COURS
CIRCUITS ET SYSTEMES ELECTRIQUE

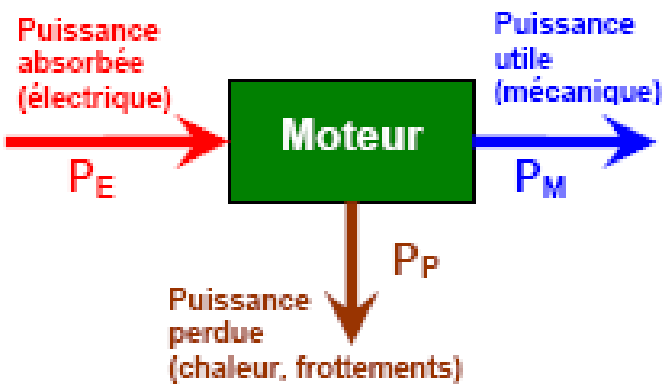
ENSTAB

MACHINE À COURANT CONTINU

DÉFINITION

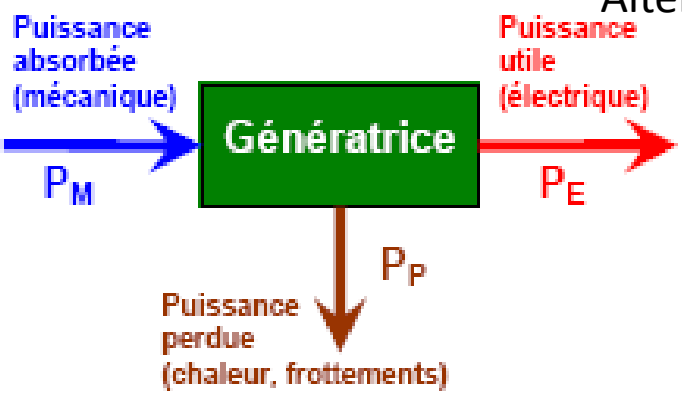
Une machine à courant continu est une machine électrique tournante mettant en jeu des **tensions** et des **courants** <u>continus</u>.

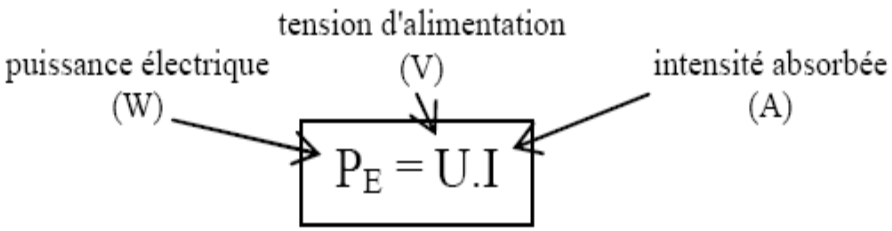
Fonctionnement « **Moteur** »

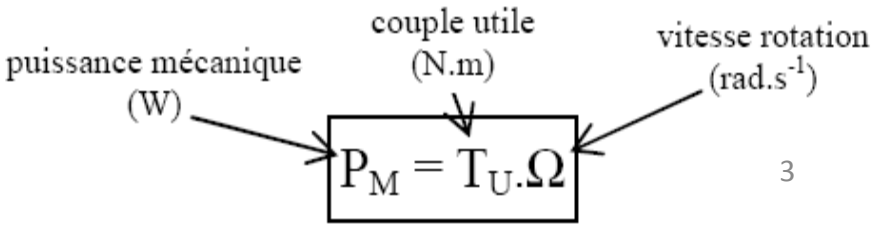


Fonctionnement « **Génératrice**»

Dynamo
Alternateur

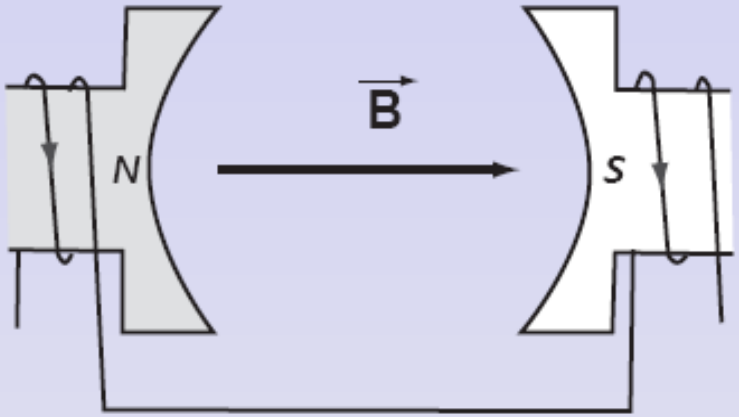






Le stator

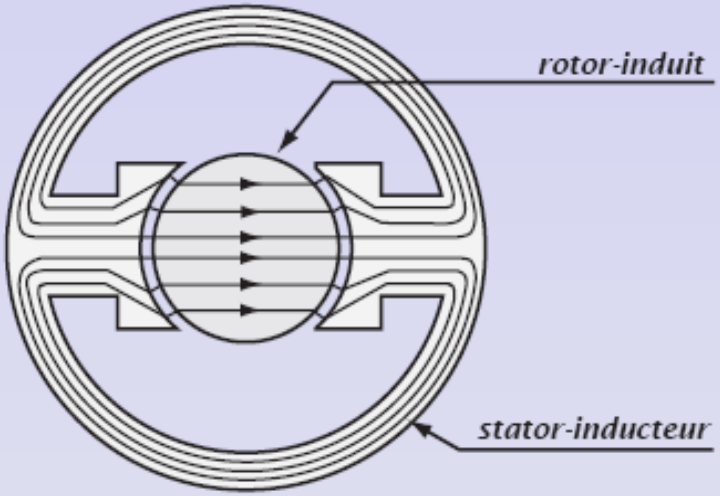
- Stator = inducteur
- Crée le champ inducteur (continu)



- Peut-être composé
  - d'aimants permanents (i fixe)
  - de bobinages (i réglable)
- Courant inducteur = courant d'excitation = i

Le rotor

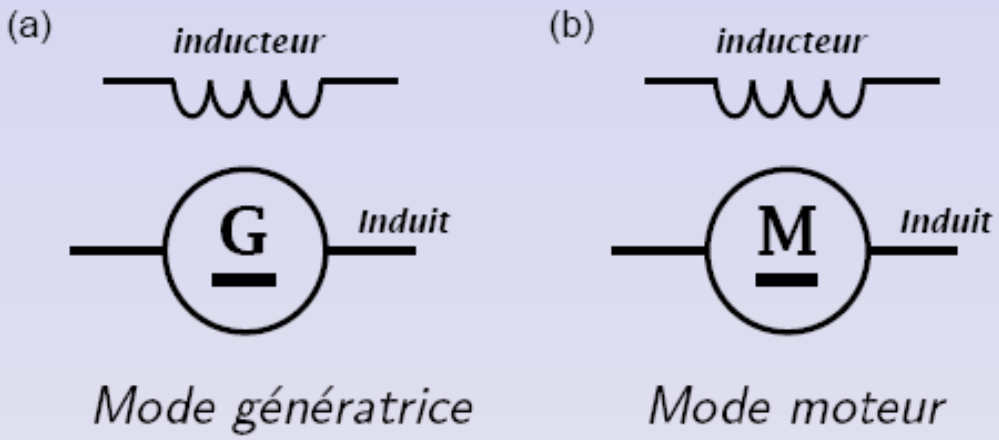
- Rotor = induit
- Ensemble de **cadres tournants**



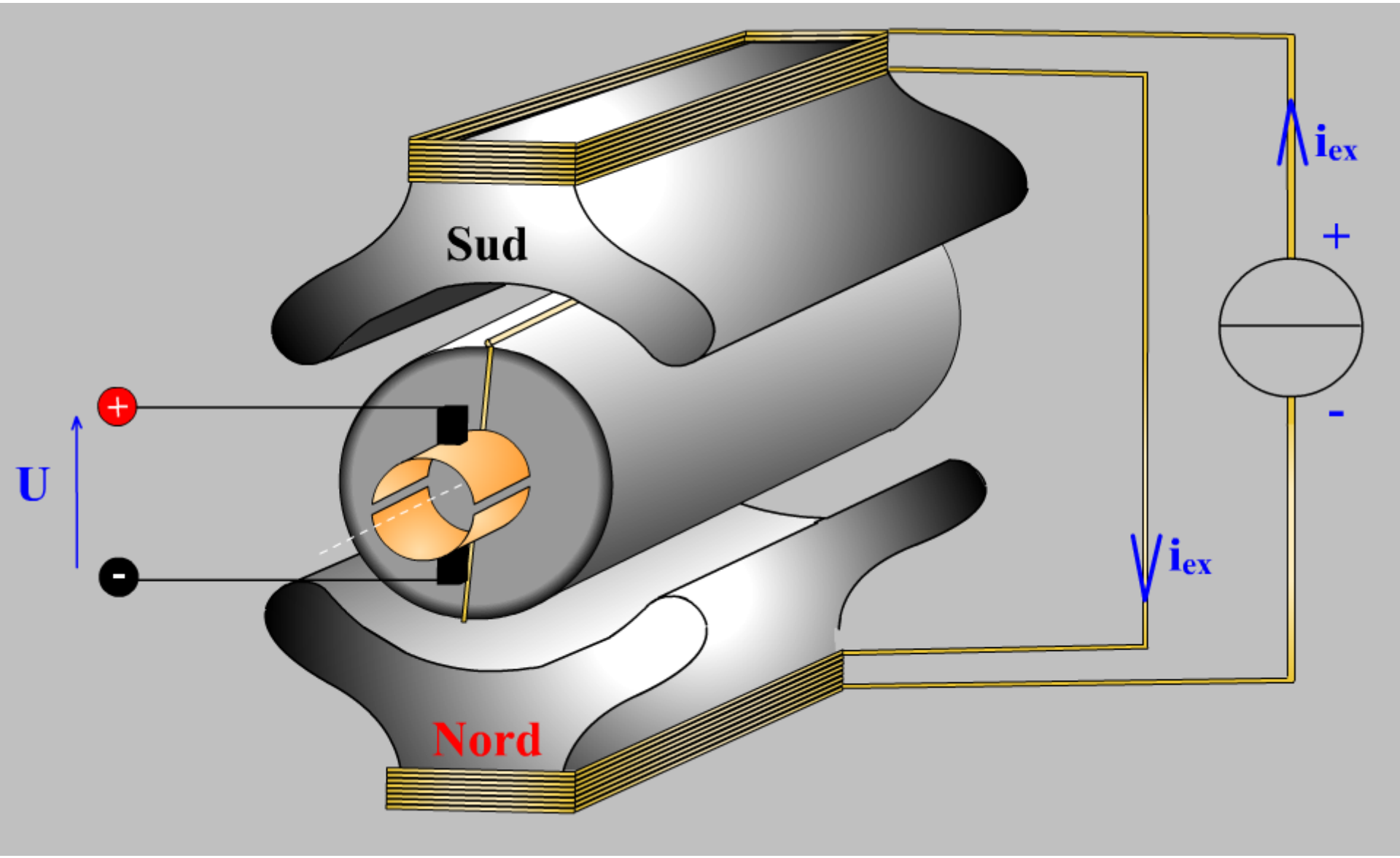
- Baigne dans le champ magnétique
- Siège de la **conversion électro-mécanique**
- Apparition d'un **couple** ou d'une **f.é.m**

