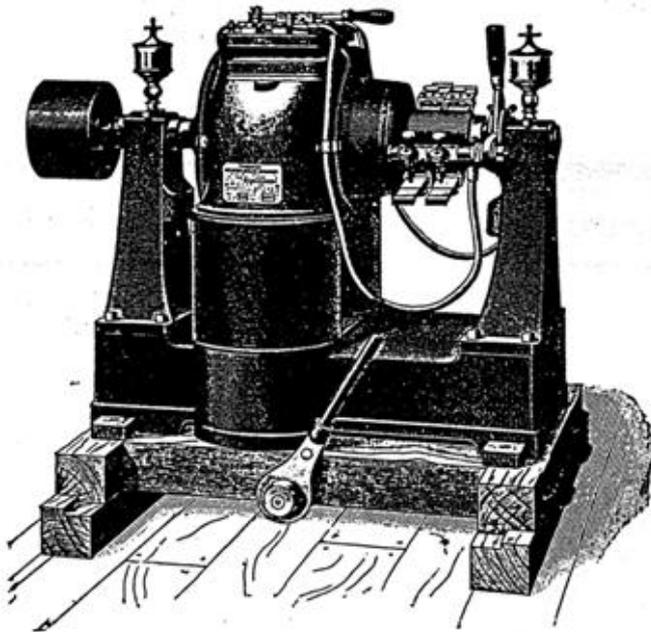


Conversion électromécanique d'énergie

Partie 2

Machine à collecteur mécanique



SOMMAIRE

1/ Principe général et conditions de fonctionnement

2/ Inducteur

2.1/ Inducteur bobiné

2.2/ Inducteur à aimants permanents

3/ Induit et collecteur

Principe

Induits élémentaires

Induit réel

Les différents types de bobinage d'induit

Calcul d'un bobinage d'induit

4/ Fem et réaction magnétique d'induit (RMI)

5/ Chutes de tension

6/ Problèmes liés à la commutation et solutions

7/ Modélisation en régime permanent

Différents mode d'excitation

Equations générales et modèles électriques

Fonctionnement en générateur

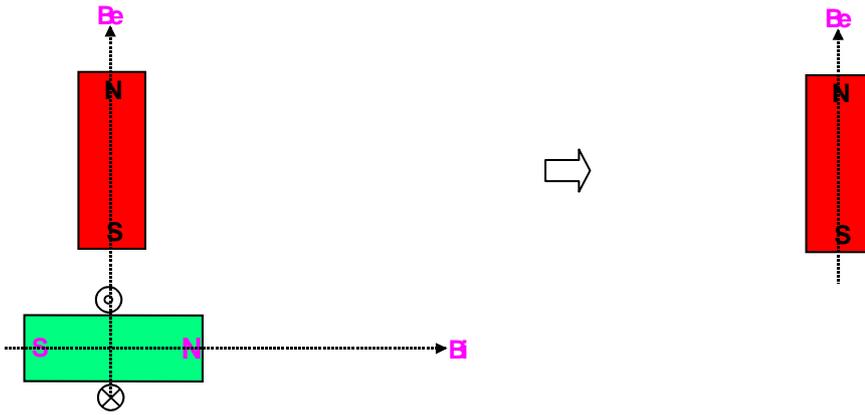
Fonctionnement en moteur

8/ Détermination expérimentale des paramètres

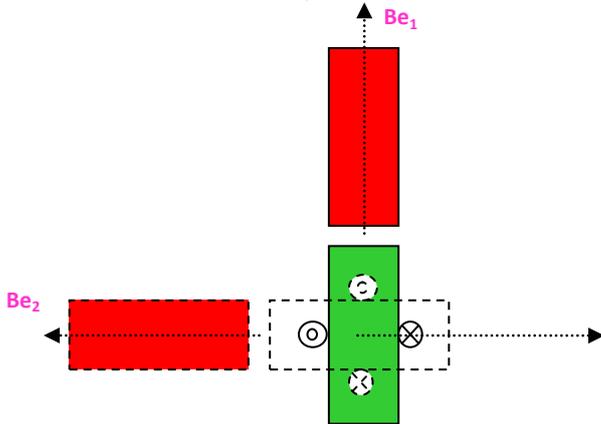
9/ Le moteur universel

1/ Principe général et conditions de fonctionnement

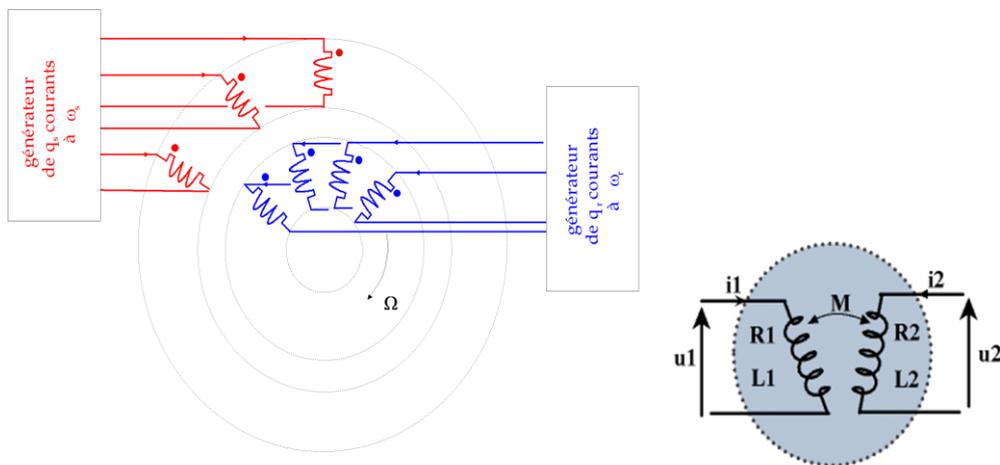
a/ Machine à 1 spire mobile



b/ Machine à 2 spires mobiles



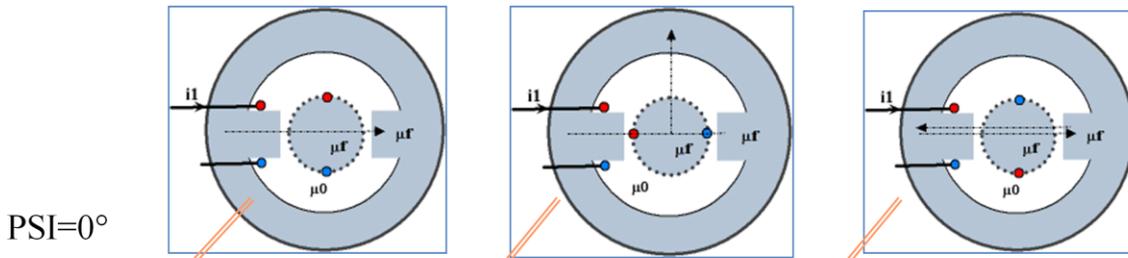
Machine à deux sources d'alimentation



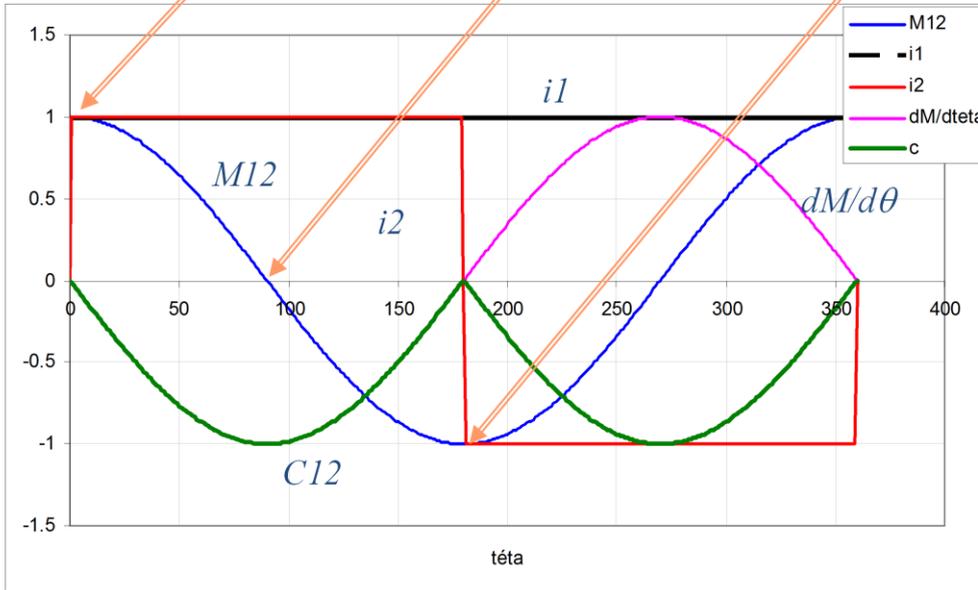
Machine élémentaire

$$c = \underbrace{\frac{1}{2} i_1^2 \frac{dL_1}{d\theta}}_{\text{couple réluctant}} + \underbrace{\frac{1}{2} i_2^2 \frac{dL_2}{d\theta}}_{\text{couple de détente}} + \underbrace{i_2 i_1 \frac{dM}{d\theta}}_{\text{couple hybride}}$$

c/ Machine élémentaire (1spire)



