

6/89

وزارة التعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : **GENIE ELECTRIQUE**

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de Fin d'Etudes

S U J E T

DISTRIBUTION DU CHAMP MAGNETIQUE
DANS UNE MACHINE A RELUCTANCE
VARIABLE PURE

Proposé par :

Mr M.E. ZAIM

Dirigé par :

Mr M.E. ZAIM et

Mr S. TAHI

Etudié par :

GUEMMOUN Mohamed

MEBROUKI Abdellah

Promotion Juin 1989

E.N.P. : 10, Avenue Hacem Badi - EL-HARRACH - ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : ~~GENIE ELECTRIQUE~~

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de Fin d'Etudes

S U J E T

DISTRIBUTION DU CHAMP MAGNETIQUE

DANS UNE MACHINE A RELUCTANCE

VARIABLE PURE

Proposé par :

Mr M.E. ZAIM

Dirigé par :

Mr M.E. ZAIM et

Mr S. TAHI

Etudié par :

GUEMMOUN Mohamed

MEBROUKI Abdellah

Promotion Juin 1989

E.N.P. : 10, Avenue Hacén Badi - EL-HARRACH - ALGER

--- II) EDICACES ---
--- 000 ---

A MES PARENTS POUR LEUR CONSTANT DEVOUEMENT

A MON FRERE

A MES SOEURS

A MES AMIS INTIMES

JE DEDIE CE TRAVAIL

GUEMMOUN MOHAMED

A LA MEMOIRE DE MON PERE ET MON GRAND PERE

A MA MERE ET MA GRANDE MERE

A MES FRERES ET SOEURS

A MES AMIS INTIMES

JE DEDIE CE TRAVAIL

MEBROUKI ABDELLAH

R E M E R C I E M E N T S

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur monsieur M.E ZAIM qui a accepté de diriger ce travail et lui exprimer notre profonde gratitude pour l'aide constante , le dévouement , et les conseils éclairés qu'il nous a prodigué .

Nous tenons aussi à remercier notre copromoteur monsieur S.TAHI pour son dévouement et son aide précieuse qu'il nous a apporté .

Qu'il nous soit permis d'évoquer les intéressantes discussions que nous avons eu avec Mme DJEMAA ainsi que Mme YAKER .

Nous profitons de l'occasion pour remercier messieurs H.MAAZI et R.TAHMI pour leur constant dévouement et leur compréhension .

Que les agents du laboratoire d'électrotechnique ainsi que personnel du centre de calcul soient assurés de notre profonde gratitude .

S O M M A I R E

INTRODUCTION

CHAPITRE I

MODELISATION NUMERIQUE DE LA M.R.V PURE

I.1	INTRODUCTION	6
I.2	MODELE D'ETUDE	10
I.3	DESCRIPTION DE LA METHODE DES DIFFERENCE FINIES	12
I.4	LA METHODE DES DIFFERENCES FINIES APPLIQUEE A NOTRE MACHINE	16
I.5	INFLUENCE DU MAILLAGE	20

CHAPITRE II

II.1	METHODOLOGIE DE MESURE	28
II.1.1	PRINCIPE	28
II.2	ALIMENTATION STATORIQUE	31
II.1.2	DISPOSITION DES BOBINES	33
II.3	MESURES	34

CONCLUSION

ANNEXE

I N T R O D U C T I O N

Dans les machines électriques, le couple électromagnétique résulte d'une variation en fonction de la position rotorique θ , de l'énergie magnétique emmagasinée principalement dans l'entrefer [1], [2]

En régime linéaire cette énergie peut être formulée en fonction des différentes mutuelles et inductances ; le couple résulte ainsi de la variation en fonction de ces mutuelles et inductances.

Considérons une M.R.V pure biphasée et présentant p paire de pôles. L'entrefer varie d'une façon cyclique, et l'inductance propre du stator est fonction de l'angle θ fig a.

Soient L_d et L_q les inductances maximum ($\theta = 0^\circ$) et minimum ($\theta = \pi/2p$); On peut écrire approximativement [1].

$$L(\theta) \approx (L_d + L_q)/2 + ((L_d - L_q) \cos 2\theta)/2$$

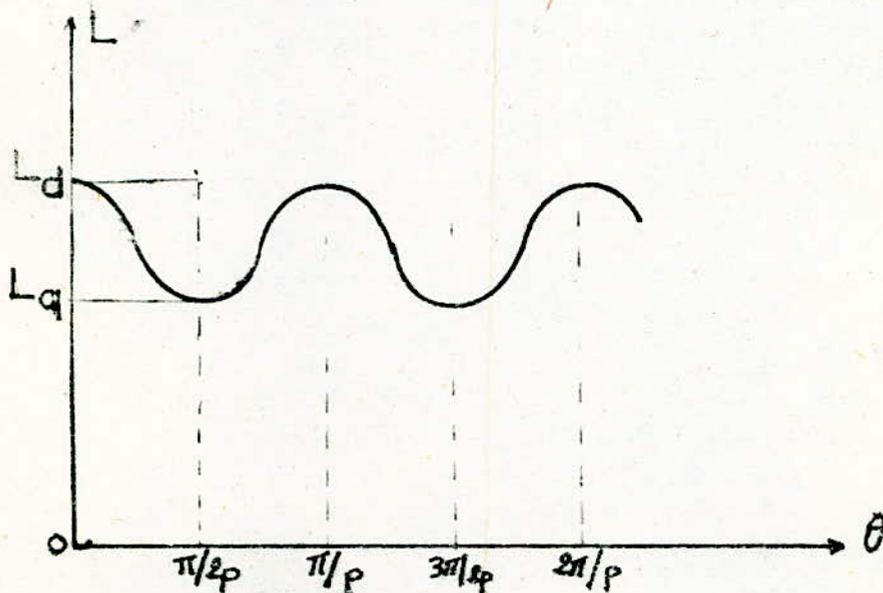


FIG. a.

Le couple peut être obtenu par :

$$T_e (i, \theta) = \frac{p}{2} i^2 \frac{\partial L(\theta)}{\partial \theta} \quad (2)$$

Le courant statorique étant sinusoïdal de la forme ,

$$i = I_m \sin \omega t$$

On en déduit :

$$\begin{aligned} T_e = & - \frac{1}{4} I_m^2 (L_d - L_q) (\sin (2\omega t + 2\varphi) - \\ & - \frac{1}{2} (\sin 2(p\omega_m + \omega)t + 2\varphi) - \sin 2(p\omega_m - \omega)t \\ & + 2\varphi)) \end{aligned}$$

Où

ω_m représente la vitesse de rotation de la machine .

Le couple électromagnétique moyen n'est donc non nul que lorsque $\omega_m = \frac{\omega}{p}$, et il est égal à :

$$T_e = \frac{p}{8} I_m^2 (L_d - L_q) \sin 2\varphi$$

Où

φ : représente l'angle interne .

La connaissance des inductances L_d et L_q nécessite la résolution des équations de Maxwell dans la machine .

Lorsqu'il n'y a pas de courant , on a :

$$\vec{\text{div}} \vec{B} = 0 \quad (3)$$

$$\vec{\text{rot}} \vec{H} = 0 \quad (4)$$

avec la loi du milieu

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (5)$$

L'équation (4) permet d'introduire un potentiel magnétique scalaire Ψ défini par :

$$\vec{H} = - \text{grad } \Psi \quad (6)$$

En combinant les équation (3) , (5) et (6) , on obtient :

$$\text{div} (\mu \text{grad } \Psi) = 0 \quad (7)$$

En régime linéaire , la perméabilité est constante et l'équation (7) devient :

$$\Delta \Psi = 0 \quad (8)$$

La résolution de l'équation (7) (ou (8)) , associée aux conditions aux limites permet de déterminer la répartition du champ magnétique dans la machine , et calculer ainsi l'inductance propre pour chaque position du rotor .

Nous allons la résoudre à l'aide de la méthode des différences finies (chapitre I) .

Nous présentons ensuite au deuxième chapitre une étude expérimentale concernant des mesures locales du champ magnétique à la surface du rotor massif d'une M.R.V pure.

L'interprétation des résultats permet alors la vérification de certaines hypothèses habituellement admises .

CHAPITRE I

MODELISATION NUMERIQUE
DE LA M.R.V

I.1 INTRODUCTION

Les méthodes numériques peuvent être avantageusement utilisées pour la résolution des équations de la diffusion du champ électromagnétique dans les machines à réluctance variable (M.R.V).

Nous présentons la méthode des différences finies et nous l'appliquons à la résolution de l'équation de Laplace pour déterminer le champ magnétique dans l'entrefer de la M.R.V.

On remplace le domaine de variation continue des arguments par un ensemble fini de points ou de noeuds , appelé réseau . Les dérivées figurant dans l'équation différentielle et les conditions aux limites sont remplacées par des combinaisons linéaires de valeurs prises par la fonction discrète en certains noeuds. Le problème aux limites de l'équation différentielle se transforme alors en un système d'équation algébrique .

I.2 MODELE D'ETUDE

L'étude de la machine à réluctance variable est complexe car elle nécessite la résolution des équations de Maxwell dans un domaine tridimensionnel anisotrope. On adopte alors les hypothèses simplificatrices suivantes:

-La longueur de la machine est supposée suffisamment grande pour négliger les effets d'extrémités et admettre ainsi une composante axiale nulle de l'induction magnétique de la machine.

-L'enroulement statorique est à répartition sinusoïdale et alimenté par des courants sinusoïdaux.

-La perméabilité du stator est infinie.

Ces hypothèses simplificatrices permettent le calcul numérique de la machine à réluctance variable (fig I.1) en utilisant la méthode des différences finies.