Symboles électriques

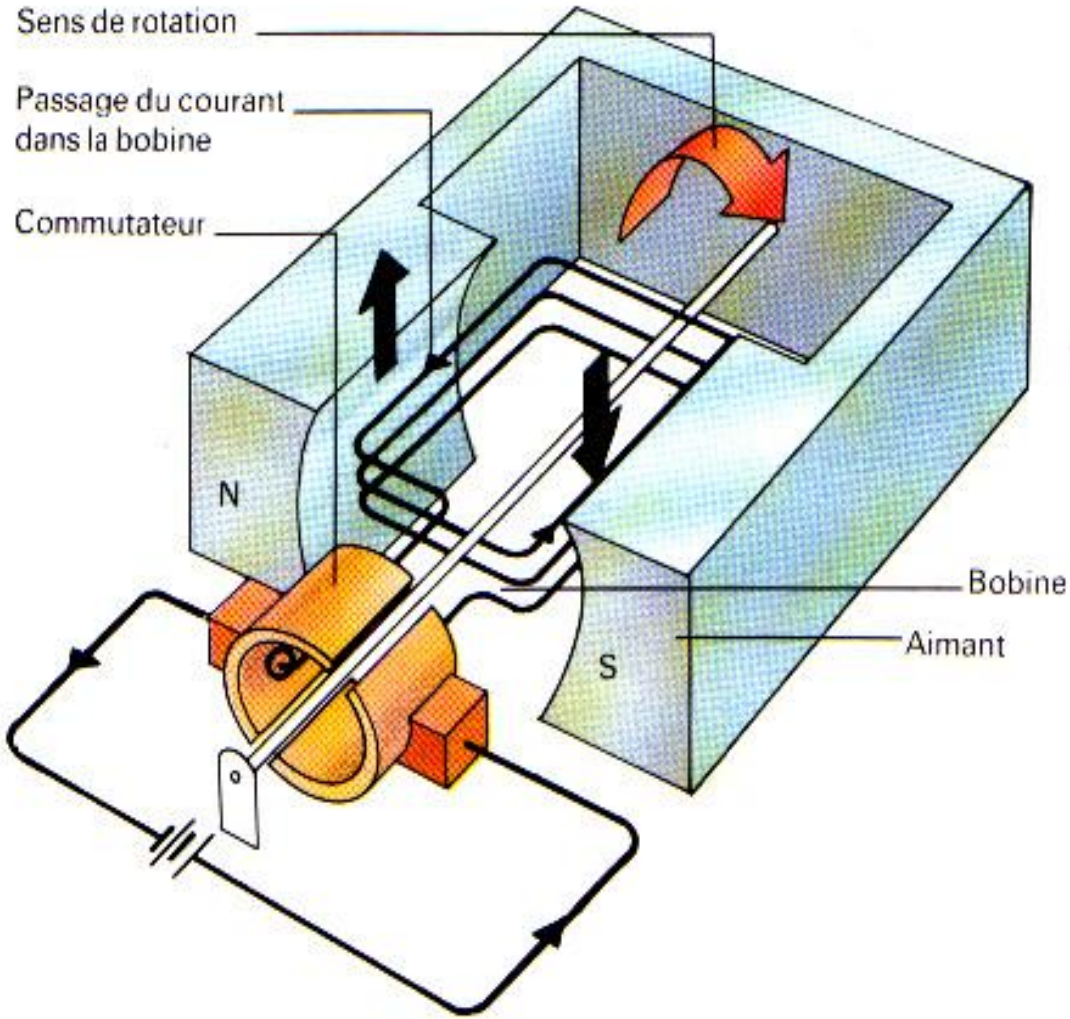
- Il en existe plusieurs
- Nous utiliserons :

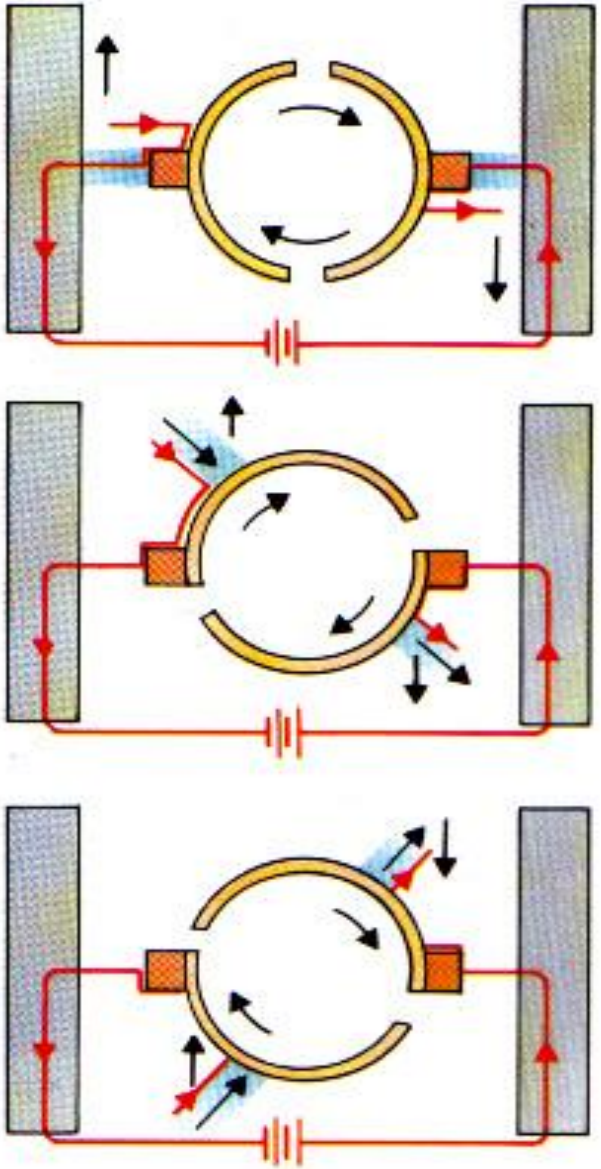


TECHNOLOGIE DE LA MACHINE

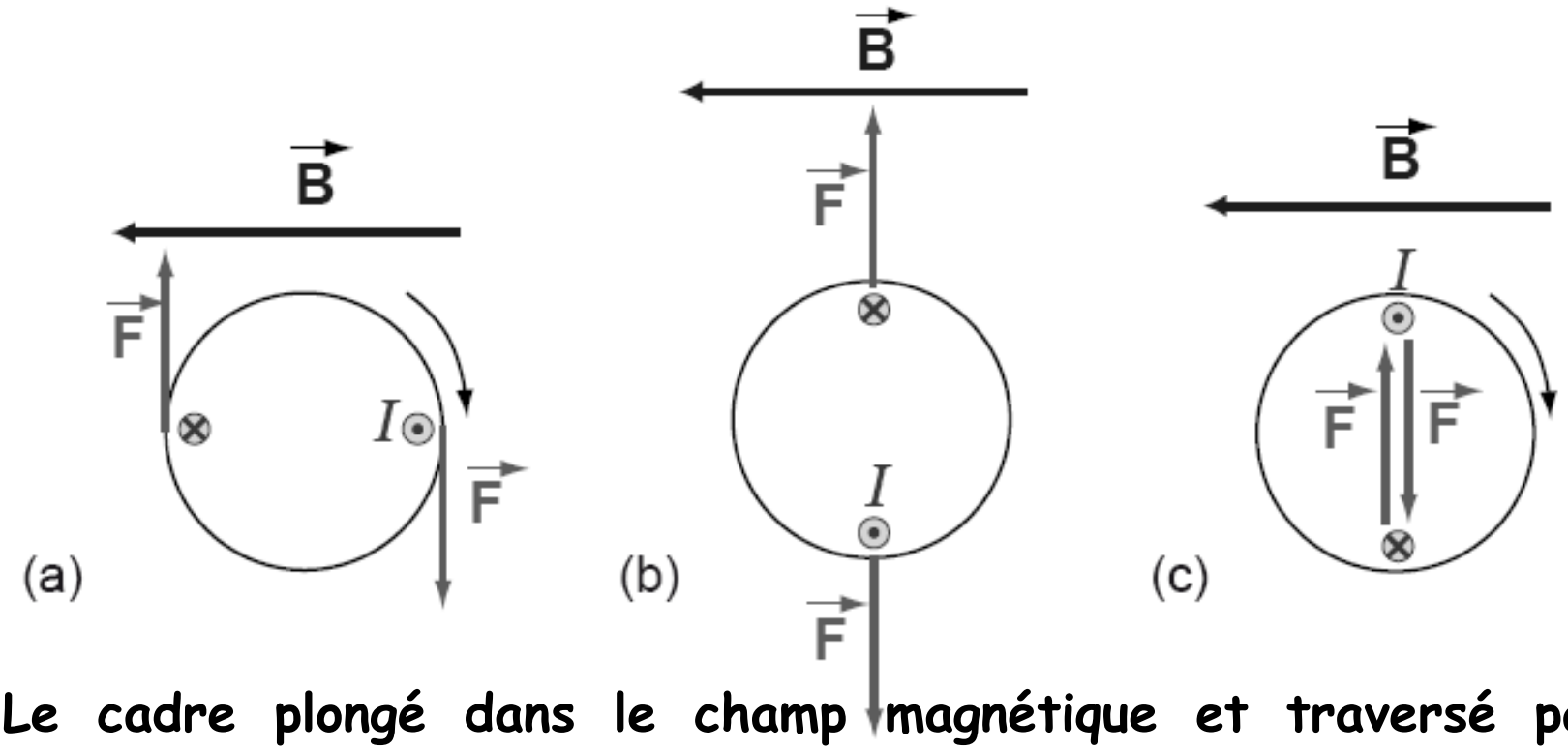


TECHNOLOGIE DE LA MACHINE





TECHNOLOGIE DE LA MACHINE

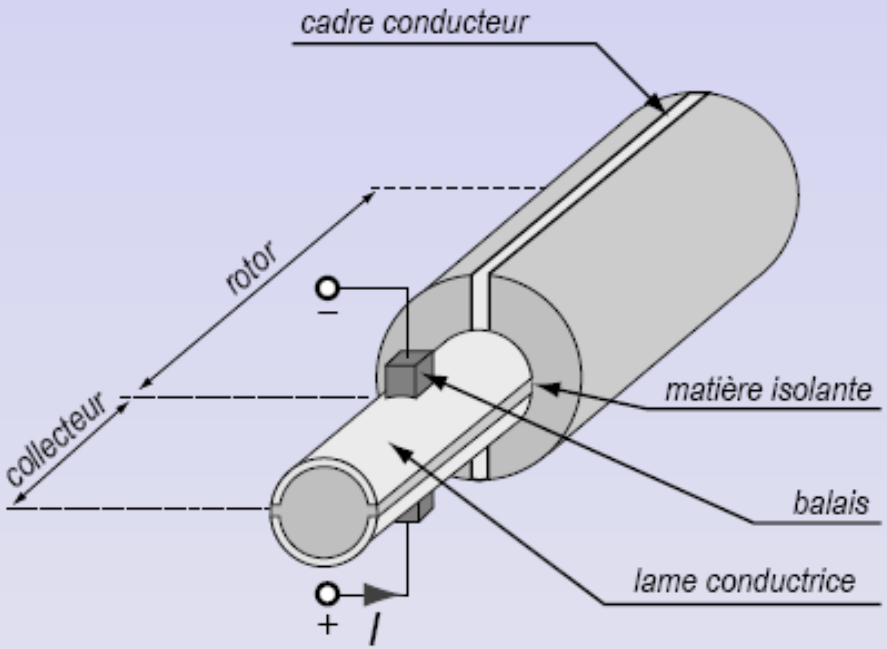


Le cadre plongé dans le champ magnétique et traversé par un courant tourne d'un quart de tour (a). Ensuite, les forces de Laplace appliquent un moment nul sur le cadre qui ne tourne pas (b). Une fois le sens du courant inversé, le cadre se remet à tourner (c).