PSI=0°



$$M = M_{\max} \cos\theta$$

$$\frac{dM}{d\theta} = -M_{\max} \sin\theta$$

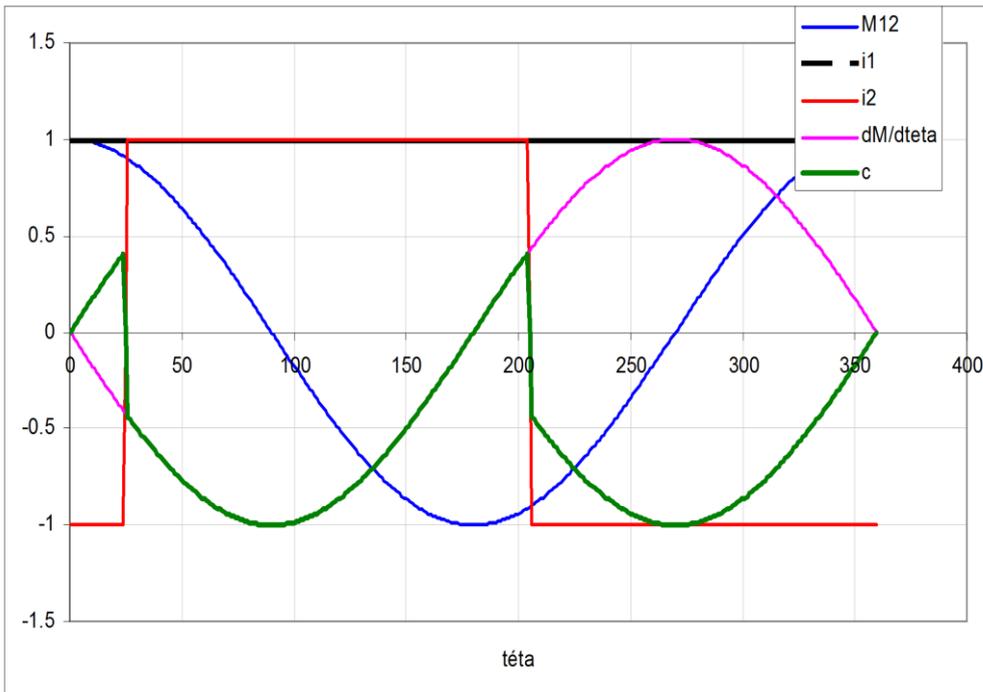
$$c_{\text{moy}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} c d\theta = \frac{2}{\pi} I_1 I_2 M_{\max}$$

$$c_{\max} = I_1 I_2 M_{\max}$$

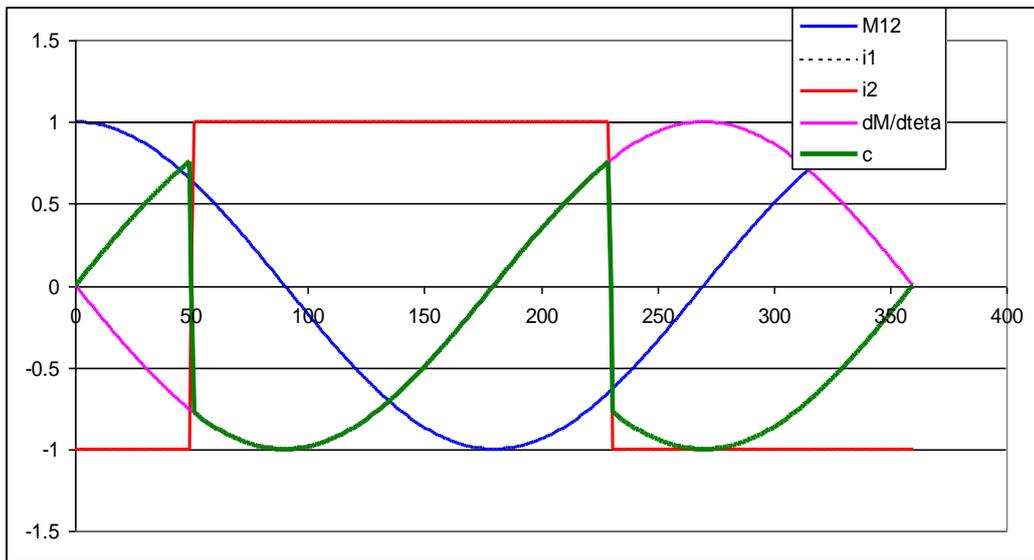
$$M_{12} I_1 = n_2 \Phi_{12}$$

8

d/ Décalage de l'alimentation

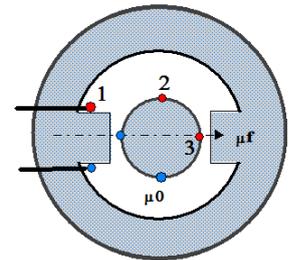
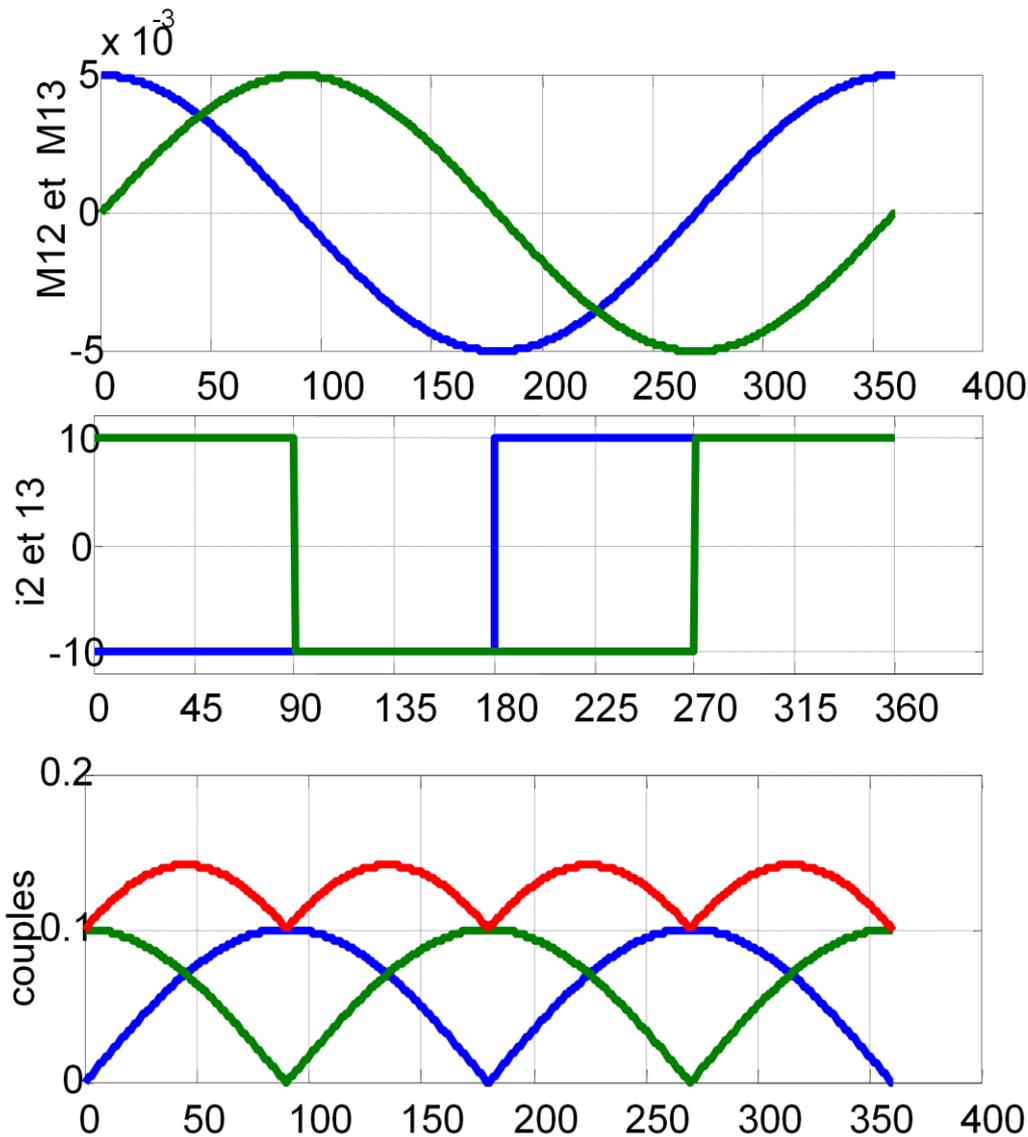