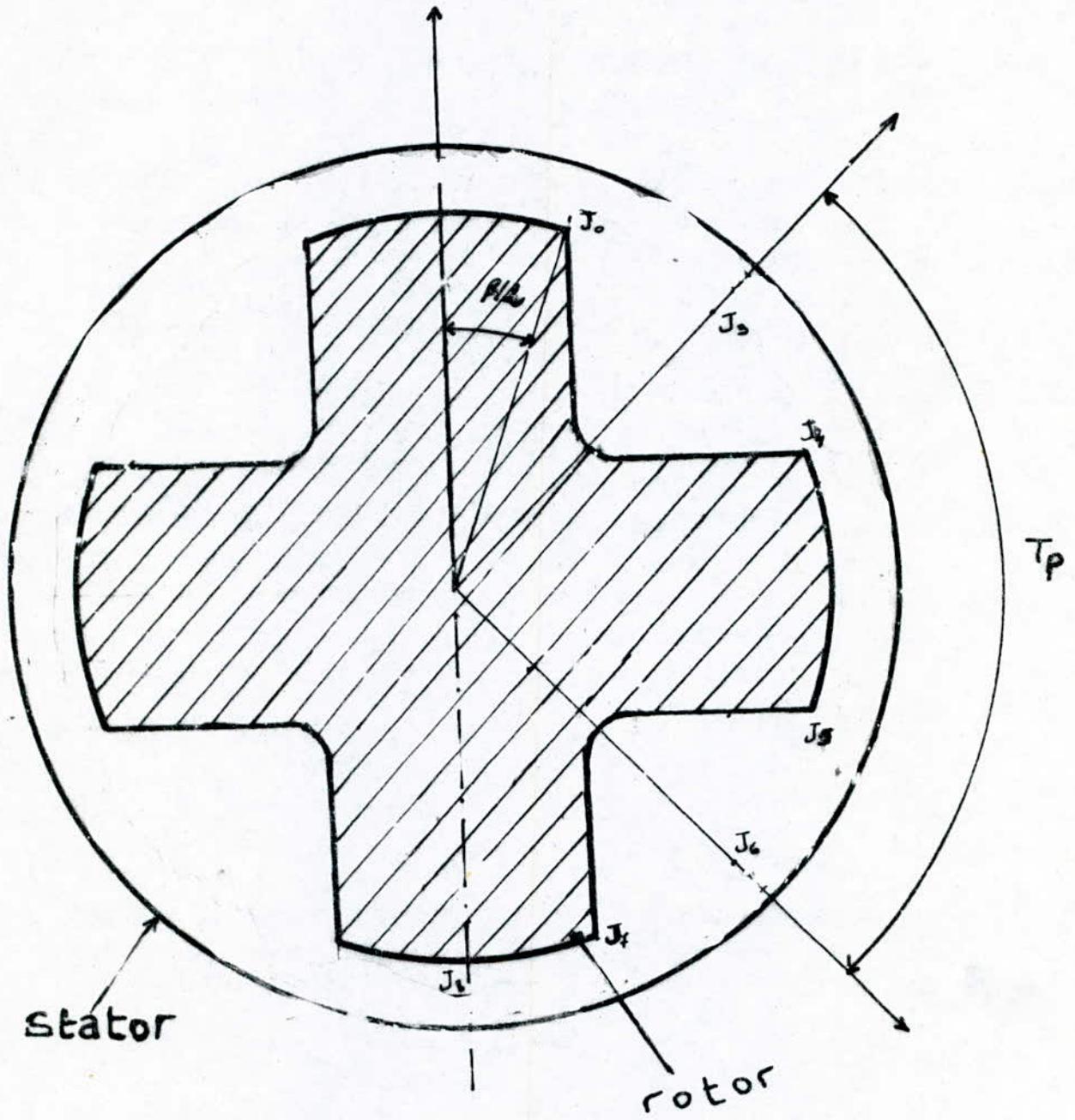


fig-I-1

I.3 DESCRIPTION DE LA METHODE DES DIFFERENCES FINIES

Chaque point de l'entrefer est positionné par ses coordonnées (r , θ) qui sont obtenues par l'intersection de cercles de rayon r centrés au milieu de la machine et de droites radiales .

En chaque point de coordonnées (r , θ) , le développement en serie Taylor autour du point (r_0 , θ_0) arrêté au second ordre , du potentiel magnétique s'écrit :

$$\begin{aligned} \Psi (r , \theta) = & \Psi (r_0 , \theta_0) + (\theta - \theta_0) \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} + \\ & (r - r_0) \frac{\partial \Psi}{\partial r} + \frac{1}{2!} (\theta - \theta_0)^2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \theta^2} \\ & + (r - r_0)^2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2} + (\theta - \theta_0) (r - r_0) \frac{\partial^2 \Psi}{\partial r \partial \theta} + \dots \end{aligned} \quad (I.1)$$

Considérons les points 0,1,2,3 et 4 (fig I.2) de coordonnées respectives :

$$\begin{aligned} & (r_0 , \theta_0) , (r_0 , \theta_0 - h_1) , (r_0 - h_2 , \theta_0) , \\ & (r_0 , \theta_0 + h_3) , (r_0 + h_4 , \theta_0) \end{aligned}$$

Où h_1 , h_2 , h_3 , h_4 représente les pas du maillage .

Aux points considérés l'équation (I.1) donne :

$$\Psi_1 = \Psi_0 + h_1 \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} + \frac{1}{2} h_1^2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \theta^2} \quad (I.2)$$

$$\Psi_2 = \Psi_0 - h_2 \frac{\partial \Psi}{\partial r} + \frac{1}{2} h_2^2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial r^2} \quad (I.3)$$

$$\psi_3 = \psi_0 + h_3 \frac{\partial \psi}{\partial \theta} + \frac{1}{2} h_3^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} \quad (I.4)$$

$$\psi_4 = \psi_0 - h_4 \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{1}{2} h_4^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} \quad (I.5)$$

En multipliant successivement ces équations par :

$$\frac{1}{r_0^2 h_1^2 (h_1 + h_3)} \quad , \quad \frac{1}{h_2 (h_2 + h_4)}$$

$$\frac{1}{h_3 \cdot r_0^2 (h_1 + h_3)} \quad \text{et} \quad \frac{1}{h_4 (h_2 + h_4)}$$

Et en les regroupant , on obtient :

$$\frac{1}{r_0^2 (h_1 + h_3)} \left(\frac{\psi_1}{h_1} + \frac{\psi_3}{h_3} \right) + \frac{1}{h_2 + h_4} \left(\frac{\psi_2}{h_2} + \frac{\psi_4}{h_4} \right)$$

$$= \psi_0 \left(\frac{1}{r \cdot h_1 \cdot h_2} + \frac{1}{h_2 \cdot h_4} \right) + \frac{1}{2 \cdot r_0^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2}$$

Dans l'entrefer le potentiel magnétique obéit à l'équation de Laplace qui s'écrit en coordonnées polaires :

$$\Delta \psi = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} = 0 \quad \dots (I.6)$$

En posant :

$$K_0 = \frac{h_2 \cdot h_4 + r_0^2 \cdot h_1 \cdot h_3}{r_0 \cdot h_1 \cdot h_2 \cdot h_3 \cdot h_4} ; K_1 = \frac{1}{r_0^2 \cdot h_1 \cdot (h_1 + h_3)}$$

$$K_2 = \frac{2 \cdot r_0 - h_2}{2 \cdot r_0 \cdot h_2 \cdot (h_2 + h_4)} ; K_3 = \frac{1}{r_0^2 \cdot h_3 \cdot (h_1 + h_3)}$$

$$K_4 = \frac{2 \cdot r_0^2 + h_4}{2 \cdot r_0 \cdot h_4 \cdot (h_2 + h_4)}$$

On obtient :

$$K_0 \Psi_0 + K_1 \Psi_1 + K_2 \Psi_2 + K_3 \Psi_3 + K_4 \Psi_4 = 0 \quad \dots (1.7)$$

qui peut s'écrire en notation indicielle :

$$K_0 \Psi_0(I, J) = K_1 \Psi_1(I, J+1) + K_2 \Psi_2(I, J-1) + \\ K_3 \Psi_3(I+1, J) + K_4 \Psi_4(I-1, J) \\ \dots (1.8)$$

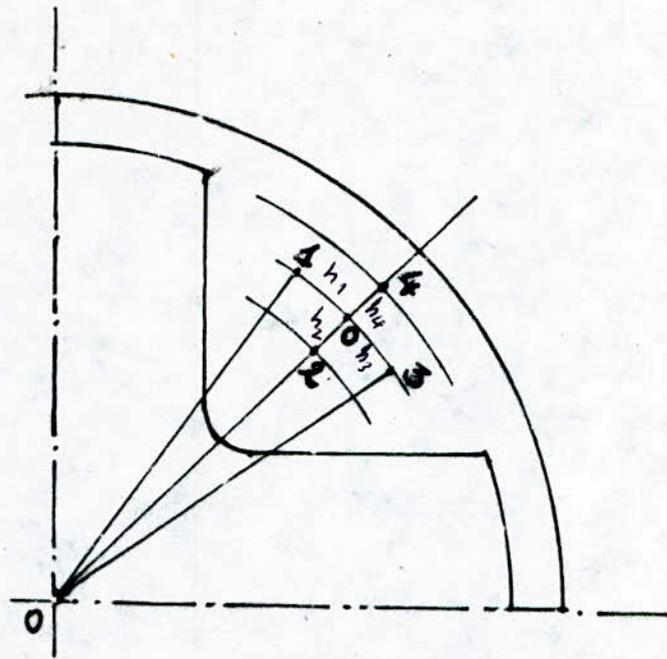


fig I-2

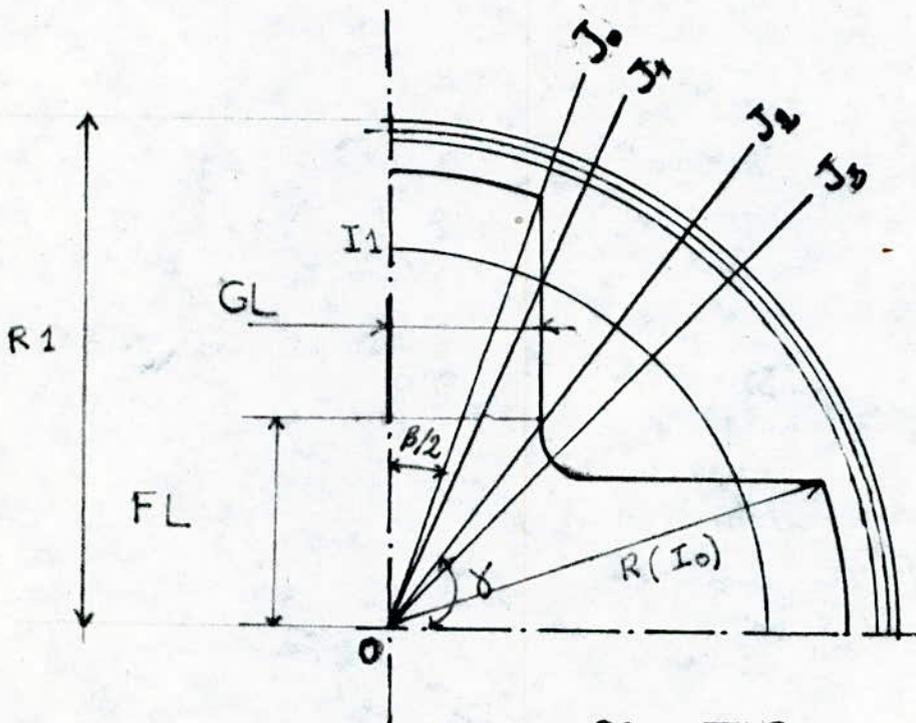


fig I-3

I.4 APPLICATION DE LA METHODE DES DIFFERENCES FINIES A NOTRE MACHINE

La distribution du champ magnétique dans l'entrefer est symétrique dans les positions directe et en quadrature du rotor .

Cependantt cette symétrie n'est plus conservée pour une position quelconque du rotor , et on est amené à calculer potentiel sur une période , soit $0 \leq \varphi \leq \pi$

Notre domaine d'étude comporte deux régions : celles à faible et grand entrefer . Le maillage doit donc être ,suffisamment serré au voisinage de $\varphi = \pm \beta / 2$ pour tenir compte de la discontinuité géométrique due à la pointe .

On introduit alors les données suivantes (fig I.3) .

- NJE Nbre de divisions angulaires dans le petit entrefer.
- NJP Nbre de divisions angulaires à laisser près de la pointe (NJP est une partie de NJE) .
- NJ Nbre effectif de divisions angulaires de la pointe (NJP est divisé en NJ) .
- NIJ Nbre de divisions sur le grand entrefer.
- NIE Nbre de divisions radiales dans le petit entrefer.
- β Angle d' ouverture du rotor .
- EN Epaisseur du petit entrefer .
- GL Epaisseur de la dent rotorique .
- R1 Rayon interne du stator .
- E Précision demandée sur le calcul du potentiel .

