

# **Chapitre 5 : LE MOTEUR ASYNCHRONE**

- 1. Principe de fonctionnement**
- 2. Le champ magnétique dans les machines tournantes**
- 3. Le moteur asynchrone à rotor bobiné**
- 4. Le moteur asynchrone à cage**
- 5. Le moteur d'induction monophasé**
- 6. Démarrage, freinage et réglage de vitesse**

# Machine d'induction à rotor bobiné

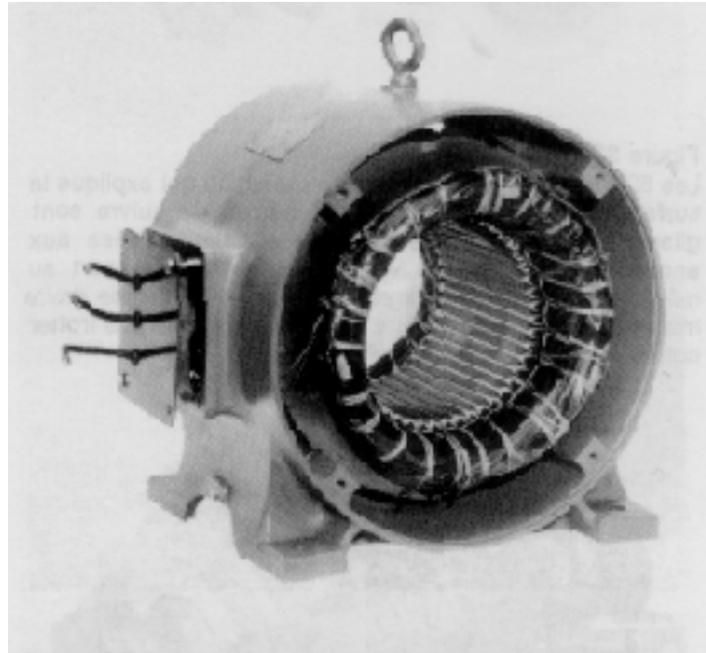
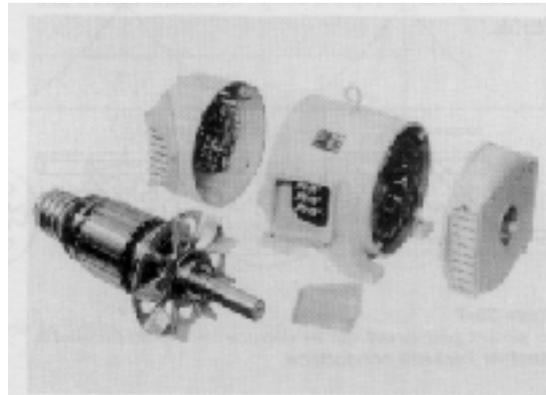


Figure 33-1

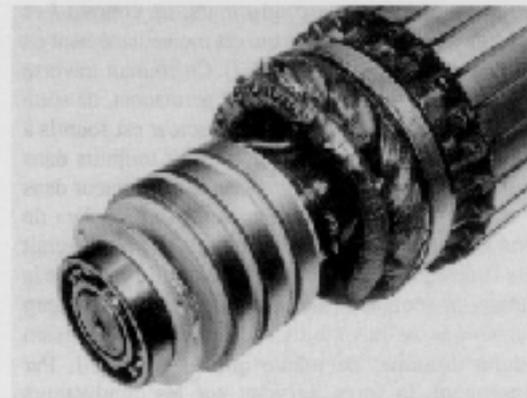
Vue du stator d'un moteur d'induction triphasé à cage d'écurieil de 2 kW, 1725 r/min. Les bobines du stator sont serrées dans les 48 encoches par des cales de fibre. Ensuite, le tout est trempé dans un vernis chaud qui pénètre jusqu'au fond des encoches et imprègne le bobinage au complet. Il en résulte une masse solide pouvant résister aux vibrations tout en offrant une bonne conduction de la chaleur vers l'extérieur de la machine. Les trois phases sont connectées en étoile et seulement trois fils sortent à l'extérieur. (Brook Crompton-Parkinson Ltd.)

## Constitution

# Machine d'induction à rotor bobiné



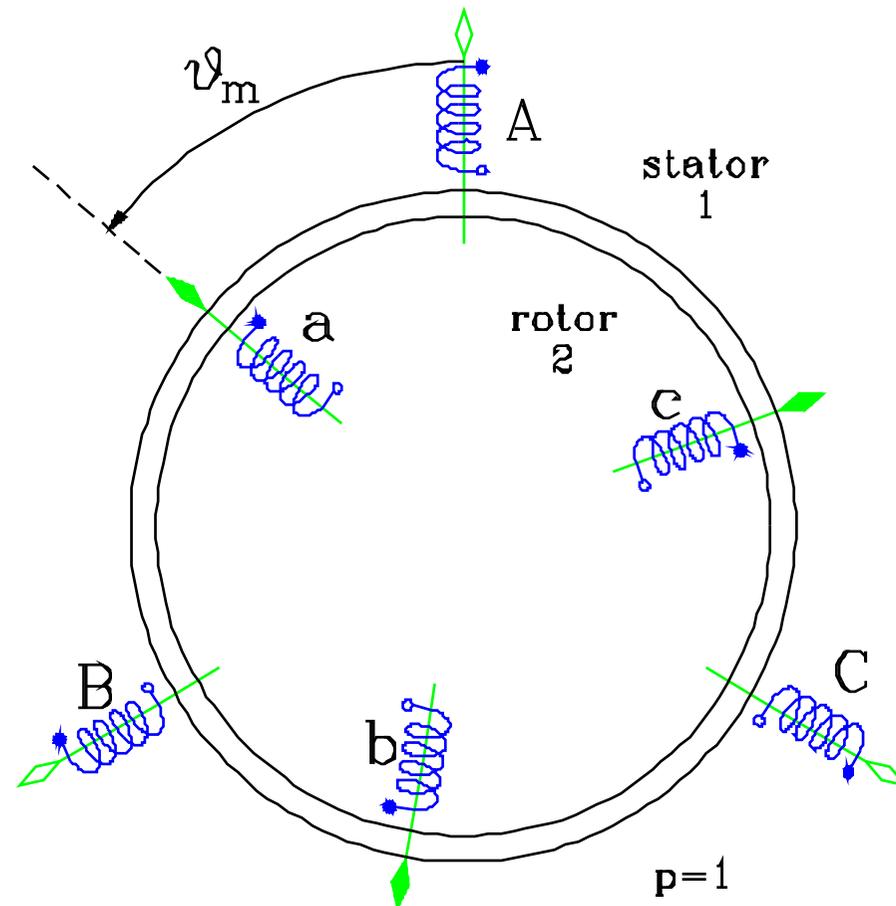
(a)



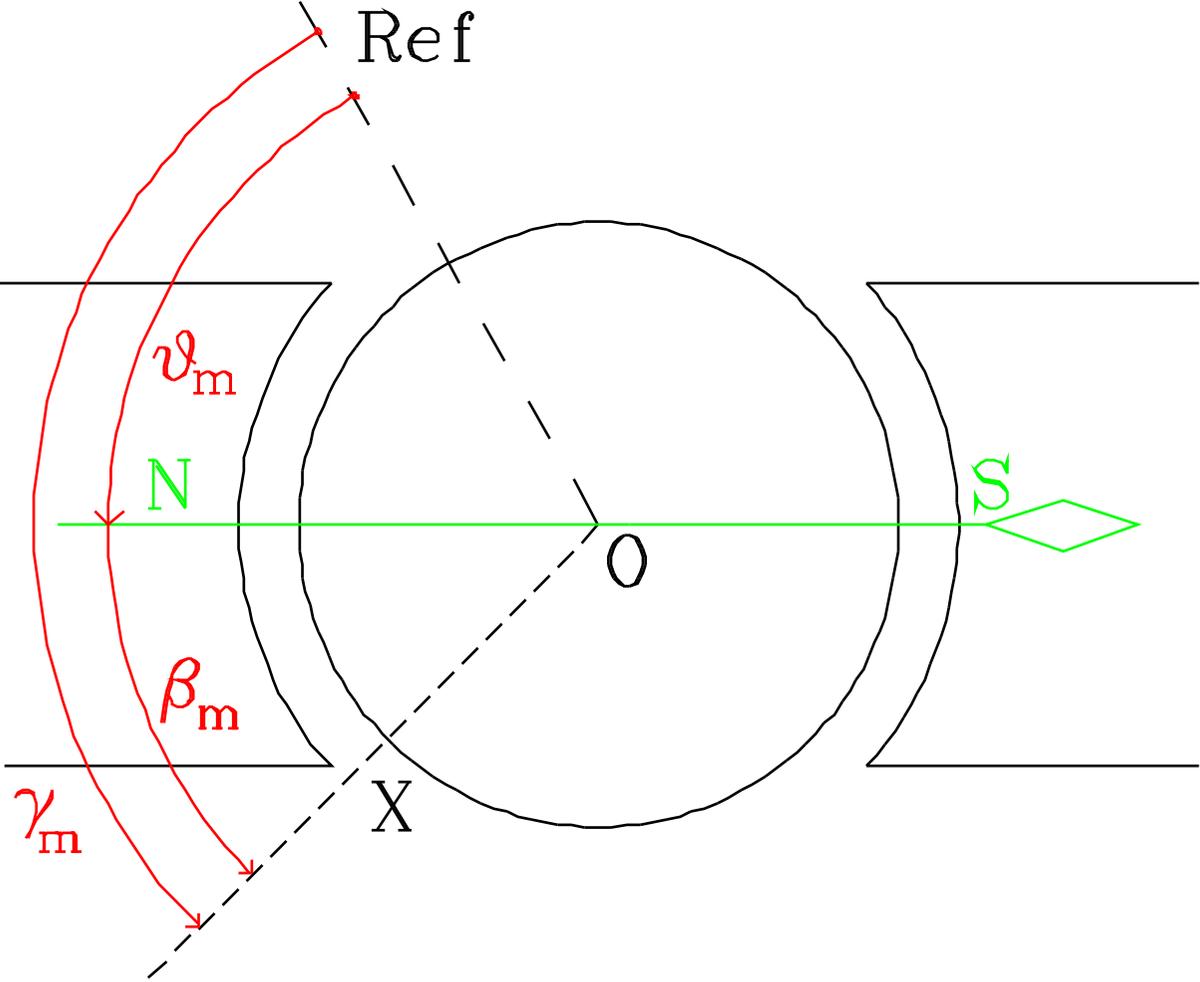
(b)

Figure 33-6  
a) Vue éclatée d'un moteur d'induction à rotor bobiné de 5 kW, 1730 r/min.  
b) Vue agrandie des bagues du rotor. (Crompton-Parkinson Ltd.)

# Les enroulements de la machine d'induction à rotor bobiné

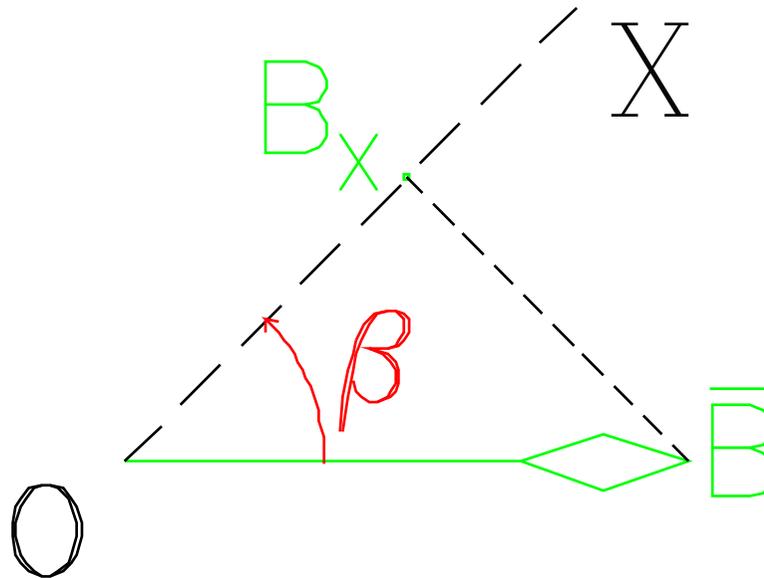
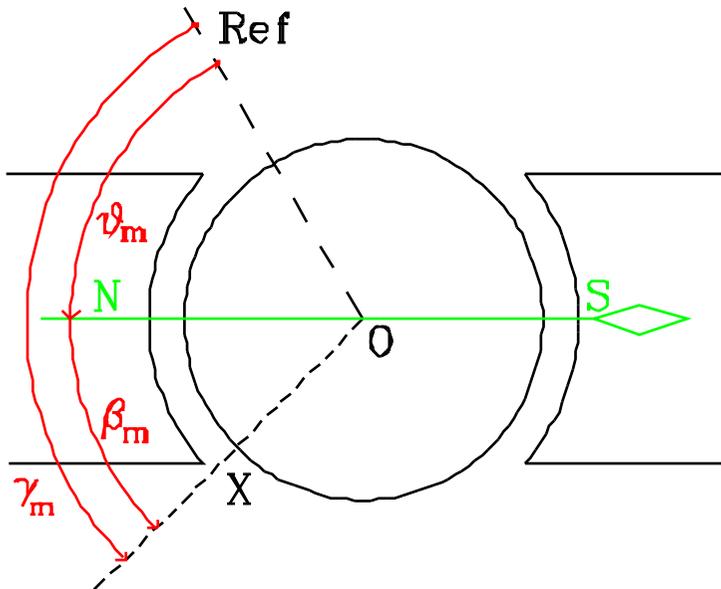


# Champ fixe



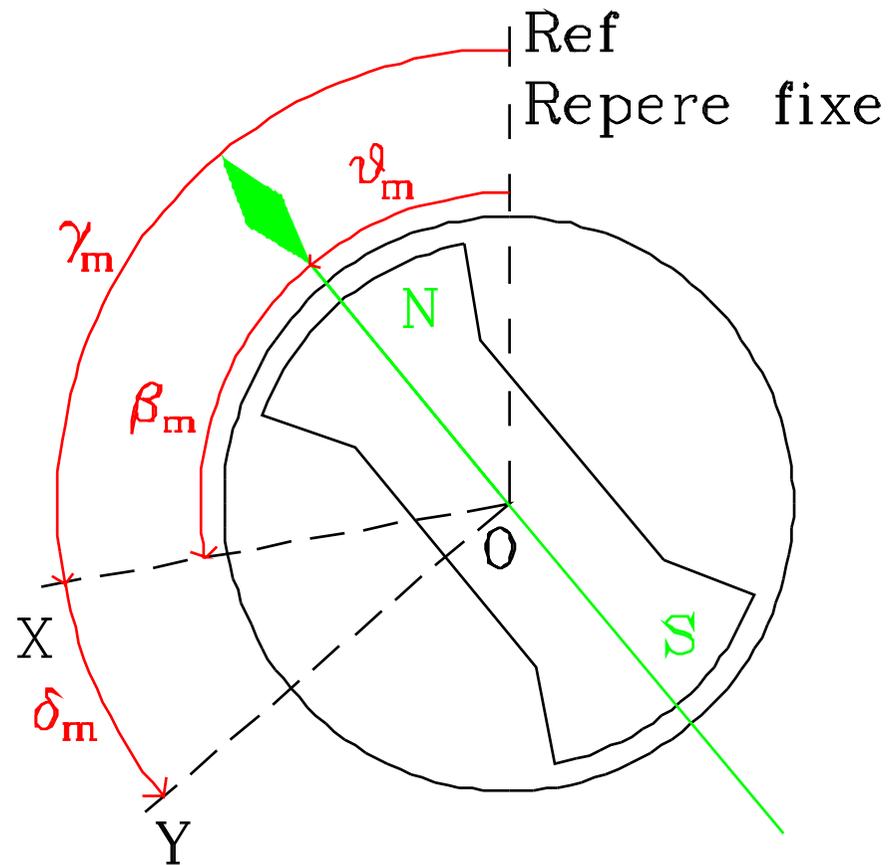
Champ fixe

# Champ fixe

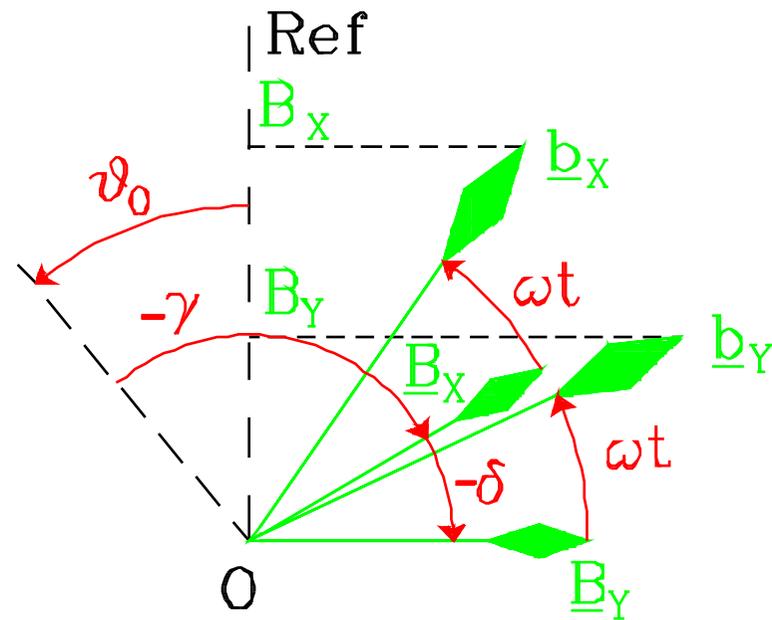
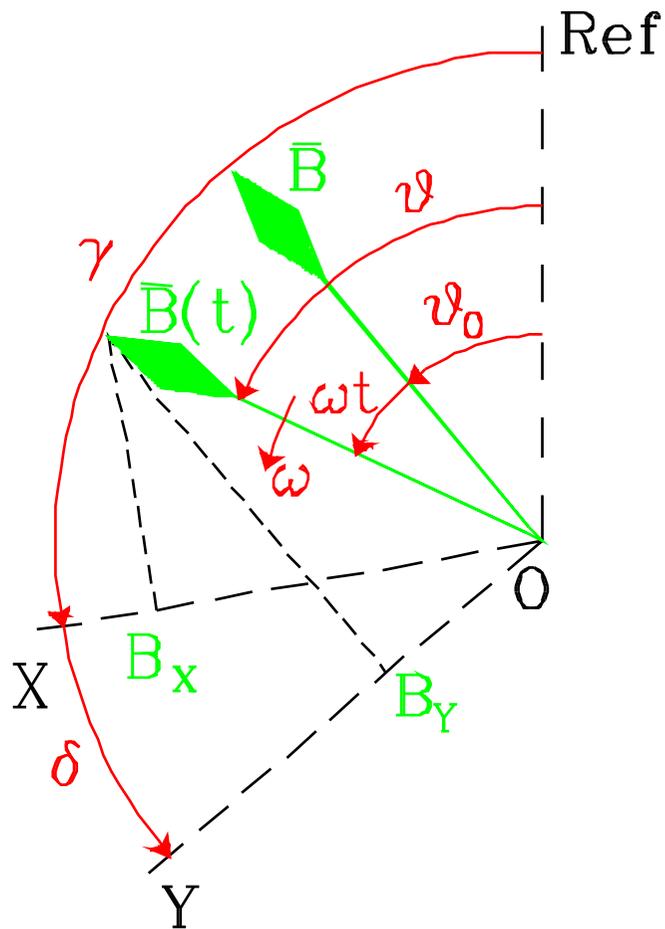


$$\begin{aligned}
 B_X &= B^M \cos(p\beta_m) \\
 &= B^M \cos \beta \quad \text{si on pose } \beta = p\beta_m
 \end{aligned}$$

# Champ tournant - Conventions

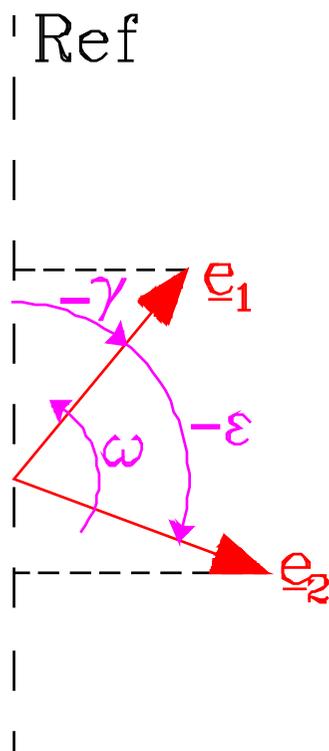
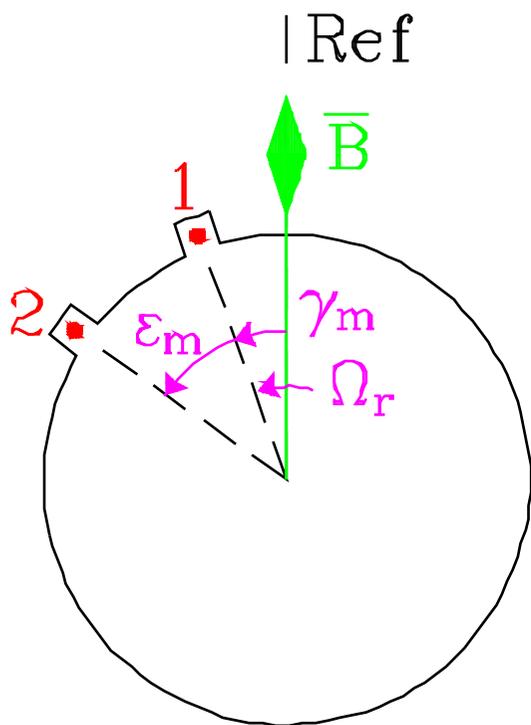


# Vecteur - Phaseur

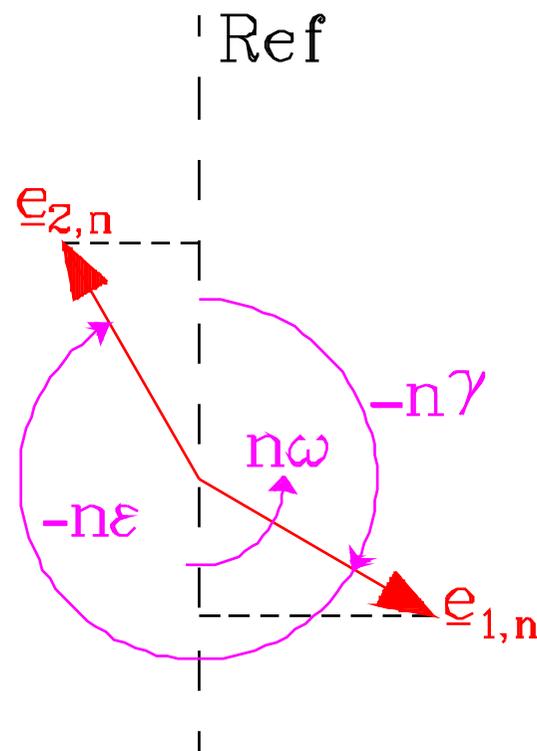


Induction en un point fixe X

# Etoile des encoches

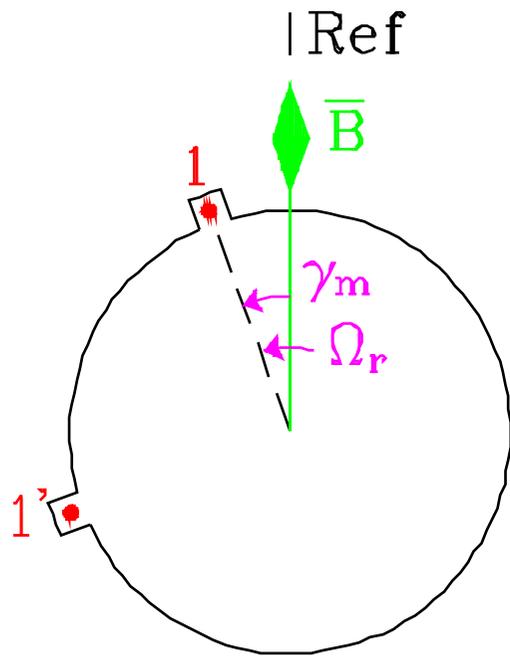


fondamental  
(  $p=2$  )

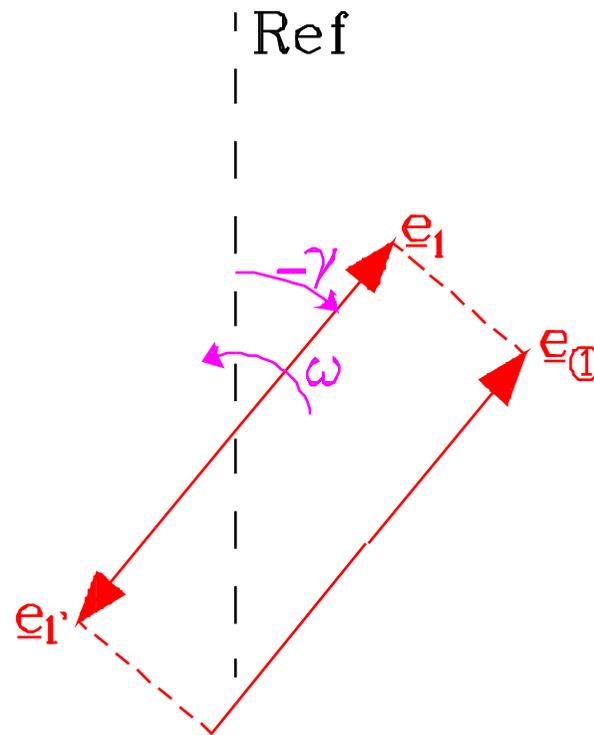


harmonique  $n$   
(  $n=3$  )

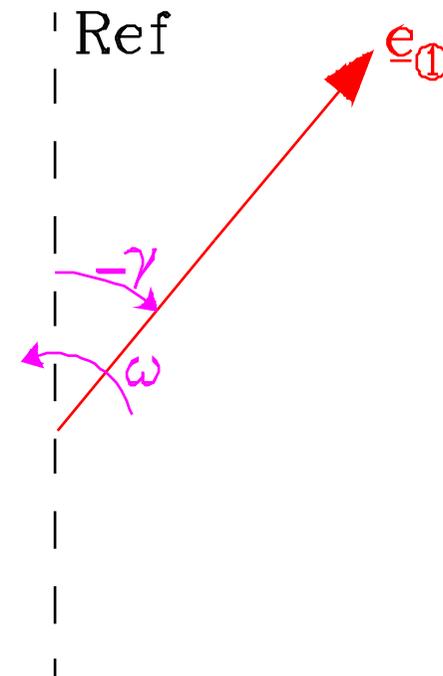
# Etoile des bobines - Spire diamétrale



$$p = 2$$

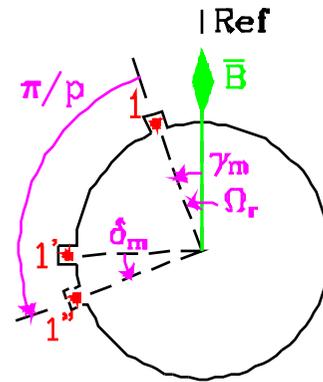


tension aux bornes  
des conducteurs  
d'encoches 1 et 1'