Ψ=25°

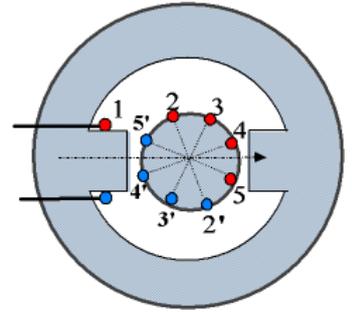
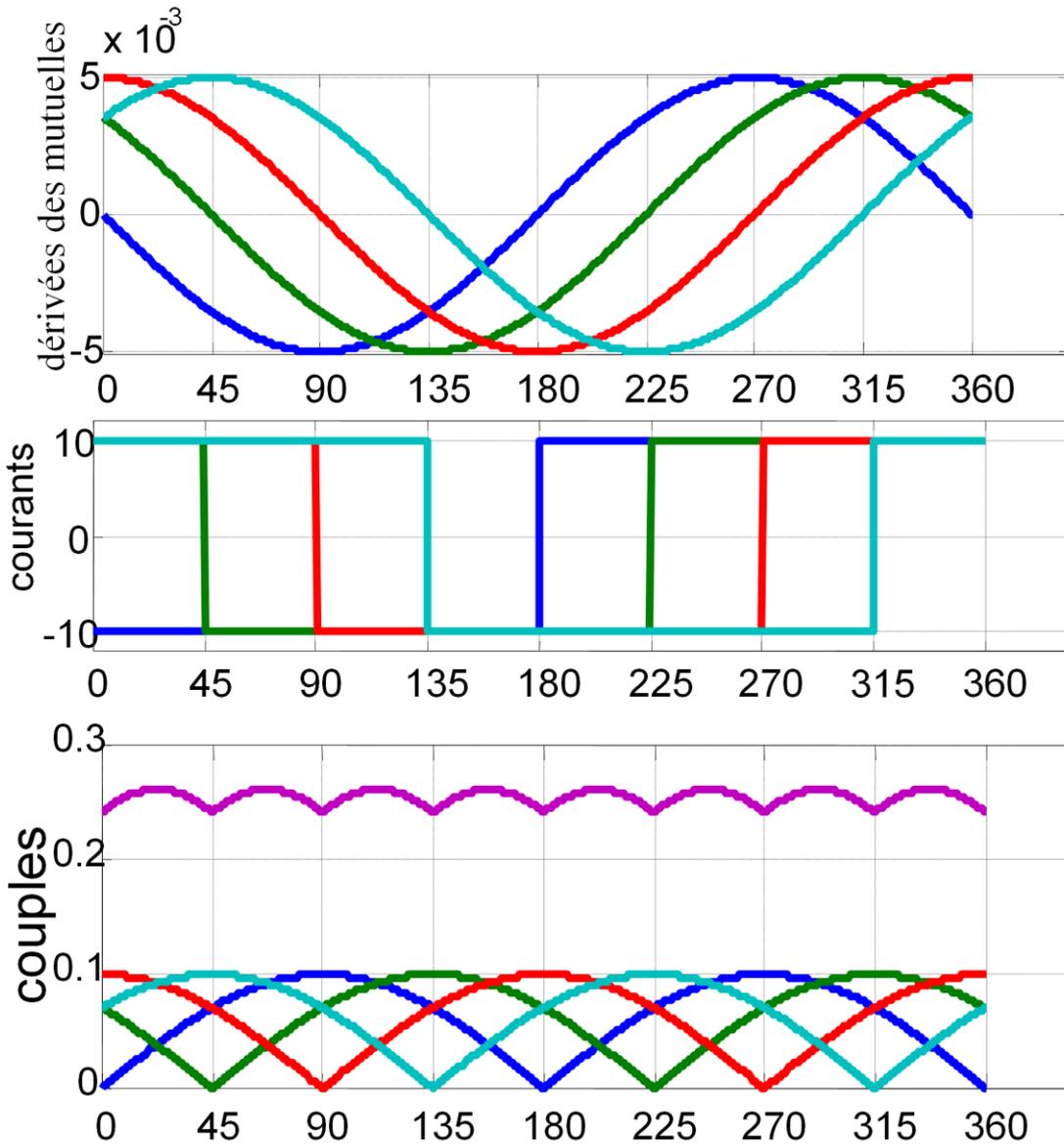


$$\Psi = 25^\circ$$

e/ Machine à 2 spires



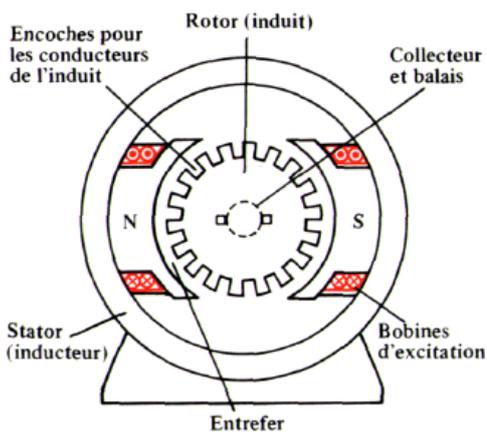
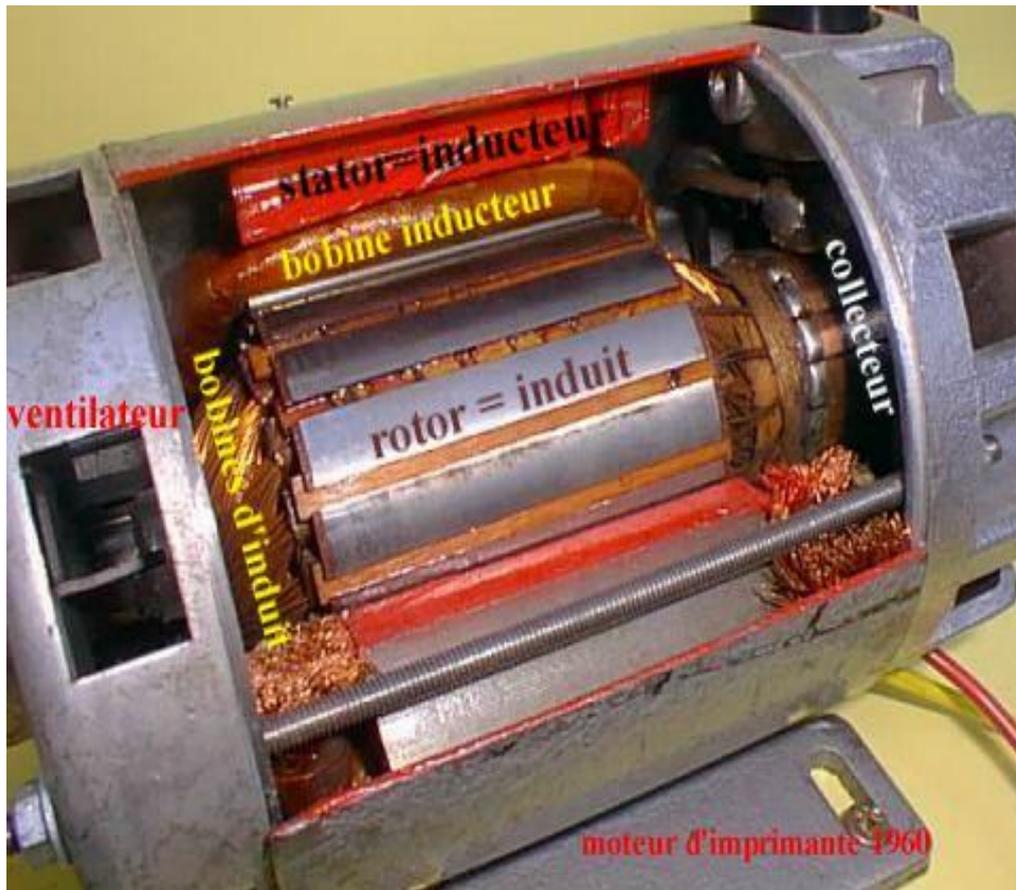
f/ Machine à 4 spires



Couple machine

C=

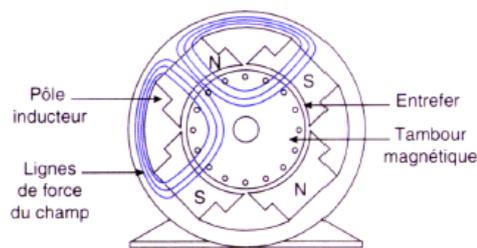
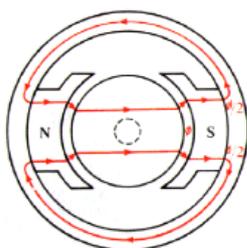
2/ Constitution