En remplaçant les coordonnées (r, θ) par des variables indicées $r(I)$ et $\theta(J)$ où I représente une variation radiale et J une variation angulaire, on peut écrire :

$$r(I) = R1 - EN \cdot (I-1) / NIE$$

$$\theta(J) = \beta \cdot (J-1) / NJE$$

dans la région à faible entrefer , et

$$r(I) = r(I0 + NJ) - (r(I0 + NJ) - FL) \cdot (I - I0 - NJ) / NIJ$$

$$\theta(J) = (J0 - NJ) + (\beta - (J0 - NJ)) + (J - J0 + NJ) / NJ$$

dans celle à grand entrefer, avec

$$FL = \frac{GL + EN \cdot NJ}{NIE}$$

$$GL = (R1 - EN) \cdot \sin \beta / 2$$

Nous résolvons l'équation (I.7) à l'aide de la méthode itérative de Gauss Seidel , en supposant que :

La F.M M statorique est distribuée sinusoidalement , et que la perméabilité du rotor est suffisamment grande pour considérer le potentiel magnétique du rotor constant .

On effectue une première approximation du potentiel magnétique en chaque noeud du réseau , et le calcul est arrêté lorsque :

$$| \psi^{k+1} - \psi^k | \leq E$$

ψ^k et ψ^{k+1} : représentent les potentiels magnétiques à la (k) et (k+1) itérations .

Les composantes radiale et tangentielle de l'induction magnétique sont reliées au potentiel magnétique par:

$$B_r = -\mu_0 \frac{\partial \psi}{\partial r}$$

$$B_t = -\mu_0 \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial \theta}$$

Elles sont approximées pour chaque noeuds par:

$$B_r(I, J) = \mu_0 \frac{\psi(I-1, J) - \psi(I+1, J)}{r(I-1) - r(I+1)}$$

$$B_t(I, J) = \mu_0 \frac{\psi(I, J-1) - \psi(I, J+1)}{r(I) \cdot (\theta(J-1) - \theta(I+1))}$$

La connaissance de l'induction radiale à la surface du stator permet de calculer par integration, le flux sortant par pole, on a :

$$\Phi = \oint B_r \cdot ds = 2 \cdot R \cdot L \int_{J_3}^{J_6} B_r \cdot d\theta$$

Où L désigne la longueur de la machine.

Les angles J_3, J_6 sont définies sur la (fig I.1) .

La réactance operationnelle peut etre alors calculée par :

$$X(\varphi) = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \phi(\varphi) / I = 100 \cdot \pi \cdot \phi(\varphi) / I$$

et on peut en déduire les réactances directe X_d et en quadrature X_q .

$$X_d = X(\theta = 0)$$

$$X_q = X(\theta = \pi/2p)$$

L'organigramme de calcul est donné en annexe .

I.5 INFLUENCE DU MAILLAGE SUR LE CALCUL DES REACTANCES

Dans le grand entrefer , le potentiel magnétique ψ varie lentement et on peut prendre de mailles élémentaires relativement larges . On diminue alors considérablement les temps de calculs .

Par contre, au voisinage de la pointe, ainsi que dans le petit entrefer , ψ varie rapidement et il est nécessaire de prendre un maillage fin; ce qui nécessite un calculateur de grand capacité et des temps de calculs assez longs .

Nous avons alors calculé les réactances X_d et X_q pour différentes valeurs de NIE et NJE , de leur rapport ainsi que du rapport α de la longueur élémentaire de la maille sur sa largeur .

On a :

$$\alpha = \frac{2 \text{ En}}{\beta \text{ R}} \frac{\text{NIE}}{\text{NJE}}$$

Soient X_{df} et X_{qf} les valeurs de ces réactances lorsque NIE et NJE sont suffisamment grands (Nous avons utilisé toute la capacité mémoire du calculateur mis à notre disposition) , et soient ξ_d et ξ_q les erreurs relatives définies par :

$$\varepsilon_d = \frac{X_{df} - X_{qi}}{X_{df}} \quad ; \quad \varepsilon_q = \frac{X_{qf} - X_{qi}}{X_{qf}}$$

X_{di} et X_{qi} sont les valeurs obtenues par NIE et NJE quelconques .

Les figures I. a et I. b montrent que lorsque NJE est supérieure à NIE , ε_d est d'autant plus faible que le nombre NIE ainsi que le rapport NIE / NJE sont les plus grands . Ce résultat est également valable pour ε_q .

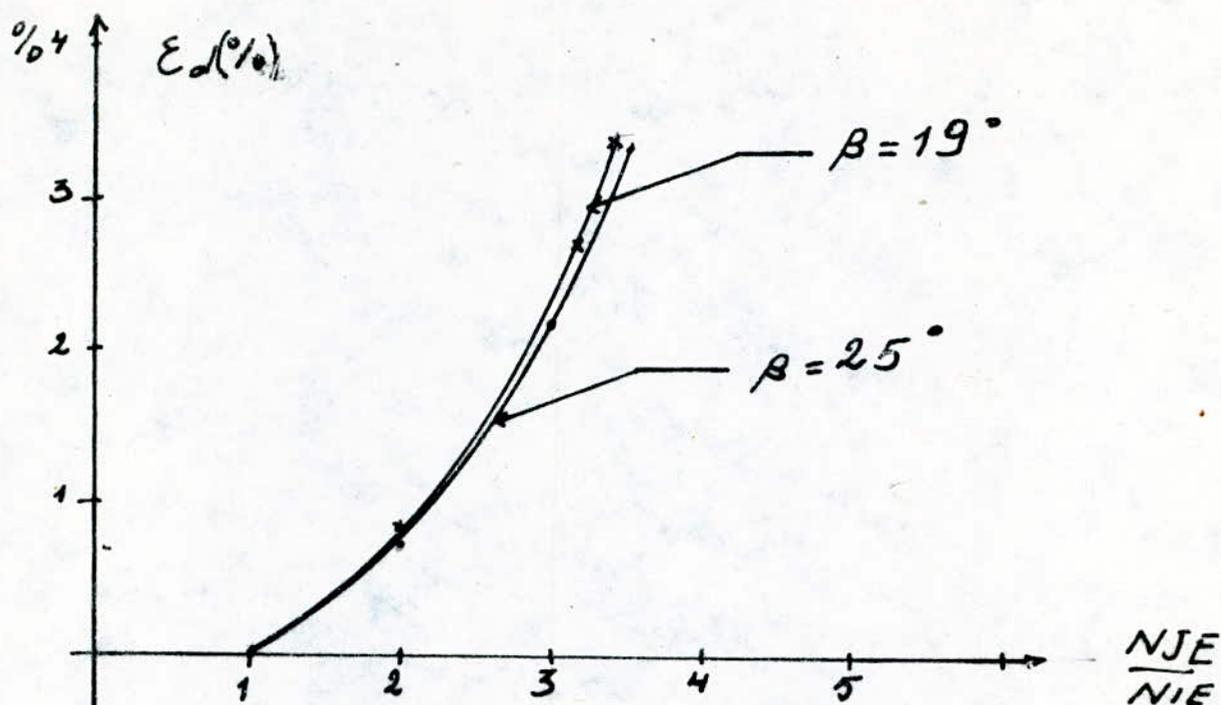


fig I. a

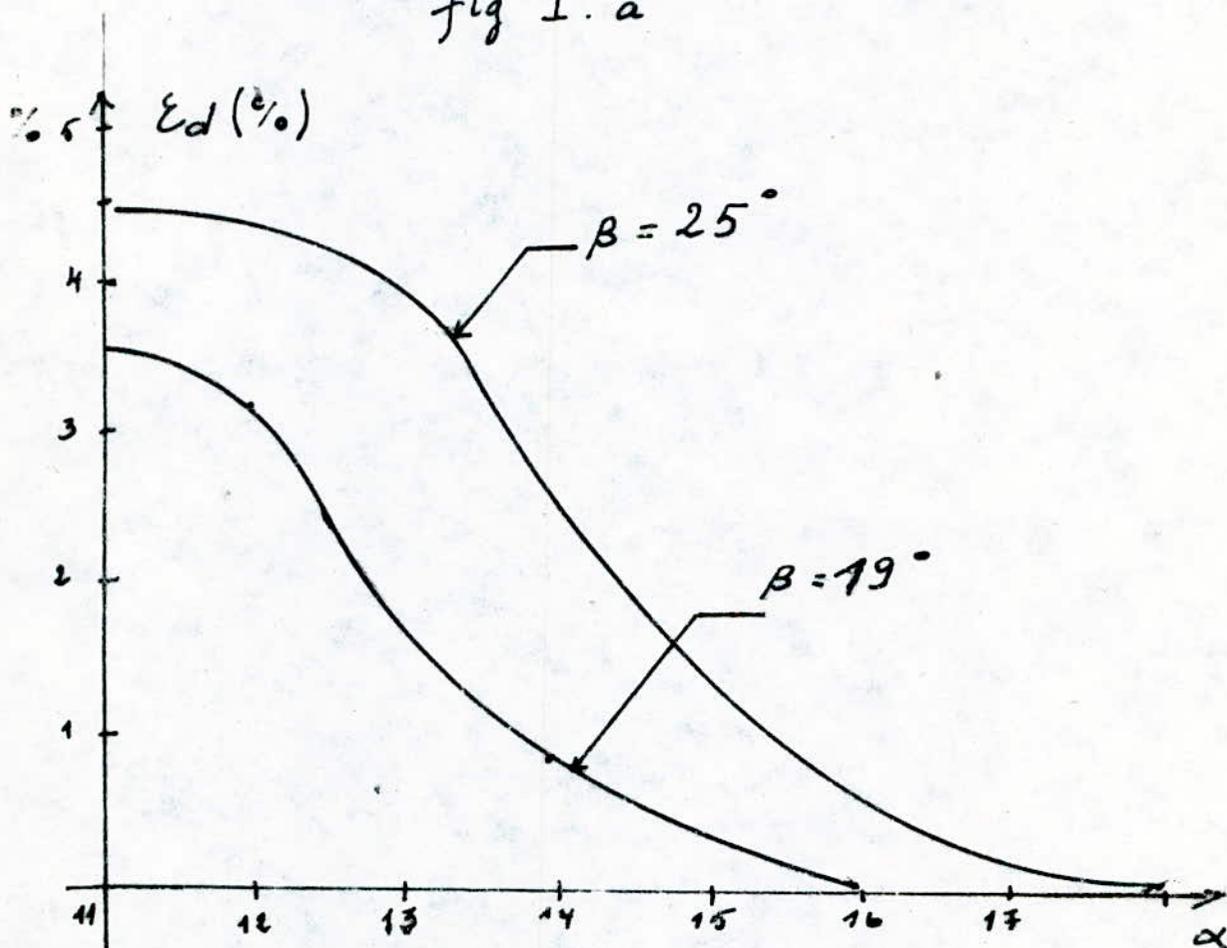


fig I. b

La figure I.4 représente la variation de la réactance X en fonction de la position rotorique, pour différents angles d'ouverture. Nous vérifions que la réactance X augmente avec β , et qu'elle est maximale pour $\varphi = 0$ et qu'elle décroît vers X_q lorsque φ tend vers $\pi/2p$.

La figure I.5 montre l'influence de l'angle d'ouverture β sur les inductances directe et en quadrature.