Pour faire tourner le cadre de façon ininterrompue, il faut <u>changer le sens du courant</u> tous les demi-tours.

Technologie

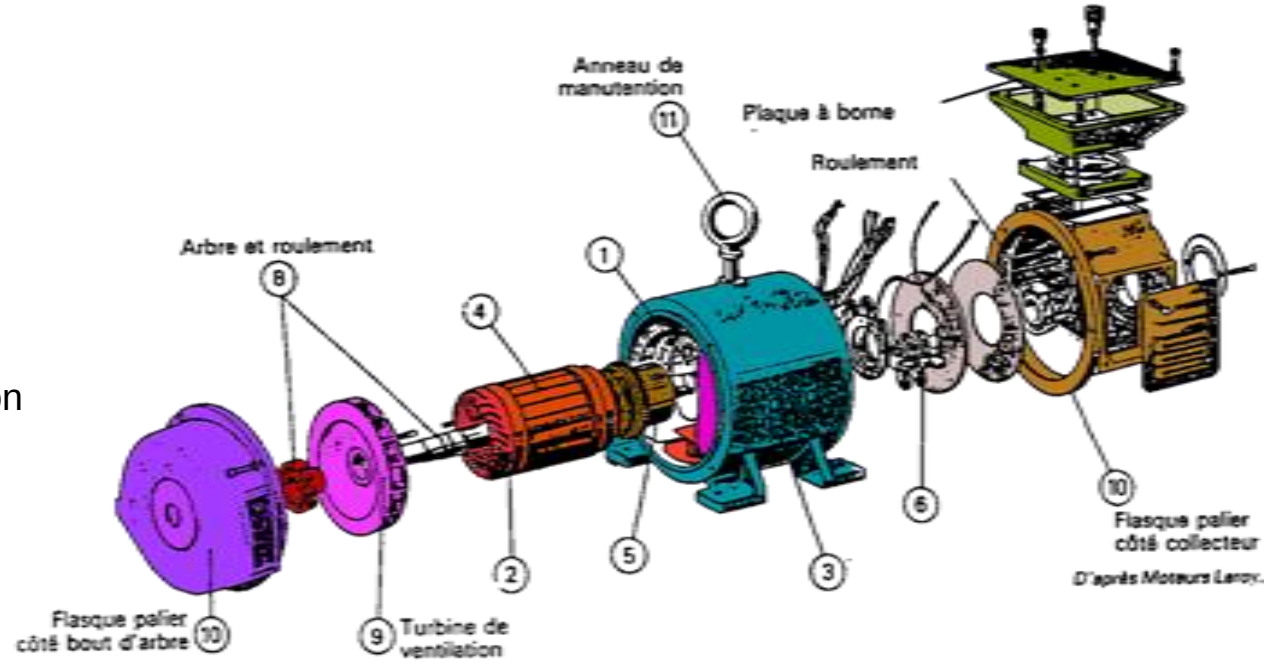
- Il faut inverser le courant
- Exemple **simplifié** pour 1 cadre

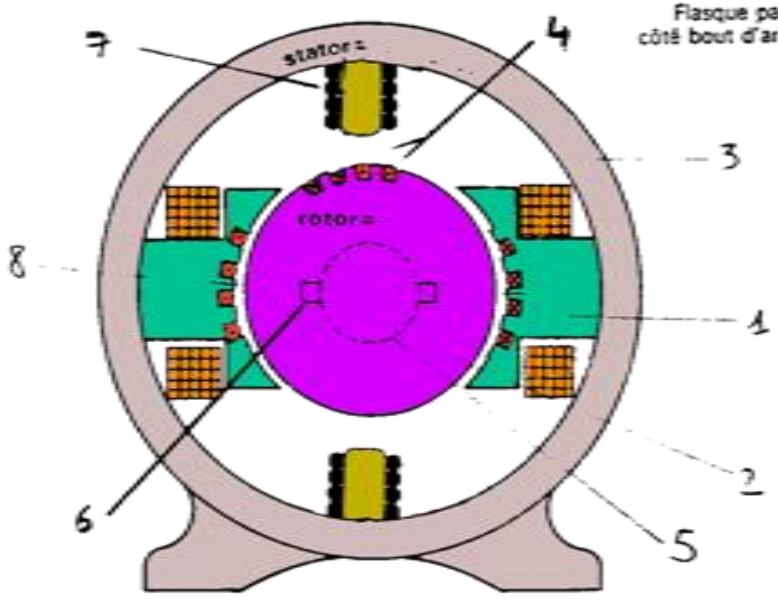


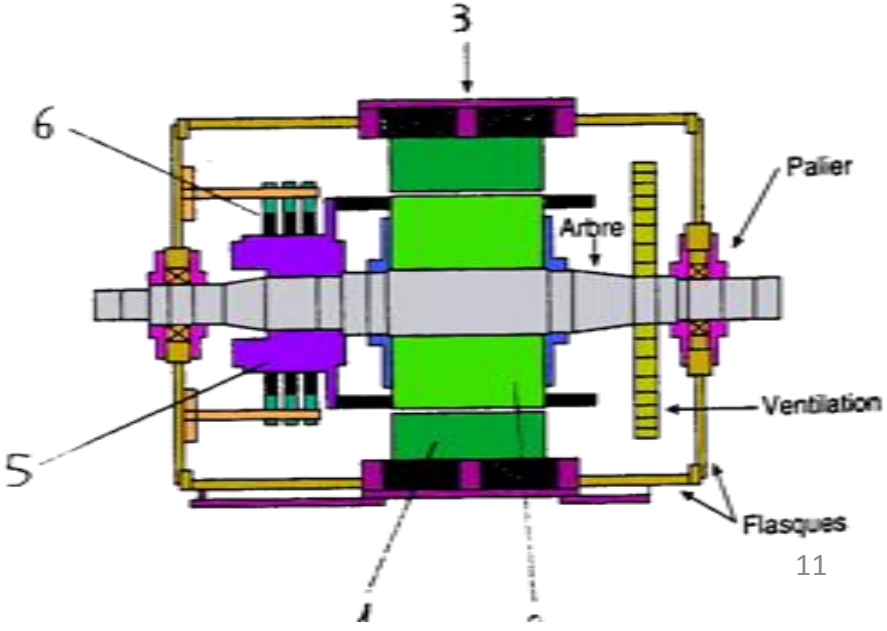
- 2 lames ↔ 1 cadre
- Balais (= charbons) **assurent le contact électrique**

TECHNOLOGIE DE LA MACHINE

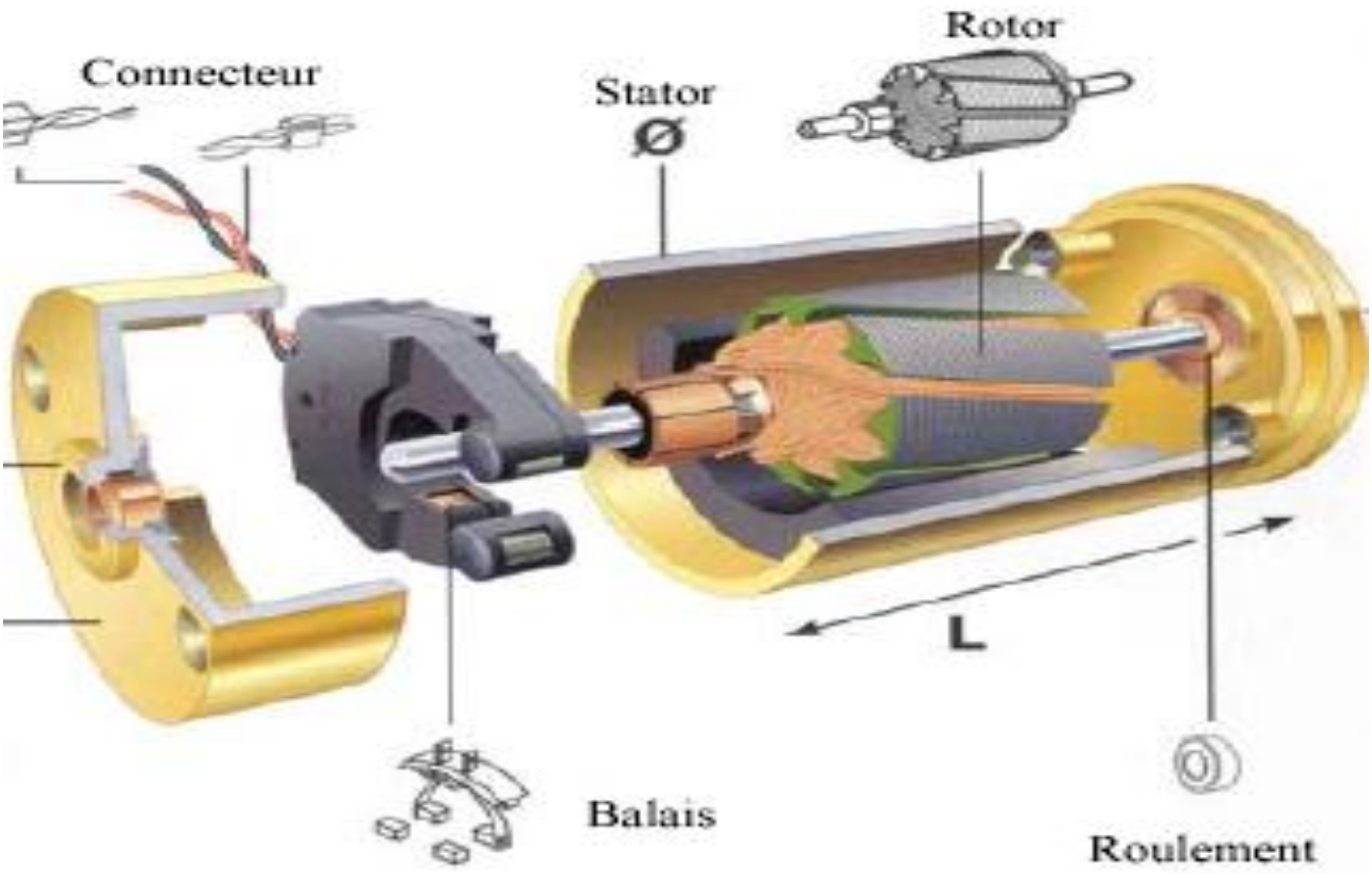
1 : Pôles inducteurs
2 : Induit (Rotor)
3 : Stator ou culasse
4 : Faisceau de conducteur
5 : Collecteur
6 : Balais et portes balais
7 : Pôles auxiliaires de commutation
8 : Pôles de compensation