Circuit magnétique d'un moteur bipolaire

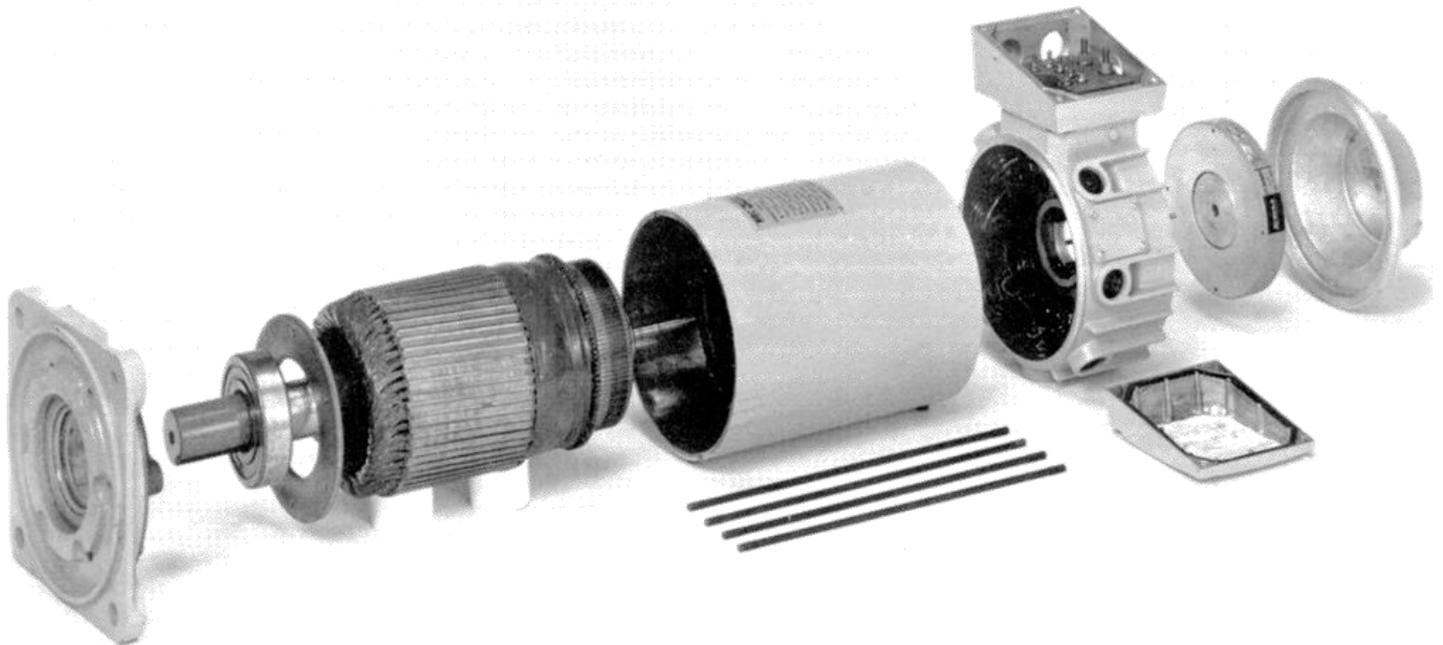
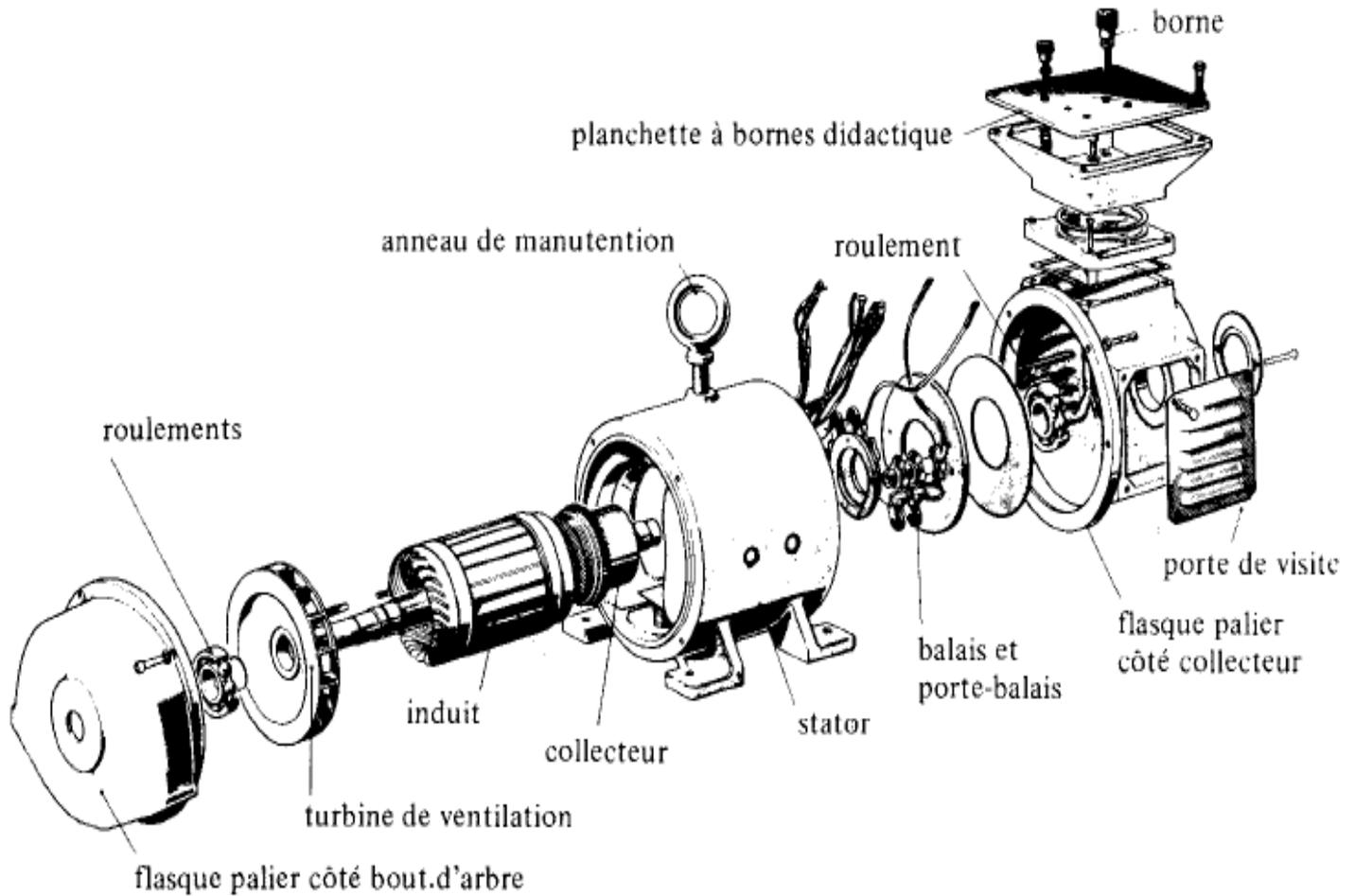
Le moteur comprend :

- un **circuit magnétique** comportant une partie fixe, le stator, une partie tournant, le rotor et l'entrefer l'espace entre les deux parties.
- une source de champ magnétique nommée **l'inducteur** (le stator) crée par un bobinage ou des aimants permanents
- un circuit électrique **induit** (le rotor) subit les effets de ce champ magnétiques
- le **collecteur** et les **balais** permettent d'accéder au circuit électrique rotorique



Circuit magnétique d'un moteur tétrapolaire

Structure MCC faible et moyenne puissance



Structure MCC forte puissance

(1) : Induit avec ses encoches recevant les conducteurs en cuivre (absents ici) perforés axialement pour son refroidissement