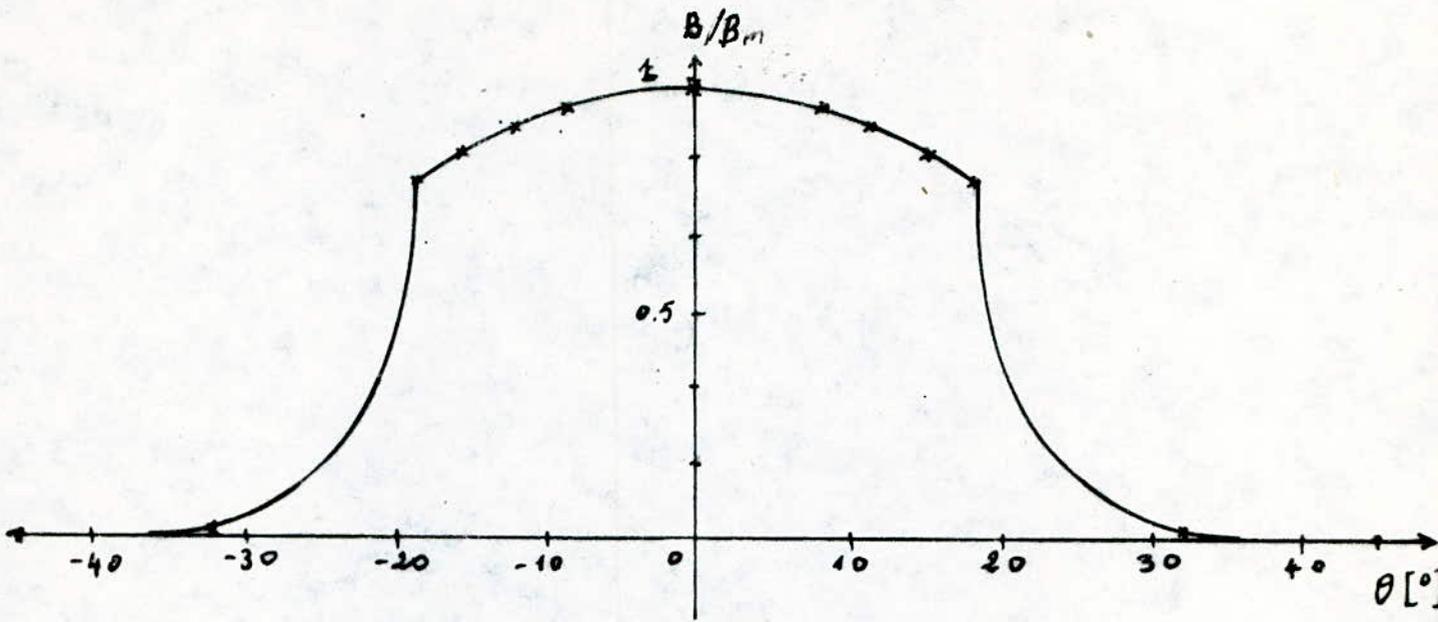
Pour $\beta = 90^\circ$ (machine lisse), nous vérifions que $X_d = X_q$.

A courant constant, le couple et le facteur de puissance sont respectivement proportionnels à $\frac{1}{5}$,

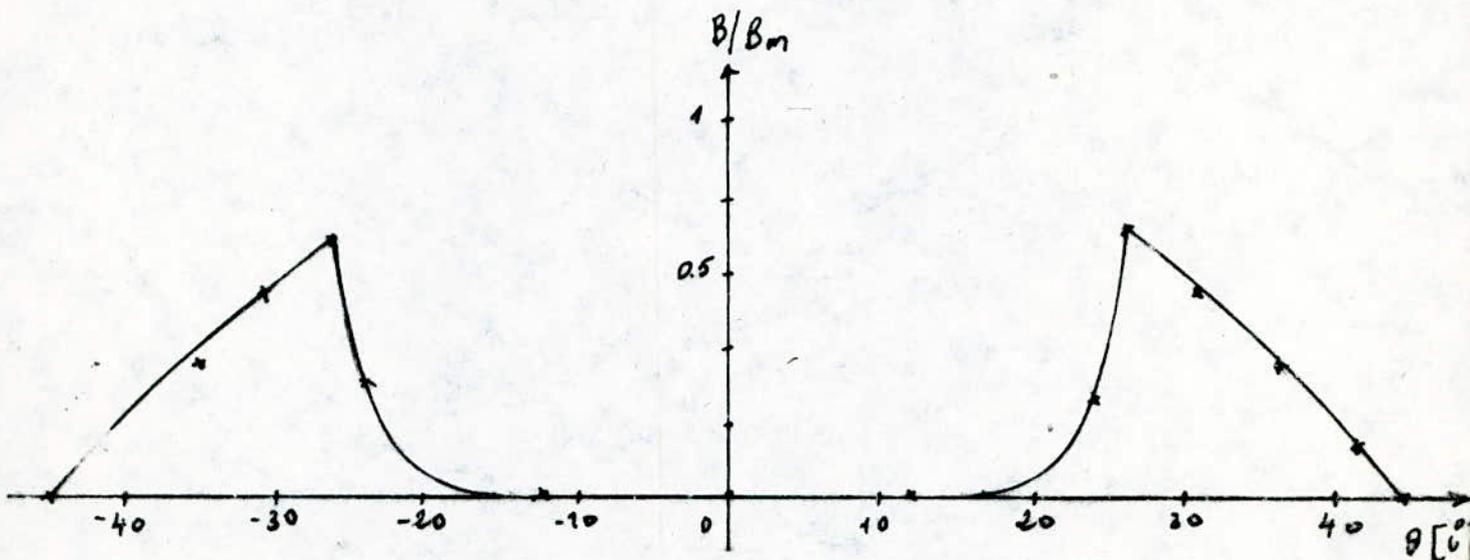
$$(X_d - X_q) \text{ et } (X_d - X_q) / (X_d + X_q) . .$$

La figure I.6 montre alors que $(X_d - X_q) / (X_d + X_q)$ est très sensible aux variations de β , alors que $(X_d - X_q)$ ne l'est pas.

Il est donc possible de choisir un β optimal maximisant le produit couple - facteur de puissance.



(a)



(b)

L'INDUCTION MAGNETIQUE NORMALE SUR LA SURFACE DU STATOR

a/ DISTRIBUTION SUR L'AXE DIRECTE

b/ DISTRIBUTION SUR L'AXE EN QUADRATURE

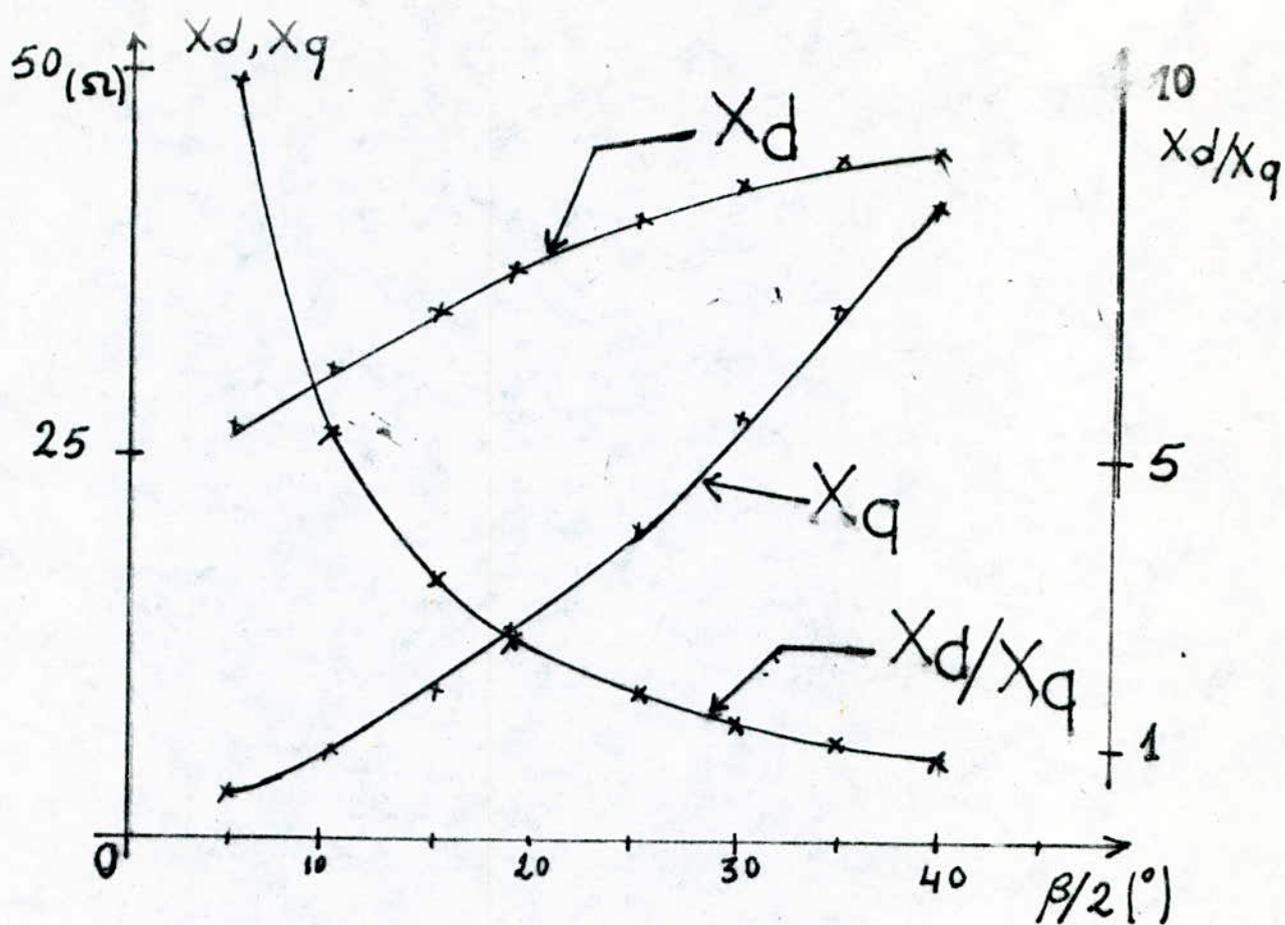


fig I.5.