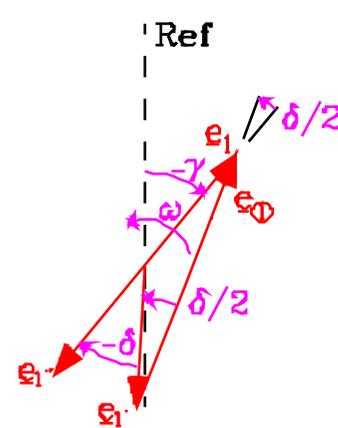


tension aux  
bornes de la  
spire ①

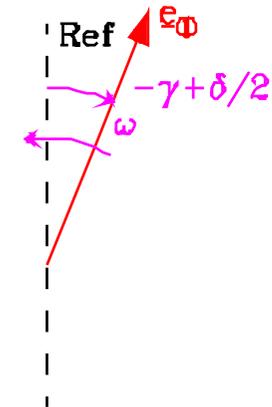
# Etoile des bobines - Spire raccourcie



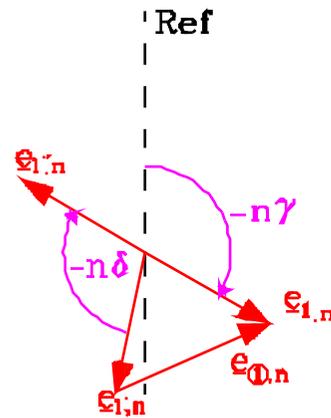
$p = 2$



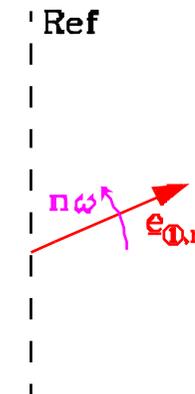
fondamental



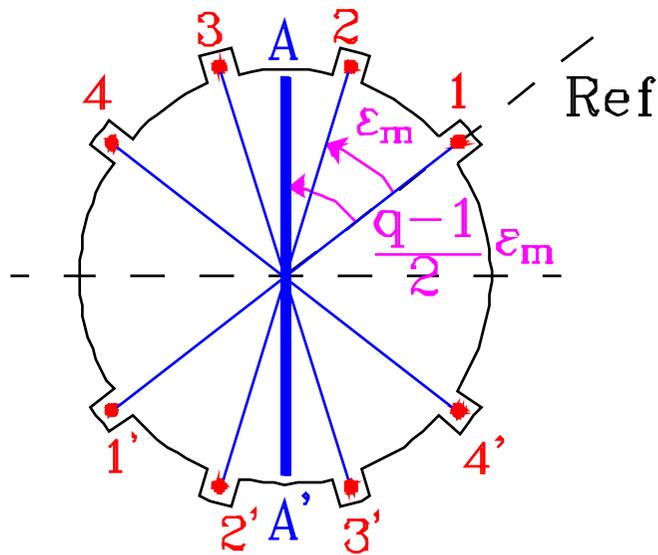
$$k_R = \cos \frac{n\delta}{2} = \cos \frac{np\delta_m}{2}$$



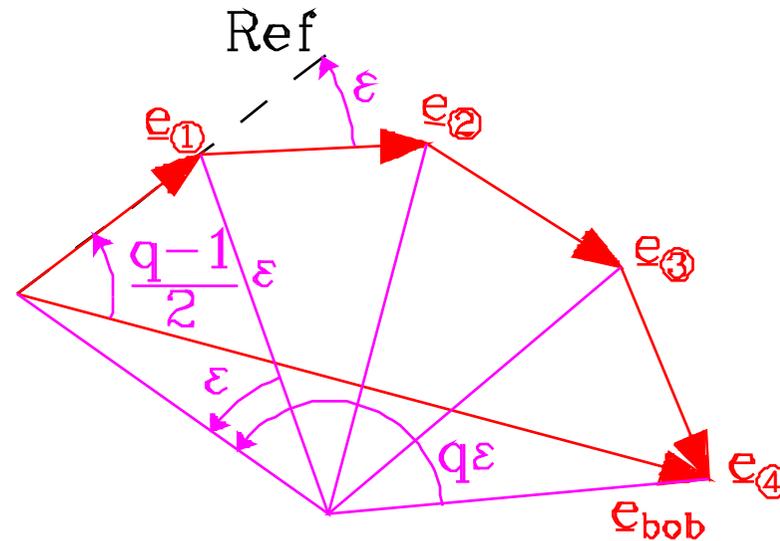
harmonique (  $n = 3$  )



# Etalage des encoches



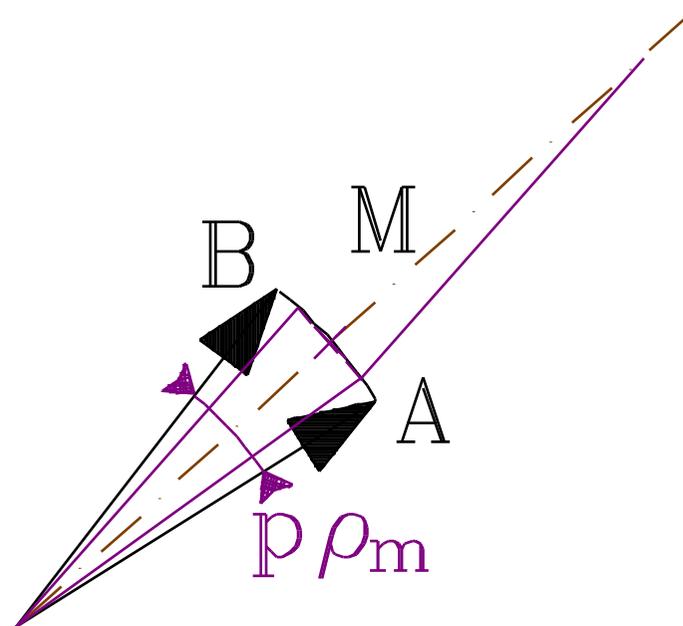
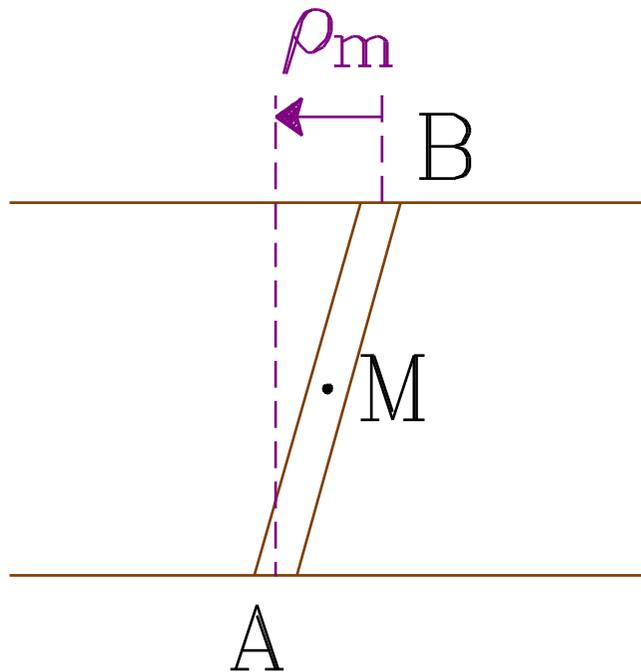
$$p = 1$$



$$\varepsilon = p \varepsilon_m$$

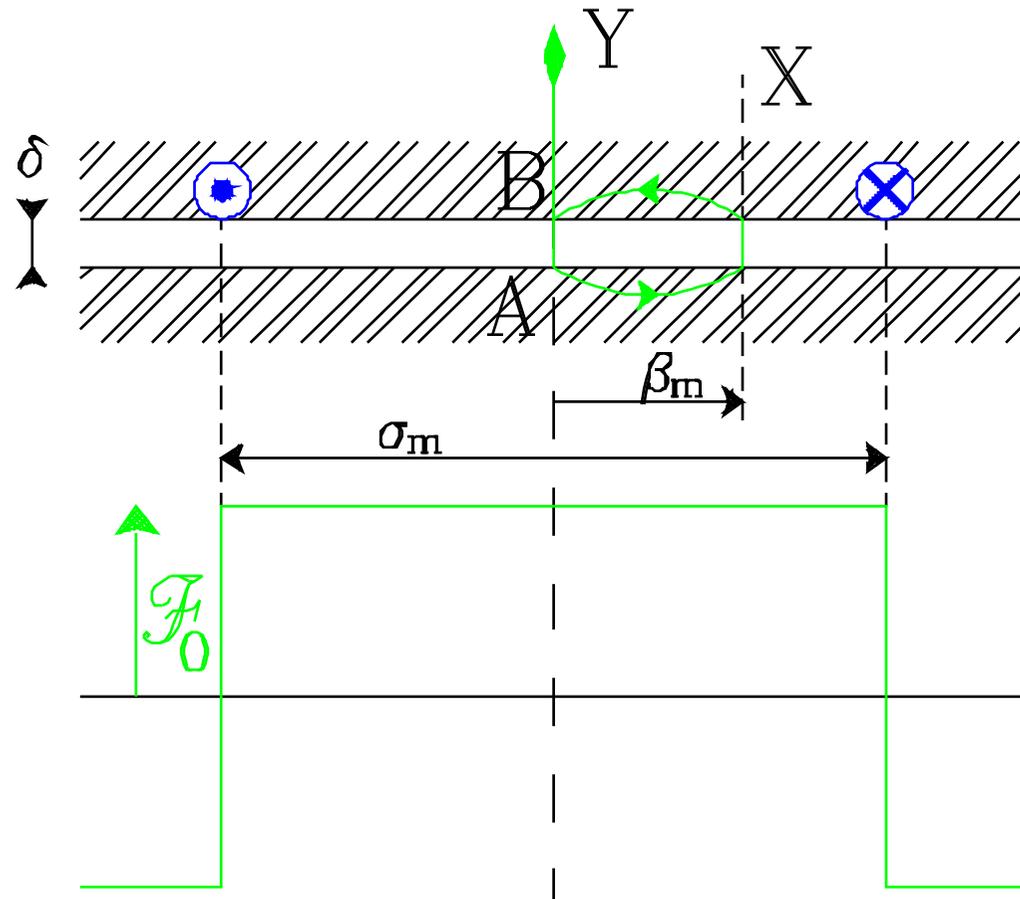
$$k_E = \frac{e_{bob}}{q e_{spire}} = \frac{\sin\left(\frac{nq\varepsilon}{2}\right)}{q \sin\left(\frac{n\varepsilon}{2}\right)}$$

# Obliquité des encoches

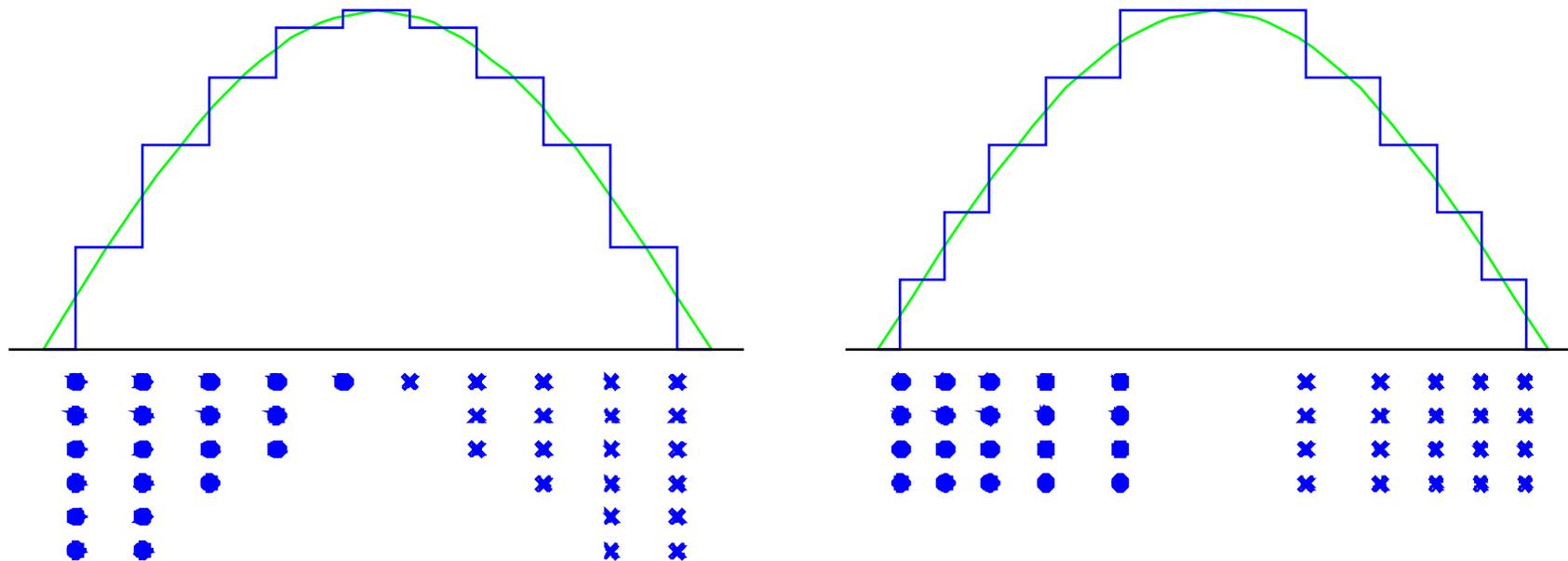


$$k_o = \frac{\int_0^{n\rho/2} \cos a \, da}{n\rho/2} = \frac{\sin n\rho/2}{n\rho/2}$$

# Force magétomotrice dans une machine à entrefer constant



# Répartition sinusoidale de la f.m.m.

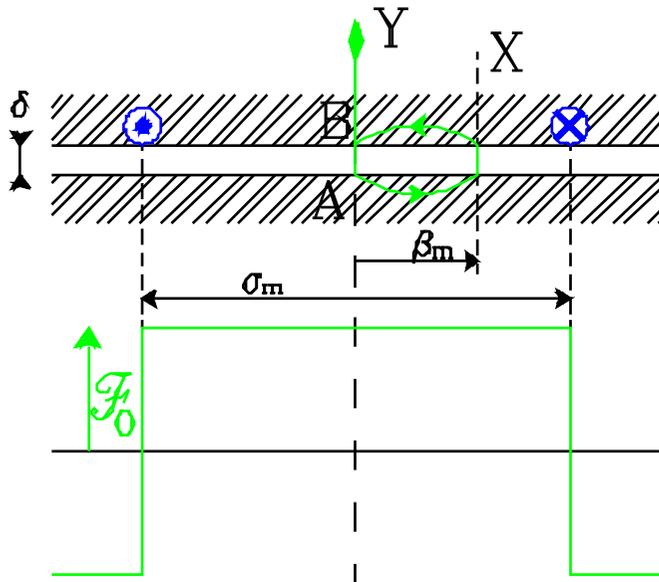


**Force magnétomotrice dans une machine à entrefer constant**

# F.m.m.

La f.m.m. en un point de coordonnée  $\beta_m$  vaut :

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{(\beta_m)} &= \mathcal{F}_{(0)} = \frac{N_f i_f}{2p} & \text{si } |p\beta_m| < \pi/2 \\ &= -\mathcal{F}_{(0)} = -\frac{N_f i_f}{2p} & \text{si } |p\beta_m| > \pi/2 \end{aligned}$$

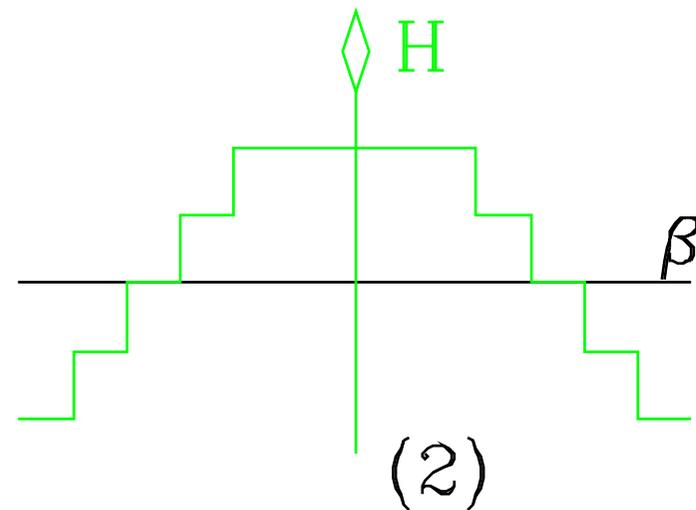
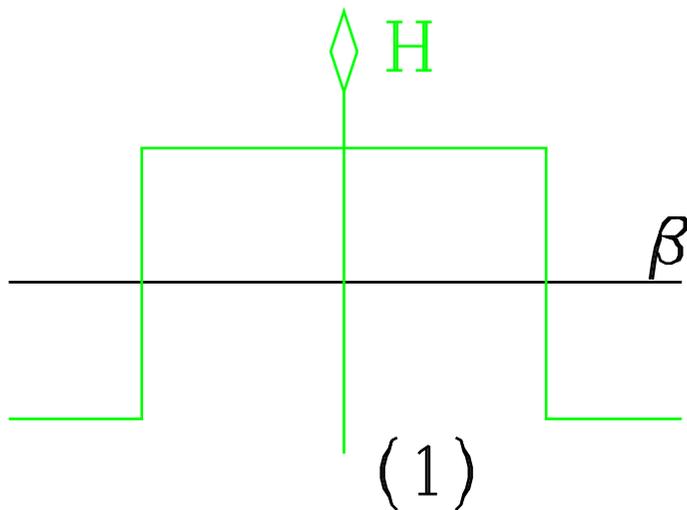


Le développement en série de cette onde rectangulaire donne :

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{(\beta)} &= \frac{N_f i_f}{2p} \frac{4}{\pi} \sum_{i=0}^{\infty} (-1)^i \frac{\cos (2i+1)\beta}{2i+1} \\ &= \sum_{i=0}^{\infty} \mathcal{F}_{2i+1}^M \cos (2i+1)\beta \\ \text{en posant } \mathcal{F}_{2i+1}^M &= \frac{N_f i_f}{2p} \frac{4}{\pi} \frac{(-1)^i}{2i+1} \\ &= \mathcal{F}_0 \frac{4}{\pi} \frac{(-1)^i}{2i+1} \end{aligned}$$

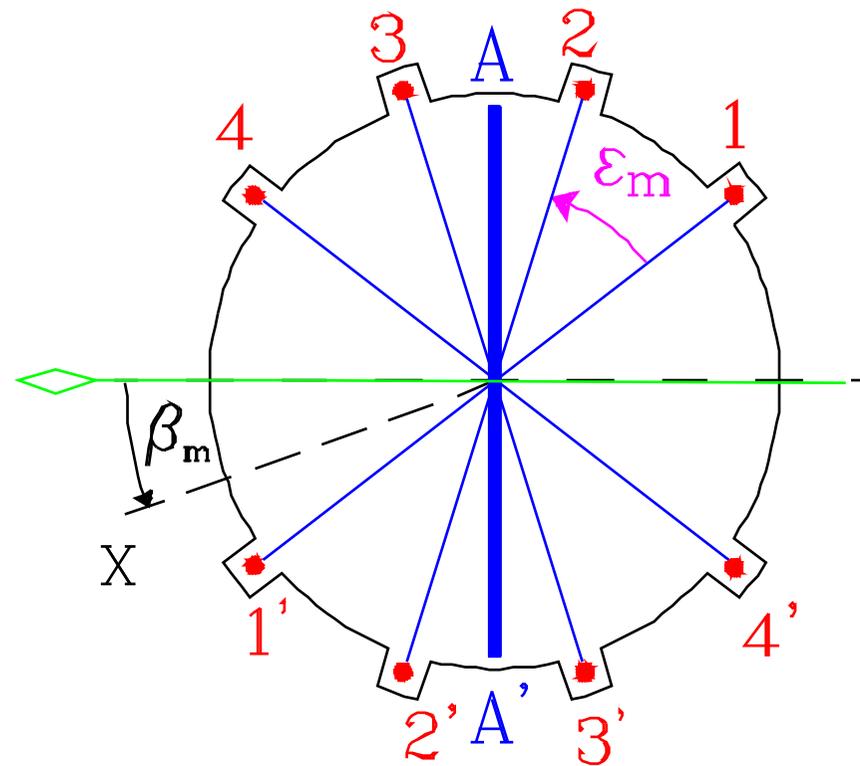
**F.m.m. et champ magnétique créés par une bobine de  $N_f$  spires diamétrales parcourues par un courant  $i_f$**

# Quatre spires diamétrales ou étalées



5.3.3. Facteurs d'étalage, de raccourcissement, d'obliquité

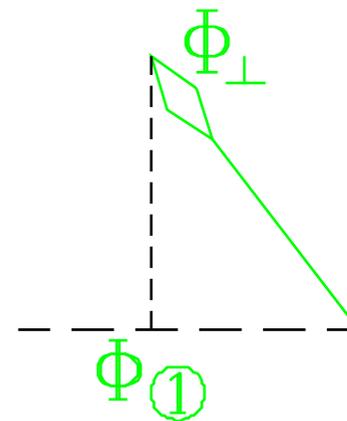
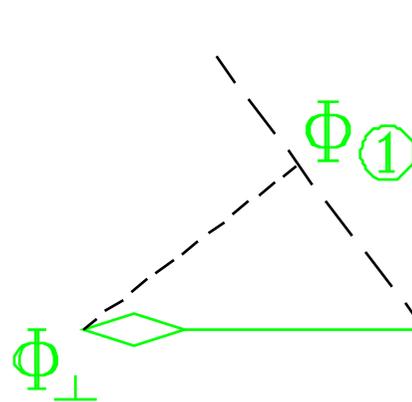
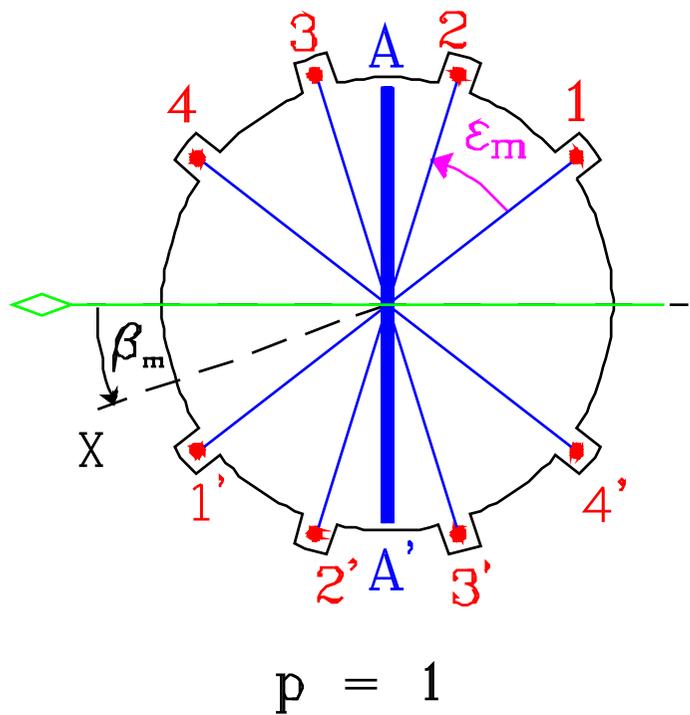
# Bobine à spires diamétrales étalées



$$p = 1$$

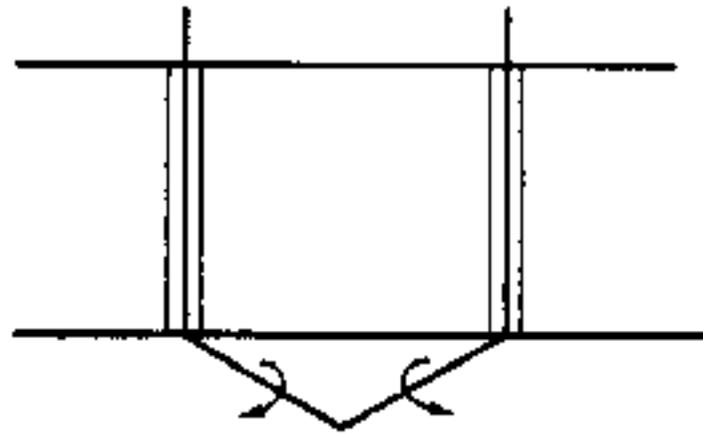
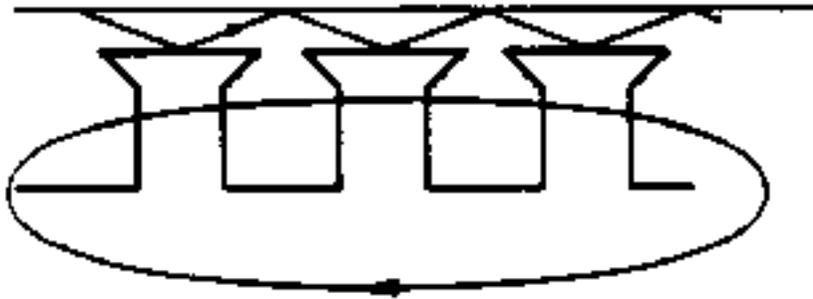
**Inductance propre d'une bobine**