(2) : Collecteur

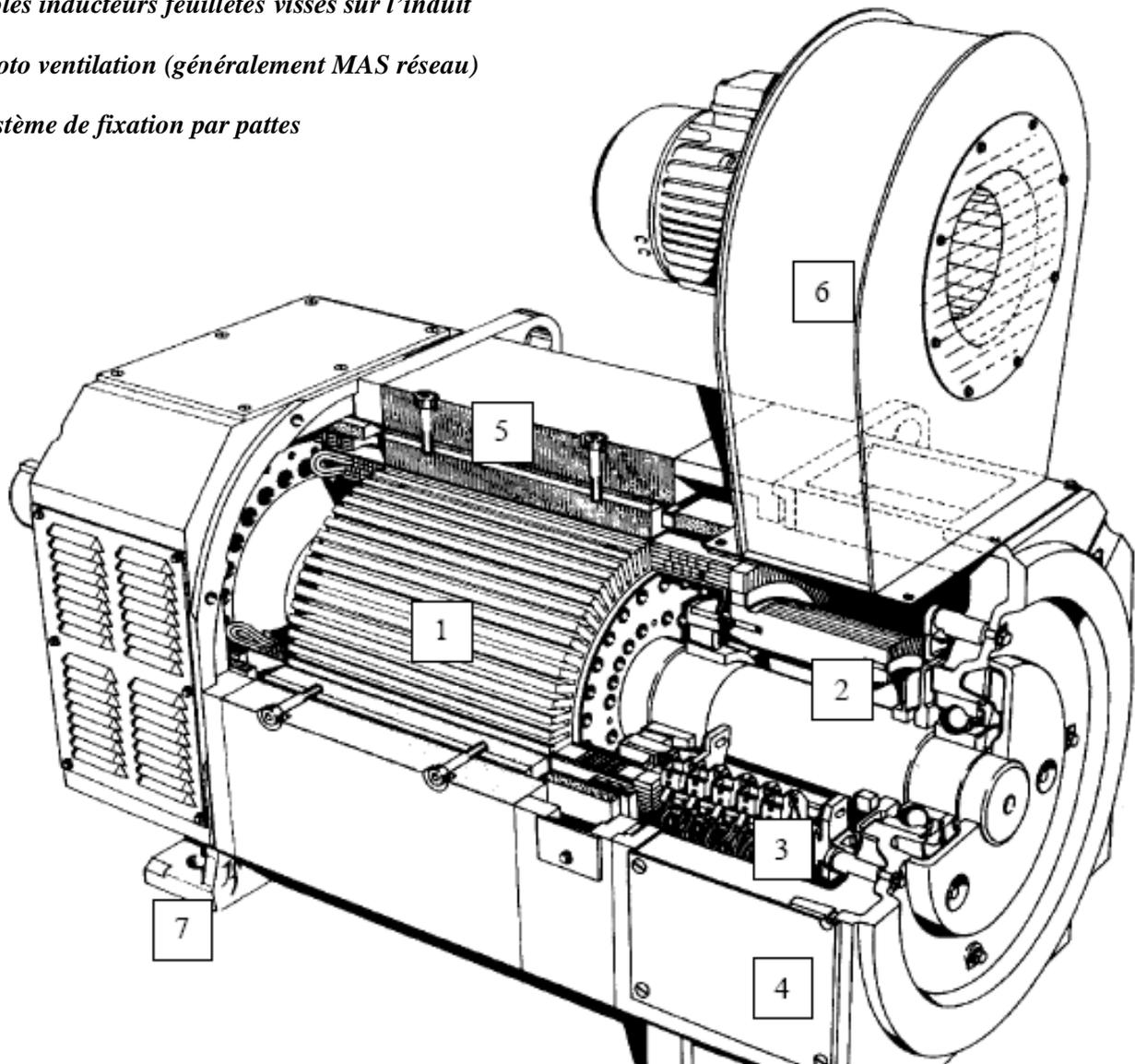
(3) : Ensemble porte-balais/balais

(4) : Trappe de visite pour la maintenance

(5) : Pôles inducteurs feuilletés vissés sur l'induit

(6) : Moto ventilation (généralement MAS réseau)

(7) : système de fixation par pattes



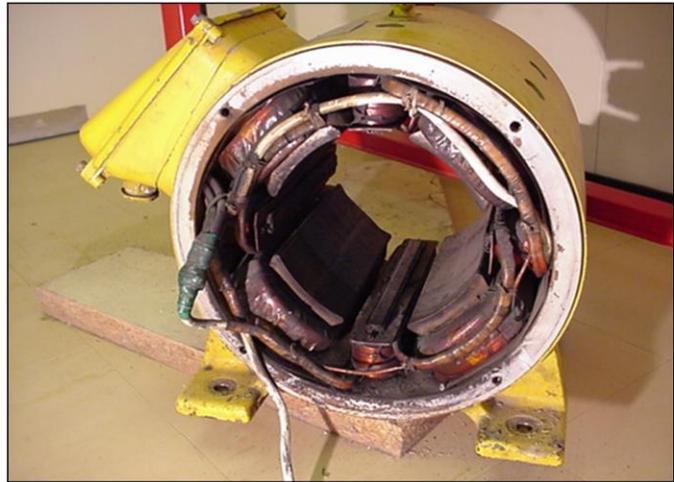
3/ Inducteur



Deux types d'excitation sont utilisées, soit :

- à **aimants permanents**. Les pertes joules sont supprimées mais l'excitation magnétique est fixe. Dans les grosses machines, le coût des aimants pénalise cette solution.

- à **enroulements et pièces polaires**. Le réglage de l'excitation rend possible le fonctionnement en sur vitesse. Pour les grosses machines, le montage de *pôles auxiliaires* améliore la commutation du courant dans les conducteurs de l'induit.



4/ Induit et collecteur



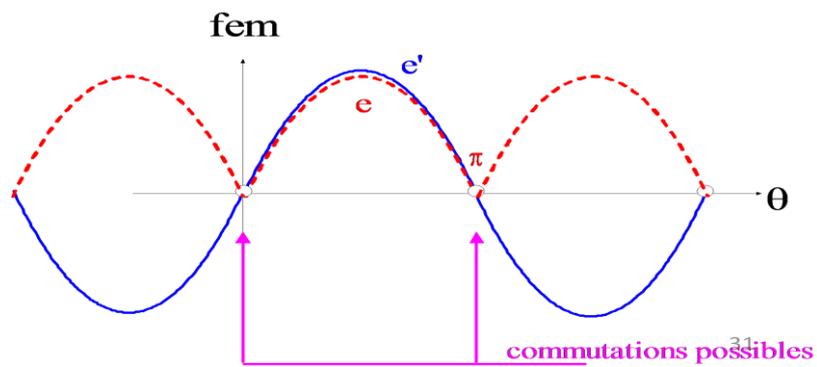
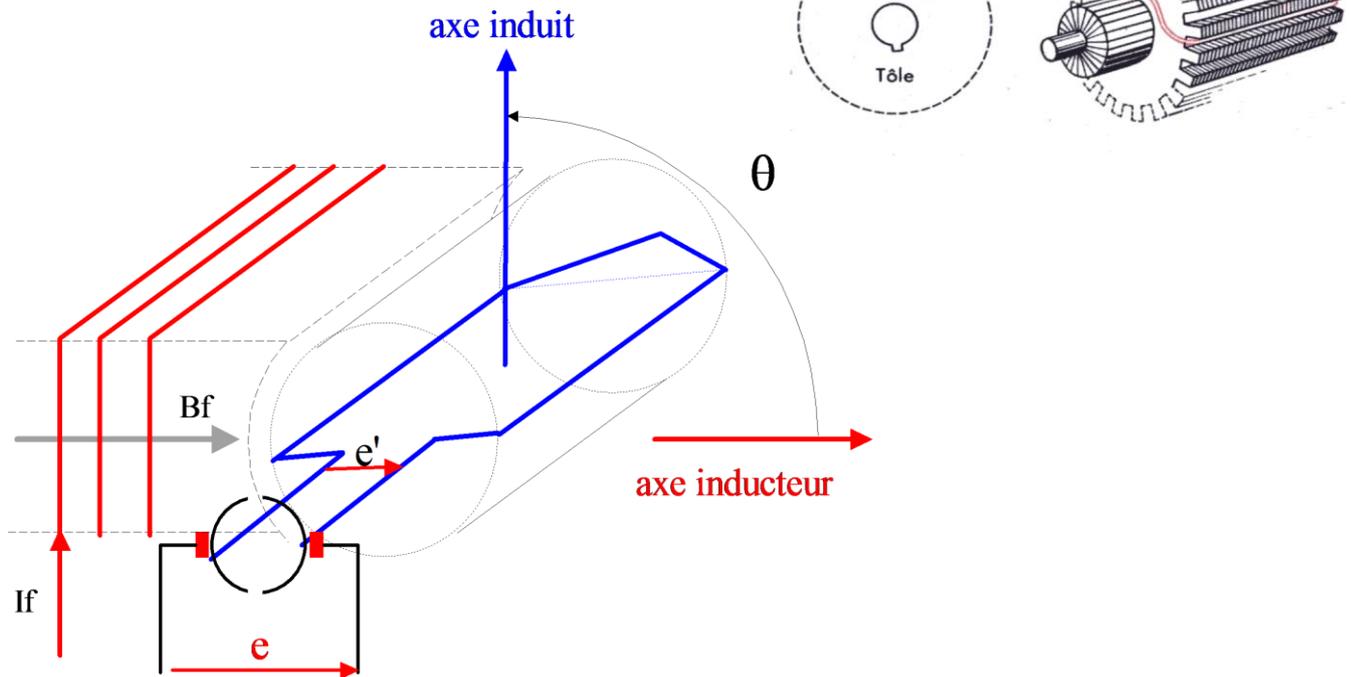
Les balais assurent la liaison électrique (contact glissant) entre la partie fixe et la partie tournante. Pour des machines de forte puissance, la mise en parallèle des balais est alors nécessaire.

Pour des raisons d'économie, ils doivent avoir une durée de vie aussi longue que possible et assurer un bon contact électrique. Différentes technologies existent : les balais au charbon dur, les graphitiques, les électro-graphitiques, et les métallo-graphitiques. On peut considérer que dans un contact glissant les pertes sont de nature mécanique à 35% et de nature électrique à 65%.