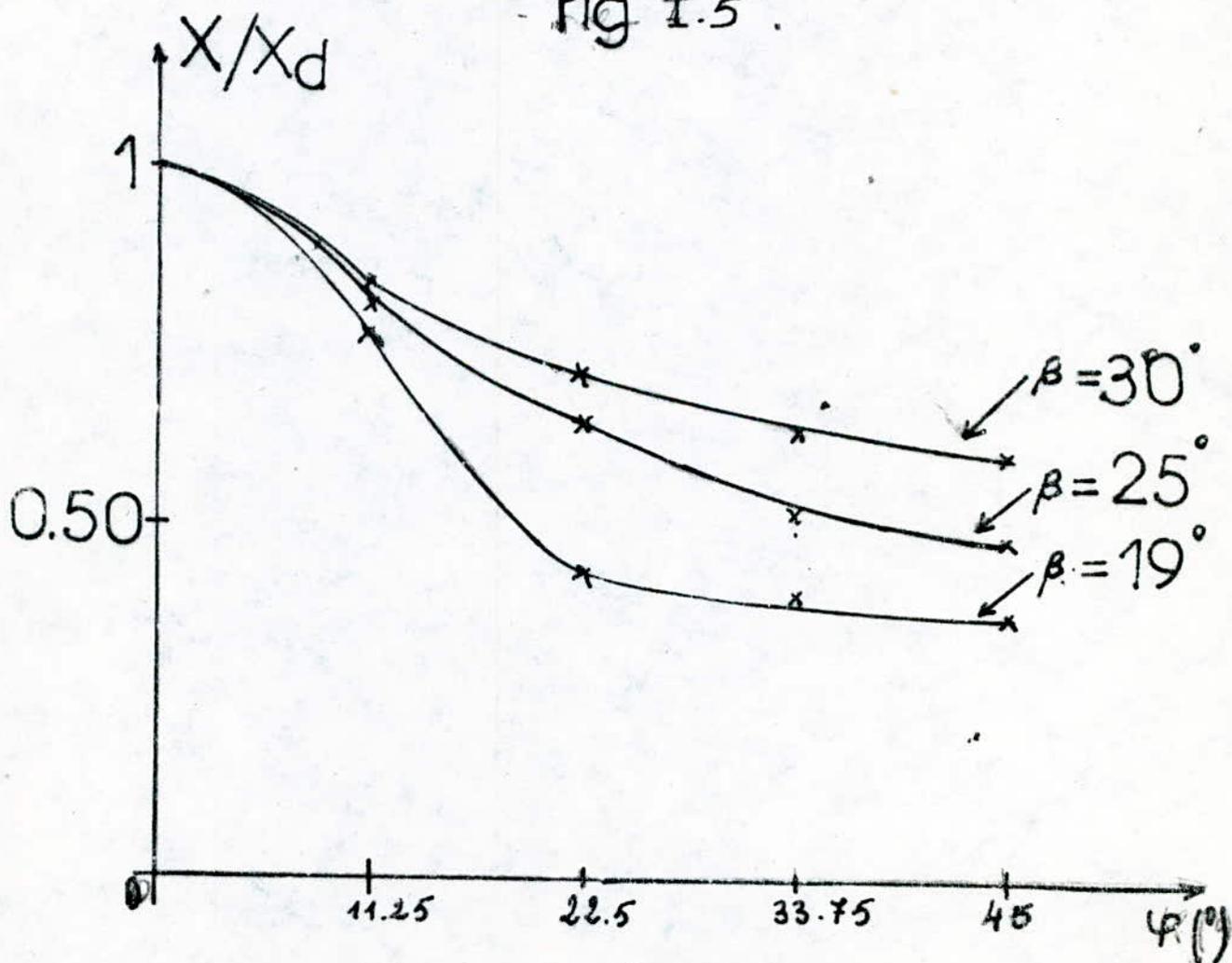


fig I.4

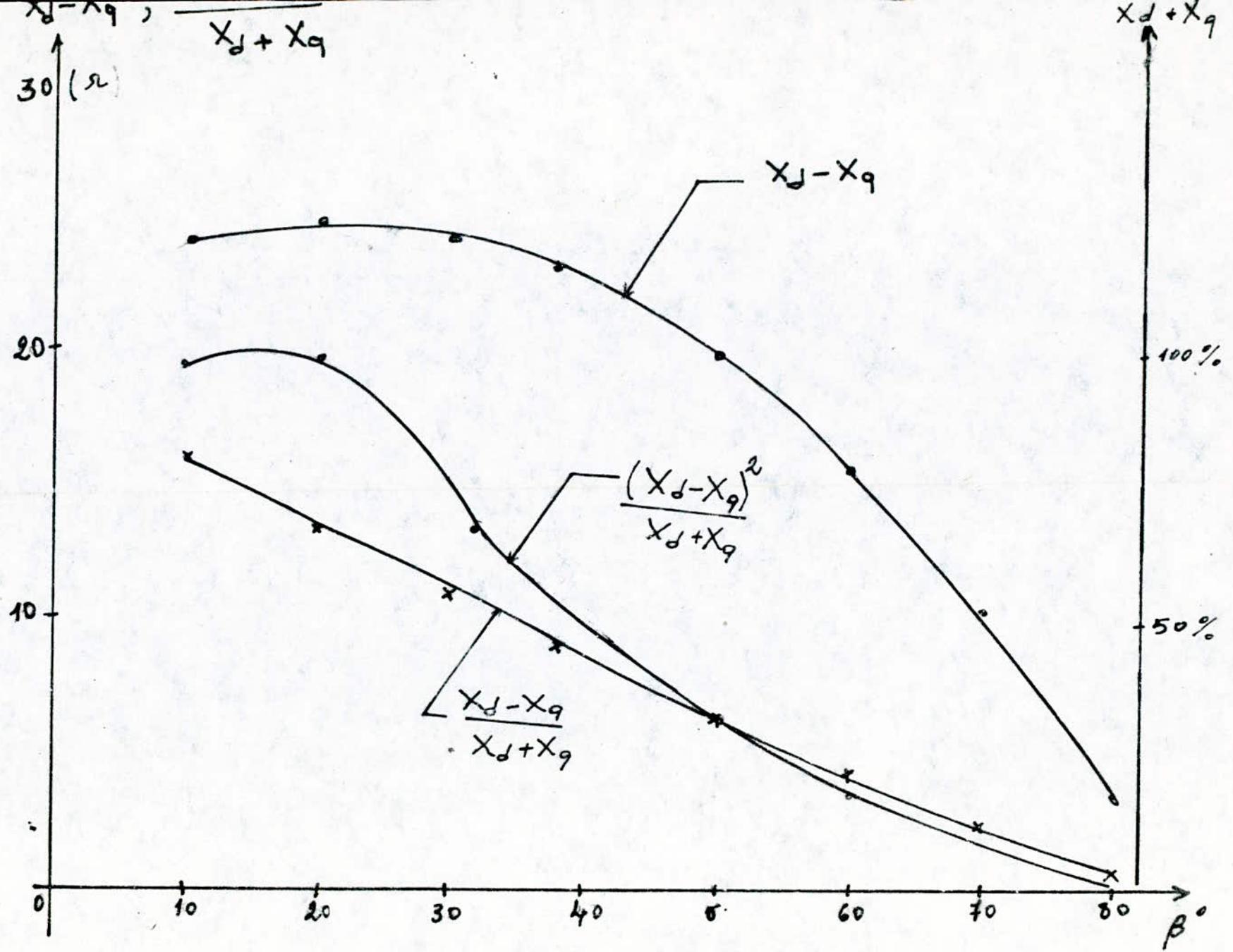


fig I.6

CHAPITRE II

ETUDE EXPERIMENTALE

Nous présentons des essais permettant le relevé de la distribution de la composante normale de l'induction magnétique à la surface d'un rotor réductant (fig II.1) d'une machine triphasée de 3.7 kVA , 220 V , 50 Hz , 1500 tr/mn .

II.1 METHODOLOGIE DE MESURE

Afin de simuler le régime synchrone caractérisé par un champ immobile par rapport au rotor , on génère à rotor bloqué , un champ stationnaire dans l'enfer en alimentant une phase statorique en courant continu I_s .

II.1.1 PRINCIPE

Il consiste à relever une f.em induite aux bornes de petites bobines de mesure , pendant le régime transitoire précédant l'établissement du courant I_s .

Soient :

ϕ_s : Le flux qui traverse une bobine de mesure après l'établissement de l'induction .

φ_s : La valeur instantannée de ce flux

T_t : La durée du régime transitoire .

e_s : La f.em induite aux bornes d'une bobine de mesure .

Pendant le régime transitoire , on a :

$$\int_{T_t} e_s dt = \int_{T_t} \frac{d\varphi}{dt} dt = \phi_s - \phi_0$$

Sachant que le flux initial ϕ_0 est nul , la relation précédente s'écrit :

$$\int_{T_e} e_s dt = \phi_s \quad \dots\dots (II.1)$$

Soit B_s l'induction magnétique moyenne dans la bobine de mesure de section moyenne S , après le temps T_t on a :

$$\phi_s = B_s \cdot S$$

On en déduit :

$$B_s = \frac{1}{S} \int_{T_e} e_s dt$$

L'intégrale $\int_{T_e} e_s dt$ est obtenue numériquement .