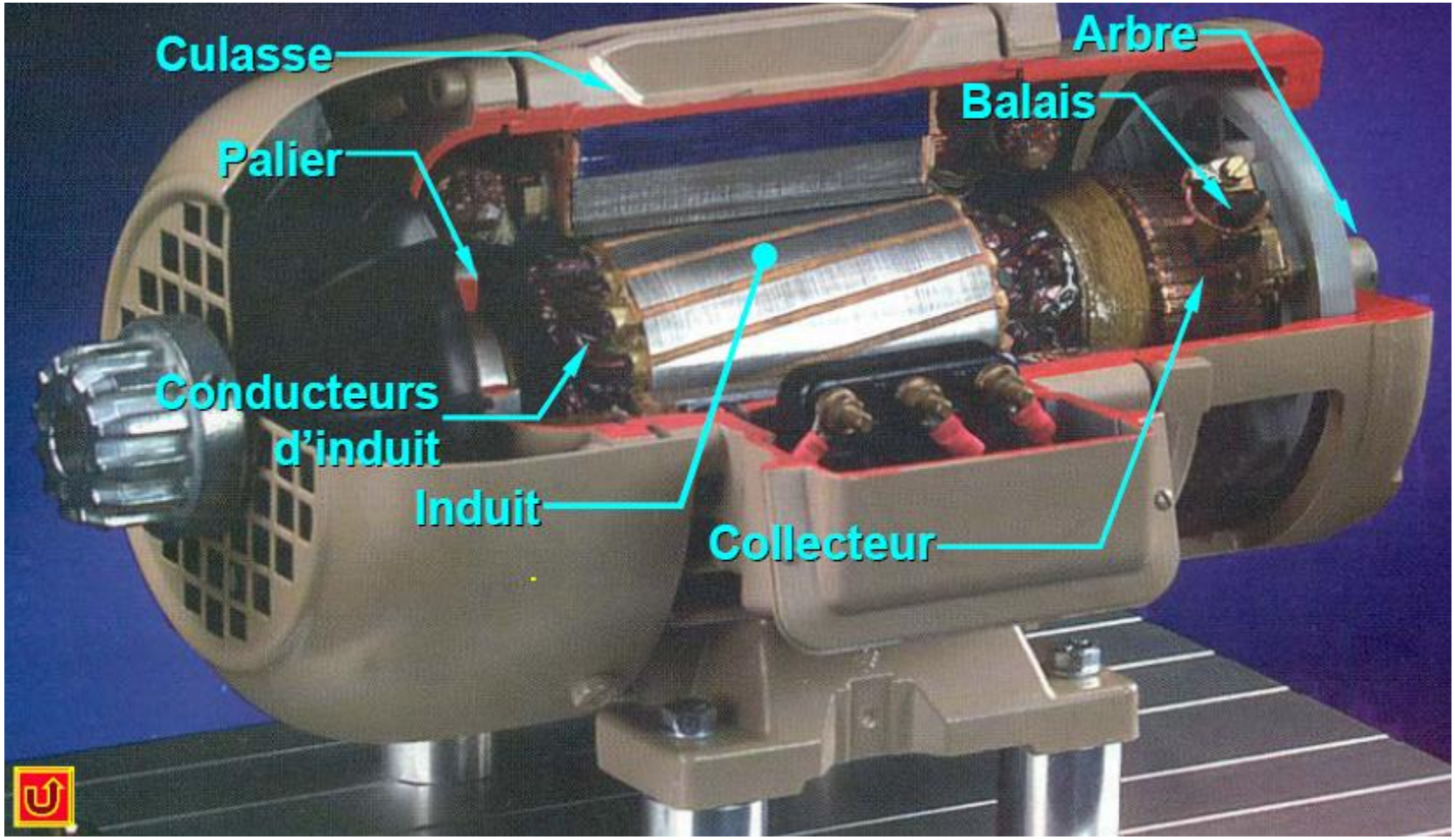


TECHNOLOGIE DE LA MACHINE



TECHNOLOGIE DE LA MACHINE

TECHNOLOGIE DE LA MACHINE



TECHNOLOGIE DE LA MACHINE

Montages électriques

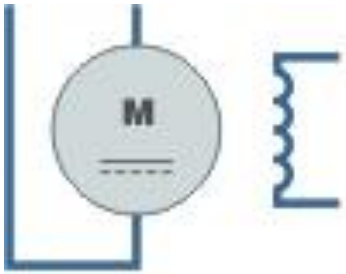
- Machine : 1 circuit inducteur + 1 circuit induit
- Connexion en série : montage **série**
- Connexion en parallèle : montage **shunt**
- Connexion indépendante : montage à **excitation séparée**
- **Des caractéristiques différentes**

Dans ce cours

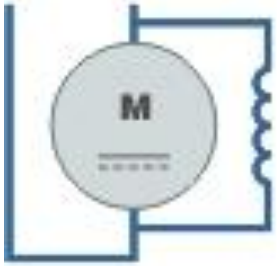
Nous étudierons le montage à excitation séparée uniquement

FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

Moteur à <u>excitation indépendante</u>

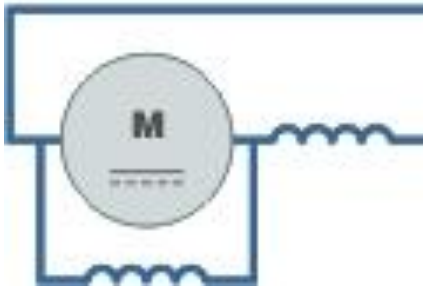


Des moteurs à excitation parallèle



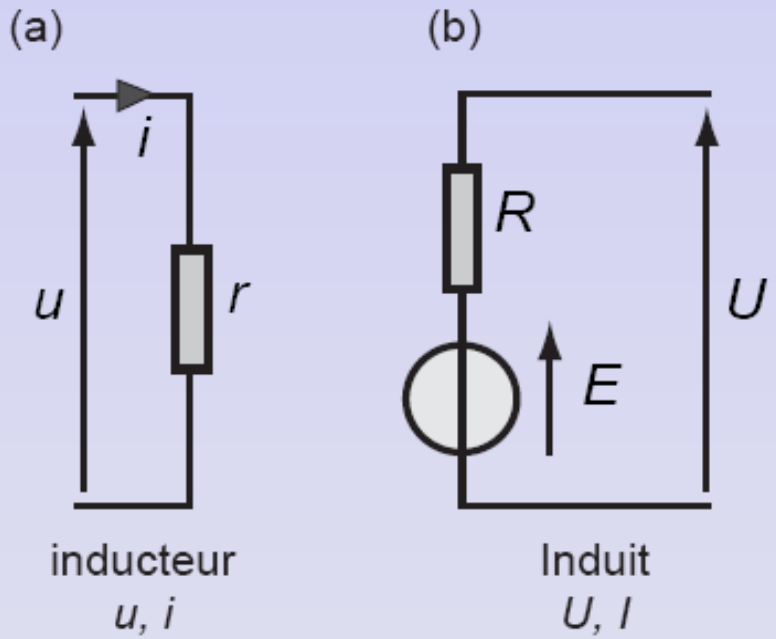
Des moteurs à excitation série

Des moteurs à excitation composée



FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

Schémas électriques équivalents de la MCC

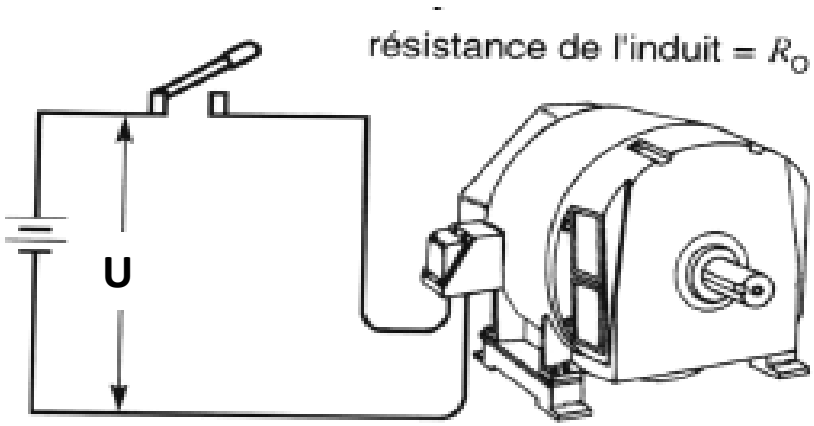


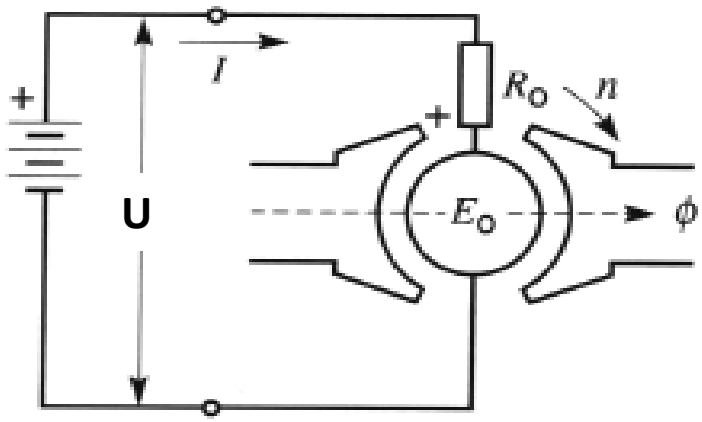
- r résistance d'inducteur
- R résistance d'induit
- E force électromotrice ou contre électromotrice