# Bobine à spires diamétrales étalées



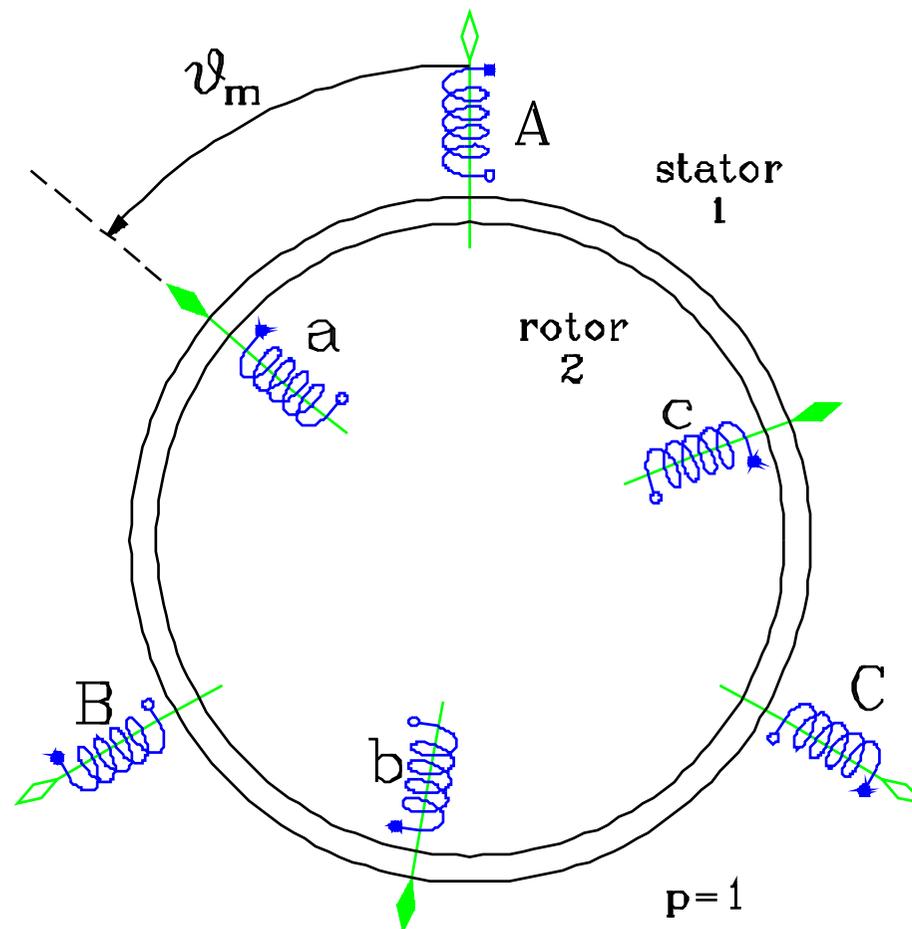
Inductance propre d'une bobine

# Flux de dispersion



**Inductance propre d'une bobine**

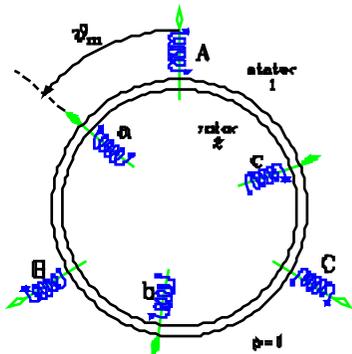
# Machine à 3 enroulements statoriques et 3 enroulements rotoriques



**Matrice des coefficients d'inductance**

# Machine à 3 enroulements statoriques et 3 enroulements rotoriques

$$\begin{bmatrix} \psi_A \\ \psi_B \\ \psi_C \\ \psi_a \\ \psi_b \\ \psi_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_A & M_{AB} & M_{AB} & M^M \cos \theta & M^M \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ M_{AB} & L_A & M_{AB} & M^M \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos \theta & M^M \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ M_{AB} & M_{AB} & L_A & M^M \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos \theta \\ M^M \cos \theta & M^M \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & L_a & M_{ab} & M_{ab} \\ M^M \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos \theta & M^M \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & M_{ab} & L_a & M_{ab} \\ M^M \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos \theta & M_{ab} & M_{ab} & L_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \\ i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$



**Matrice des coefficients d'inductance**

# Les champs créés par une bobine unique

Considérons une bobine d'axe  $f$  parcourue par un courant  $i_f$ . Avec les notations définies au § 5.1.2, la f.m.m. au point  $X$  de coordonnée  $\beta_m$  vaut :

$$\mathcal{F}_{(\beta)} = \frac{N_f i_f}{2p} \frac{4}{\pi} \sum_{i=0}^{\infty} (-1)^i \frac{\cos (2i+1)\beta}{2i+1}$$

dont le **fondamental** seul nous intéresse :

$$\mathcal{F}_{(\beta)} = \frac{N_f i_f}{2p} \frac{4}{\pi} \cos \beta$$

Le vecteur  $\vec{\mathcal{F}}$  est aligné selon l'axe électrique de la bobine et son amplitude vaut

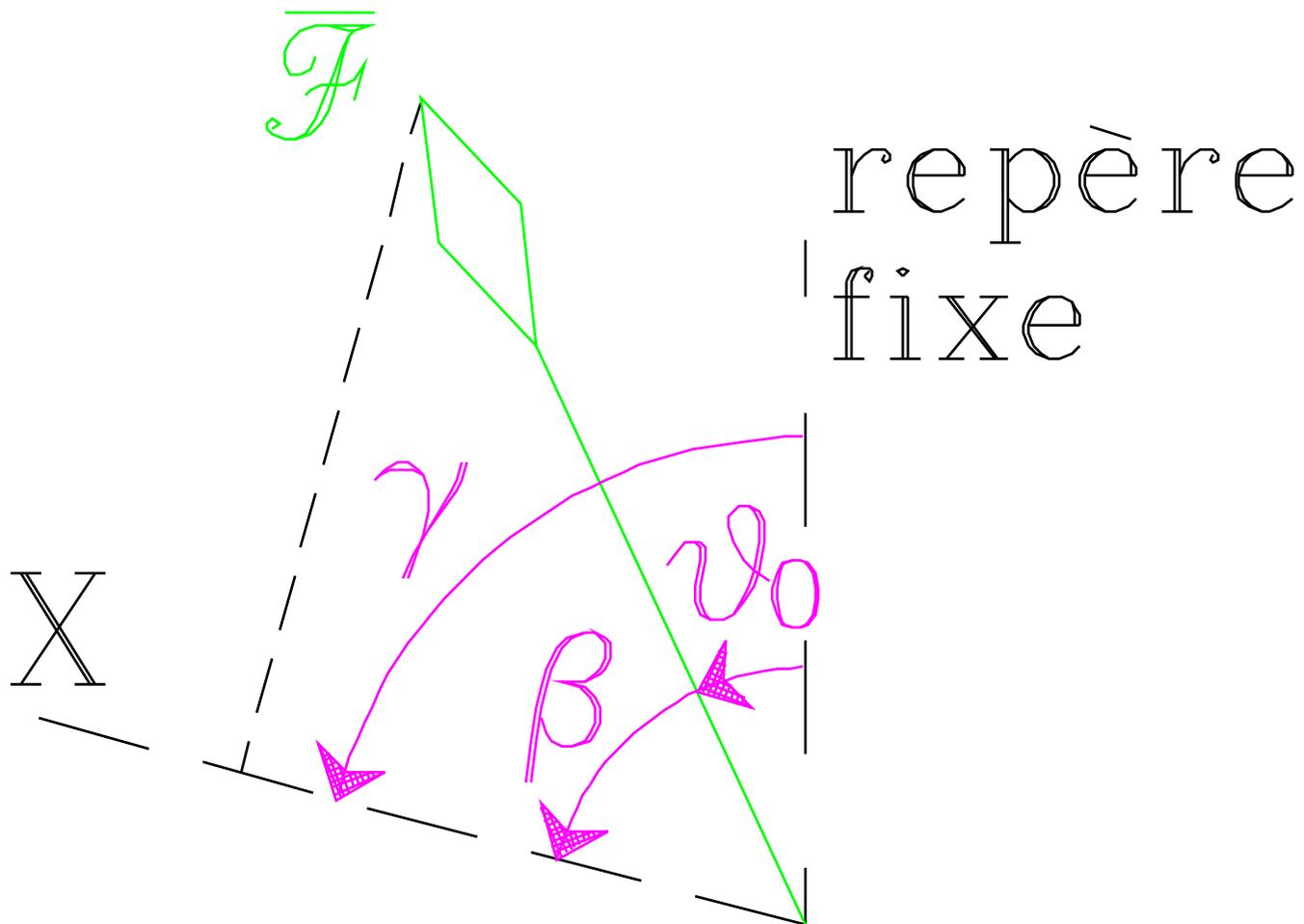
$$\mathcal{F}^M = \frac{4}{\pi} \frac{N_f i_f}{2p}$$

Ce module est proportionnel à la valeur **instantanée** du courant  $i_f$ .

On définit un **vecteur** courant  $\vec{i}_f = i_f e^{j\theta}$ . Ce vecteur est proportionnel au vecteur f.m.m.  $\vec{\mathcal{F}}$ . Dans une machine à une paire de pôles, il a le même alignement.

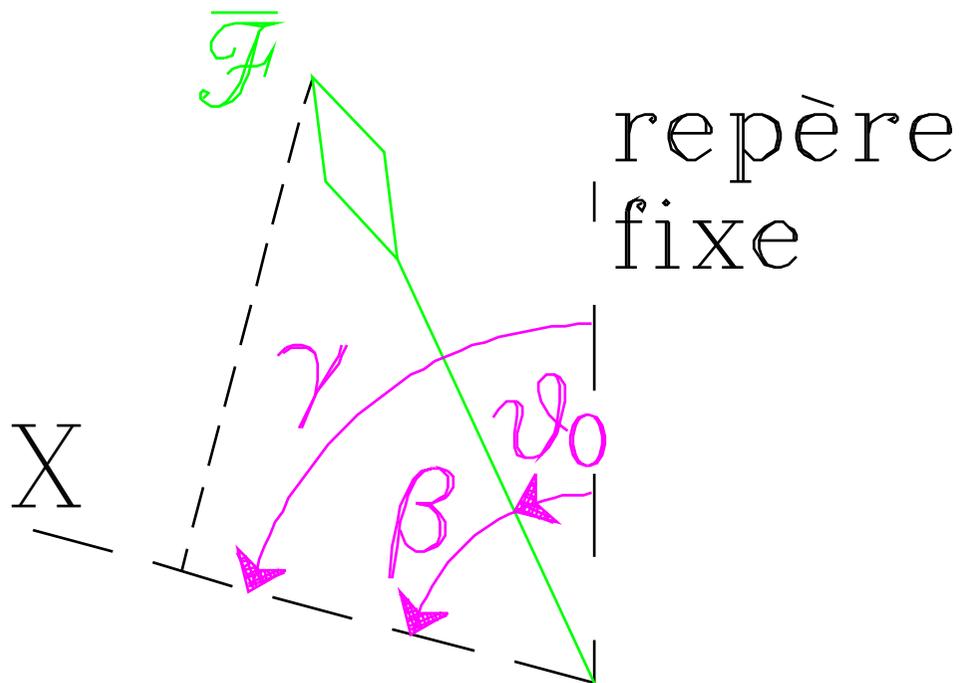
**Les champs créés par une bobine unique**

# Bobine fixe et courant constant



Les champs créés par une bobine unique

# Bobine fixe et courant constant



$$\bar{\mathcal{F}} = \frac{4 N_f i_f}{\pi \mathcal{P}} e^{j\theta_0}$$

$$\bar{i}_f = i_f e^{j\theta_0}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{F}_{(X)} &= \text{Re} (\bar{\mathcal{F}} \bar{1}_X^*) \\ &= \mathcal{F}^M \cos (\theta_0 - \gamma) \end{aligned}$$

Les champs créés par une bobine unique

# Bobine tournante et courant constant

$$\begin{aligned}\overline{\mathcal{F}} &= \frac{4}{\pi} \frac{N_f i_f}{2p} e^{j(\omega_r t + \theta_0)} \\ \overline{i_f} &= i_f e^{j(\omega_r t + \theta_0)} \\ \mathcal{F}_{(X)} &= \operatorname{Re} (\overline{\mathcal{F}} \overline{1_X}^*) \\ &= \operatorname{Re} (\mathcal{F}^M e^{j(\omega_r t + \theta_0 - \gamma)}) \\ &= \operatorname{Re} (\mathcal{F}^M e^{j(\theta_0 - \gamma)} e^{j\omega_r t}) \\ &= \mathcal{F}^M \cos (\omega_r t + \theta_0 - \gamma)\end{aligned}$$

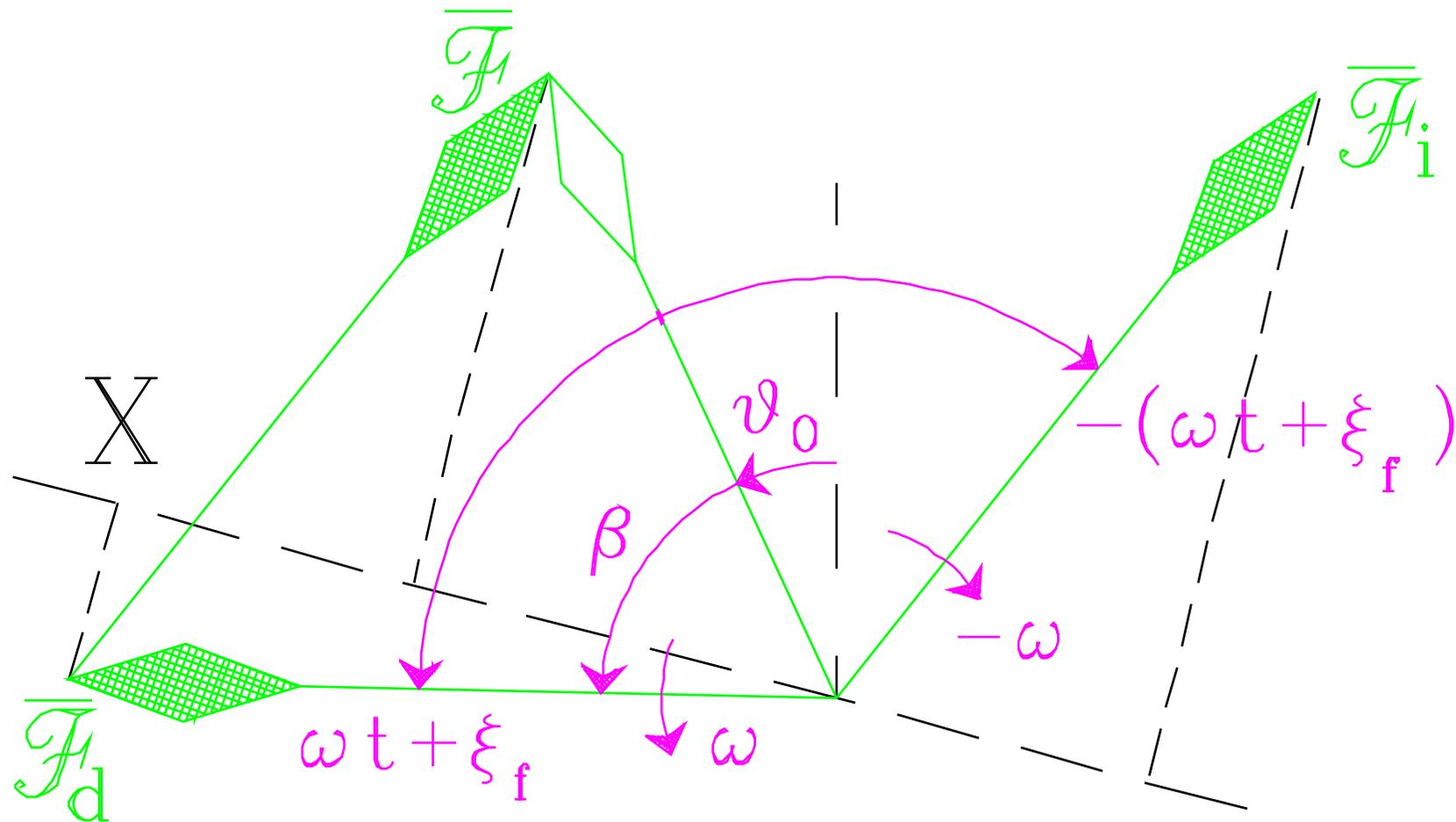
Les champs créés par une bobine unique

# Bobine fixe et courant sinusoïdal

$$\begin{aligned}
 \overline{\mathcal{F}} &= \frac{4}{\pi} \frac{N_f}{2p} i_f e^{j\theta_0} \\
 &= \frac{4}{\pi} \frac{N_f}{2p} I_{Mf} \cos(\omega t + \xi_f) e^{j\theta_0} \\
 &= \frac{4}{\pi} \frac{N_f}{2p} I_{Mf} \operatorname{Re} (e^{j(\omega t + \xi_f)}) e^{j\theta_0} \\
 &= \frac{4}{\pi} \frac{N_f}{2p} I_{Mf} \frac{e^{j(\omega t + \xi_f)} + e^{-j(\omega t + \xi_f)}}{2} e^{j\theta_0} \\
 &= \frac{4}{\pi} \frac{N_f}{2p} \frac{I_{Mf}}{2} \left\{ e^{j(\omega t + \xi_f + \theta_0)} + e^{j(-\omega t - \xi_f + \theta_0)} \right\}
 \end{aligned}$$

Les champs créés par une bobine unique

# Bobine fixe et courant sinusoïdal



Les champs créés par une bobine unique

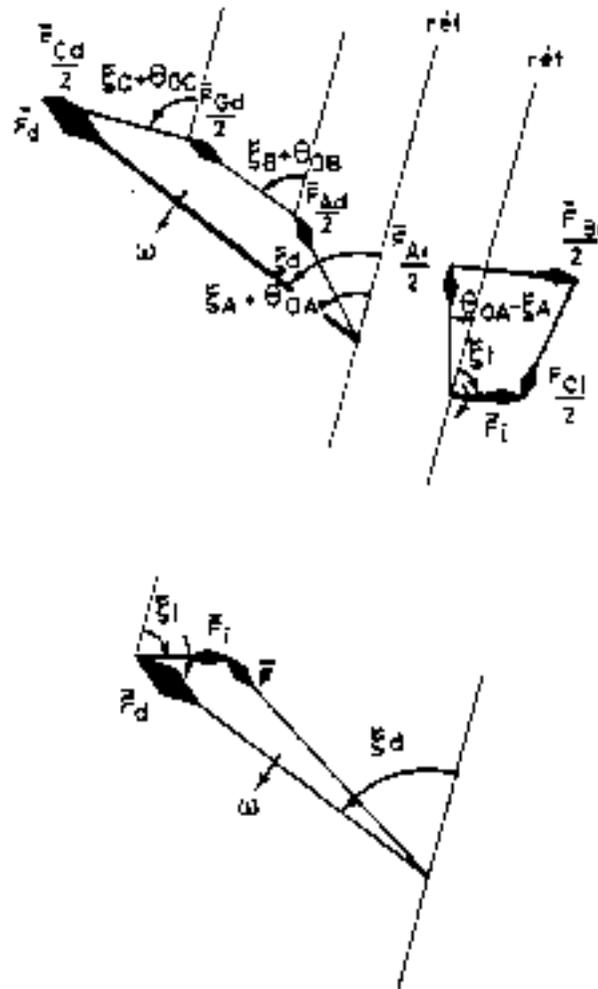
# Systeme triphasé - Ondes sinusoidales

$$\begin{aligned}
 \overline{\mathcal{F}} &= \sum_1^m \overline{\mathcal{F}}_I \\
 &= \frac{\mathcal{F}_A^M}{2} e^{j(\omega t + \xi_A + \theta_{0A})} + \frac{\mathcal{F}_A^M}{2} e^{j(-\omega t - \xi_A + \theta_{0A})} \\
 &+ \frac{\mathcal{F}_B^M}{2} e^{j(\omega t + \xi_B + \theta_{0B})} + \frac{\mathcal{F}_B^M}{2} e^{j(-\omega t - \xi_B + \theta_{0B})} \\
 &+ \dots + \dots \\
 &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\
 &= \mathcal{F}_d^M e^{j(\omega t + \xi_d)} + \mathcal{F}_i^M e^{j(-\omega t + \xi_i)}
 \end{aligned}$$

*champ tournant résultant d'ordre direct*      *champ tournant résultant d'ordre inverse*

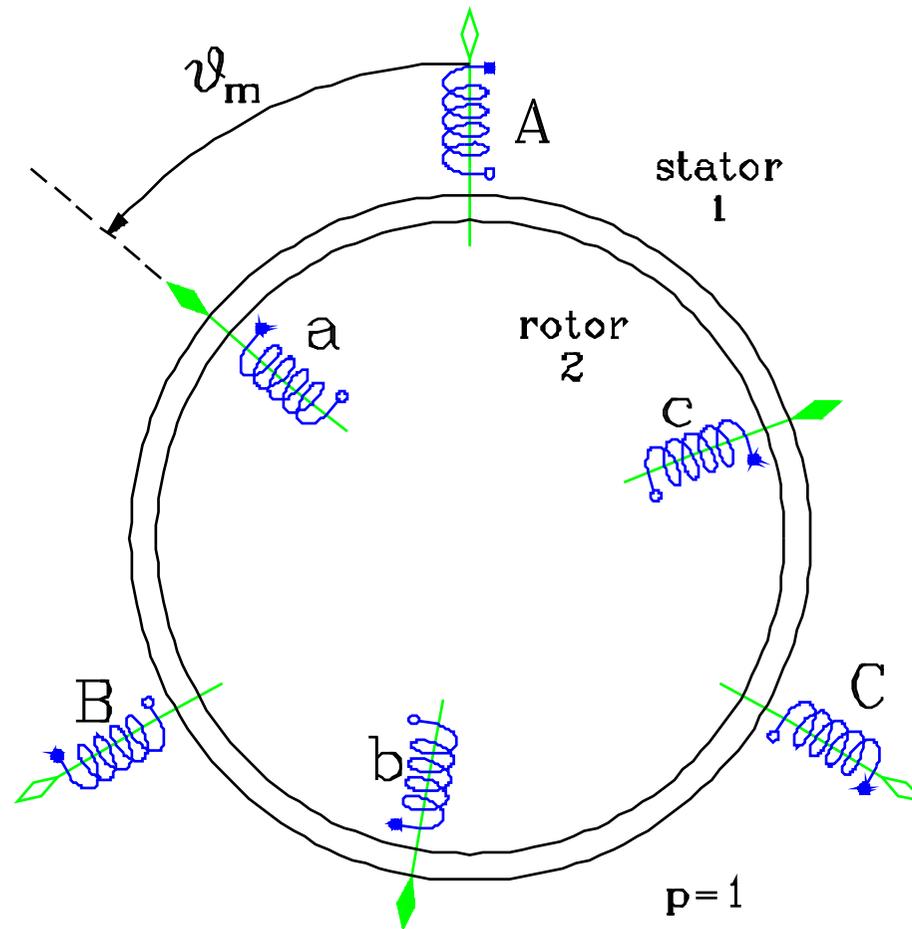
**Champs créés par un système de m bobines**

# Systeme triphasé - Ondes sinusoidales



Champs créés par un système de m bobines

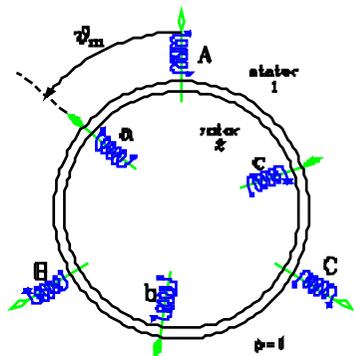
# Machine à 3 enroulements statoriques et 3 enroulements rotoriques



**Matrice des coefficients d'inductance**

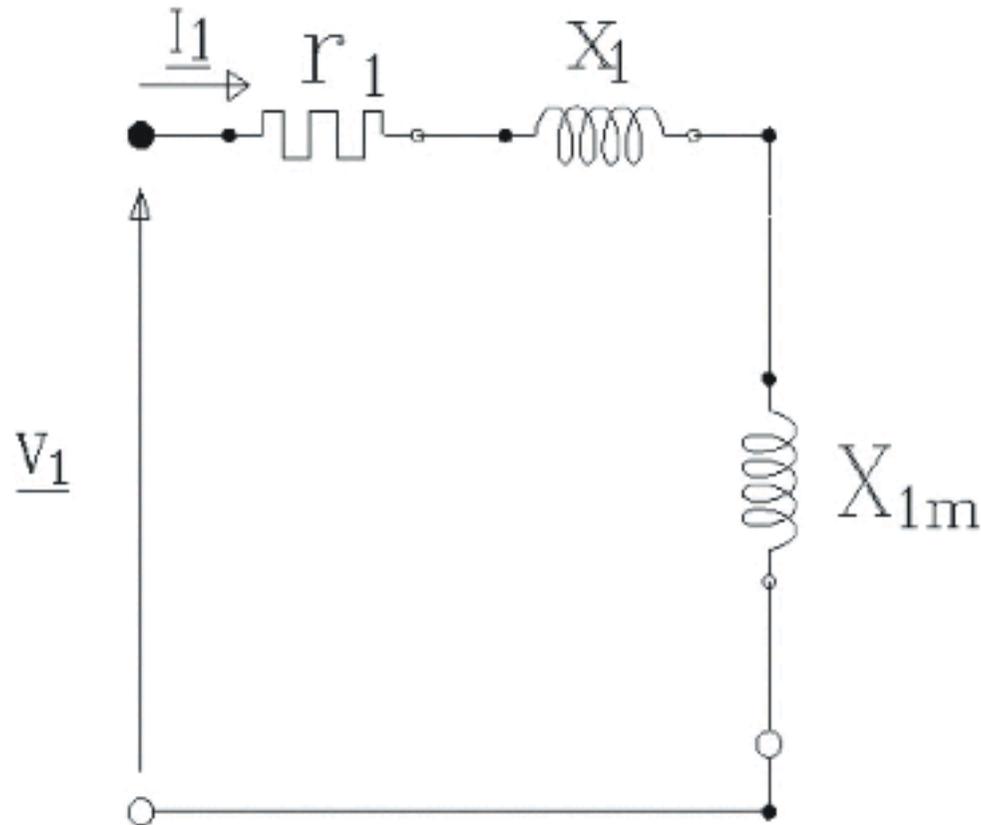
# Machine à 3 enroulements statoriques et 3 enroulements rotoriques

$$\begin{bmatrix} \psi_A \\ \psi_B \\ \psi_C \\ \psi_a \\ \psi_b \\ \psi_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_A & M_{AB} & M_{AB} & M^M \cos \theta & M^M \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ M_{AB} & L_A & M_{AB} & M^M \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos \theta & M^M \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ M_{AB} & M_{AB} & L_A & M^M \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos \theta \\ M^M \cos \theta & M^M \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & L_a & M_{ab} & M_{ab} \\ M^M \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos \theta & M^M \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & M_{ab} & L_a & M_{ab} \\ M^M \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & M^M \cos \theta & M_{ab} & M_{ab} & L_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \\ i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$