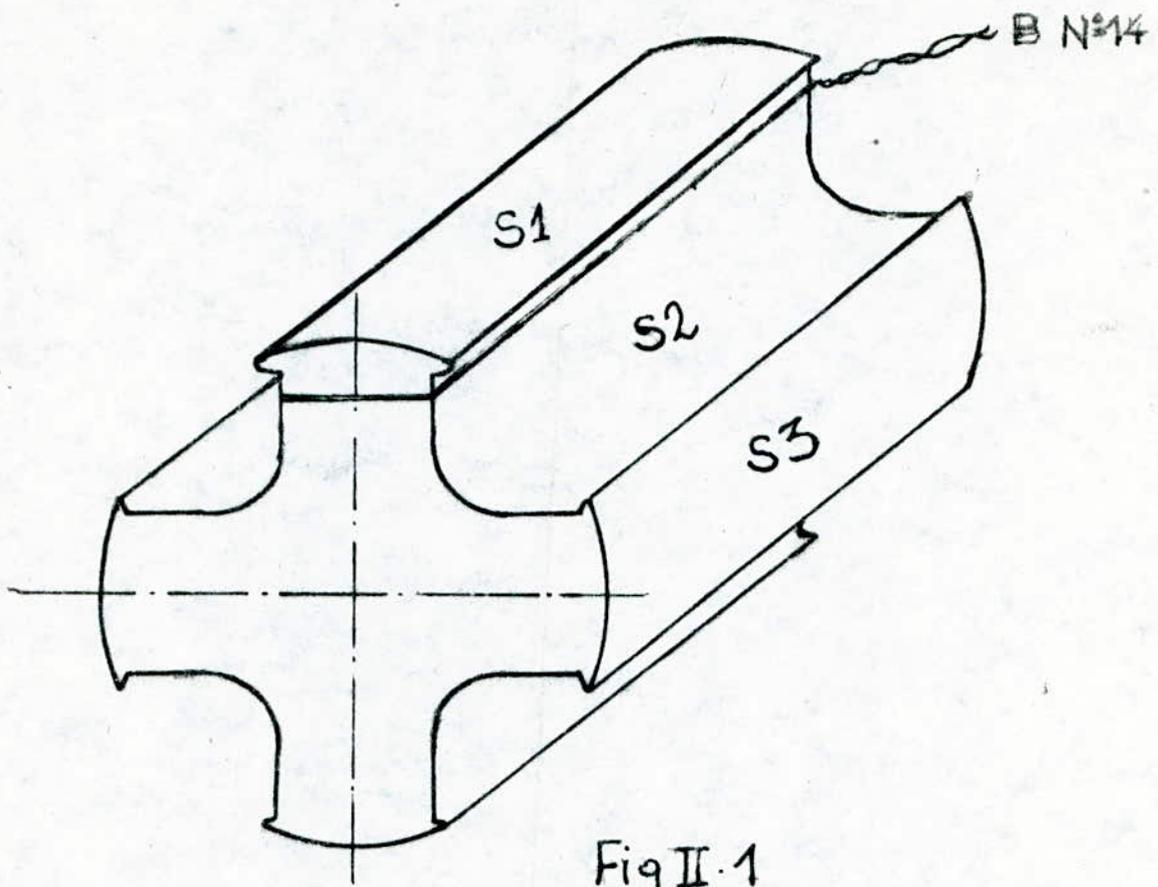


Fig II.1

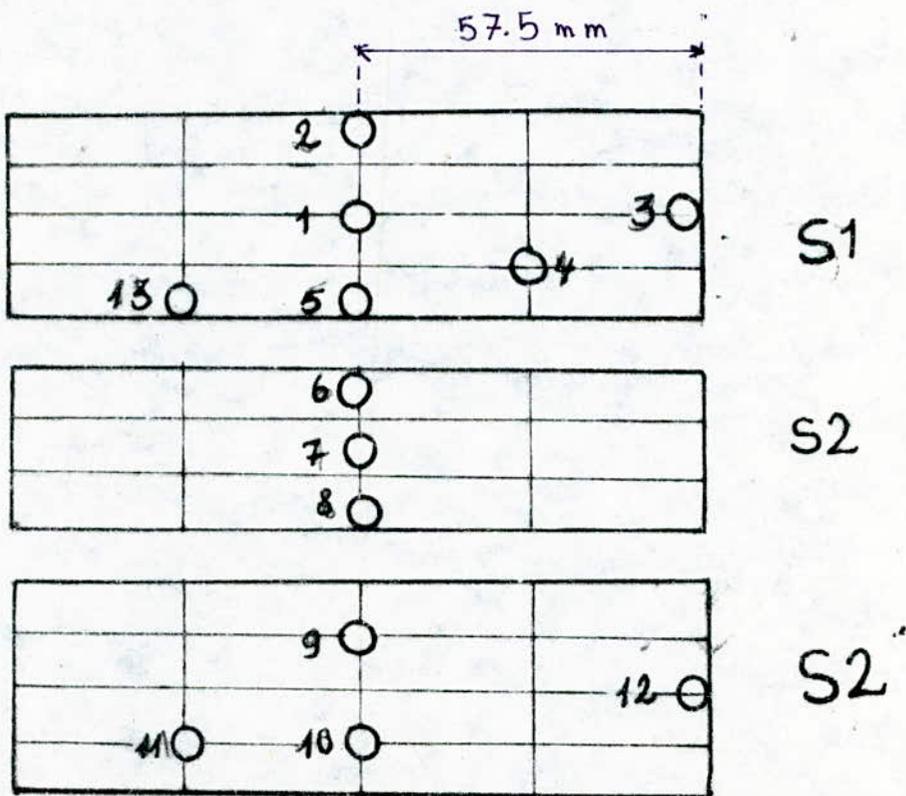


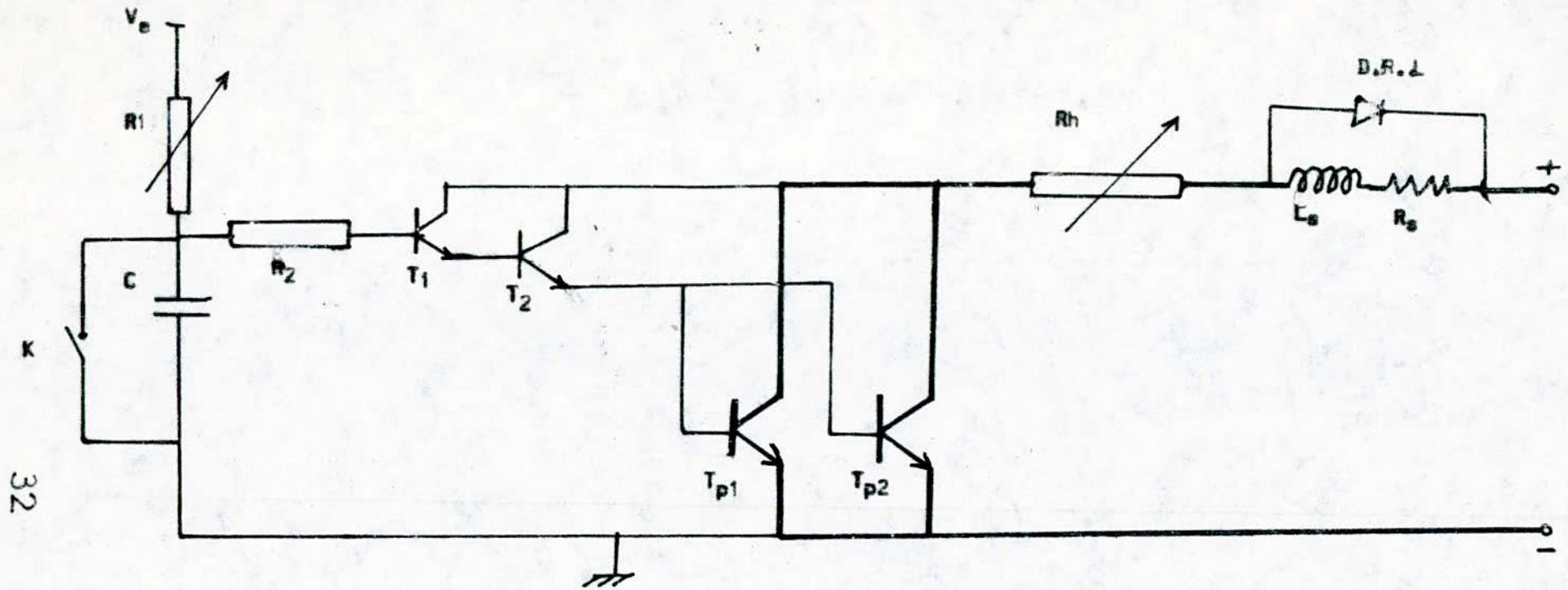
fig II.2

II.2 ALIMENTATION STATORIQUE

Le régime transitoire génère des courants de Foucault dans le rotor massif pouvant perturber les mesures .

Pour cela , en plus d'une alimentation statorique en échelon obtenue par la fermeture brusque d'un interrupteur , nous avons réalisé une alimentation électronique générant une rampe de puissance avec un temps réglable /8/ fig (II.3) .

Lorsque l'interrupteur K est ouvert le condensateur C se charge à travers la résistance variable R1 , le signal de charge est alors amplifié par les transistors T1 et T2 montés en Darlington , ainsi que par les transistors de puissance TP1 et TP2 alimentant notre machine . En court-circuitant le condensateur C on annule le courant dans la machine .



32

- | | | | |
|------------|------------------------|------------------|-----------------------------------|
| V_e | Tension d'alimentation | T_{p1}, T_{p2} | Transistor de puissance 2N 3055 |
| R_1 | Resistance variable | R_h | Resistance additionnelle |
| K | Interrupteur | R_s | Resistance de la phase statorique |
| T_1, T_2 | Transistors 2N 1711 | L_s | Self de la phase statorique |
| | | D.R.L. | Diode de roue libre |

FIG II 3 Générateur d'une rampe de courant

II.1.2 DISPOSITION DES BOBINES DE MESURE

Les bobines de mesure notées de 1 à 13 sont collées à la surface du rotor sur les faces S1, S2 et S3 et disposées comme indiqué sur la figure II.2 .

Elles permettent des mesures locales de l'induction normale à la surface rotorique .
Chaque bobine i a une surface moyenne de 16 mm^2 et comporte 14 spires .

Une autre bobine N° 14 (fig II.1) entoure la dent rotorique et permet la mesure du flux total passant à travers la surface S1 .
Elle permet entre autre la détermination approchée du flux direct c'est à dire de la réactance X_d .

II.3 MESURES

Nous alimentons une phase statorique en courant continu I_s (3A et 5A) , et nous relevons pour différentes positions du rotor les fem induites aux bornes de toutes les bobines de mesure à l'aide d'un oscilloscope à mémoire .

Ces mesures délicates sont entachées d'erreurs pouvant être importantes .

Toutefois nous pensons que les valeurs relatives conduisent à une bonne approche de la distribution du flux dans la machine .

Les résultats expérimentaux (tableaux II.1 , II.2) sont utilisés pour le tracé de 3 types de graphes :

- $B_s = f(\varphi)$ pour différentes positions du rotor

$\varphi = 0^\circ$ fig II.4a

$\varphi = 90^\circ$ fig II.4b

$\varphi = 40^\circ$ fig II.4c

L'exploitation de ces courbes permet de déterminer la variation de la ~~de~~ réactance X en fonction de la position du rotor , et particulièrement le rapport X_d/X_q .

- $B_s = f(\varphi)$ pour chaque bobine fig II.5

- $B_s = f(z)$ pour différentes positions du rotor fig II.6

Les deux méthodes utilisées conduisent à des courbes présentant des allures identiques .

L'ensemble de mesure permet de montrer que :

- Lorsque le rotor est dans la position directe , le flux est pratiquement canalisé dans le petit entrefer .
Ce résultat concorde avec celui obtenu théoriquement par K.P.P. Pillai /3/ .

- Pour une position ψ quelconque , la symétrie de la carte du champ par rapport à l'axe de la dent rotorique n'est plus conservée .

- L'hypothèse d'une machine infiniment longue où les effets d'extrémités sont négligeables , peut être acceptée . En effet , pour une position donnée du rotor , l'induction normale est pratiquement indépendante de la coordonnée axiale (figure II.6) .

Tableau N°:1 Essais Manuels

N°	0	10	20	30	40	50	60	70
1	.38 .15	.42 .12	.40 .11	.16 .12	.1 .05	-.06 -.02	-	-
2	.3 .13	.24 .13	.14 .1	-.03 -.01	-.28 -.08	-.31 -.13		
3	.38 .17	.40 .11	.4 .12	.16 .10	.13 .08	-.07 -.03		
4	.32 0.19	.35 0.12	.4 0.12	.4 0.13	.31 0.10	.11 0.07	-.06 -.03	
5	.3 .15	.3 .14	.28 .15	.27 .14	.25 .15	.26 .15	.24 .15	-.07 -.04
6	.0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0		
7	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0		
8	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0		
9	.38 .14	.35 .13	.18 .11	.14 .10	-.06 -.02	-.18 -.12		
10	.20 .11	.21 .12	.19 .12	.16 .12	.20 .12	.13 .06	-.1 -.05	
11	.30 .17	.32 .15	.33 .15	.32 .16	.30 .12	.14 .10	-.09 -.04	
12	.28 .14	.29 .16	.26 .17	.24 .17	.19 .09	-.15 -.10		
13	.30 .14	.30 .13	.26 .14	.30 .13	.27 .12	.25 .15	.23 .13	-.08 -.05

Tableau N°:2 Essais avec circuit électronique

N°	0	10	20	30	40	50	60	70
1	.30 .16	.42 .11	.40 .12	.14 .10	.10 .04	-.06 -.02	-	-
2	.30 .10	.24 .12	.14 .11	-.12 -.08	-.38 -.13	-.40 -.15		
3	.35 .17	.35 .12	.37 .12	.21 .10	.11 .08	-.06 -.02		
4								
5	.28 .12	.26 .12	.26 .14	.26 .13	.28 .12	.25 .10	.26 .08	-.04 -.02
6	.0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0		
7	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0		
8	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0		
9	.22 .12	.22 .15	.20 .10	.15 .13	-.03 -.01	-.16 -.11		
10	.25 .10	.19 .11	.16 .13	.20 .11	.26 .13	.22 .06	-.08 -.04	
11								
12								
13	.30 .13	.31 .11	.26 .13	.26 .13	.25 .12	.27 .16	.26 .08	-.18 -.04