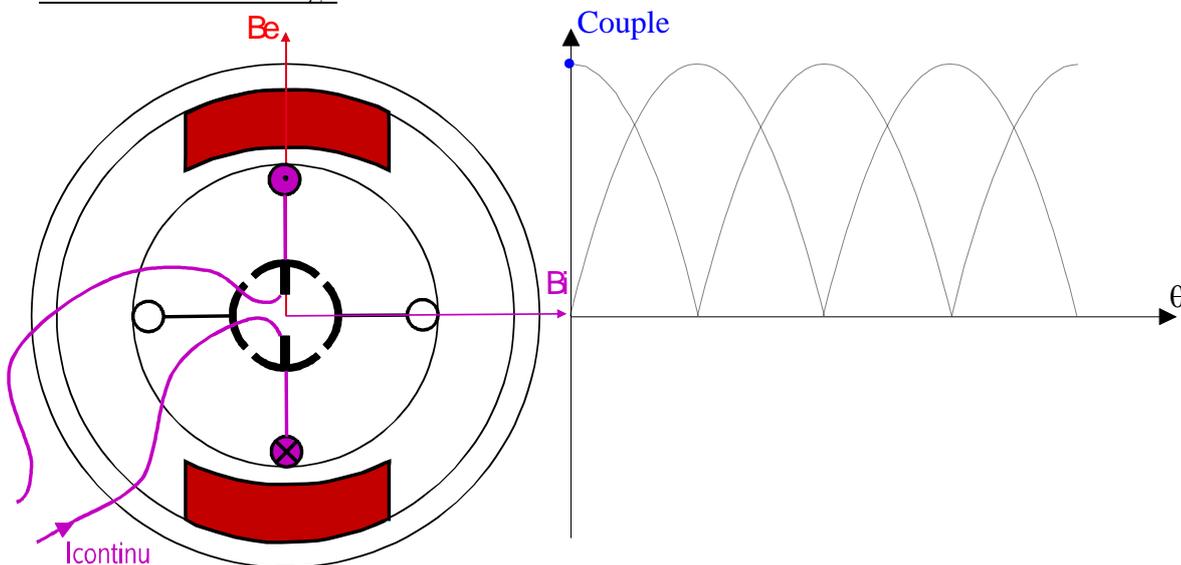


a/ Principe générale

Fonctionnement à vide



Fonctionnement à charge



Avantages et inconvénient :

Le collecteur (élément peu coûteux) joue le double rôle :



- **Onduleur/redresseur**
- **Capteur de position**

Mais ...



- Usure (limitation de la vitesse et du courant d'induit ainsi que la durée de vie)
- Pollution magnétique (arc) et acoustique (bruit) et atmosphérique (poussière)
- Pertes mécaniques et électriques dues aux contacts
- Non utilisation en milieux explosifs
- Inertie importante (sauf moteurs spéciaux)

Partie puissance est tournante et confinée : problème de refroidissement
 Commutation par mécanique : limitation de la vitesse et du courant commuté

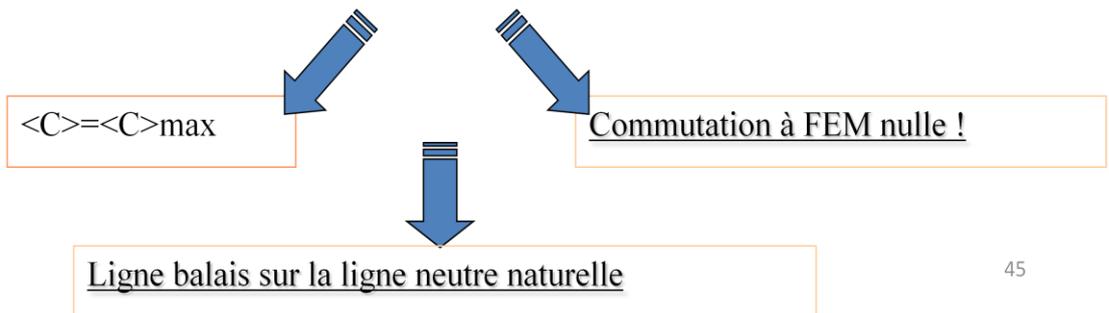
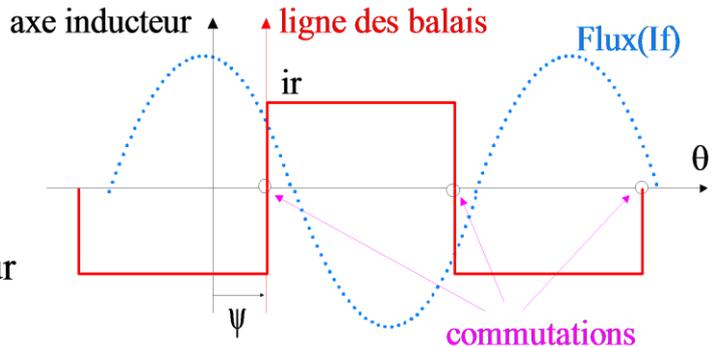
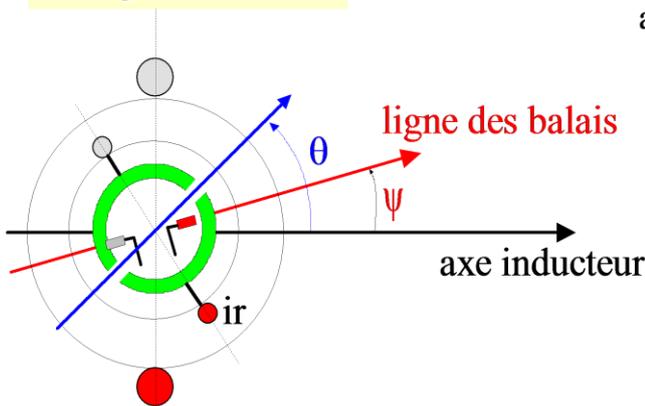


limitation du produit (Puissance*Vitesse) = 1 GW.tr/min.

44

Balais-collecteur

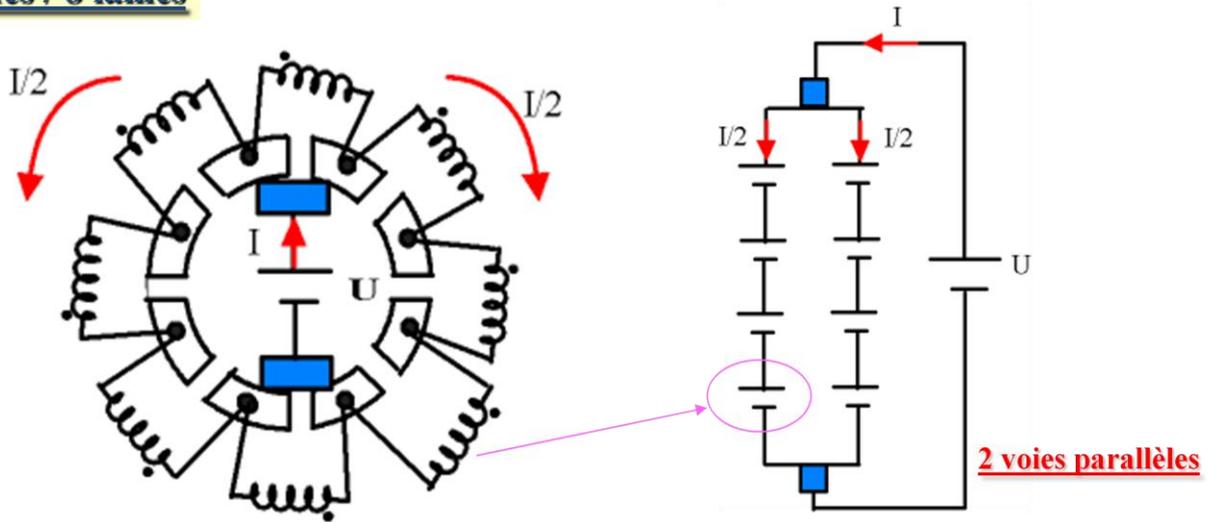
Calage des balais :