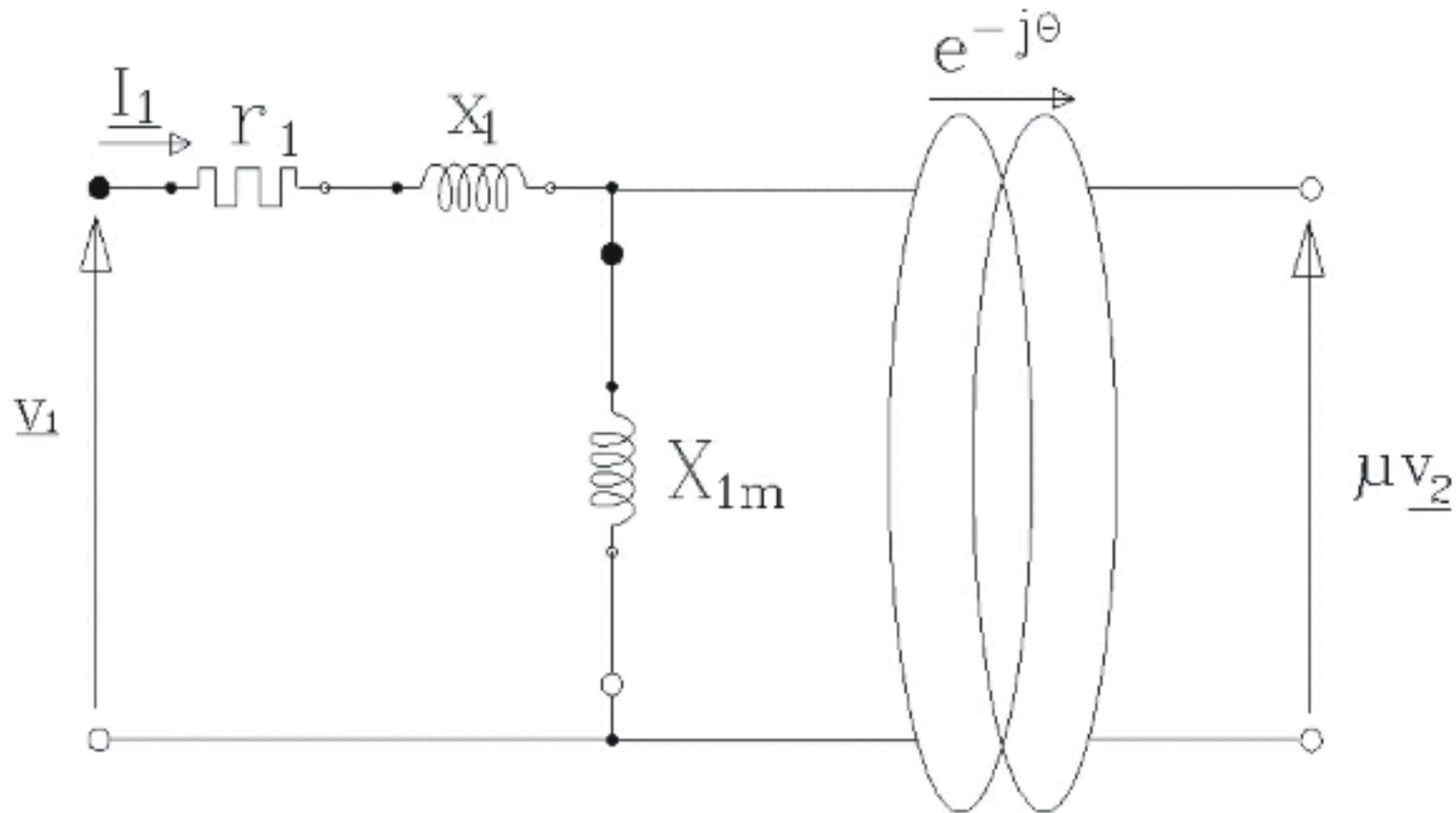
**Matrice des coefficients d'inductance**

# Schéma équivalent - stator



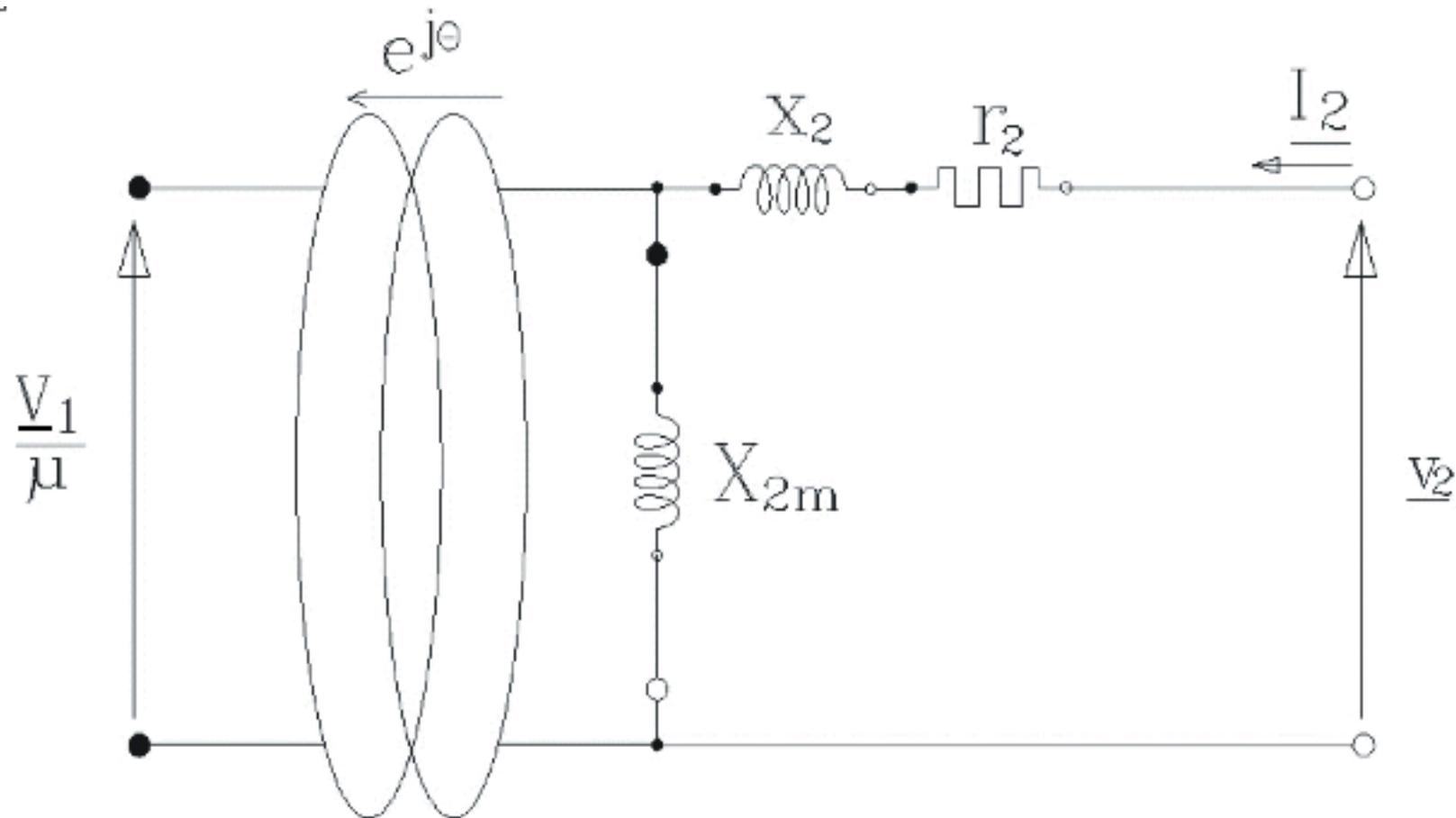
**Machine à l'arrêt - Alimentation par le stator - Rotor ouvert**

# Schéma équivalent



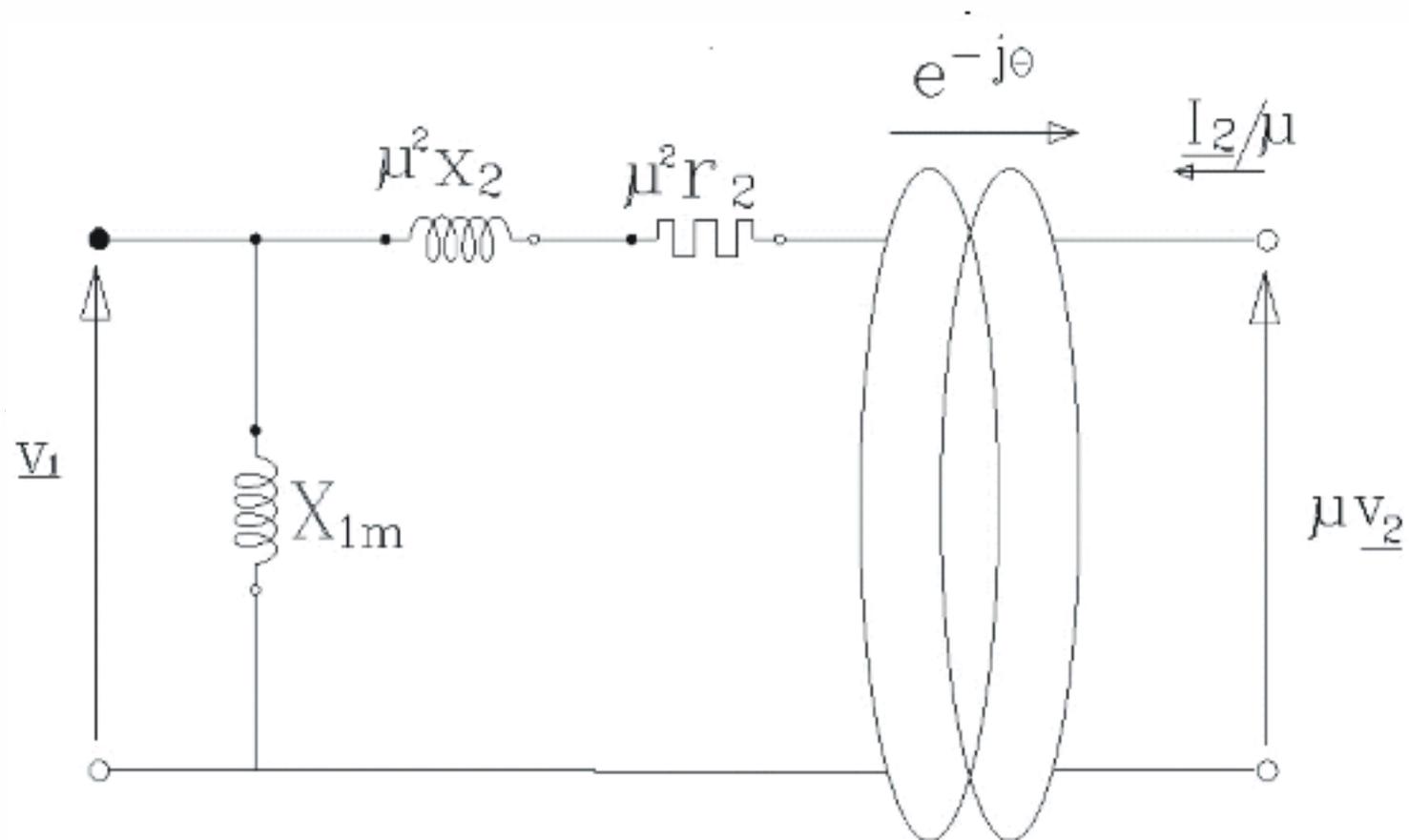
**Machine à l'arrêt - alimentation par le stator - Rotor ouvert**

# Schéma équivalent



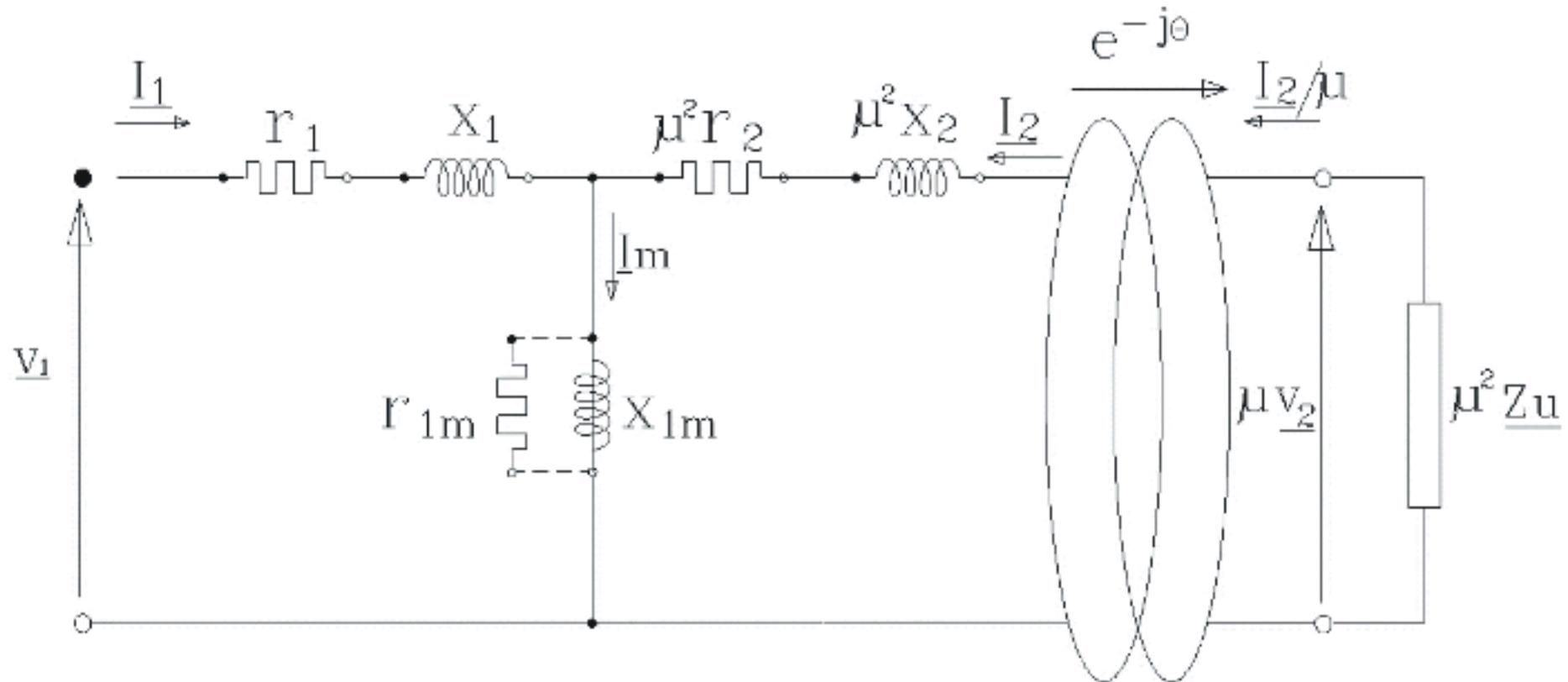
**Machine à l'arrêt - Alimentation par le rotor - Stator ouvert**

# Schéma équivalent



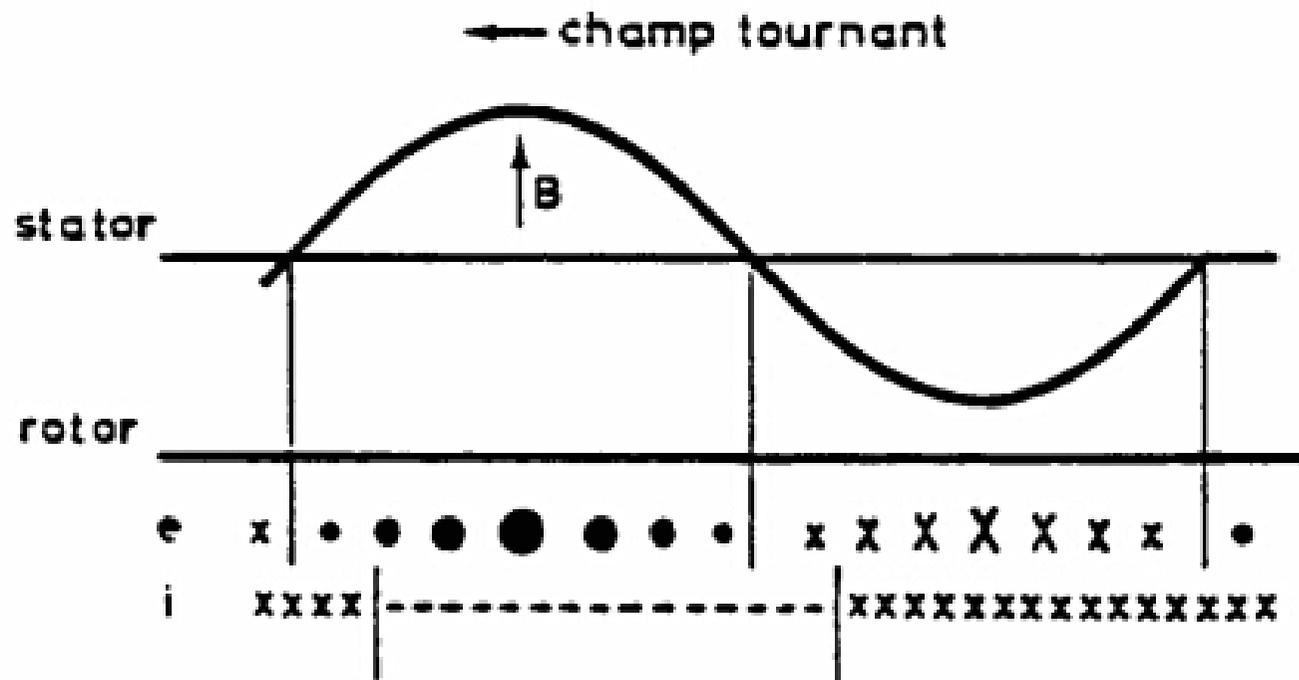
**Machine à l'arrêt - Alimentation par le rotor - Stator ouvert**

# Schéma équivalent

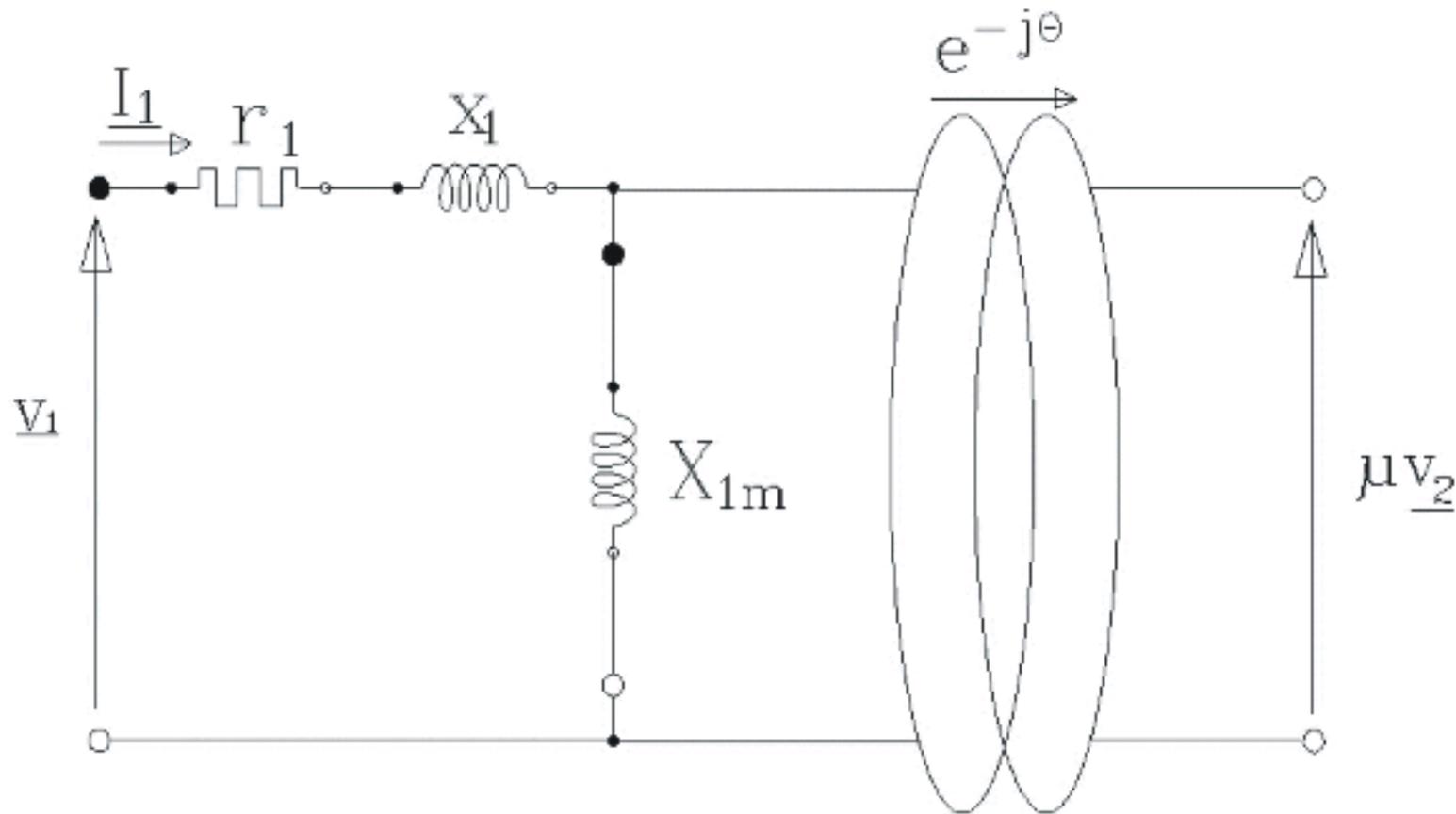


**Machne à l'arrêt - Alimentation par le stator et le rotor**

# Moteur asynchrone - Couple à l'arrêt

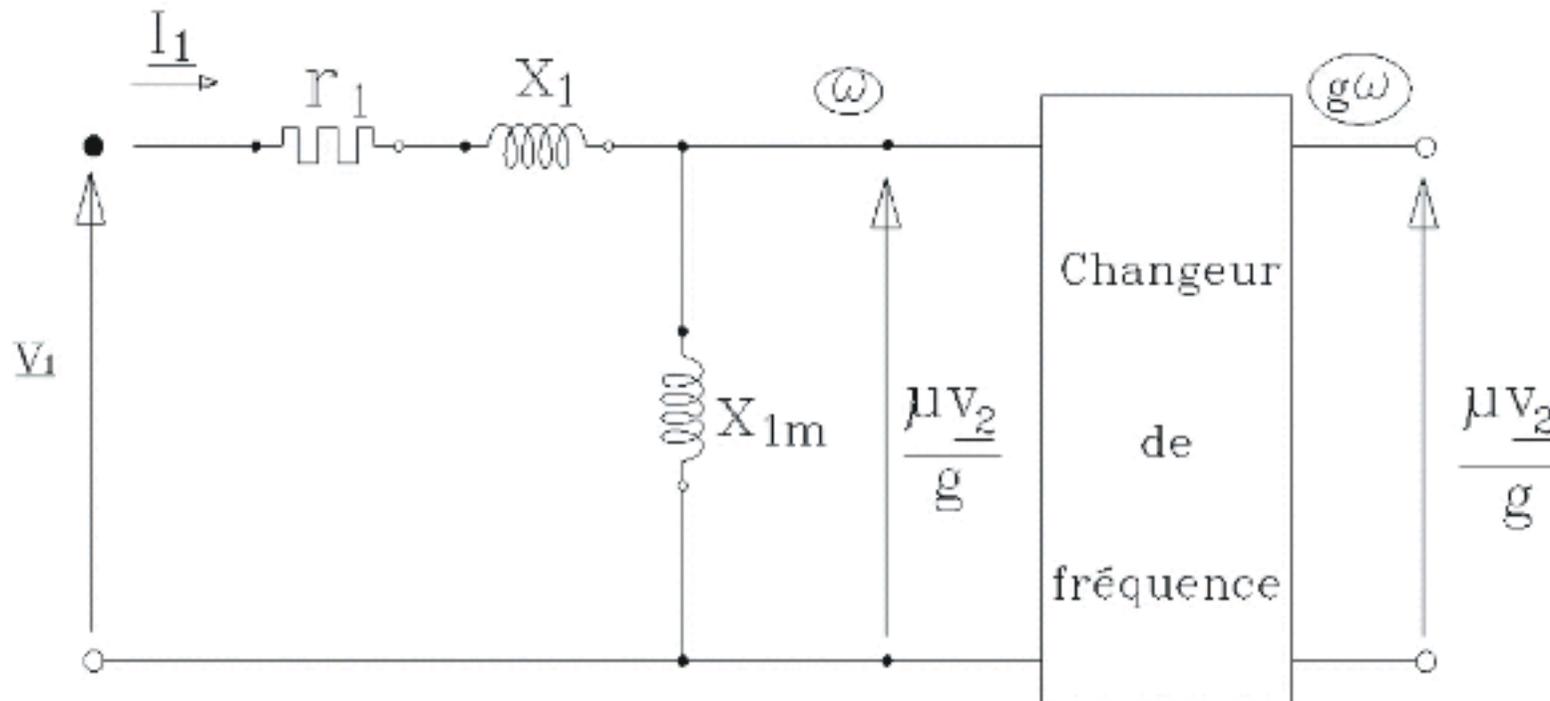


# Schéma équivalent



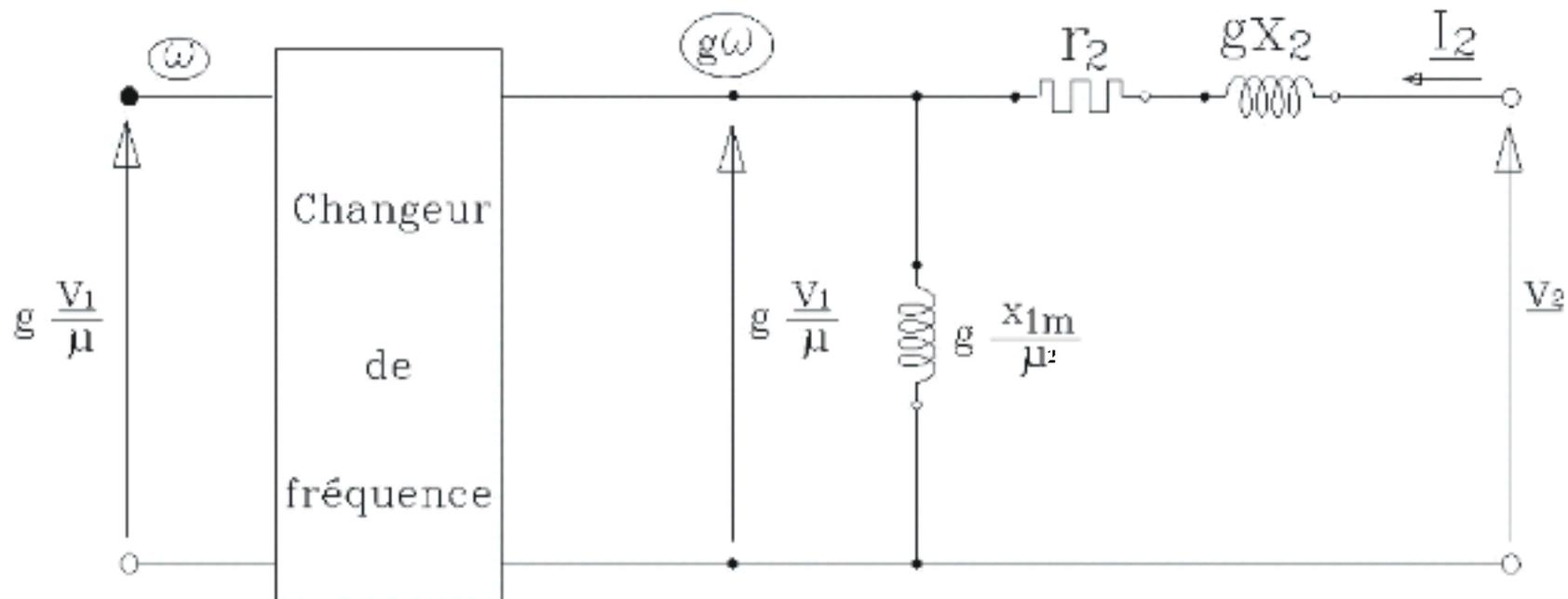
**Machine à l'arrêt - alimentation par le stator - Rotor ouvert**