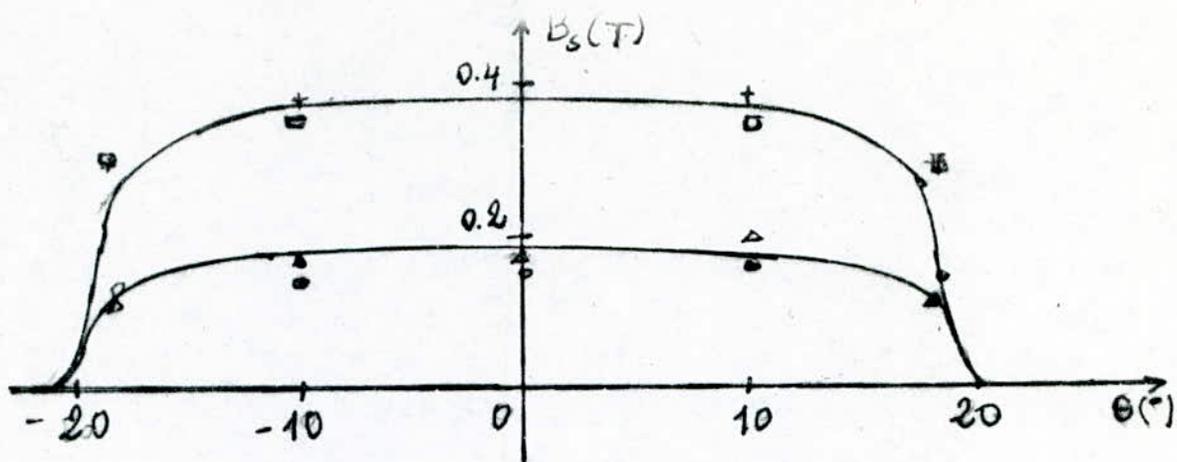


fig II.4a

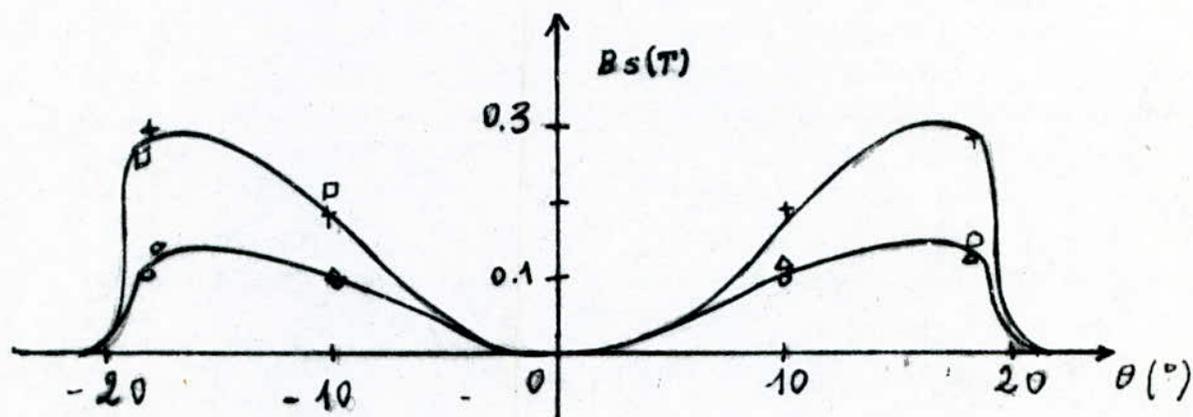


fig -II.4b

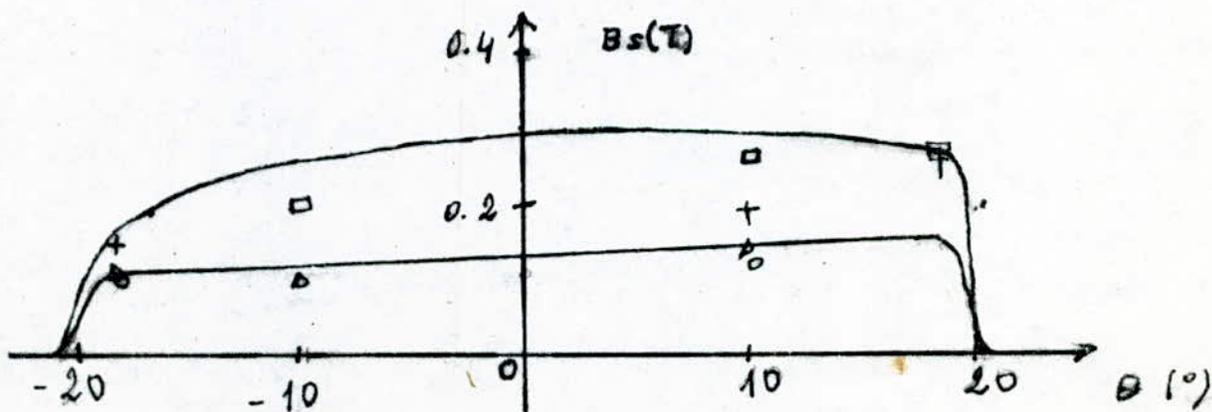


fig -II.4c

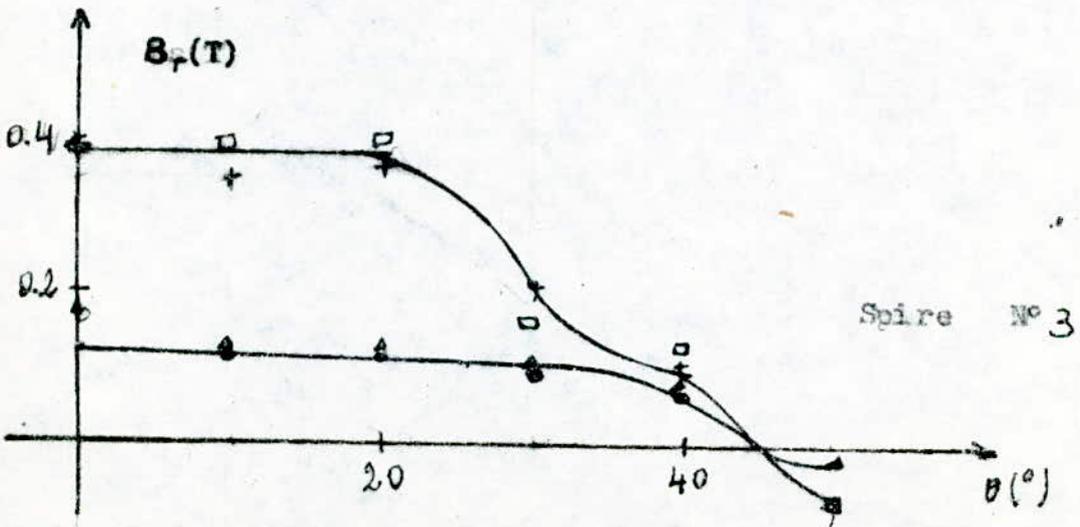
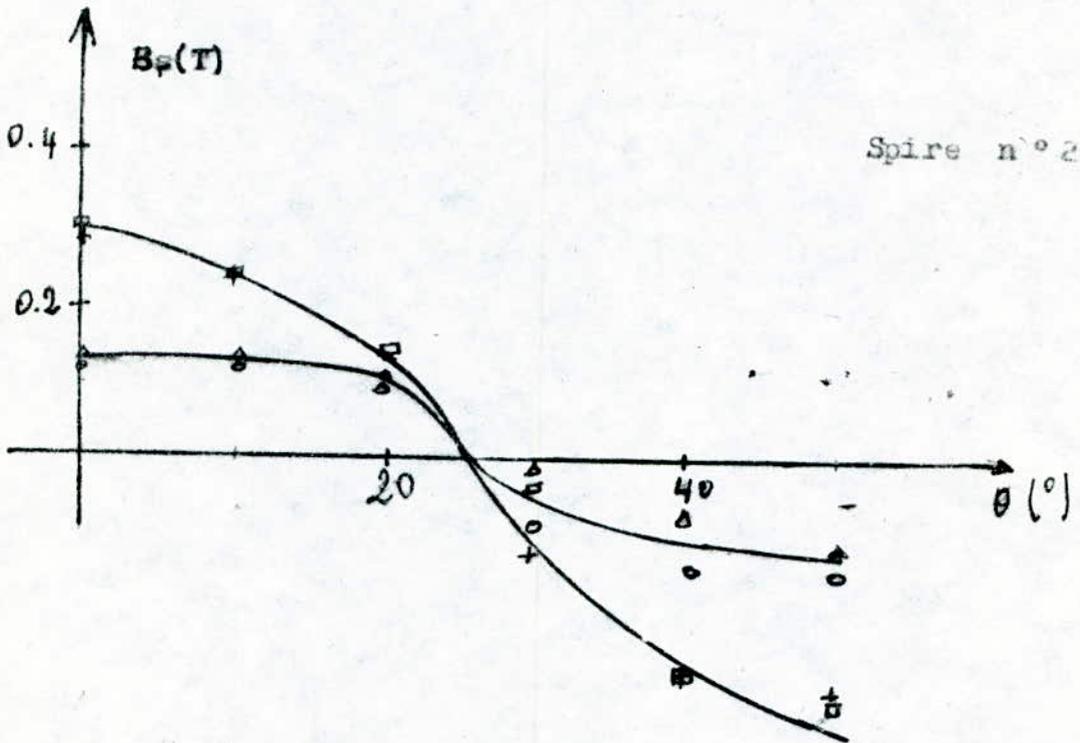
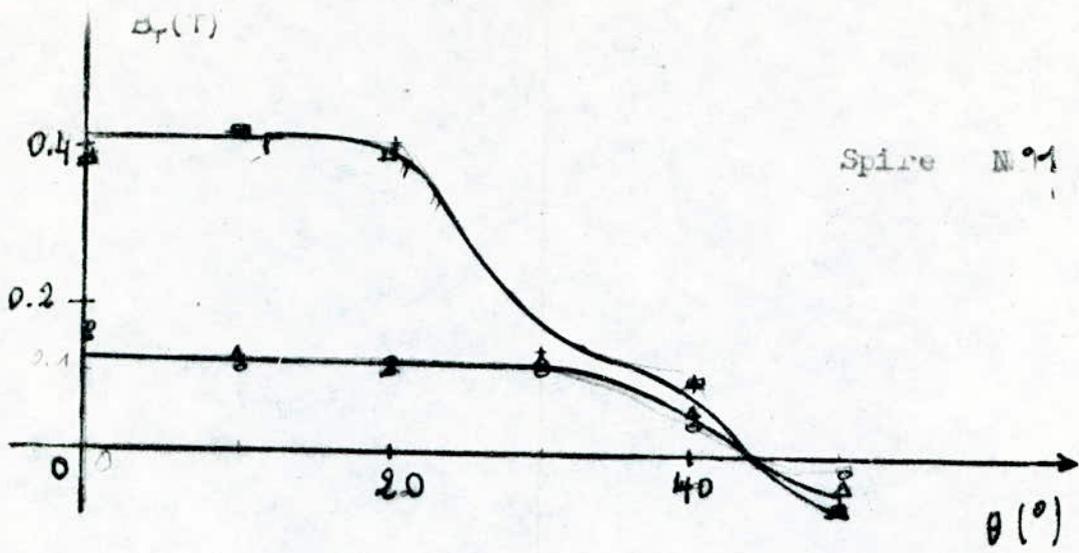


