*On donne :  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>. On adoptera les hypothèses simplificatrices suivantes :*

- rendement du treuil = 1 ;*
- négliger toutes les pertes du moteur sauf celle par effet Joule dans l'induit ou dans la résistance de démarrage ;*
- négliger la réaction d'induit et la saturation des circuits magnétiques.*

*1. Le courant inducteur est réglé à sa valeur maximum admissible  $I_e = 5$  A. On constate alors que le treuil hisse la charge  $M = \frac{4800}{\pi}$  à la vitesse  $v = \frac{11\pi}{60}$  m/s alors que la puissance absorbée par l'induit est de  $9,6$  kW et que la tension appliquée à l'induit est égale à la tension nominale.*

*1.1. Calculer l'intensité du courant absorbé par l'induit du moteur.*

*1.2. Calculer la force contre-électromotrice du moteur.*

*1.3. Calculer la puissance utile du treuil.*

*1.4. Calculer le couple utile du moteur.*

*1.5. Calculer la vitesse de rotation du moteur.*

### Corrigé 3

$$1.1. I_a = \frac{P_{abs}}{U} = \frac{9600}{240} = 40A$$

$$1.2. E = U - R_a \cdot I_a = 240 - 0,5 \cdot 40 = 220V$$

$$1.3. P_u = F \cdot v = M \cdot g \cdot v = \frac{4800}{\pi} \cdot 10 \cdot \frac{11 \cdot \pi}{60} = 8800W$$

1.4 Le treuil tourne à une vitesse de:  $\Omega = \frac{v}{R} = \frac{\frac{11 \cdot \pi}{60}}{0,1} \approx 5,76 \text{ rad/sec}$

Le moteur tourne 20 fois plus vite que le treuil  $\Omega_{mot} = 20 \times 5,76 \approx 115,2 \text{ rad/sec}$

Soit  $C_u = \frac{P_u}{\Omega} = \frac{8800}{115,2} \approx 76,4 \text{ Nm}$

$$1.5 N = \frac{60 \times \Omega_{mot}}{2\pi} = \frac{60 \times 115,2}{2\pi} \approx 1100 \text{ tr / min}$$

**FIN**