# Schéma équivalent



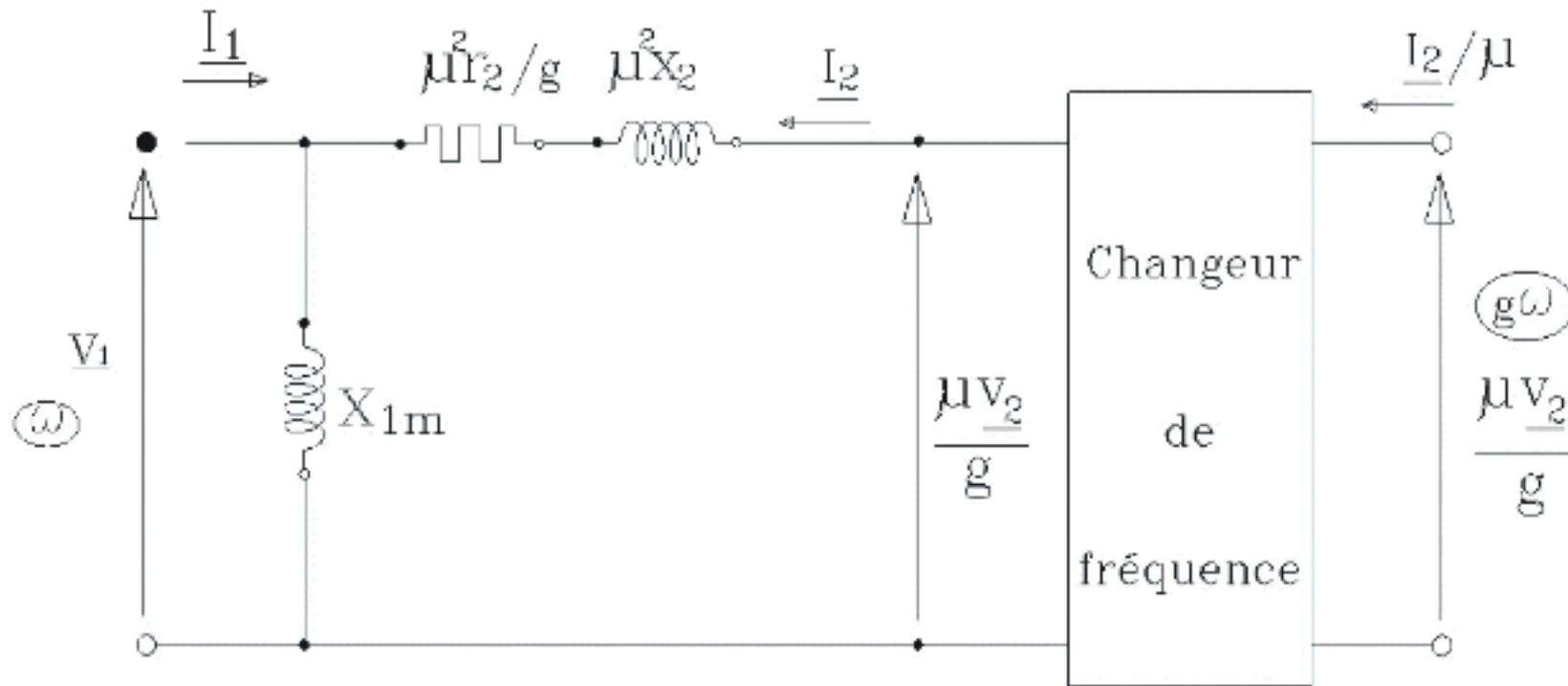
**Machine en rotation - Alimentation par le stator - Rotor ouvert**

# Schéma équivalent



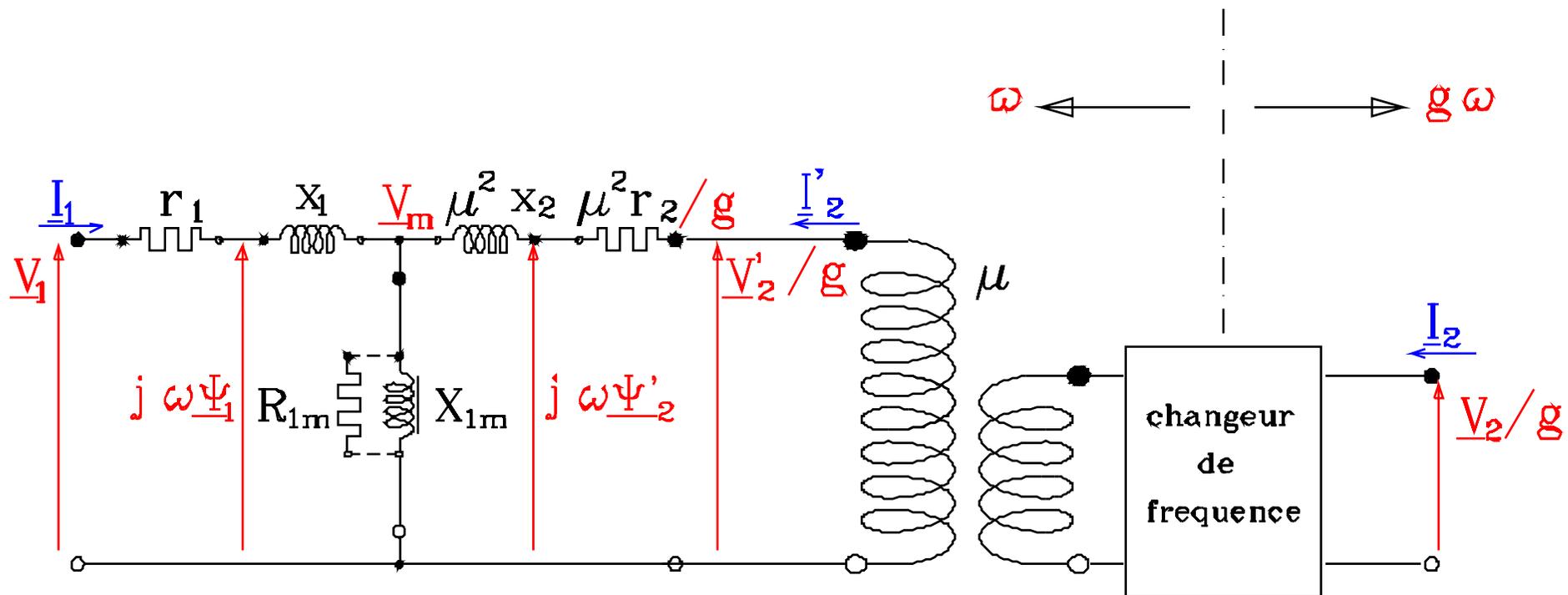
**Machine en rotation - Alimentation par le rotor - Stator ouvert**

# Schéma équivalent



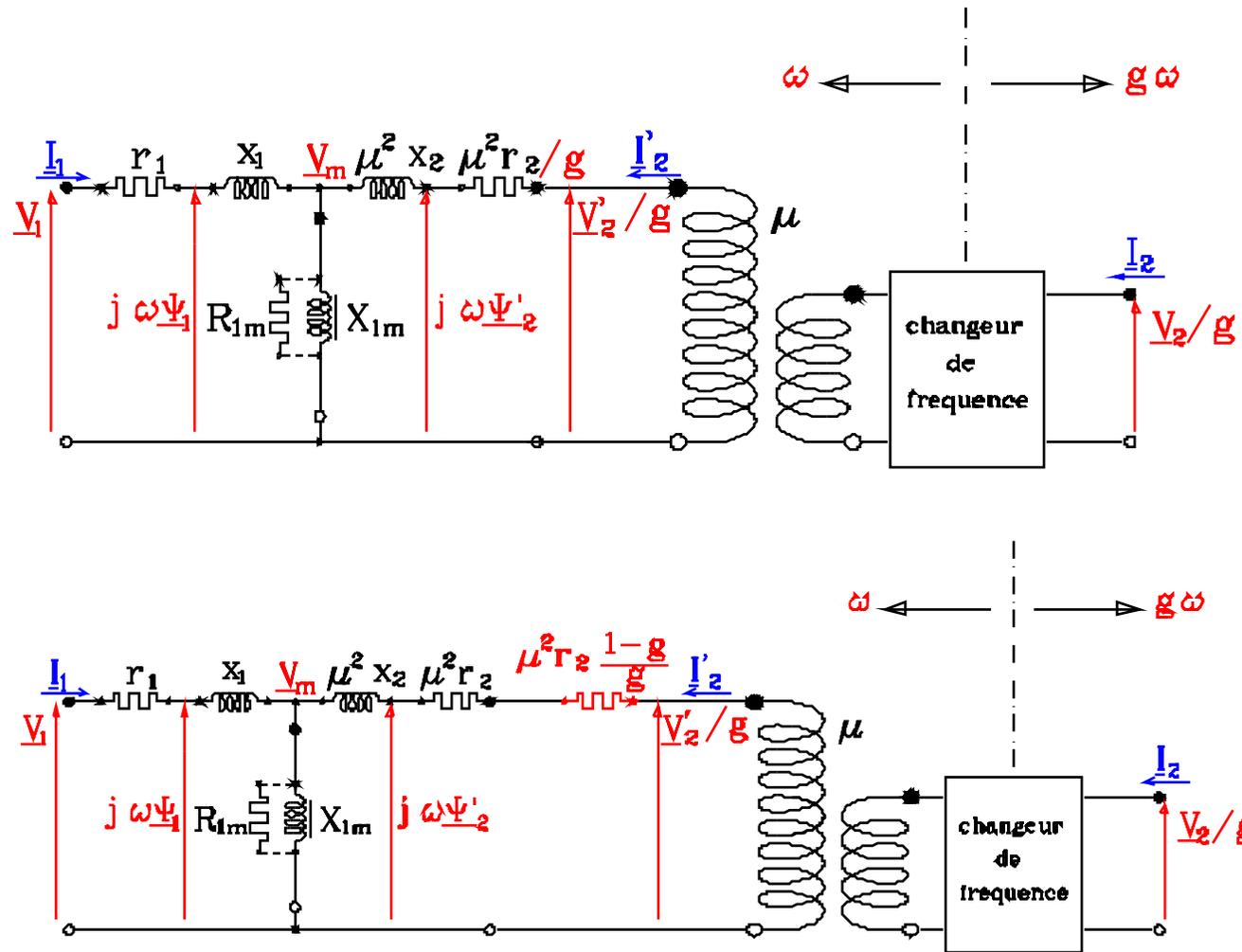
**Machine en rotation - Alimentation par le rotor - Stator ouvert**

# Schéma équivalent



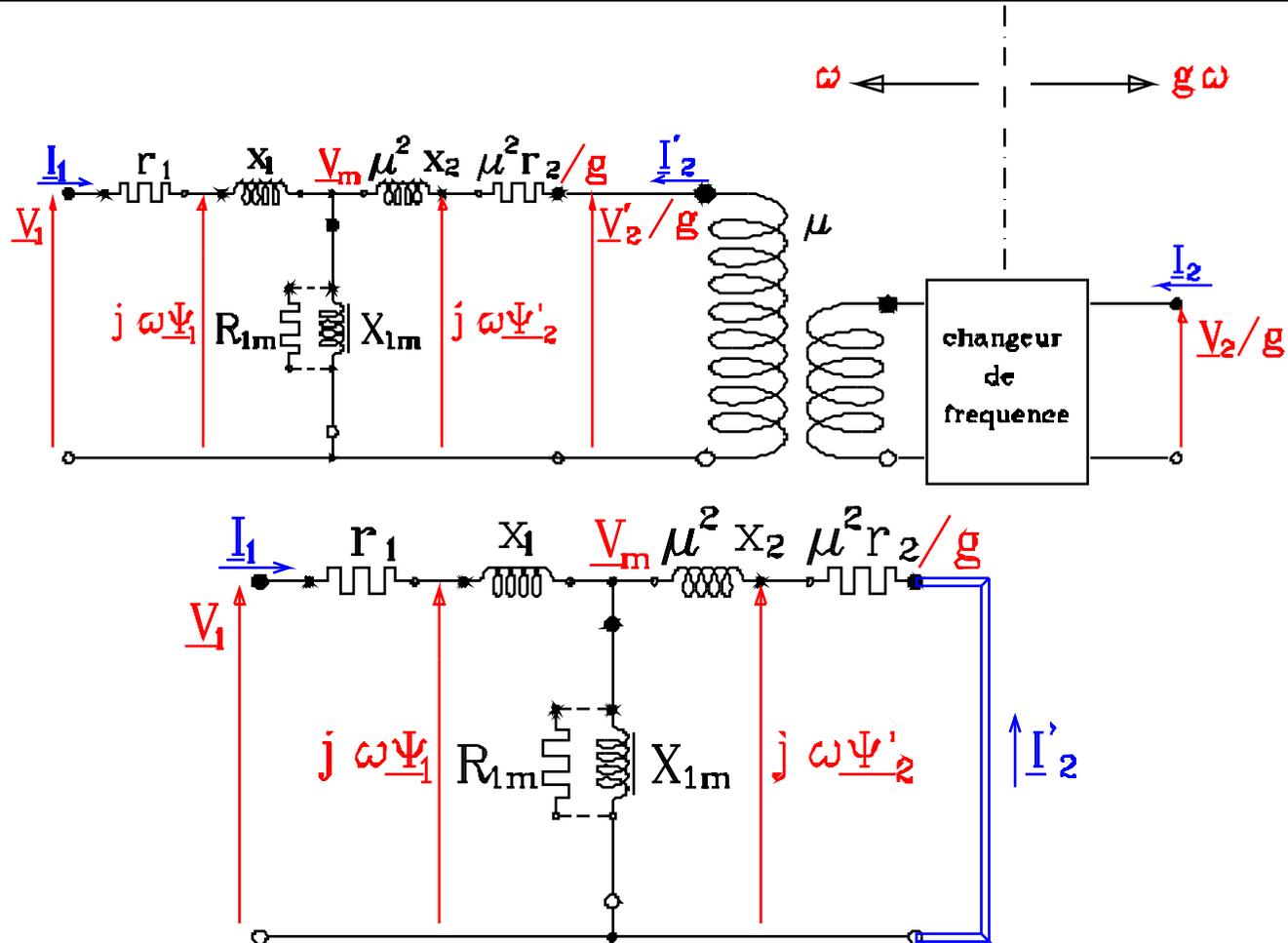
**Alimentation symétrique d'ordre direct - Machine en rotation**

# Schéma équivalent



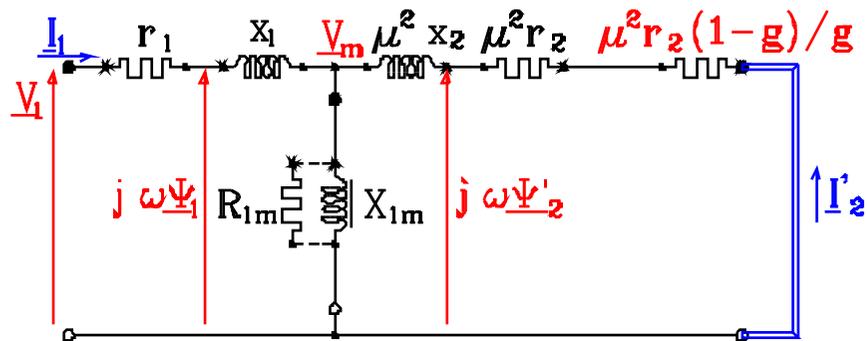
**Alimentation symétrique d'ordre direct - Machine en rotation**

# Schéma équivalent Rotor en court-circuit

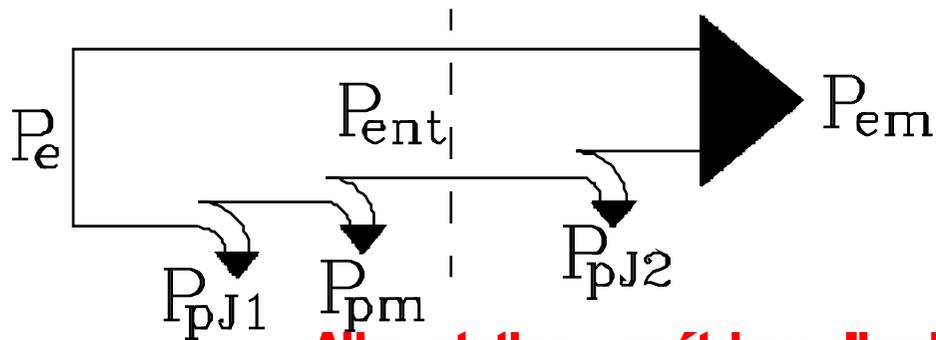


**Alimentation symétrique d'ordre direct - Machine en rotation**

# Bilan des puissances

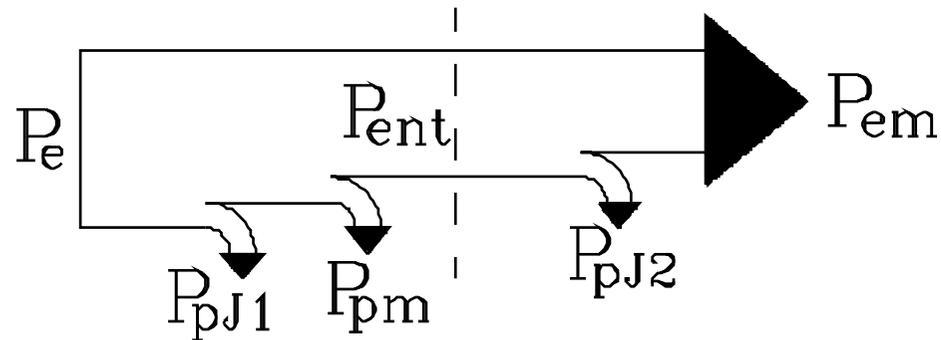


$$P_{em} = \frac{1-g}{g} 3 r_2 I_2^2$$



**Alimentation symétrique d'ordre direct - Machine en rotation**

# Relations entre puissances



$$P_{em} = \frac{1-g}{g} 3 r_2 I_2^2$$

$$P_{em} = \frac{1-g}{g} P_{pJ2}$$

$$P_{ent} = P_{pJ2} + P_{em} = \frac{P_{pJ2}}{g} = \frac{P_{em}}{1-g} = C_{em} \frac{\Omega_r}{1-g} = C_{em} \frac{\omega}{p}$$

**Alimentation symétrique d'ordre direct - Machine en rotation**

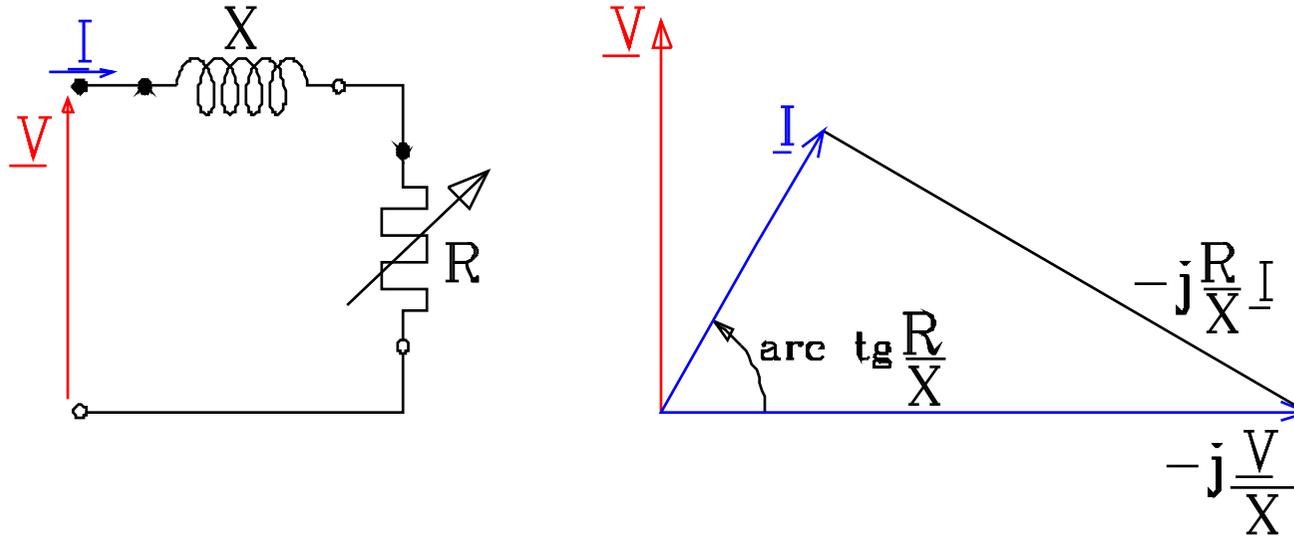
# Couple et puissance électromécanique

$$C_{em} = \frac{p}{\omega} \frac{3 r_2 I_2^2}{g}$$

$$P_{em} = \frac{1-g}{g} 3 r_2 I_2^2$$

**Alimentation symétrique d'ordre direct - Machine en rotation**

# Lemme



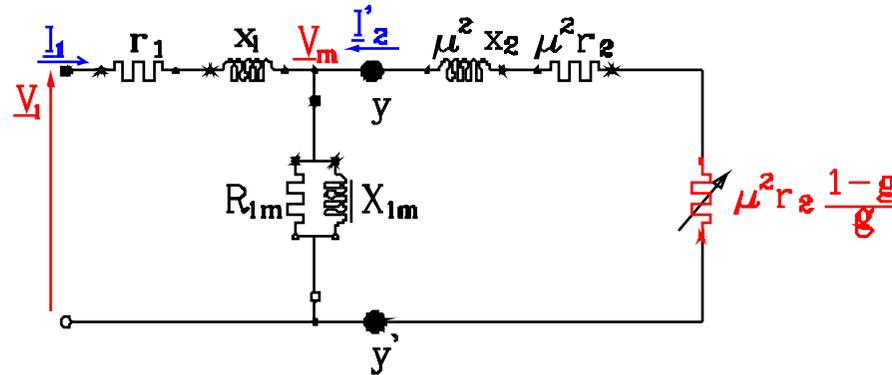
La relation  $\underline{V} = (R + jX) \underline{I}$  dont on déduit

$$-j \frac{V}{X} = \left(1 - j \frac{R}{X}\right) \underline{I}$$

montre que le lieu de l'extrémité du phasor  $\underline{I}$  à  $R$  variable, est une demi-circonférence de diamètre  $V/X$  perpendiculaire à  $\underline{V}$ .