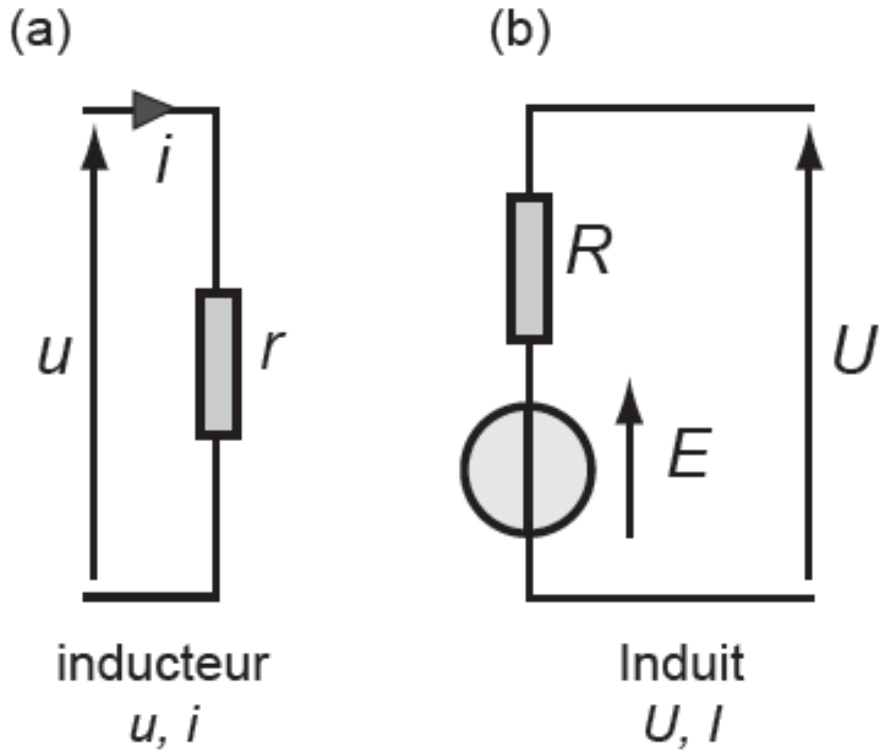
- Sens du courant induit I : dépend du mode de fonctionnement
  - Moteur $\longrightarrow$ Puissance mécanique $\longrightarrow$ E et I en sens inverses (récepteur)
  - Génératrice $\longrightarrow$ Puissance électrique $\longrightarrow$ E et I dans le même sens

FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

Schémas électriques équivalents de la MCC







CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

La force électromotrice E

- Rotor-induit : siège d'une f.é.m
- Vrai pour le moteur et la génératrice
- Force contre-électromotrice pour le moteur
- Rails de Laplace : f.é.m $= f(B,v)$

$$E = K\phi\Omega$$

avec K constante de la machine, ϕ en Wb et Ω en rad/s

CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

Puissance et couple électromagnétique

- Puissance électromagnétique :
  - Transmise entre rotor et stator (champ magnétique)
  - Convertie (électrique $\longleftrightarrow$ mécanique)
  - En rapport avec E (et I)

$$P_{em} = EI$$

- Couple électromagnétique T_{em} :
  - Appliqué par les forces de Laplace
  - Sur le rotor

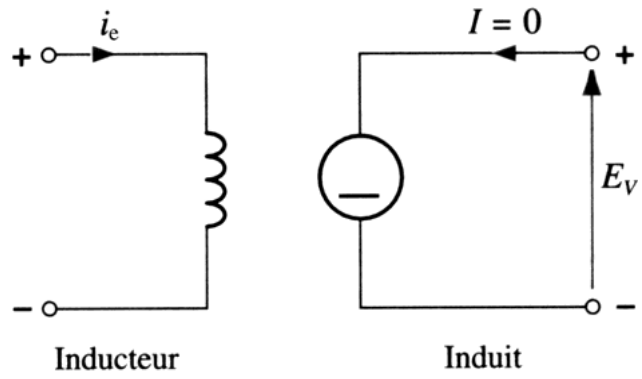
$$T_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = K\phi I$$

➪ T_{em} proportionnel à I

FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

CARACTÉRISTIQUES « À VIDE » ET « EN CHARGE »

Conditions expérimentales :

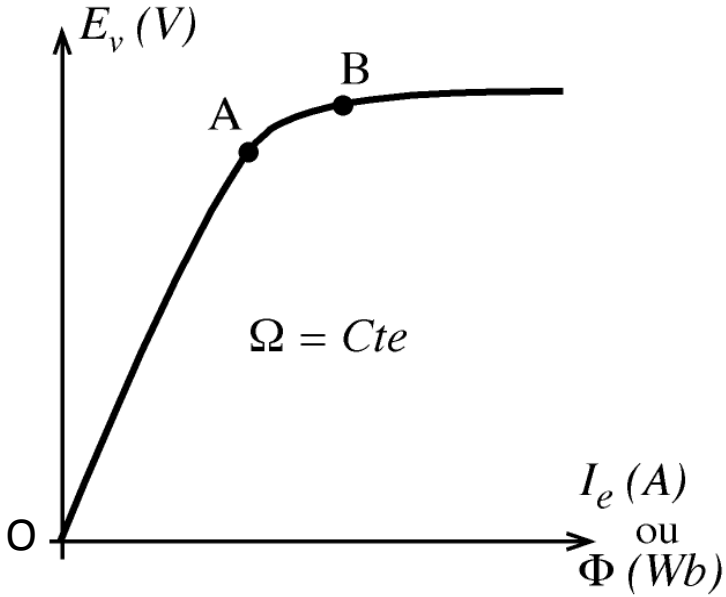


Génératrice à vide

Caractéristique « À VIDE » : Ev (V)=$f(\Phi)$ à Ω constante

- De O à A, la caractéristique est linéaire, **E=K'.Φ** (avec K'=KΩ).
- De A à B le matériau ferromagnétique dont est constitué le moteur commence à saturer.
- Après B, le matériau est saturé, le f.é.m. n'augmente plus.

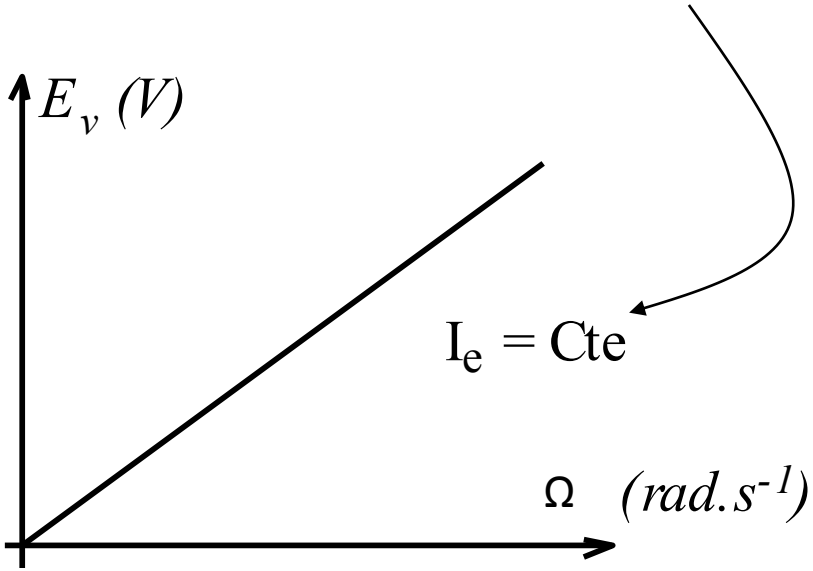
➡ La zone utile de fonctionnement de la machine se situe au voisinage du point A.



FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

CARACTÉRISTIQUES « À VIDE » ET « EN CHARGE »

Caractéristique « À VIDE » Ev (V)=$f(\Omega)$ à Φ constant



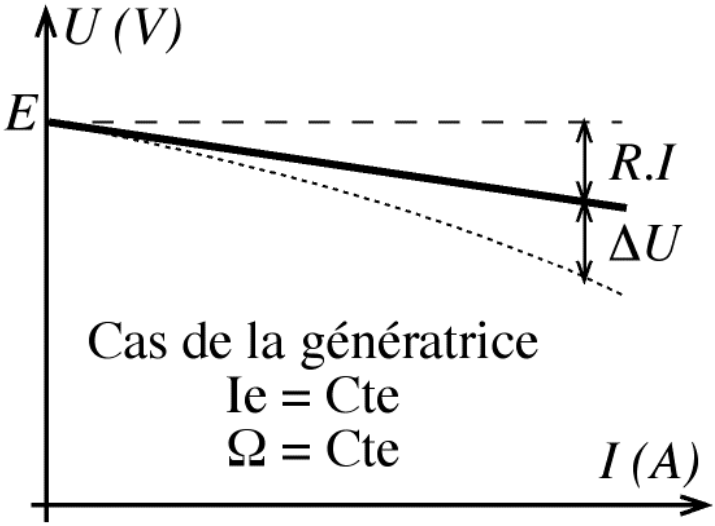
$$E=K'.\Omega$$

Remarque : la caractéristique est linéaire tant que la saturation n'est pas atteinte.

FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

CARACTÉRISTIQUES « À VIDE » ET « EN CHARGE »

Caractéristique « EN CHARGE » U(V)=*f*(I)

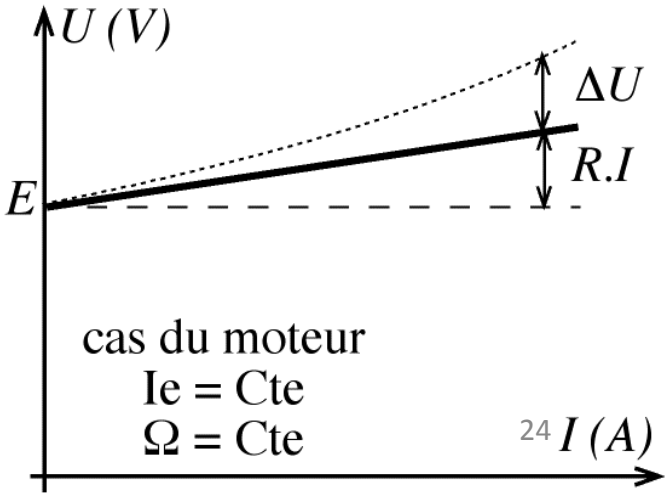


- La résistance du bobinage provoque une légère **chute de tension ohmique** dans l'induit : R.I

- Le courant qui circule dans l'induit créé un flux indésirable de sorte que le flux total en charge $\Phi_{Charge}(I_e, I) < \Phi_{Vide}(I_e)$. Cela se traduit par une chute de tension supplémentaire : c'est la **réaction magnétique d'induit**.

Pour l'annuler, la machine possède sur le stator des enroulements de compensation parcourus par le courant d'induit : on dit que **la machine est compensée**. C'est souvent le cas.

- La distribution du courant d'induit par les balais et le collecteur provoque également une légère chute de tension (souvent négligée).



FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

CARACTÉRISTIQUES « À VIDE » ET « EN CHARGE »

Pour une génératrice

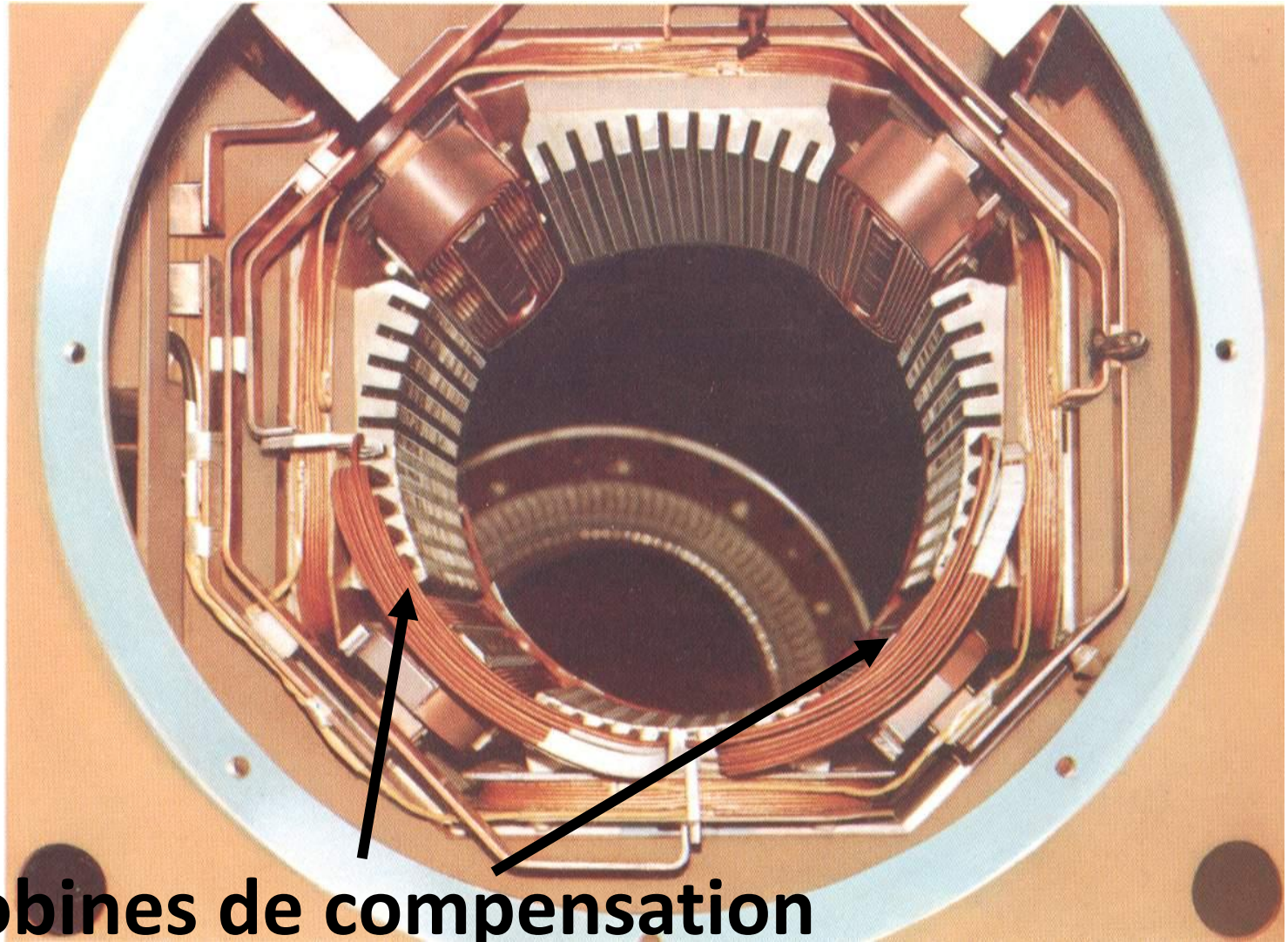
$$U = E - RI - \Delta U$$

Pour un moteur

$$E = U - RI - \Delta U$$

FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

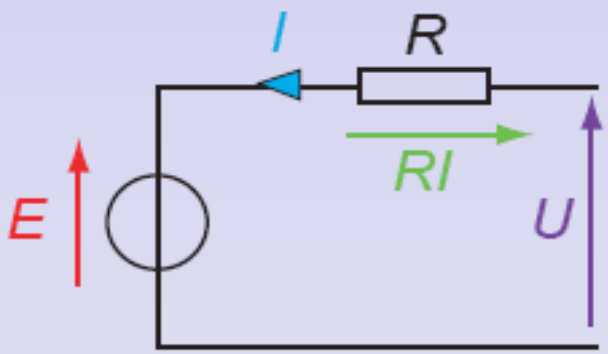
Une machine est compensée



Bobines de compensation

Vitesse du moteur

- Vitesse n (tr/s ou s^{-1}) ou $\Omega = 2\pi n$ (rad/s)
- Usage : tr/min ou min^{-1}



$$\Longrightarrow \quad U = E + RI$$

$$\Omega = \frac{U - RI}{K\phi}$$

FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

Deux remarques

- $RI << U \implies \Omega \simeq \dfrac{U}{K\phi}$

Commande du moteur

U permet de contrôler la vitesse de rotation pour ϕ donné.

- $n \propto \dfrac{U - RI}{i}$

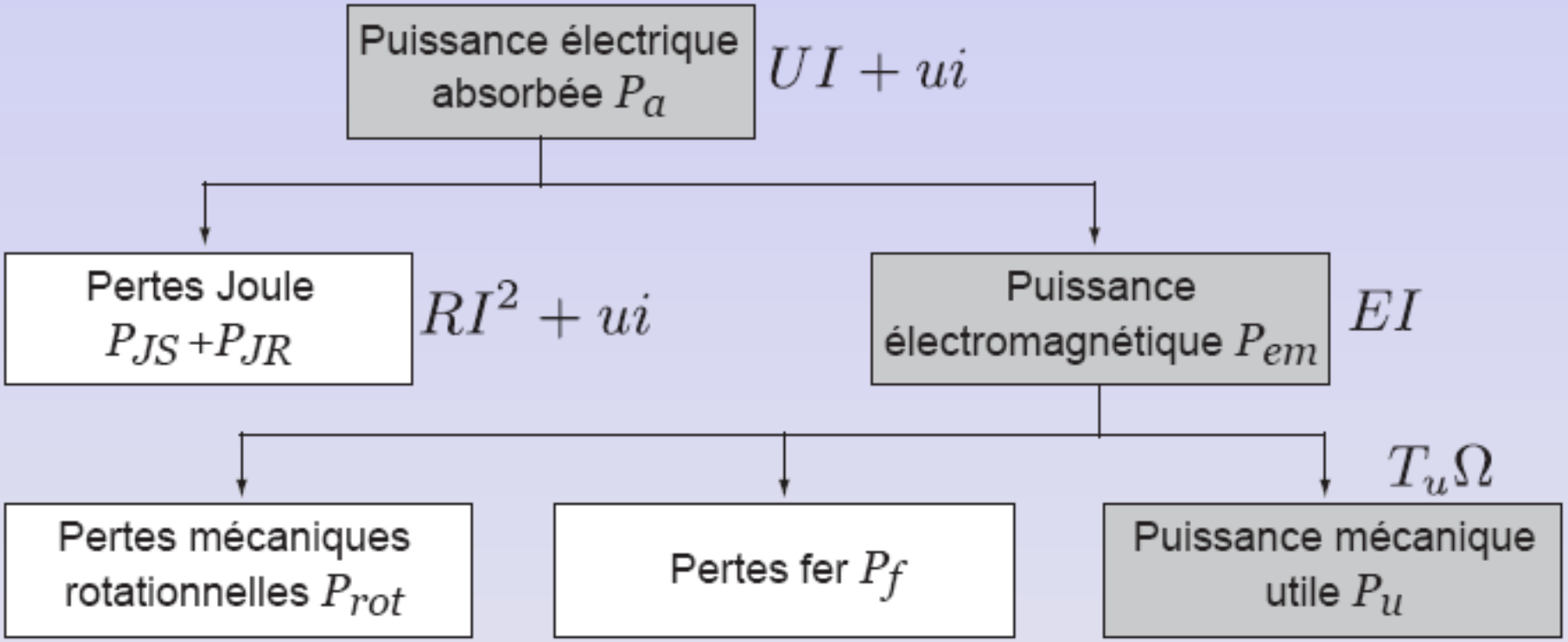
➪ $i \longrightarrow 0 \implies n \longrightarrow \infty$

Emballement du moteur

Ne <u>jamais</u> **couper l'inducteur** d'un moteur à courant continu en fonctionnement. **Risque d'emballement !**

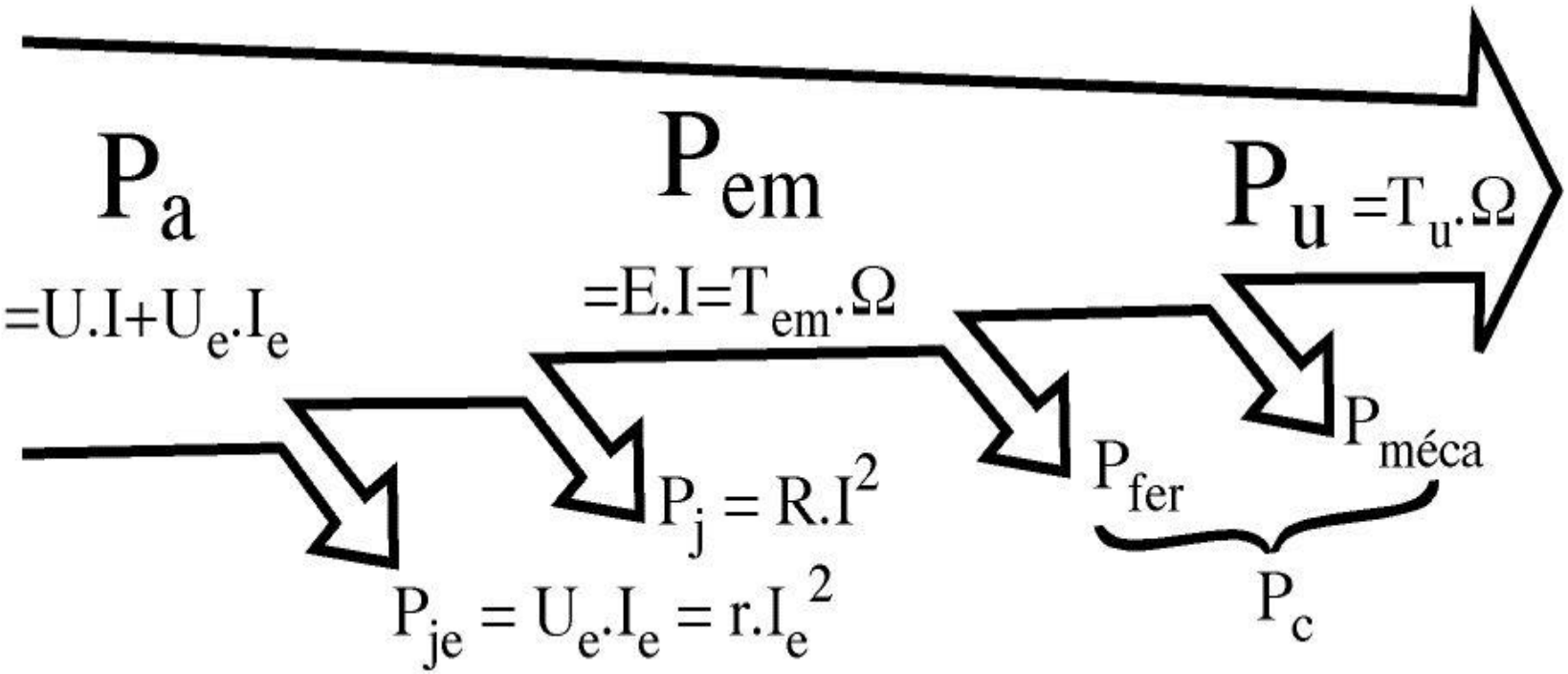
FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