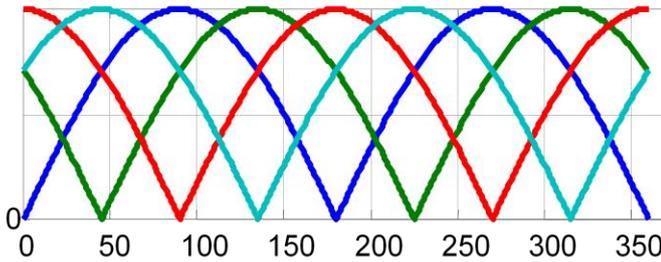
45

b/ Différents type de bobinage

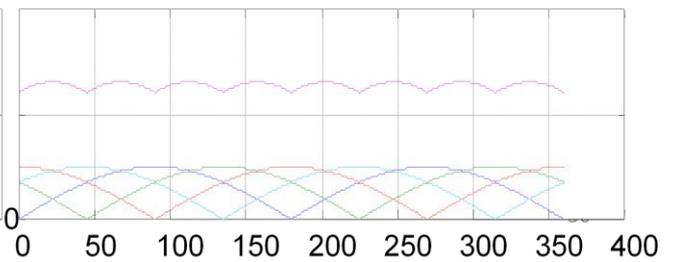
8 bobines / 8 lames



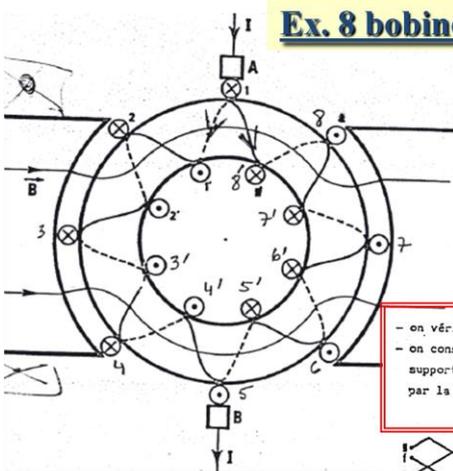
FEM redressées par le collecteur



FEM aux bornes de l'induit



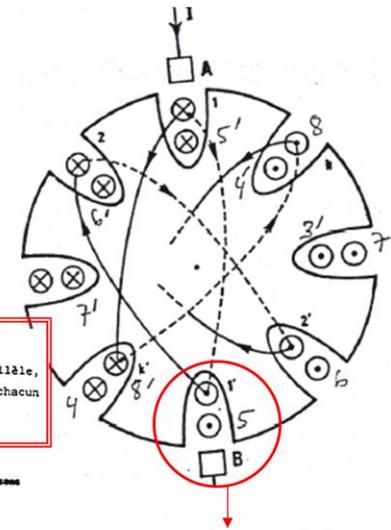
Ex. 8 bobines / 8 lames



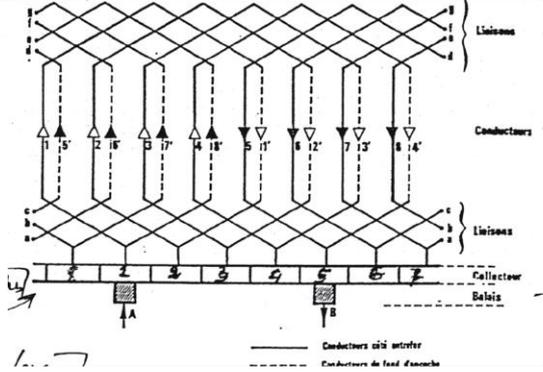
Induit de Gramme

Représentation panoramique

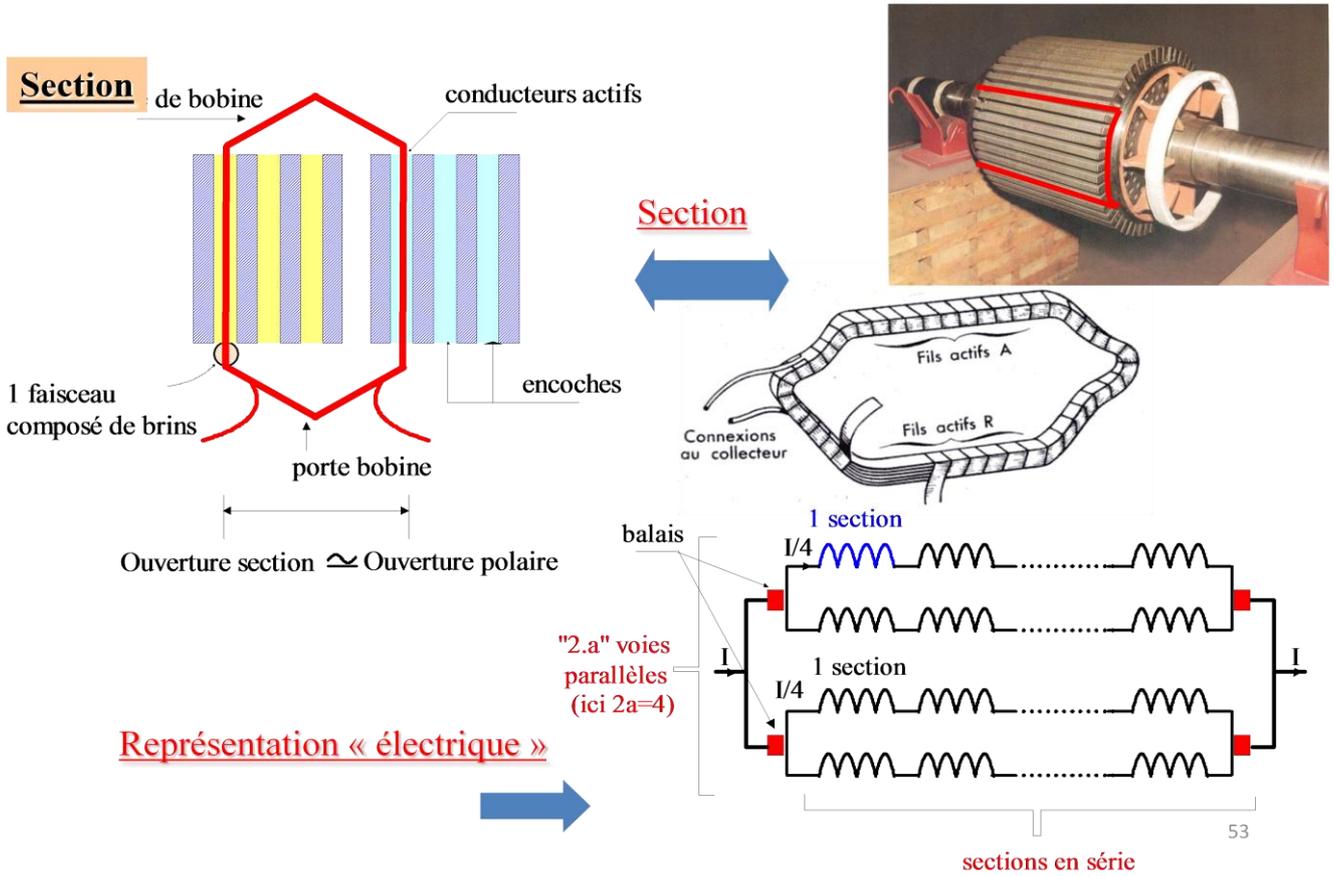
Induit réel



- on vérifie bien que le bobinage est fermé,
- on constate qu'entre les balais A et B on a deux circuits en parallèle, supportant donc chacun la totalité de la tension, mais parcourus chacun par la moitié du courant total.



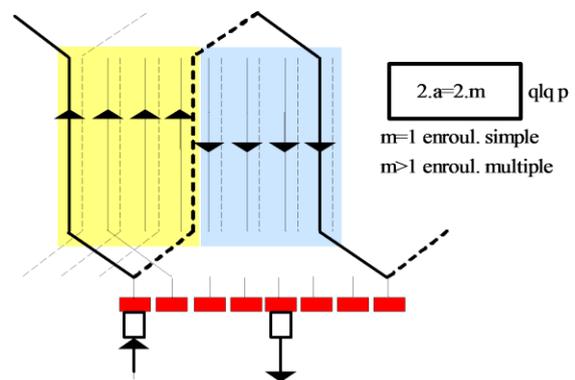
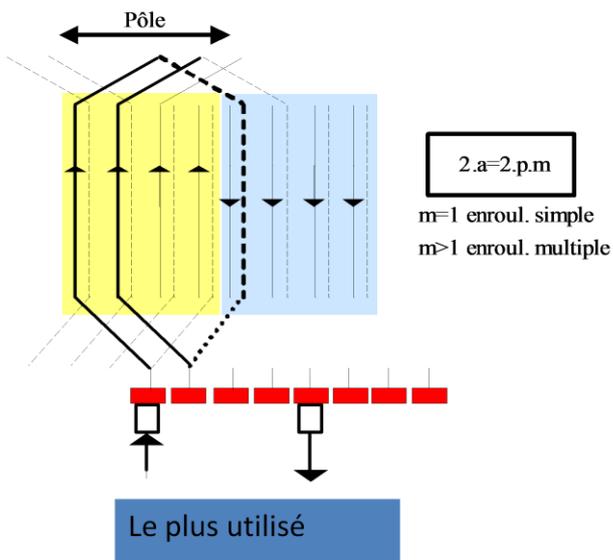
c / Technologie de bobinage



d/ Deux types de bobinage

Imbriqué (ou parallèle)

Ondulé (ou série)



Cas $m=1$ (simple)

Cas $m=1$ (simple)

58

5/ Réaction magnétique d'induit

Φ dépend-il aussi de I_a ??