**Diagramme des courants ( ou du cercle )**

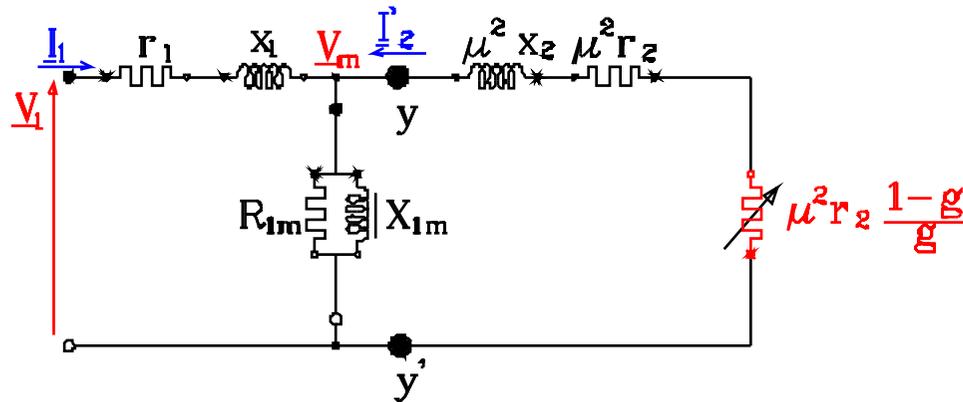
# Les impédances



$$\begin{aligned}
 Z_{1m} &= R_{1m} // X_{1m} \\
 &= \frac{R_{1m} \quad j X_{1m}}{R_{1m} + j X_{1m}} \\
 &= \textit{impédance de magnétisation vue du stator} \\
 z_1 &= r_1 + j x_1 \\
 &= \textit{impédance de dispersion du stator} \\
 z_2 &= r_2 + j x_2 \\
 &= \textit{impédance de dispersion du rotor} \\
 \underline{z}_2' &= \mu^2 \underline{z}_2 = \mu^2 r_2 + j \mu^2 x_2 = r_2' + j x_2' \\
 &= \textit{impédance de dispersion du rotor vue du stator}
 \end{aligned}$$

**Diagramme des courants ( ou du cercle )**

# Relation entre courants (1)



$$V_1 = z_1 I_1 + Z_{1m} (I_1 + I_2')$$

donc :

$$\underline{I_1} = \frac{V_1}{\underline{z_1} + \underline{Z_{1m}}} + \underline{k_1} (-\underline{I_2}')$$

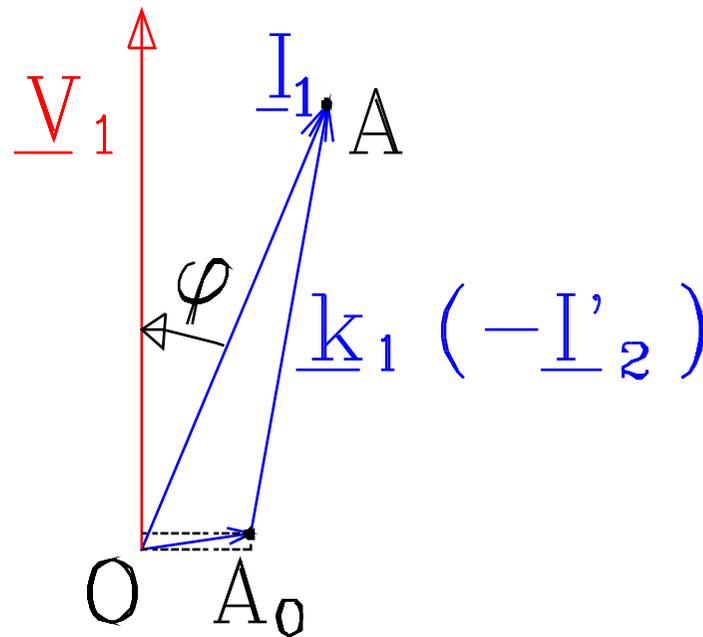
$$\text{en posant } \underline{k_1} = \frac{\underline{Z_{1m}}}{\underline{z_1} + \underline{Z_{1m}}} = k_1 \angle \epsilon_1$$

**Diagramme des courants ( ou du cercle )**

## Relation entre courants (2)

$$\underline{I}_1 = \frac{V_1}{z_1 + \underline{Z}_{1m}} + \underline{k}_1 (-\underline{I}'_2)$$

en posant  $\underline{k}_1 = \frac{Z_{1m}}{z_1 + \underline{Z}_{1m}} = k_1 \angle \varepsilon_1$



**Diagramme des courants ( ou du cercle )**

# Théorème de Thévenin

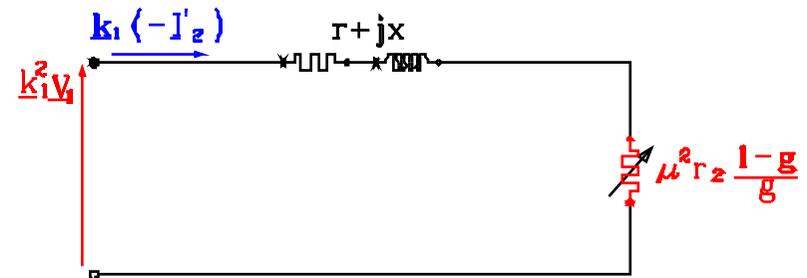
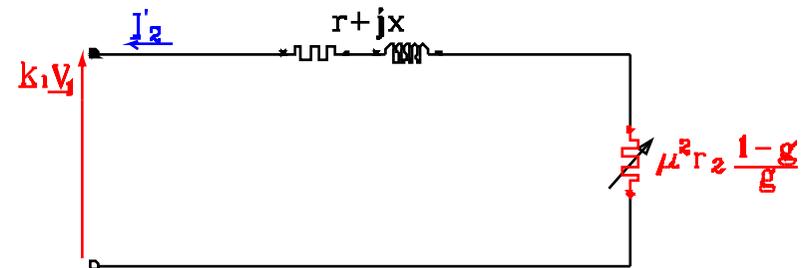
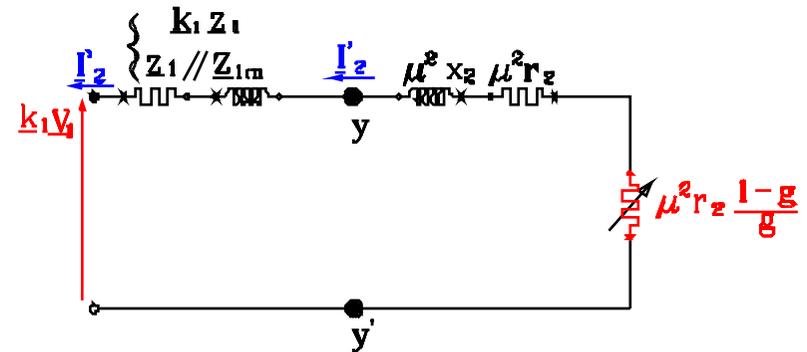
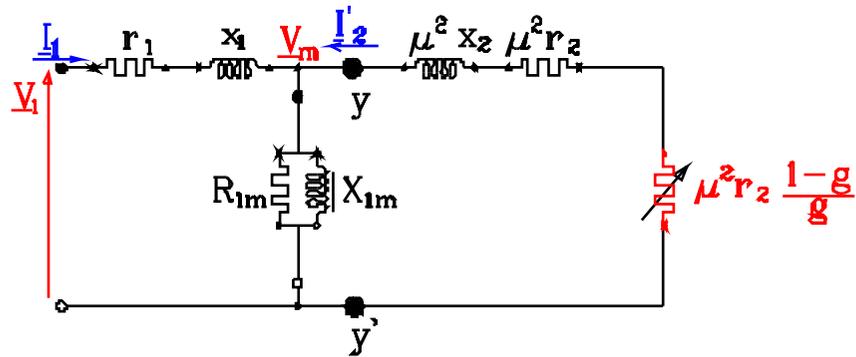
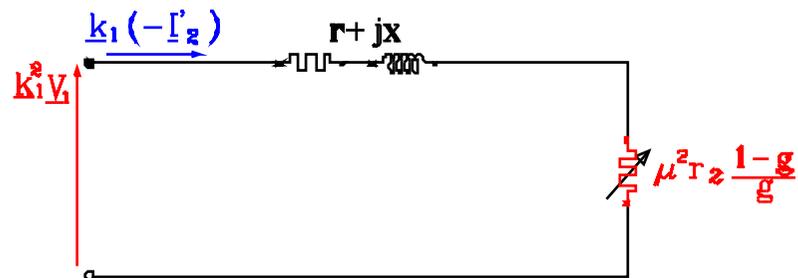
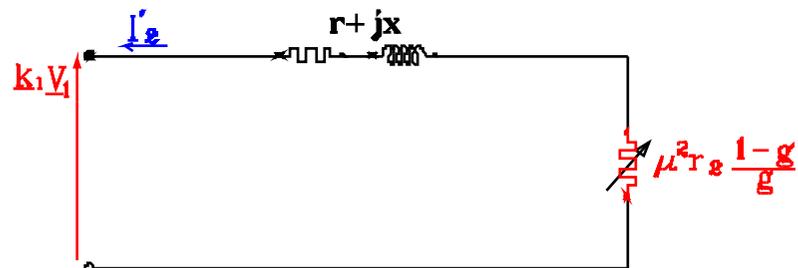
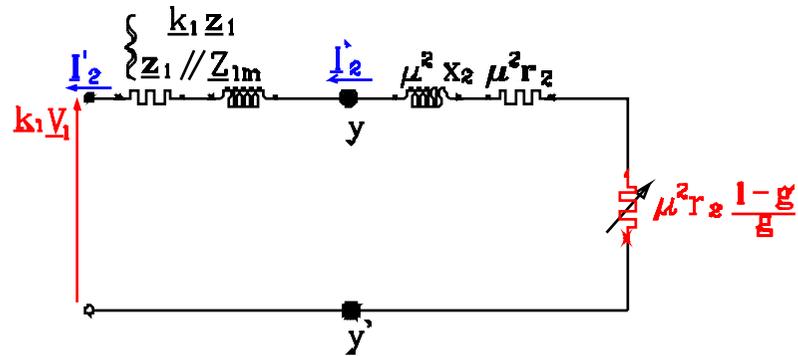


Diagramme des courants ( ou du cercle )

# Théorème de Thévenin



$$\begin{aligned}
 z &= r + j x \\
 &= z_1 Z_{1m} + \mu^2 r_2 + j \mu^2 x_2 \\
 &= \underline{z}_1 + \underline{Z}_{1m} \\
 &= \underline{k}_1 \underline{z}_1 + \mu^2 \underline{z}_2 \\
 &= \underline{z}_{1k} + \mu^2 \underline{z}_2
 \end{aligned}$$

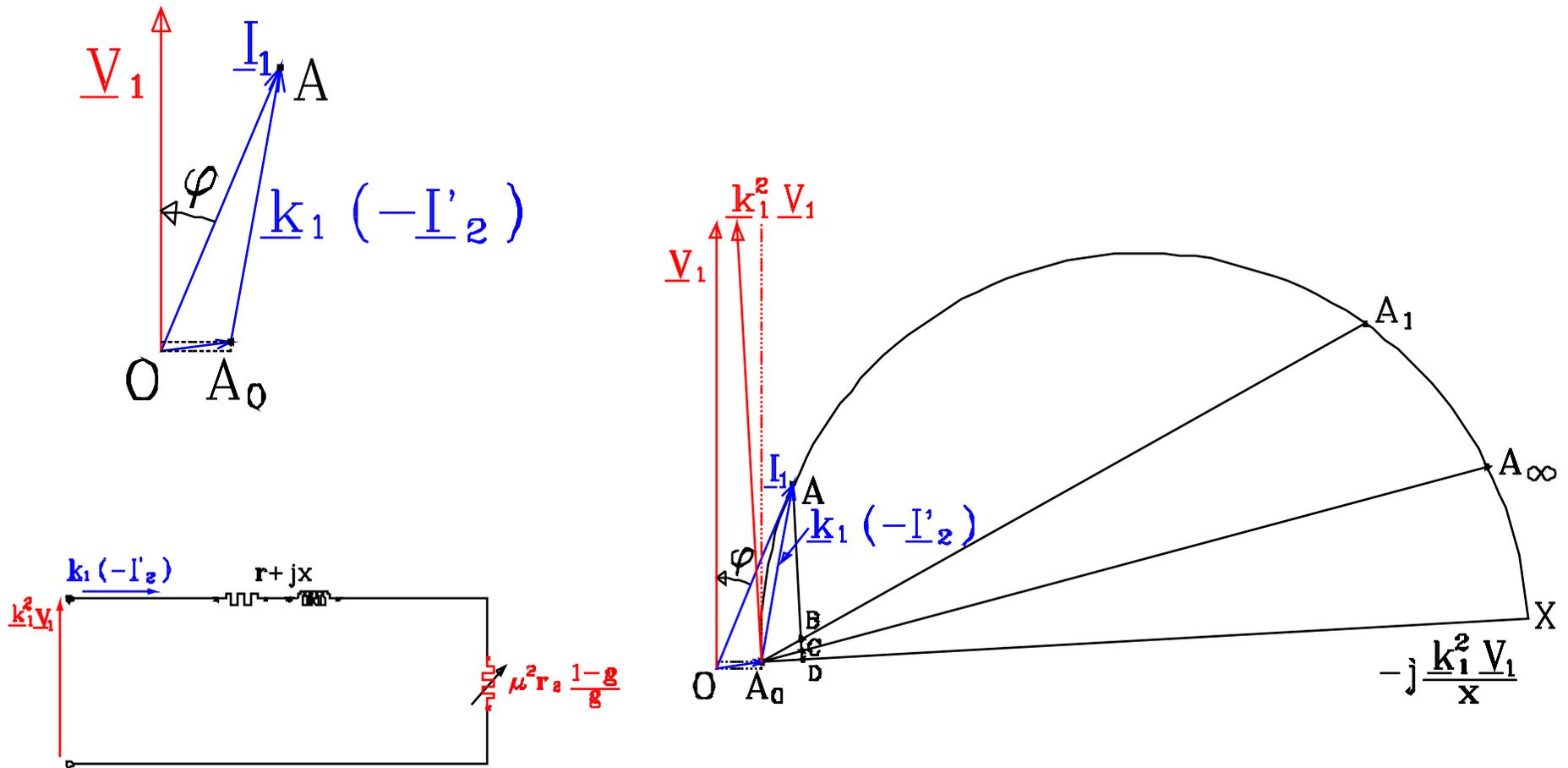
en appelant :

$$\underline{z}_{1k} = \underline{k}_1 \underline{z}_1 = r_{1k} + j x_{1k}$$

l'impédance de dispersion **généralisée** du stator.

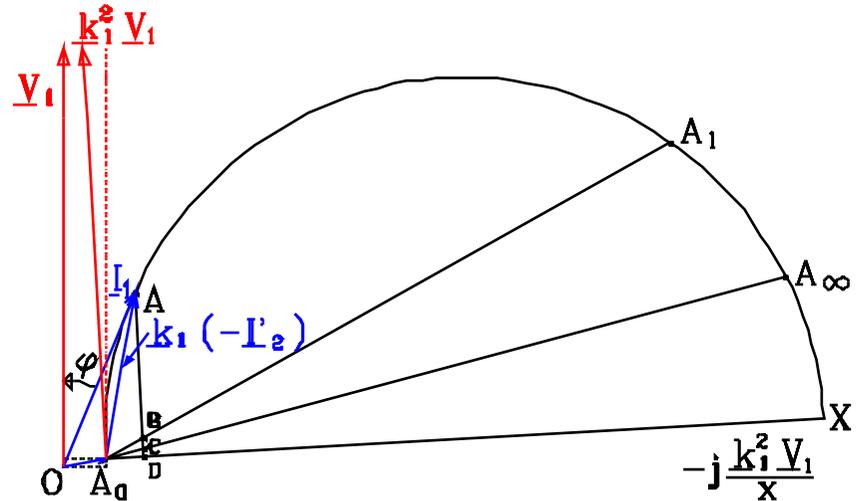
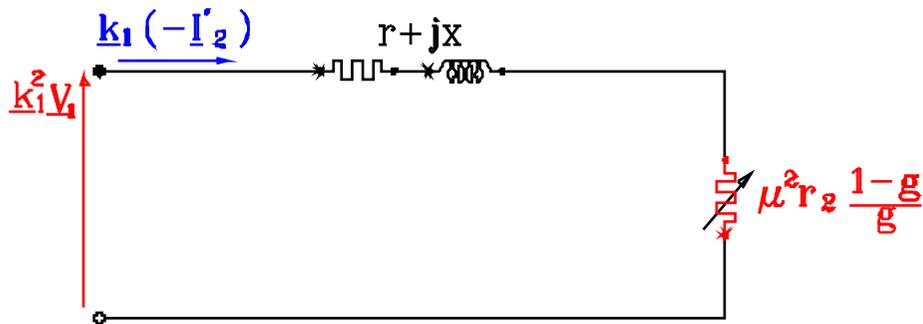
**Diagramme des courants ( ou du cercle )**

# Diagramme du cercle



**Diagramme des courants ( ou du cercle )**

# Points particuliers



$$DA = A_0 D \operatorname{tg} \angle AA_0 X = \frac{A_0 D}{x} \left( r + \frac{1-g}{g} \mu^2 r_2 \right)$$

$$DB = A_0 D \operatorname{tg} \angle A_1 A_0 X = \frac{A_0 D}{x} r$$

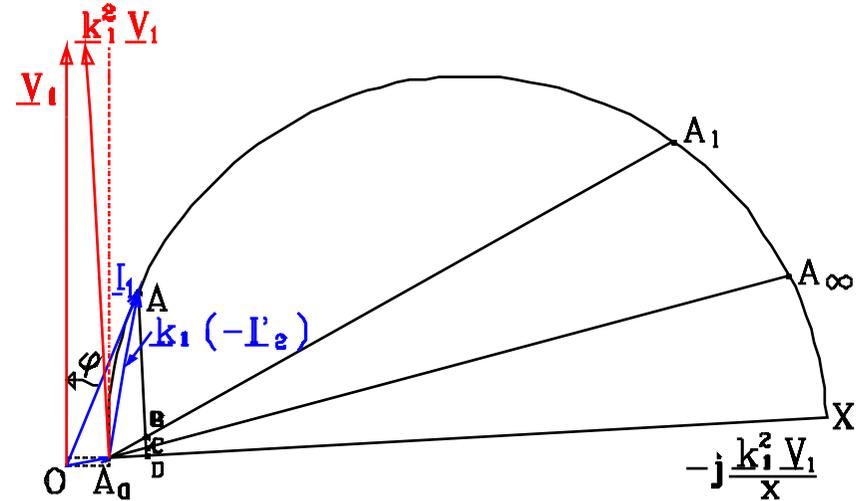
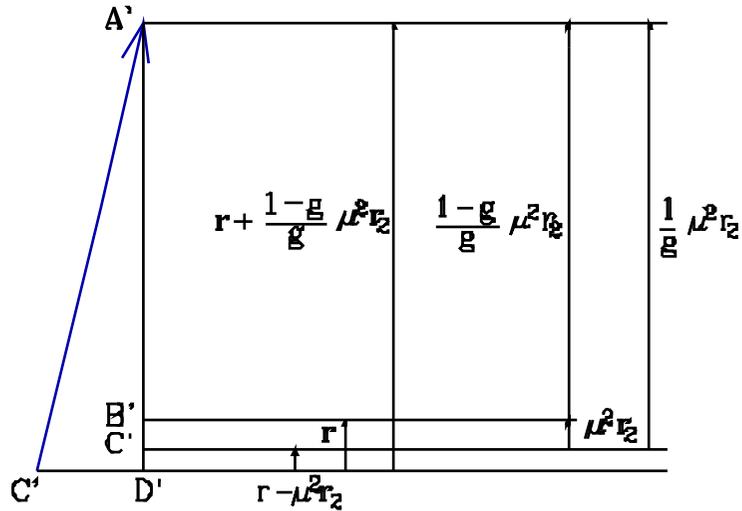
$$DC = A_0 D \operatorname{tg} \angle A_\infty A_0 X = \frac{A_0 D}{x} (r - \mu^2 r_2)$$

$$\begin{aligned} \text{avec } r &= \operatorname{Re} \left( \frac{z_1 Z_{1m}}{z_1 + Z_{1m}} \right) + \mu^2 r_2 \\ &= \operatorname{Re} (k_1 z_1) + \mu^2 r_2 \\ &= r_{1k} + \mu^2 r_2 \end{aligned}$$

**Diagramme des courants ( ou du cercle )**



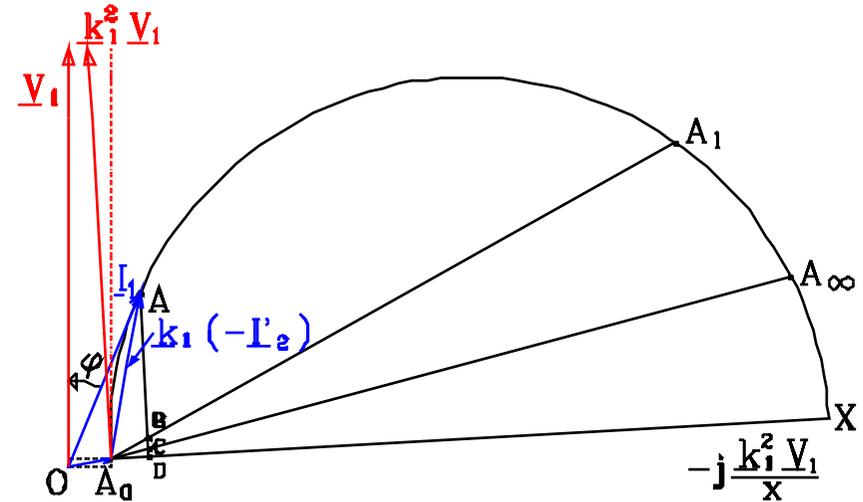
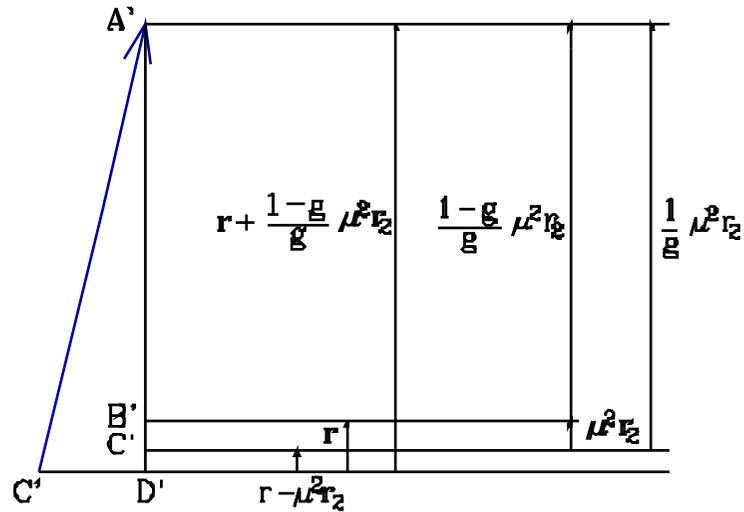
# Glissement



$$\frac{CB}{CA} = \frac{C'B'}{C'A'} = \frac{\mu^2 r_2}{\frac{1}{g} \mu^2 r_2} = g$$

**Diagramme des courants ( ou du cercle )**

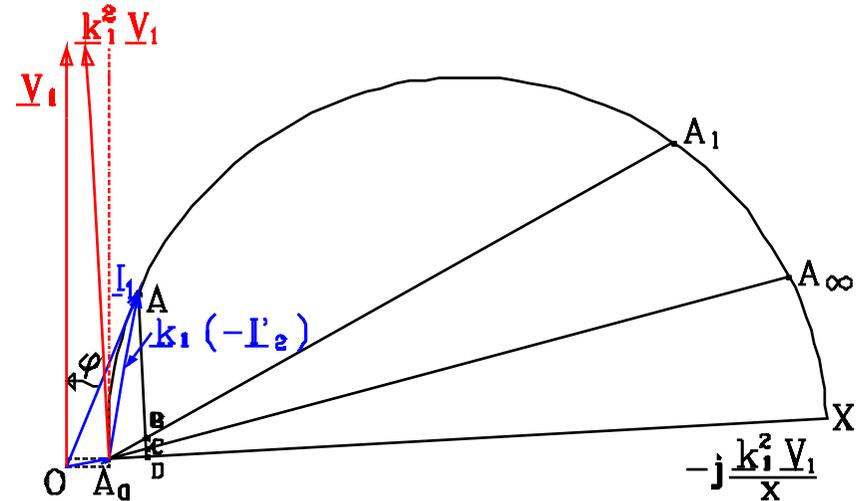
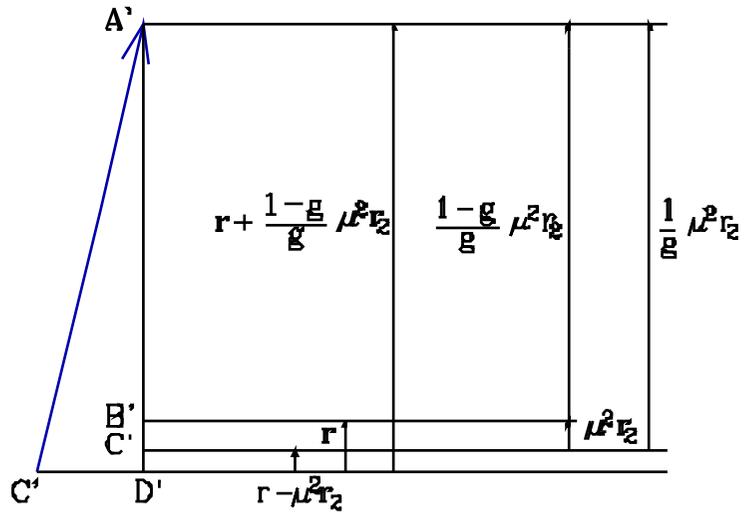
# Couple électromécanique



$$C_{em} = \frac{3p}{\omega} \frac{r_2 I_2^2}{g}$$

**Diagramme des courants ( ou du cercle )**

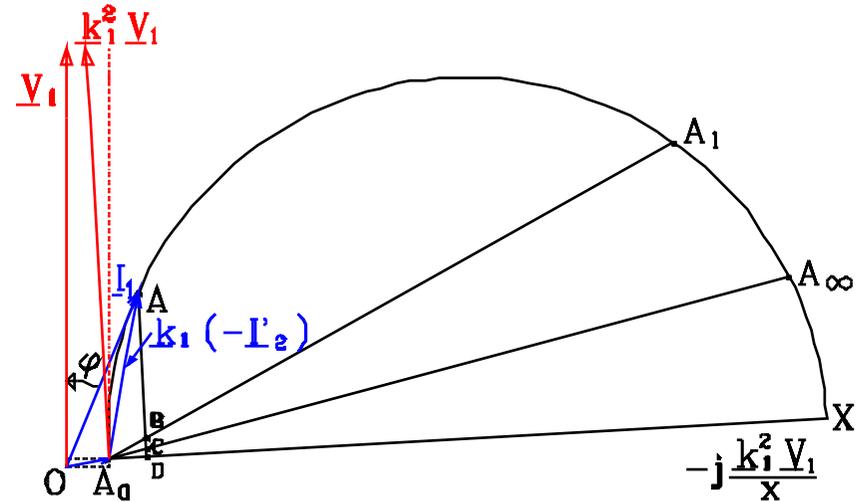
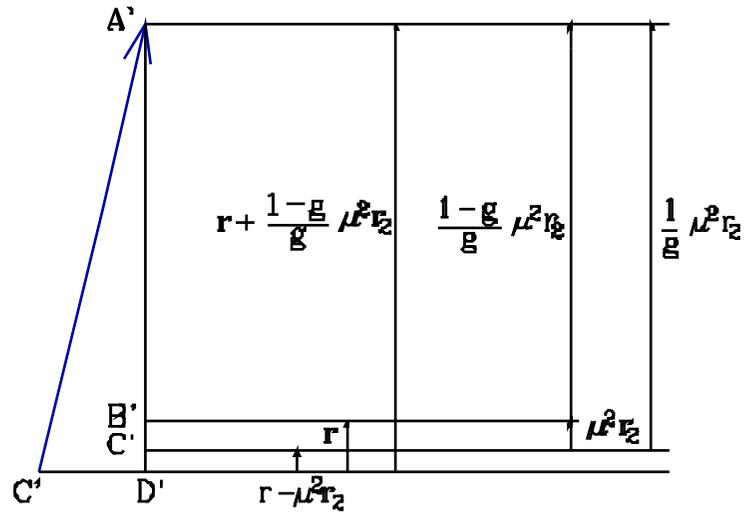
# Couple électromécanique



$$C_{em} = \frac{3p}{\omega} V_1 CA$$

**Diagramme des courants ( ou du cercle )**

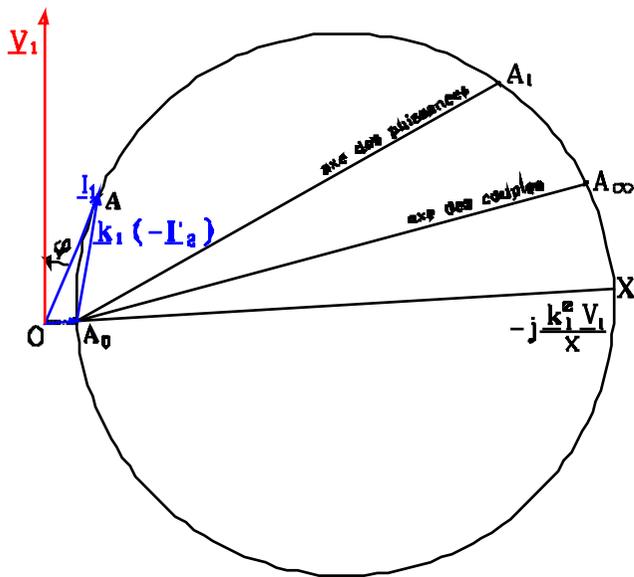
# Puissance électromécanique



$$P_{em} = 3 V_1 BA$$

**Diagramme des courants ( ou du cercle )**

# Fonctionnement en moteur, en frein, en génératrice



Le point  $X$  correspond à une valeur nulle de la résistance totale

$$r_{1k} + \frac{r_2'}{g} = 0$$

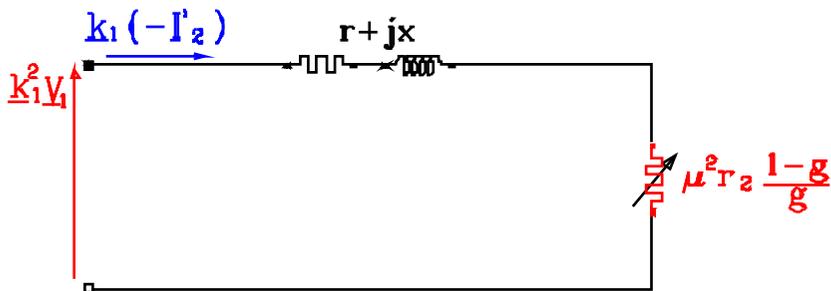
donc au glissement

$$g = - \frac{r_2'}{r_{1k}}$$

**Caractéristique mécanique  $C_{em} = f(\Omega_r)$  ou  $C_{em} = f(g)$**

# Caractéristique mécanique : expression analytique

$$C_{em} = \frac{3p}{\omega} \frac{r_2 I_2^2}{g}$$



Le schéma équivalent de la figure 6.1-13 permet d'écrire :

$$I_2^2 = \frac{k_1^2 V_1^2}{\left( r_{1k} + \mu^2 \frac{r_2}{g} \right)^2 + (x_{1k} + \mu^2 x_2)^2}$$

donc

$$C_{em} = \frac{3p}{\omega} \frac{\mu^2 \frac{r_2}{g} k_1^2 V_1^2}{\left( r_{1k} + \mu^2 \frac{r_2}{g} \right)^2 + (x_{1k} + \mu^2 x_2)^2}$$