Bilan des puissances du moteur à courant continu



$P_{cste} = P_{rot} + P_f$ **se mesurent** à vide (cf notes)

FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE



A vide $P_c = P_m + P_f = U_o \cdot I_o - R \cdot I_o^2$

Rendement du moteur

Définition

Le rendement η d'un moteur est le rapport entre la puissance mécanique utile P_u et la puissance électrique absorbée P_a.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \ (< 100\ \%)$$

À vide :

- Sans charge mécanique
- $P_u = 0$ (moteur inutile)
- $\eta = 0$

Couple utile d'un moteur à courant continu

$$\text{Bilan des puissances} \implies T_u \propto \phi I$$

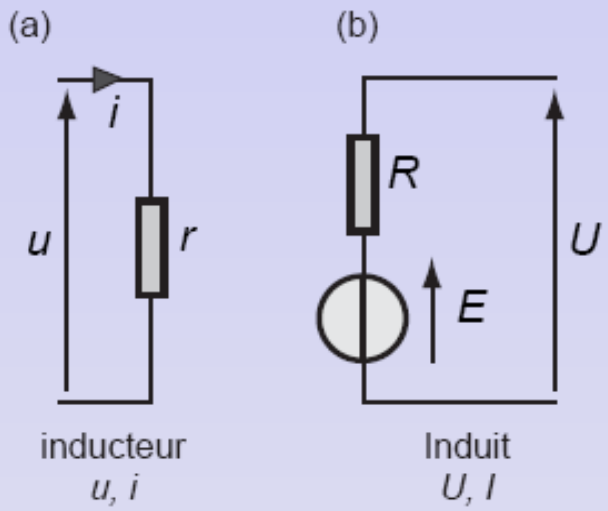
Commande du moteur

Le courant I permet de contrôler le couple moteur pour ϕ donné.

- T_u et n sont contrôlables **indépendamment**
- Faibles vitesses et forts couples
- Idéal pour le **démarrage en charge**

FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

En mode « Génératrice»

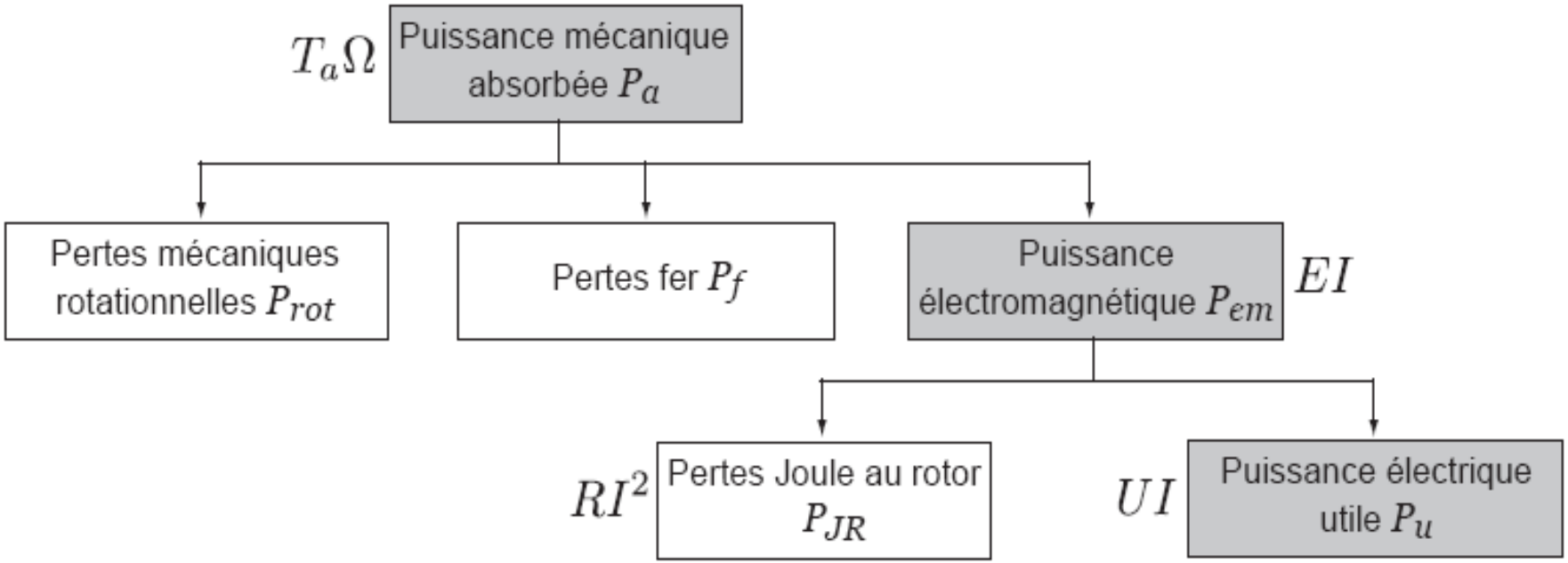


Une machine à courant continu fonctionne en mode génératrice **si et seulement si** $E > U$.

- L'induit **délivre** le courant I
- $U = E - RI \implies$ on recalcule comme précédemment

FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

En mode « Génératrice»



Détermination des pertes constantes

$$P_{a0} = P_{cste} \quad \Rightarrow \quad P_{cste} = 2\pi n_0 T_{a0}$$

FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

En mode « Génératrice»

Rendement du moteur

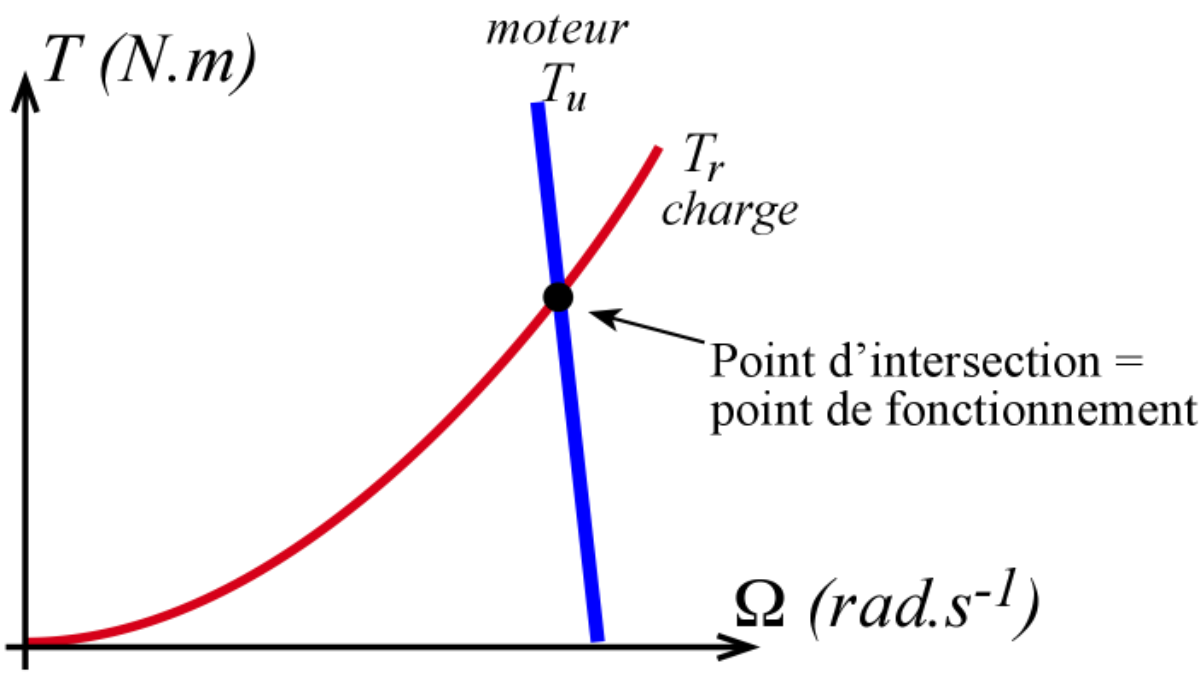
$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + P_{JR} + \underbrace{P_f + P_{rot}}_{P_{cste}}} = \frac{P_a - P_{JR} - \overbrace{(P_f + P_{rot})}^{P_{cste}}}{P_a}$$

FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

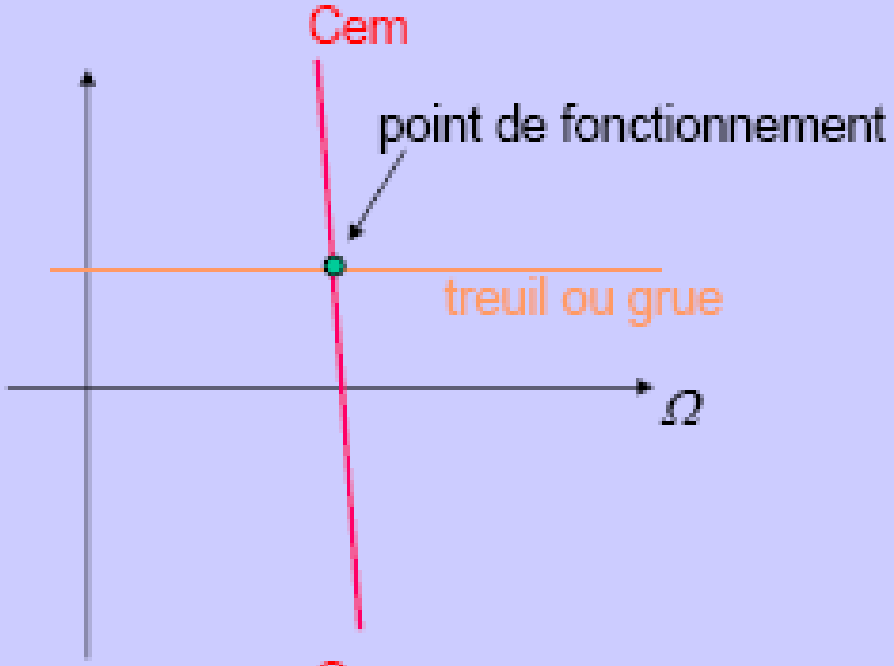
Point de fonctionnement

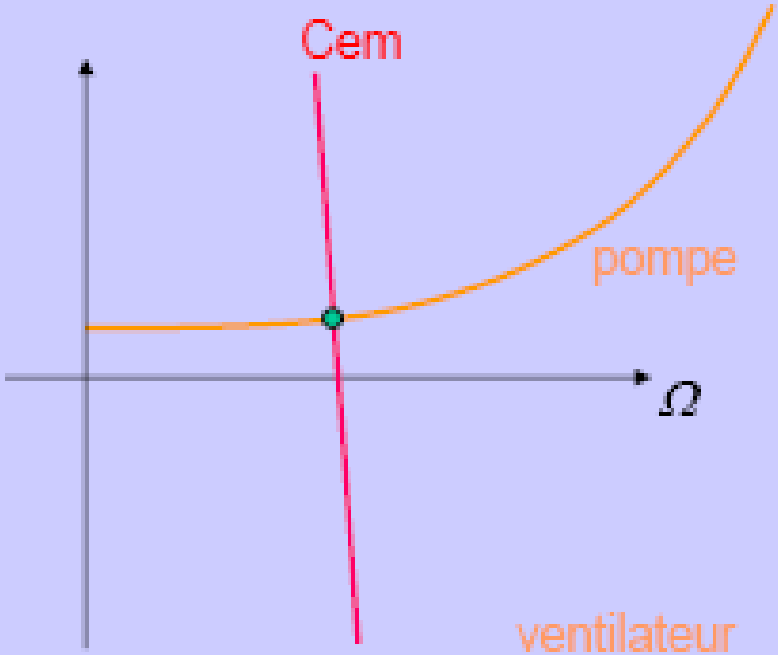
Une charge oppose au moteur un couple résistant T_r. Pour que le moteur puisse entraîner cette charge, il doit fournir un couple utile T_u de tel que :

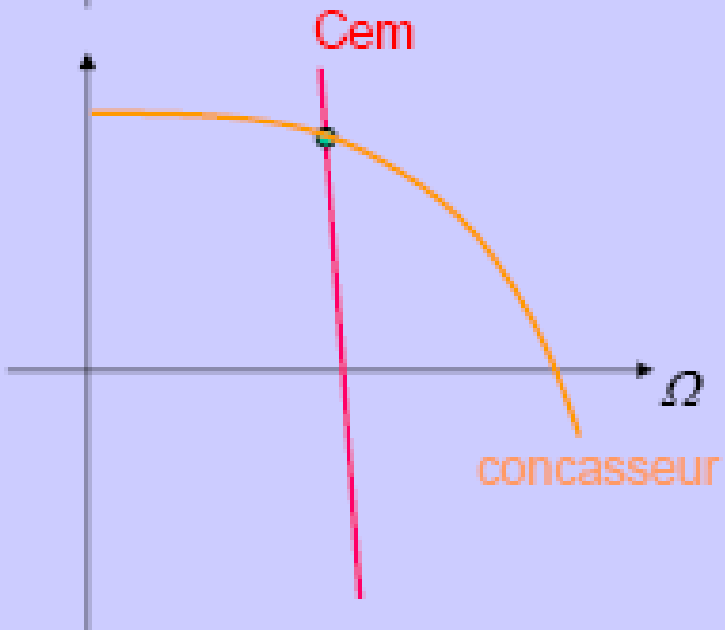
$$T_u = T_r$$

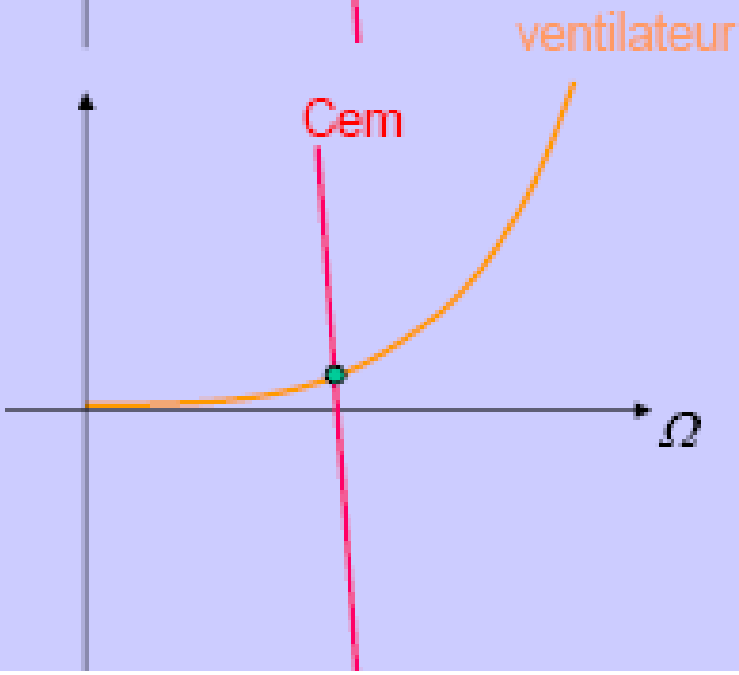


Quelques caractéristiques de charge:



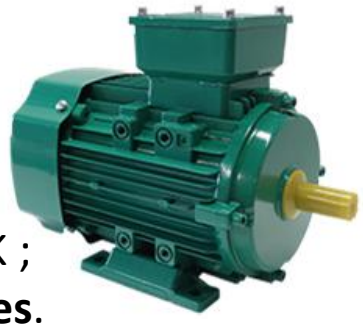






FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE

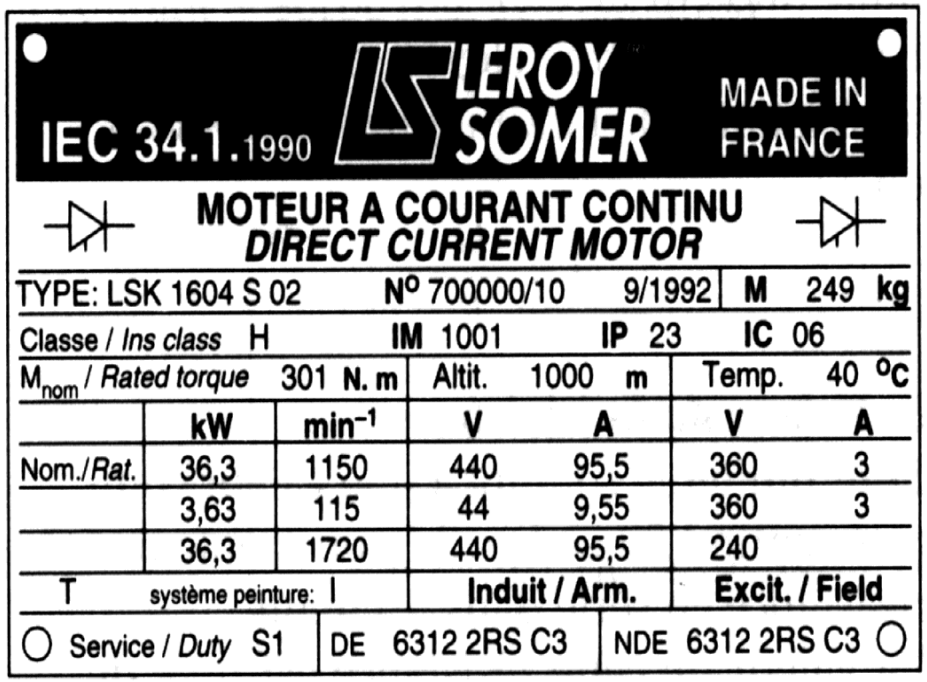
Identification d'un moteur à C.C



Exemple :

LSK 1604 indique la série LSK ;
160 de hauteur d'axe ; **4 pôles**.

- Puissance utile $\mathbf{P_u = 36{,}3\ kW}$ à **1150 trs.min^{-1}**
- Couple nominal : $\mathbf{T_u = 301\ N.m}$
- Tension nominale : **U = 440 V**
- Courant d'induit : **I = 95,5 A**
- Tension d'inducteur : $\mathbf{U_e = 360\ V}$
- Courant d'inducteur : $\mathbf{I_e = 3\ A}$



IEC 34.1.1990 LEROY SOMER MADE IN FRANCE

MOTEUR A COURANT CONTINU
DIRECT CURRENT MOTOR

TYPE: LSK 1604 S 02 | N° 700000/10 | 9/1992 | M 249 kg

Classe / *Ins class* H | IM 1001 | IP 23 | IC 06

M_{nom} / *Rated torque* 301 N. m | Altit. 1000 m | Temp. 40 °C

	kW	min^{-1}	V	A	V	A
Nom./*Rat.*	36,3	1150	440	95,5	360	3
	3,63	115	44	9,55	360	3
	36,3	1720	440	95,5	240	

T | système peinture: I | Induit / Arm. | Excit. / Field

Service / *Duty* S1 | DE 6312 2RS C3 | NDE 6312 2RS C3

Exercices

Exercice 1 :

Un moteur à excitation indépendante fonctionne sous la tension d'induit U=230 V.

En fonctionnement nominal, l'induit est parcouru par un courant d'intensité I= 40 A.

La résistance de l'induit est : R= 0,3 Ω et celle de l'inducteur est r = 120 Ω. Un essai à vide à la fréquence de rotation nominale donne les résultats suivants : U_0 = 225 V ; I_0 = 1,2 A. Sachant que la tension d'alimentation de l'inducteur est : U_e = 140 V

• Calculer le rendement du moteur.

Exercice 2 :

L'essai d'une machine à courant continu en générateur à vide à excitation indépendante a donné les résultats suivants : fréquence de rotation : n_G= 1500 tr/min ; intensité du courant d'excitation Ie = 0,52 A ; tension aux bornes de l'induit : U_{G0} = 230 V.

La machine est utilisée en moteur. L'intensité d'excitation est maintenue constante quelle que soit le fonctionnement envisagé. La résistance de l'induit est R =1,2 W.

1. le moteur fonctionne à vide; l'intensité du courant dans l'induit est I_0 = 1,5 A et la tension à ces bornes est U_0 = 220 V Calculer :

- la force électromotrice.
- les pertes par effet joule dans l'induit.
- la fréquence de rotation.
- la somme des pertes mécaniques et des pertes fer.
- le moment du couple de pertes correspondant aux pertes mécaniques et pertes fer. Ce moment sera supposé constant par la suite.

2. Le moteur fonctionne en charge. La tension d'alimentation de l'induit est U=220 V et l'intensité du courant qui le traverse est I=10 A. Calculer :

- la force électromotrice
- la fréquence de rotation.
- le moment du couple électromagnétique.
- le moment du couple utile.
- la puissance utile.