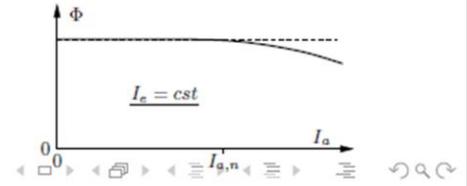
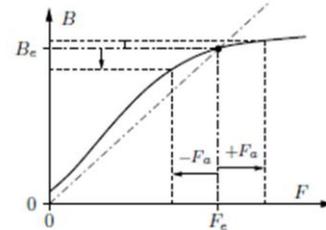
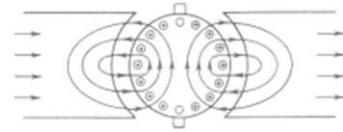
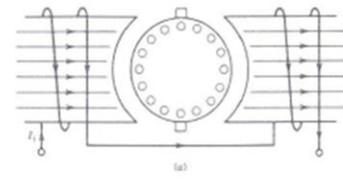
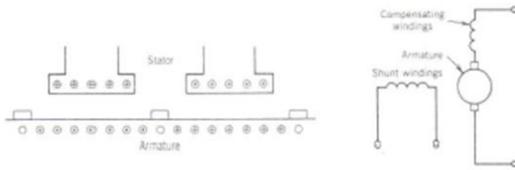
lorsque le fer n'est pas saturé, **NON**
le principe de superposition est d'application :

$$\Phi(I_e, I_a) = \Phi(I_e, 0) + \underbrace{\Phi(0, I_a)}_{=0} = \Phi(I_e, 0) \quad (3)$$

en saturé, **OUI**, dans une certaine mesure
suite à la saturation non uniforme :

$$|\Phi(I_e, I_a)| \leq |\Phi(I_e, 0)| \quad (4)$$

un enroulement de compensation réduit
largement cet effet mais n'est pas gratis



Le phénomène :

Conséquences :

1- Saturation des cornes polaires :

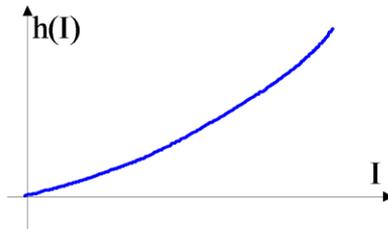
diminution du flux en charge

$$\Phi_c = \Phi_0 - \Delta\Phi(I)$$

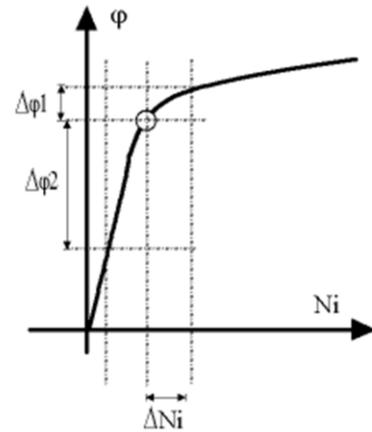
$$h(I) = k\Omega\Delta\Phi(I) \text{ chute de tension due à la RMI}$$

$$k = \frac{p \cdot n}{a \cdot 2\pi}$$

non-linéaire

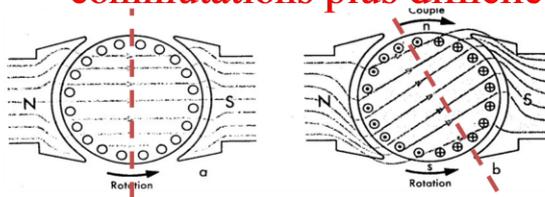


L'induction a été renforcée d'un côté et affaiblie de l'autre. A cause de la saturation, l'affaiblissement du flux est plus important que son renforcement !



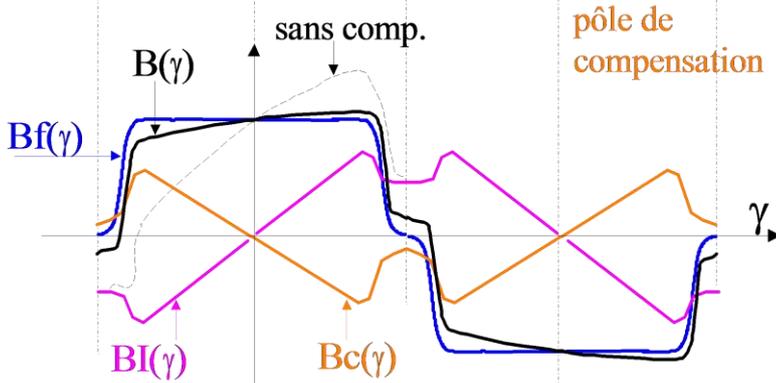
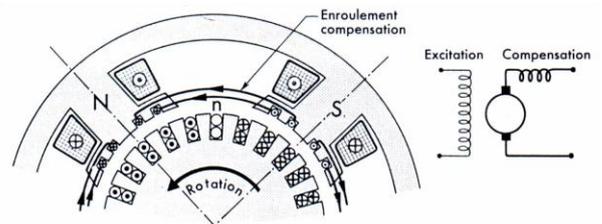
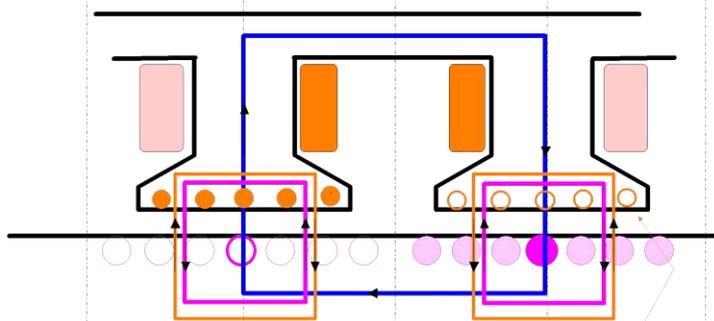
2- Décalage de la ligne neutre :

commutations plus difficile



62

Compensation :



Bobines de compensation

63

Autre méthode de compensation

● Sur les machines sans enroulement de compensation, on réduit

l'effet des a.t. transversaux en augmentant l'entrefer sous les cornes polaires (fig. 14 a), donc là où la f.m.m. de réaction est forte. On utilise même parfois un entrefer progressif, c'est-à-dire augmentant au fur et à mesure qu'on s'écarte de l'axe des pôles (fig. 14 b).

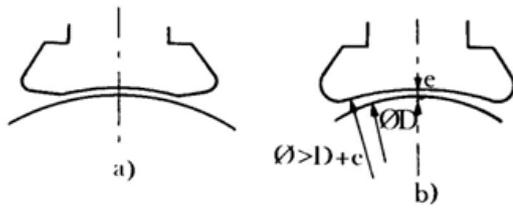
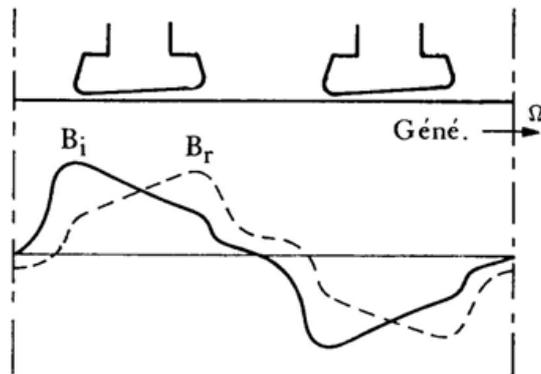


Fig. 14

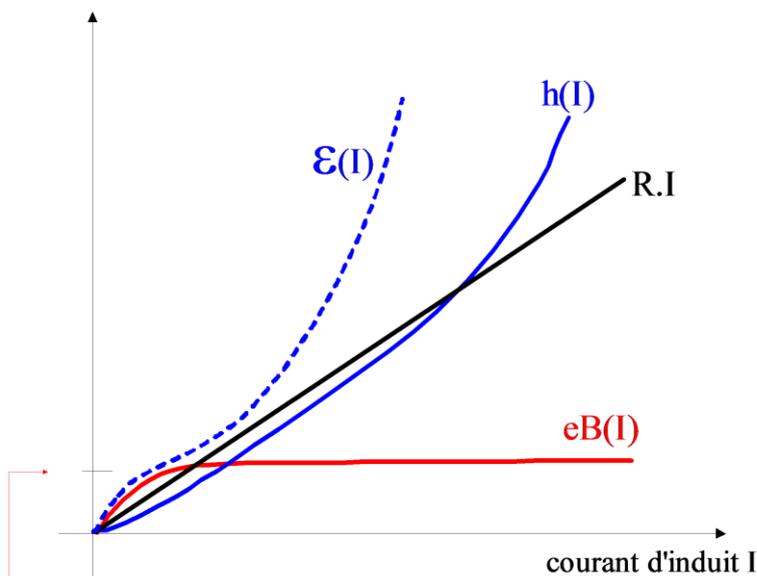


● Il n'y a que dans le cas extrêmement rare de petites machines tournant toujours dans le même sens et où le courant dans l'induit a toujours le même sens qu'on pourrait utiliser des entrefers excentrés (fig. 15).

Fig. 15

6/ Autres chutes de tension

- * contacts balais-lames : eB
- * résistance induit : $R.I$



$h(I)$: Chute de tension due à la RMI (pour machine non compensée)

$\epsilon(I)$: Chute de tension d'induit totale

1.5 à 3 V qui dépend de :

- * état de surface
- * matériaux (balais en graphite, avant en cuivre)
- * pression : $qlq \text{ N/cm}^2$