**Caractéristique mécanique  $C_{em} = f(\Omega_r)$  ou  $C_{em} = f(g)$**

# Caractéristique mécanique : approximation pour les faibles valeurs du glissement

$$C_{em} = \frac{3p}{\omega} \frac{\mu^2 \frac{r_2}{g} k_1^2 V_1^2}{\left( r_{1k} + \mu^2 \frac{r_2}{g} \right)^2 + \left( x_{1k} + \mu^2 x_2 \right)^2}$$

Devient

$$C_{em} \approx \frac{3p}{\omega} \frac{k_1^2 V_1^2 g}{\mu^2 r_2}$$

**Caractéristique** mécanique  $C_{em} = f(\Omega_r)$  ou  $C_{em} = f(g)$

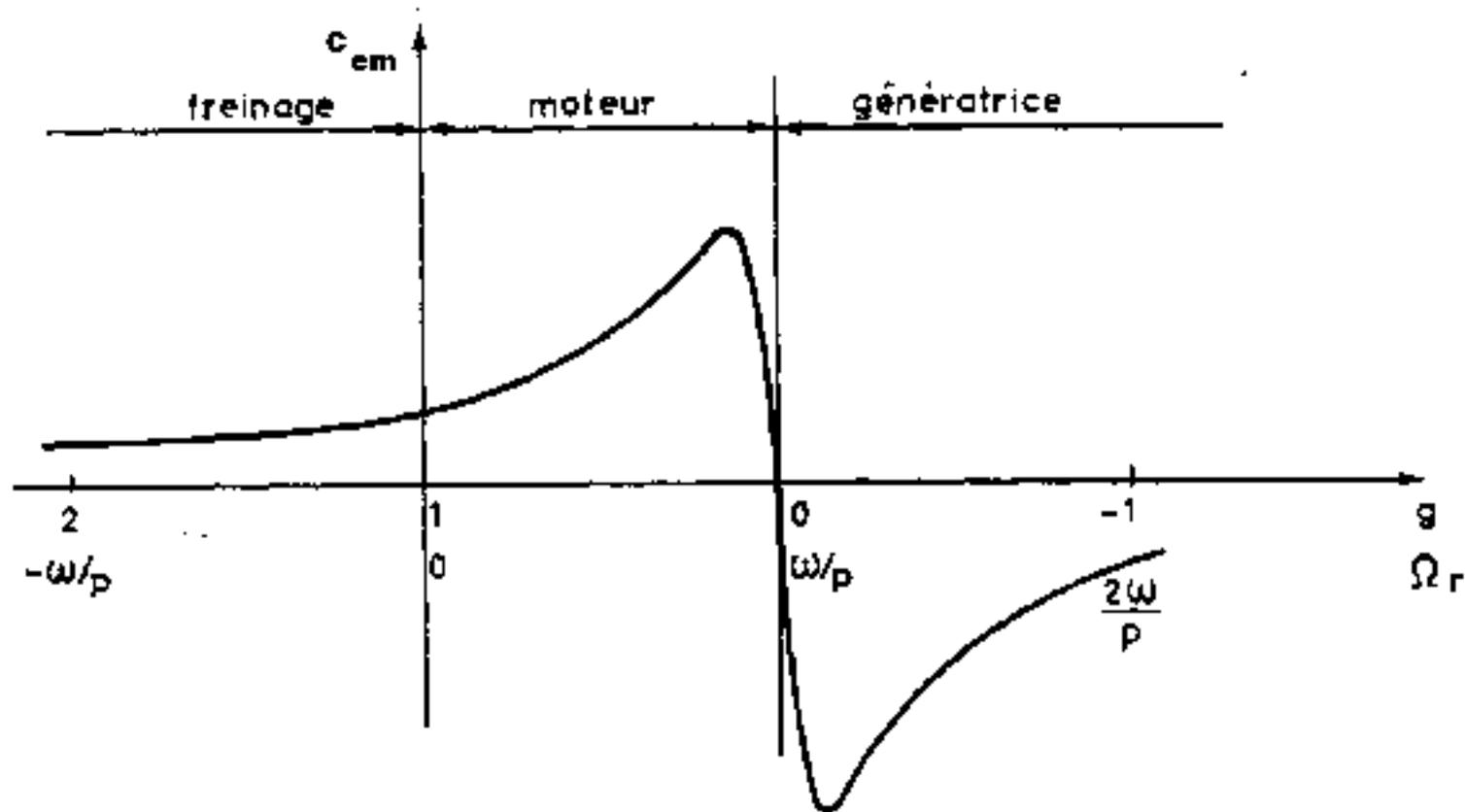
# Caractéristique mécanique : approximation pour les valeurs élevées du glissement

$$C_{em} = \frac{3p}{\omega} \mu^2 \frac{r_2}{g} \frac{k_1^2 V_1^2}{\left( r_{1k} + \mu^2 \frac{r_2}{g} \right)^2 + (x_{1k} + \mu^2 x_2)^2}$$

$$\approx \frac{3p}{\omega} \mu^2 \frac{r_2}{g} \frac{k_1^2 V_1^2}{(x_{1k} + \mu^2 x_2)^2} \quad \text{de manière approchée}$$

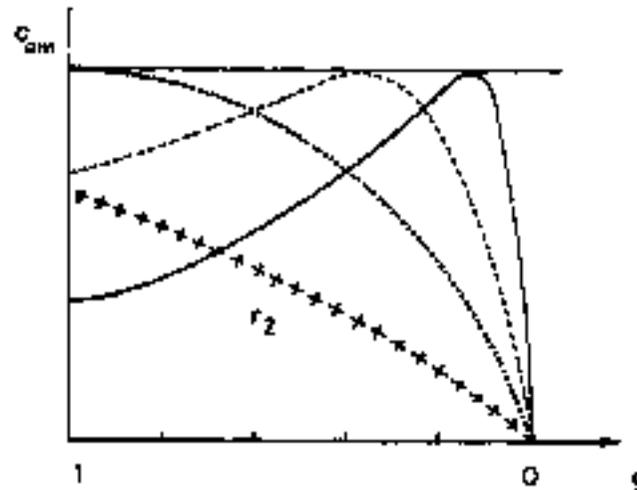
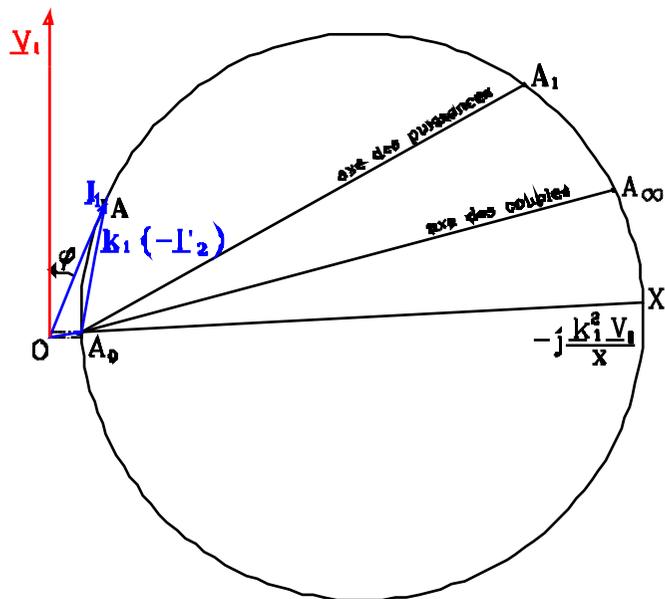
**Caractéristique** mécanique  $C_{em} = f(\Omega_r)$  ou  $C_{em} = f(g)$

# Caractéristique mécanique



Caractéristique mécanique  $C_{em} = f(\Omega_r)$  ou  $C_{em} = f(g)$

# Influence de la résistance rotorique



Caractéristique mécanique  $C_{em} = f(\Omega_r)$  ou  $C_{em} = f(g)$

# Machine d'induction à cage d'écureuil

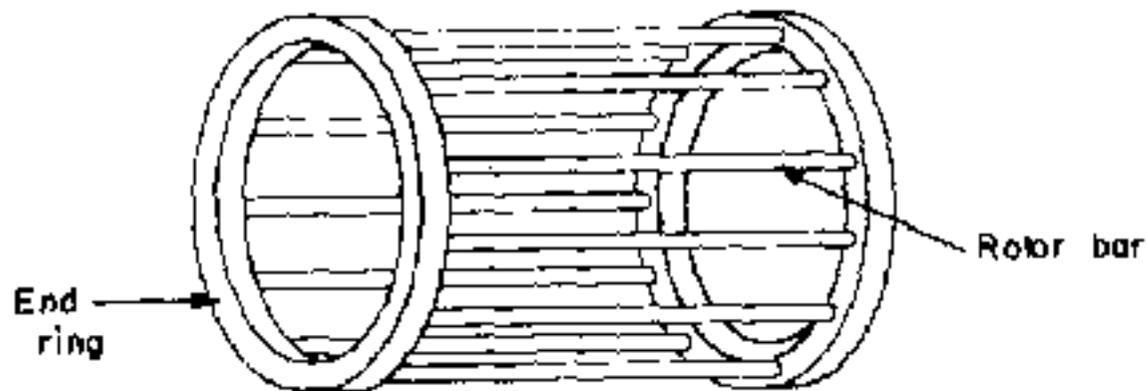
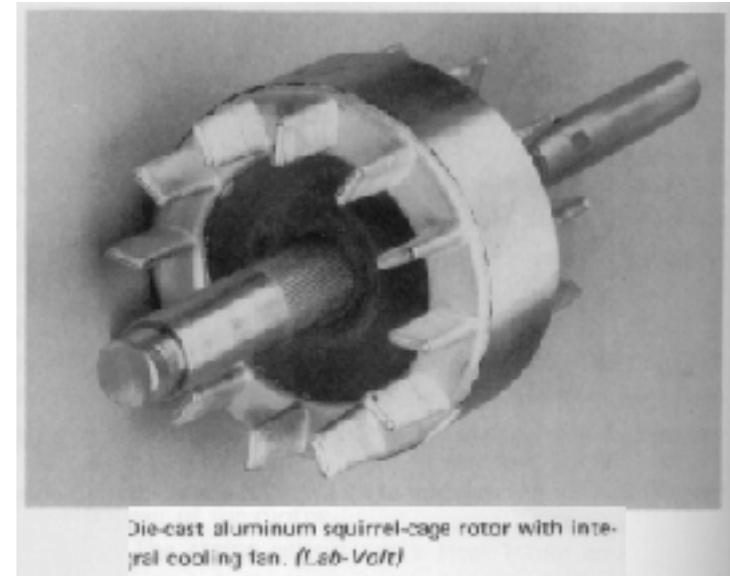


Fig. 7-2. Simplified squirrel cage.



## LA MACHINE D'INDUCTION A CAGE D'ECUREUIL EN REGIME

# Effet pelliculaire sur la résistance rotorique

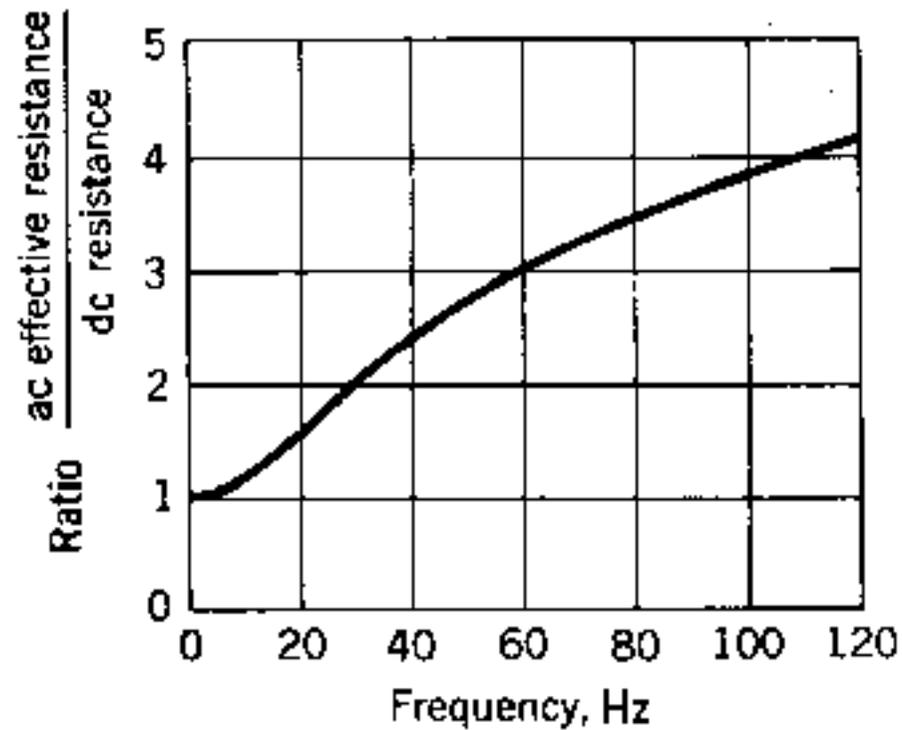
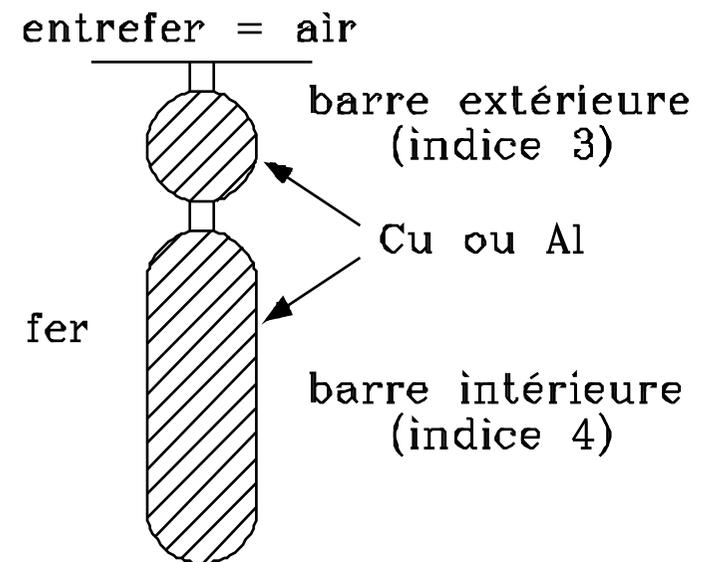
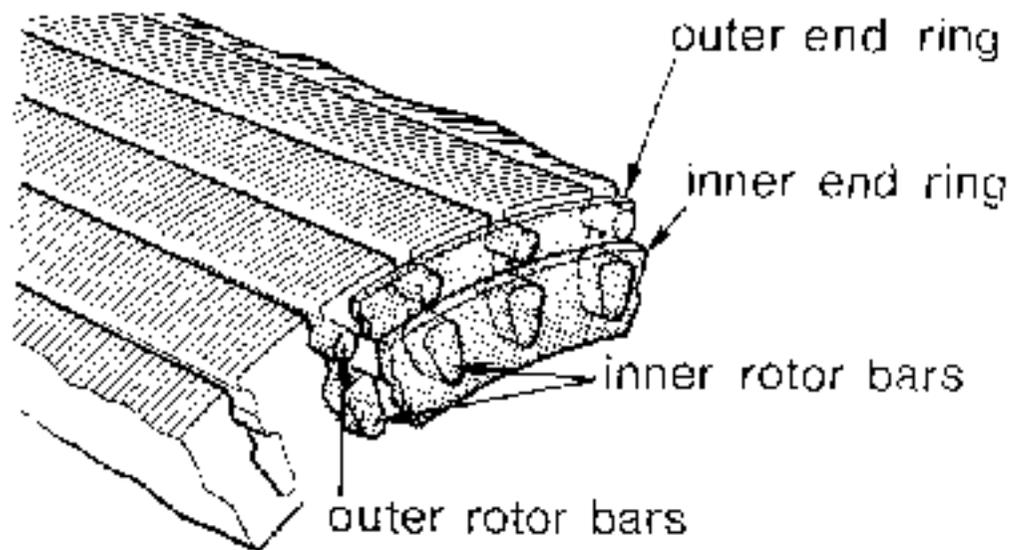


Fig. 7-16. Skin effect in a copper rotor bar 1.00 in. deep.

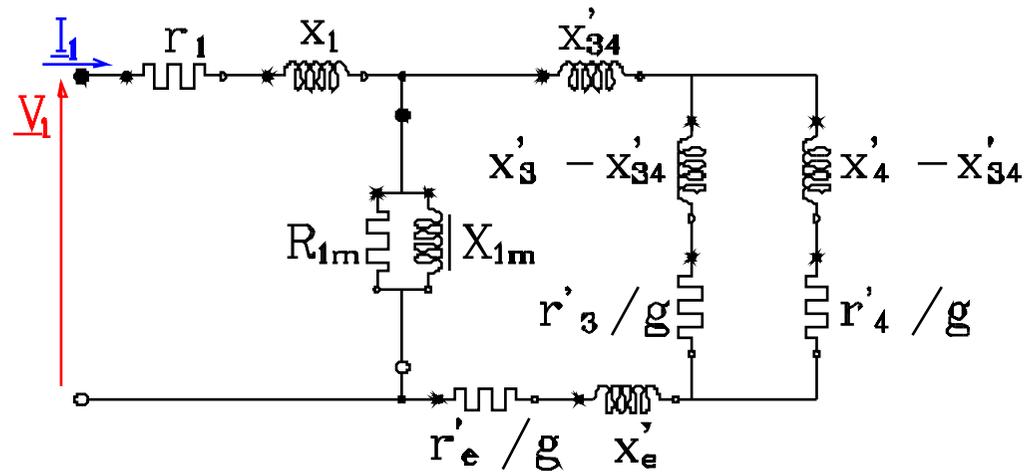
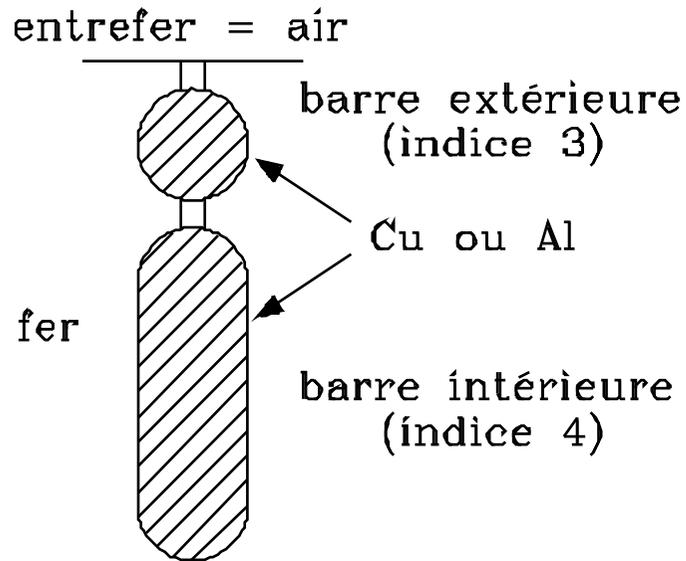
**LA MACHINE D'INDUCTION A CAGE D'ECUREUIL EN REGIME**

# Double cage



**LA MACHINE D'INDUCTION A CAGE D'ECUREUIL EN REGIME**

# Double cage



**LA MACHINE D'INDUCTION A CAGE D'ECUREUL EN REGIME**

# Classes NEMA

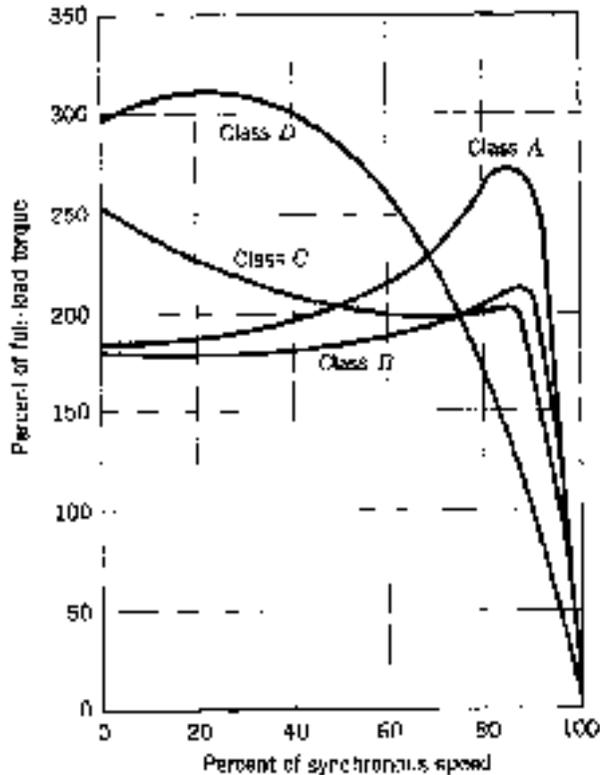


Fig. 7-1E. Typical torque-speed curves for 1,800-rpm general purpose induction motors.

## Classe A :

rotor à simple cage de faible résistance

$$C_{dem} = 1,8 \text{ à } 2 C_N$$

$$I_{dem} = 5 \text{ à } 8 I_N$$

faible glissement, bon rendement

## Classe B :

rotor à double cage ou barres profondes (très répandu)

$$C_{dem} = 1,8 \text{ à } 2 C_N$$

$$I_{dem} = 3 \text{ à } 5 I_N$$

faible glissement, bon rendement

facteur de puissance moins bon que A

Utilisation : lorsque les exigences de couple au démarrage ne sont pas trop sévères : ventilateurs, soufflantes, pompes, etc...

## Classe C :

double cage de résistance plus élevée que B

$$C_{dem} = 2,5 C_N \text{ (élevé)}$$

$$I_{dem} = 3 \text{ à } 5 I_N \text{ (comme classe B)}$$

glissement plus important et rendement moins bon que les moteurs de classes A et B  
applications : compresseurs, ...

## Classe D :

simple cage de résistance plus élevée que C

fort couple au démarrage, fort glissement

applications : cisailles, poinçonneuses, ... avec volant important

## LA MACHINE D'INDUCTION A CAGE D'ECUREUIL EN REGIME

# Le moteur asynchrone

## Remarque :

*L'inconvénient fondamental de ce type de moteur réside dans la faible valeur du facteur de puissance : **0,85** à **0,9** à pleine charge, **0,1** à vide*

*Il faut également remarquer que la vitesse n'est pas aisément réglable économiquement mais que sa simplicité est grande et que les coûts d'installation et d'entretien sont faibles.*

**LA MACHINE D'INDUCTION A CAGE D'ECUREUL EN REGIME**

# Split phase

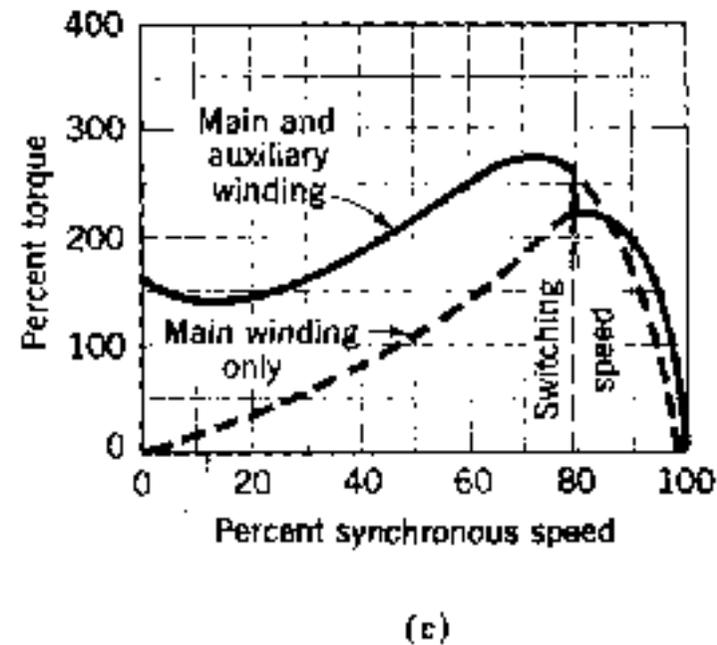
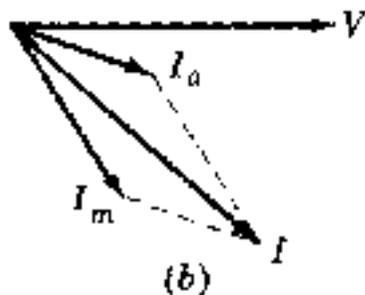
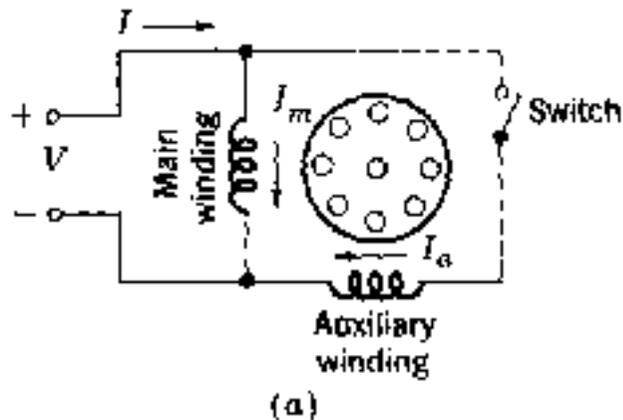


Fig. 11-4. Split-phase motor. (a) Connections. (b) Phasor diagram at starting. (c) Typical torque-speed characteristic.

**Le moteur d'induction monophasé**

# Démarrage par condensateur

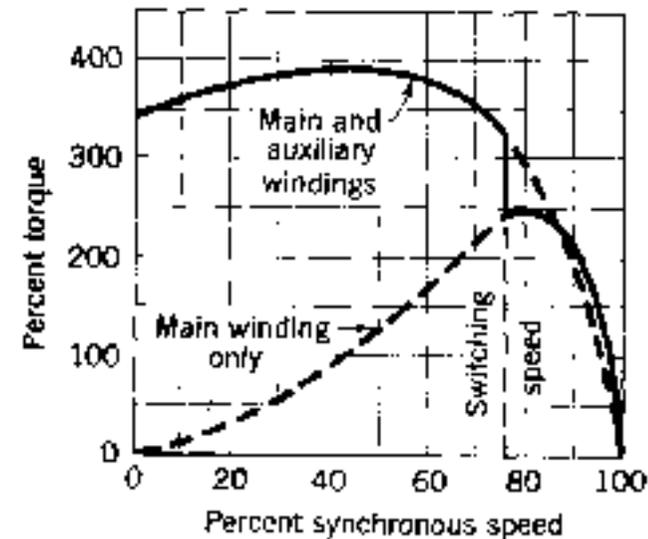
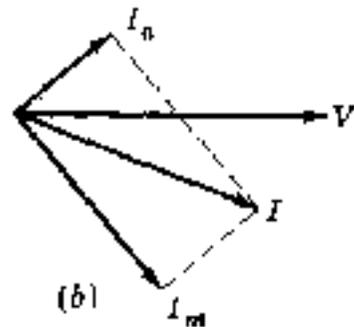
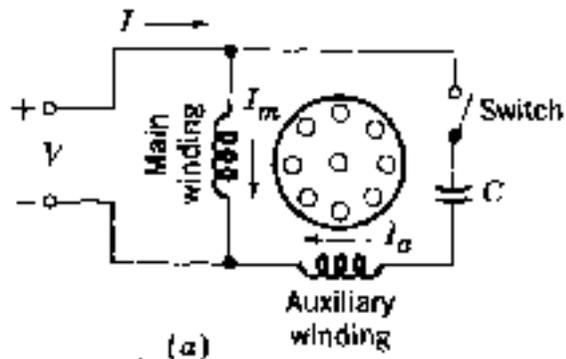


Fig. 11-5. Capacitor-start motor. (a) Connections. (b) Phasor diagram at starting. (c) Typical torque-speed characteristic.

**Le moteur d'induction monophasé**

# Capacité permanente

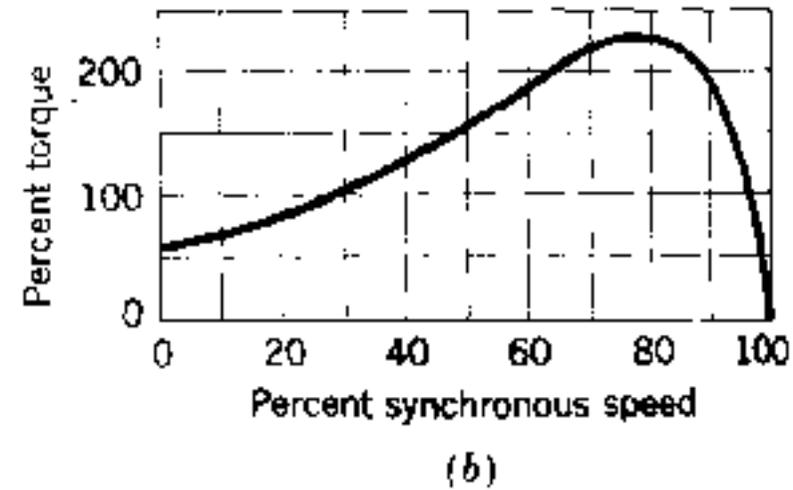
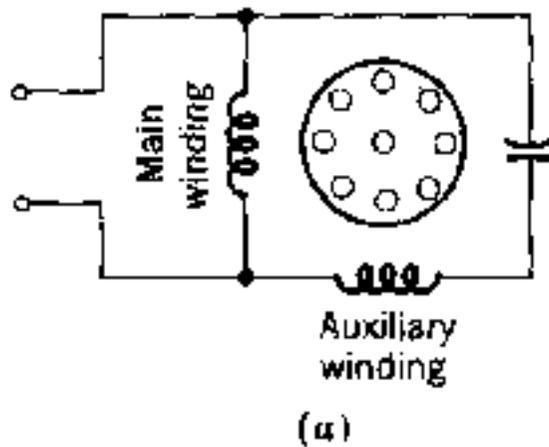
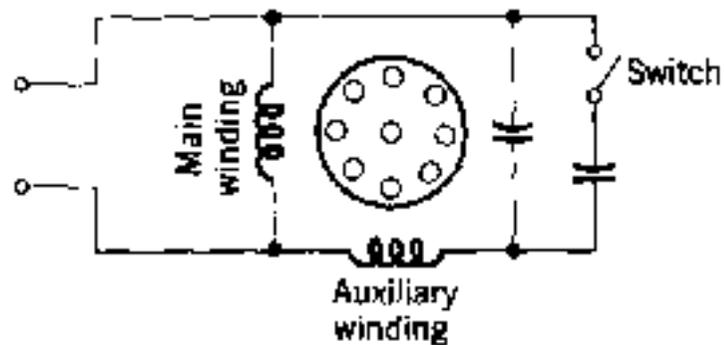


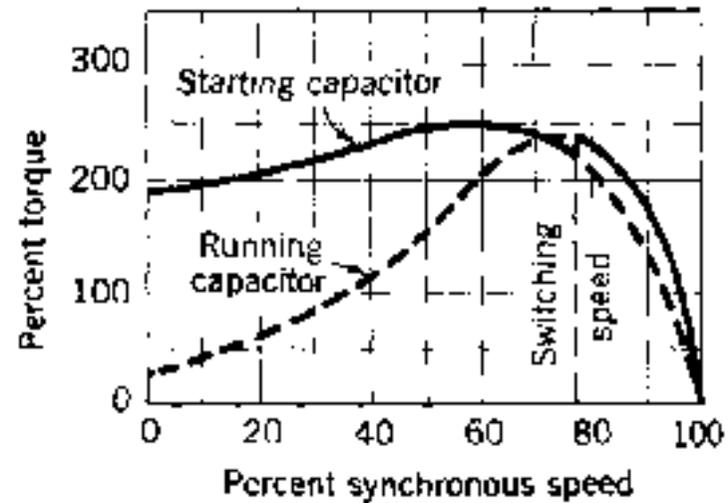
Fig. 11-7. Permanent-split-capacitor motor and typical torque-speed characteristic.

**Le moteur d'induction monophasé**

# Deux condensateurs



(a)

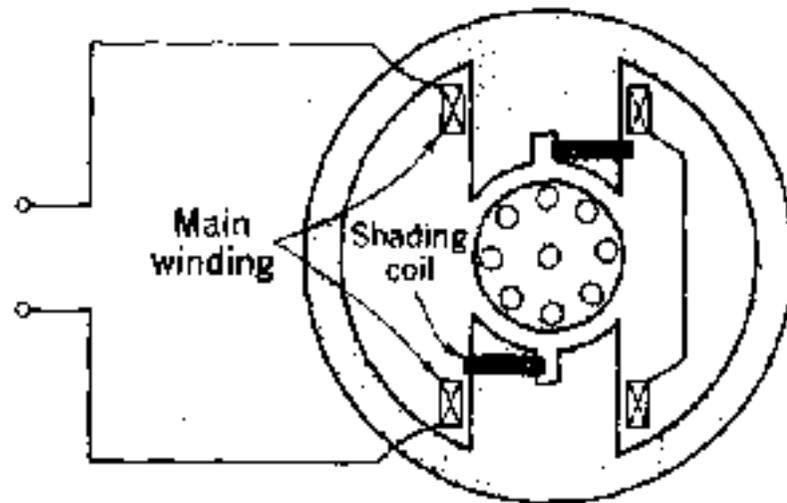


(b)

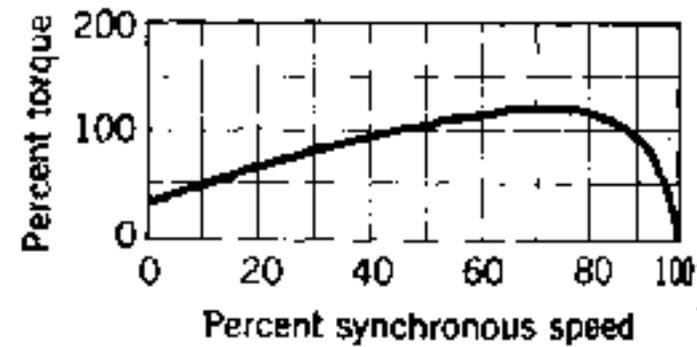
Fig. 11-8. Two-value-capacitor motor and typical torque-speed characteristic.

**Le moteur d'induction monophasé**

# Shaded-pole



(a)

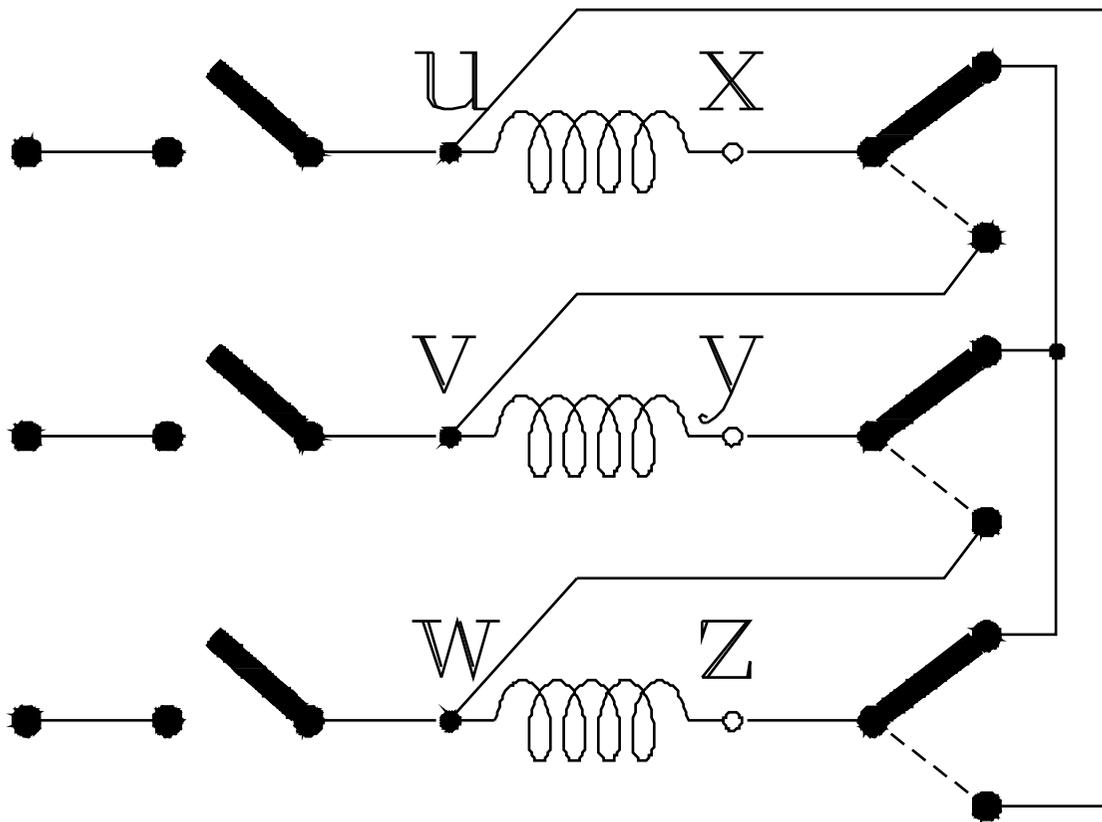


(b)

Fig. 11-9. Shaded-pole motor and typical torque-speed characteristic.

**Le moteur d'induction monophasé**

# Démarrage Etoile-Triangle



**Démarrage : limitation du courant**

# Modification du nombre de paires de pôles $p$

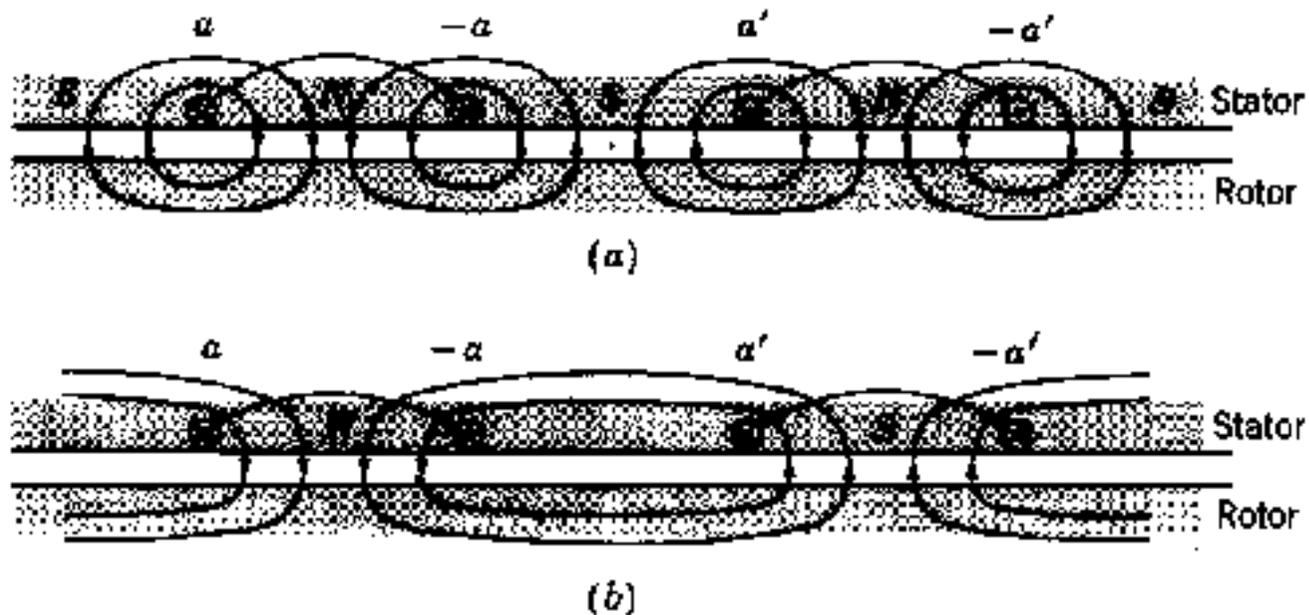
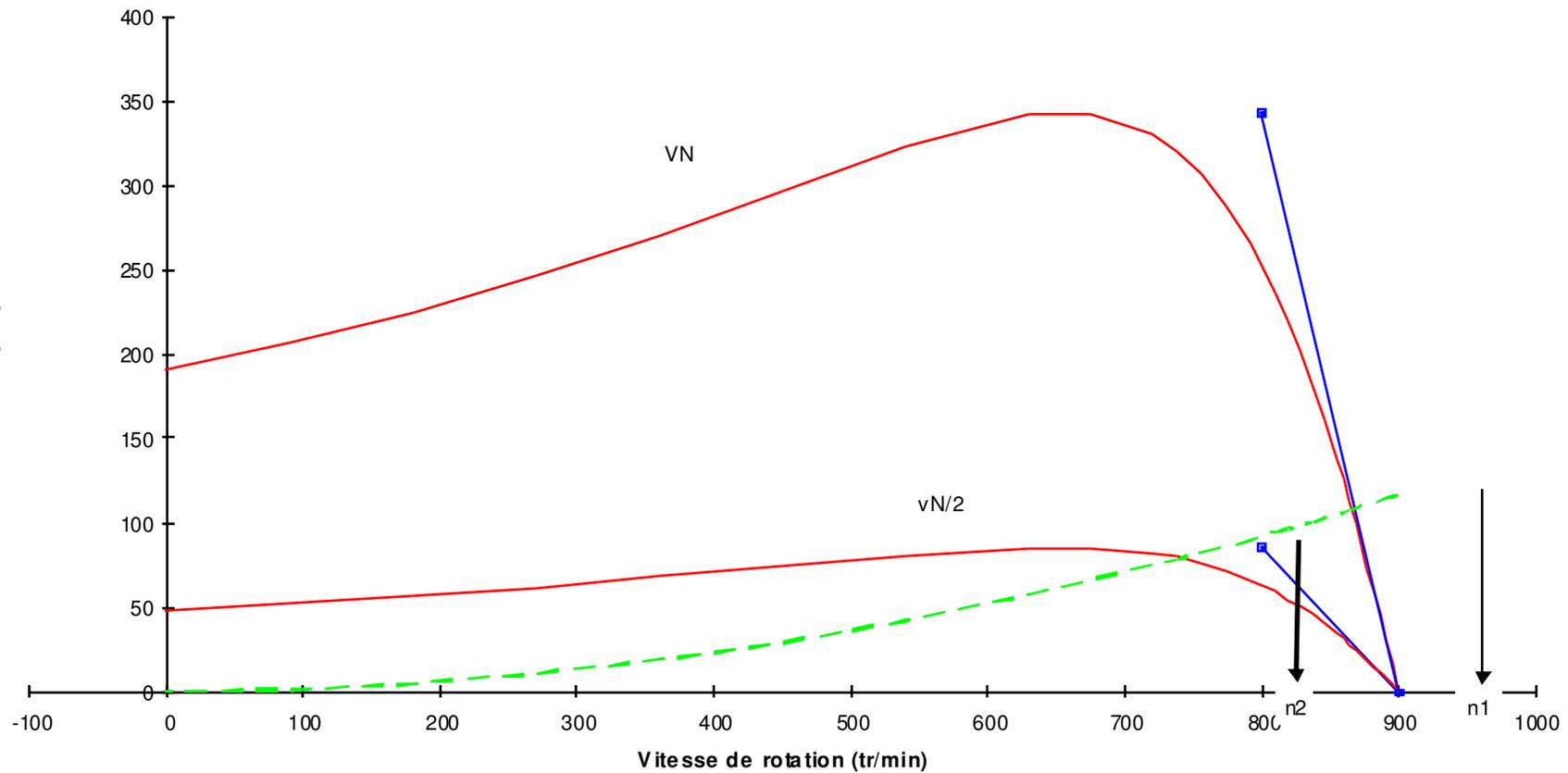


Fig. 7-20. Principles of pole-changing winding.

**Modification du nombre de paires de pôles  $p$**

# Modification du glissement $g$

Caractéristique mécanique



# Avantages du moteur d'induction

- pas de collecteur, par conséquent l'entretien est moindre
- à égalité de puissance et de vitesse, la machine d'induction est moins chère
- notamment sous sa forme de rotor à cage, la machine d'induction est nettement plus robuste
- le collecteur limite la tension d'alimentation des machines à **CC** à **1500V** environ alors qu'elle peut atteindre des milliers de **V** pour les machines à **CA**, ce qui permet, pour les grosses puissances, une réduction importante des courants.

**Modification de la fréquence statorique**

# Cycloconvertisseur

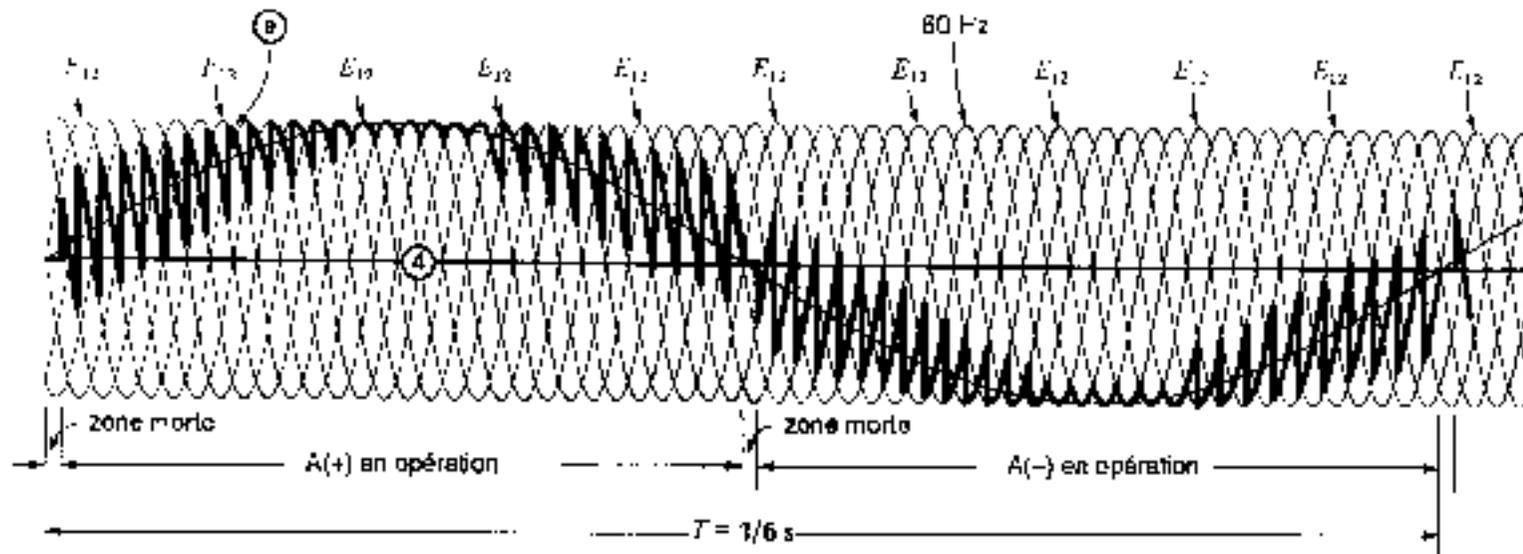
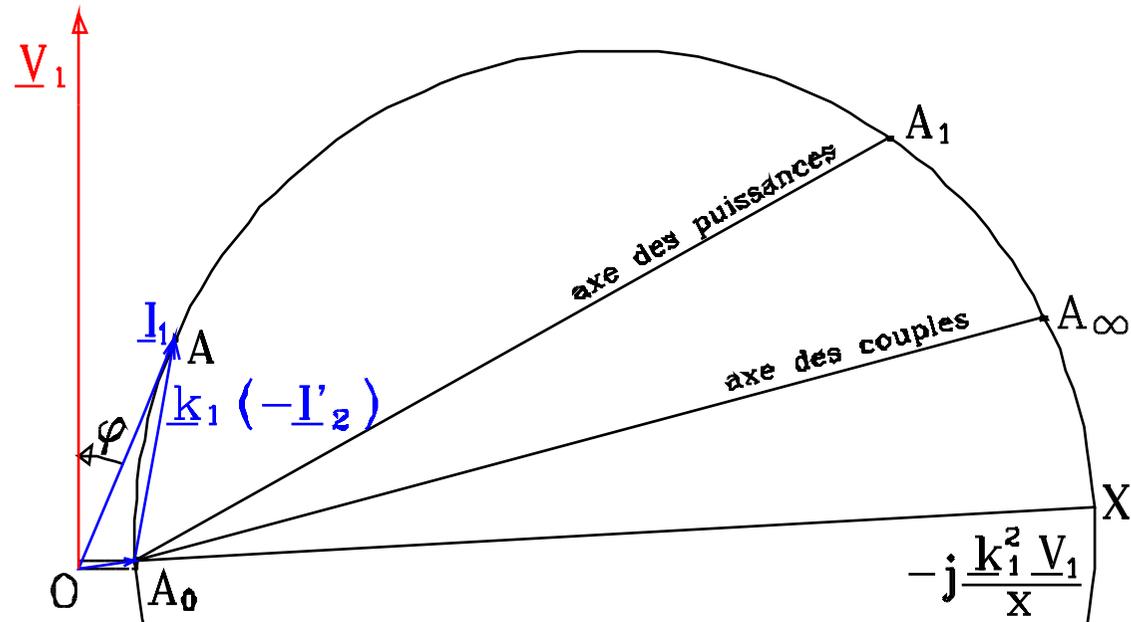


Figure 43-11

La tension  $E_{n,4}$  est composée de segments de la tension apparaissant entre les lignes triphasées. La charge, dont le  $FP$  est de 100 %, est alimentée à une fréquence à 60Hz.

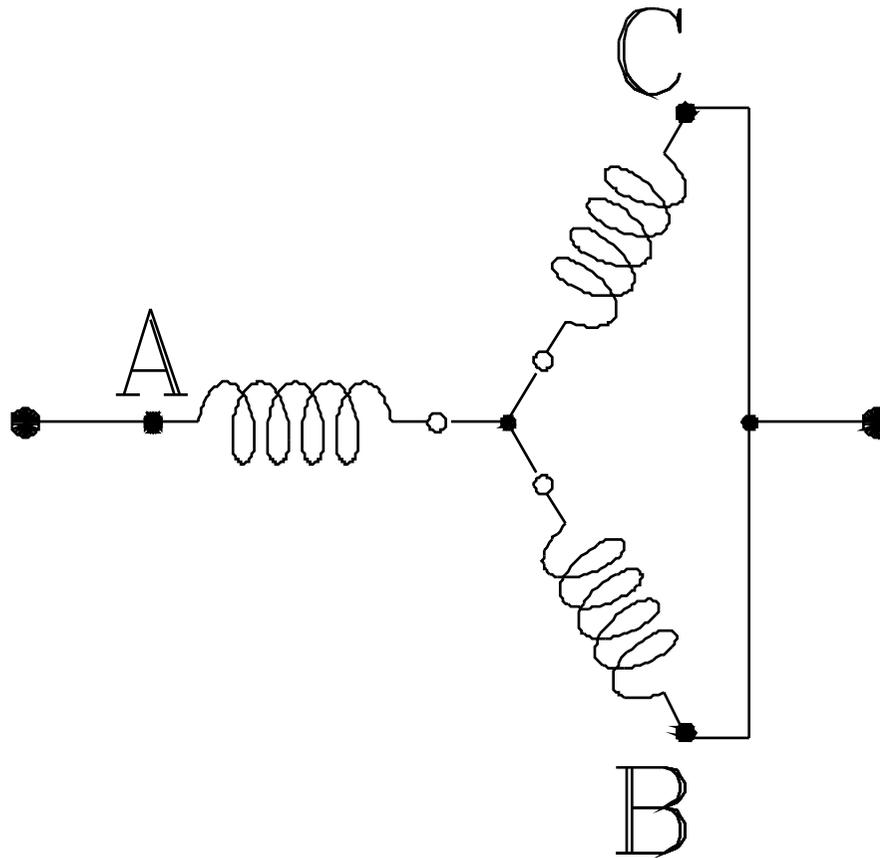
## Modification de la fréquence statorique

# Diagramme du cercle



**Freinage à contre-courant**

# Freinage dynamique



Freinage dynamique