fig II.5

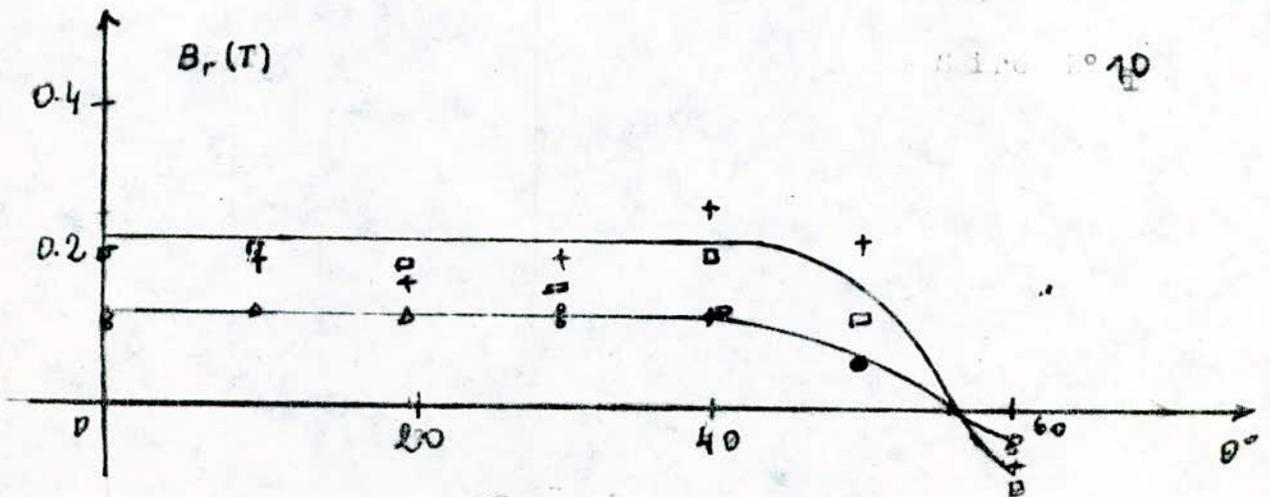
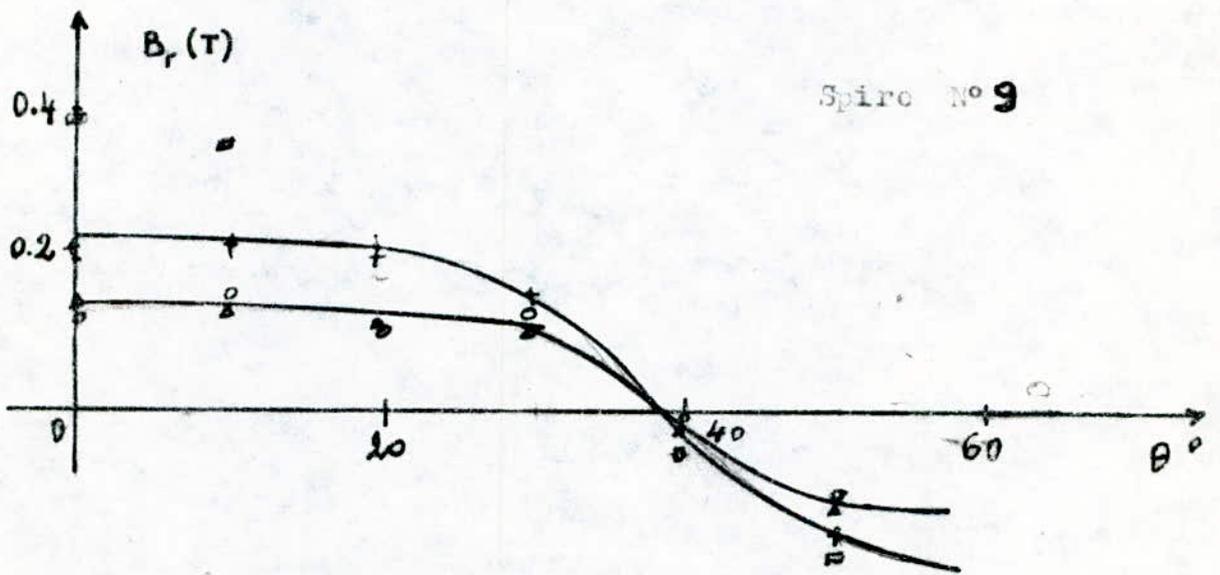
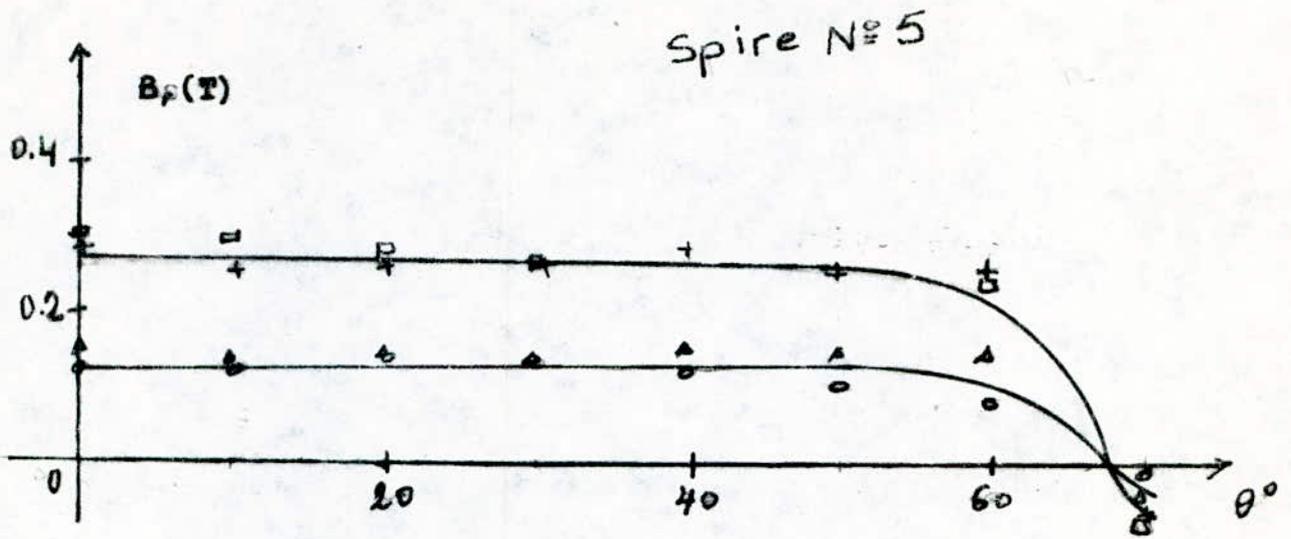


FIG II 5

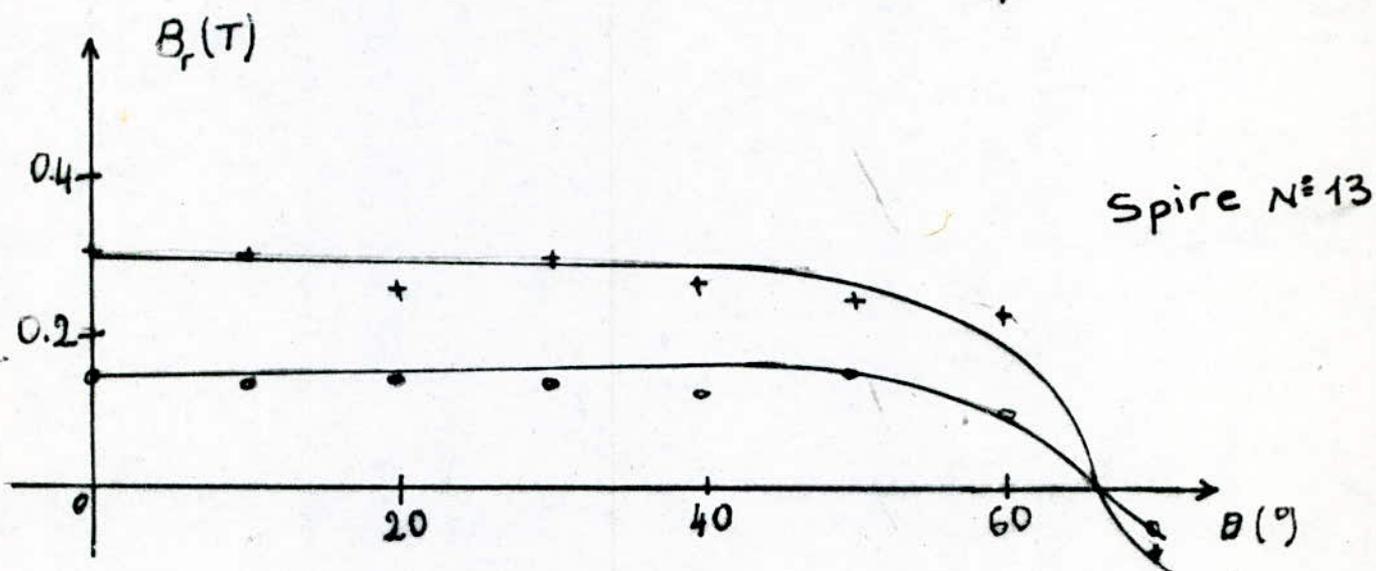
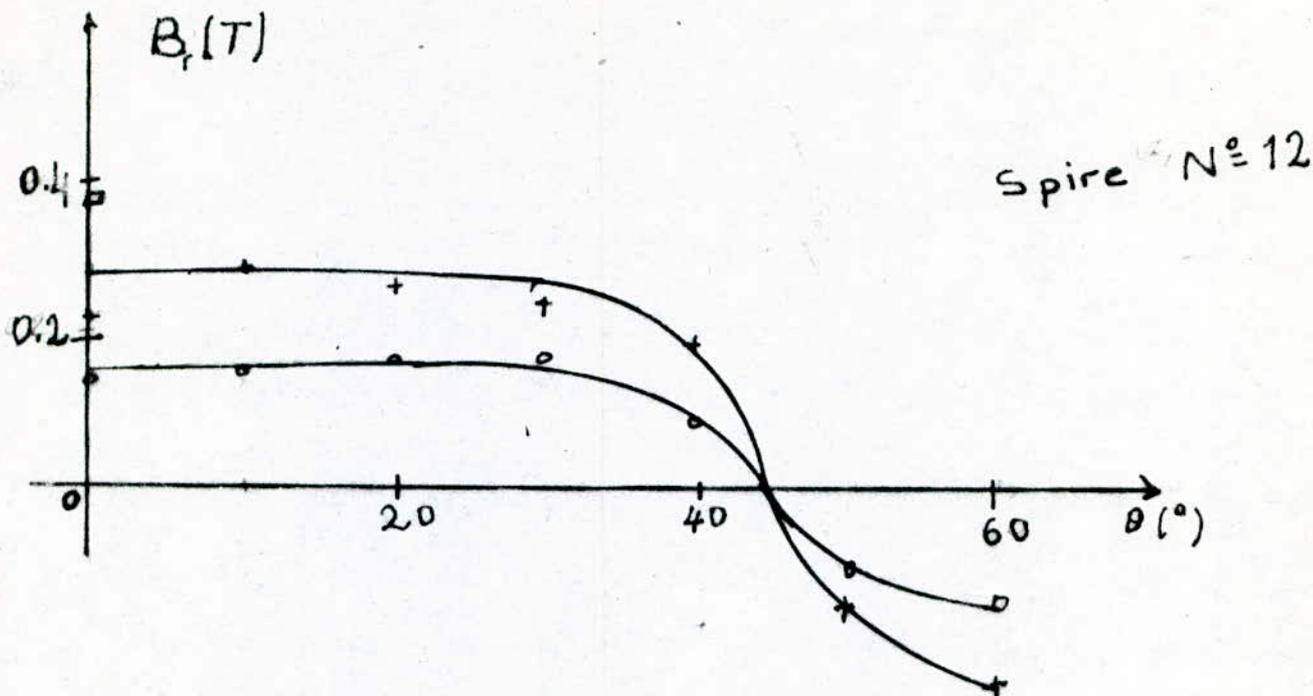


FIG. II-5

+ $I_s = 5A$ } Pour essai manuel
 o $I_s = 3A$ }

□ $I_s = 5A$ } Pour essai avec circuit
 △ $I_s = 3A$ } électronique

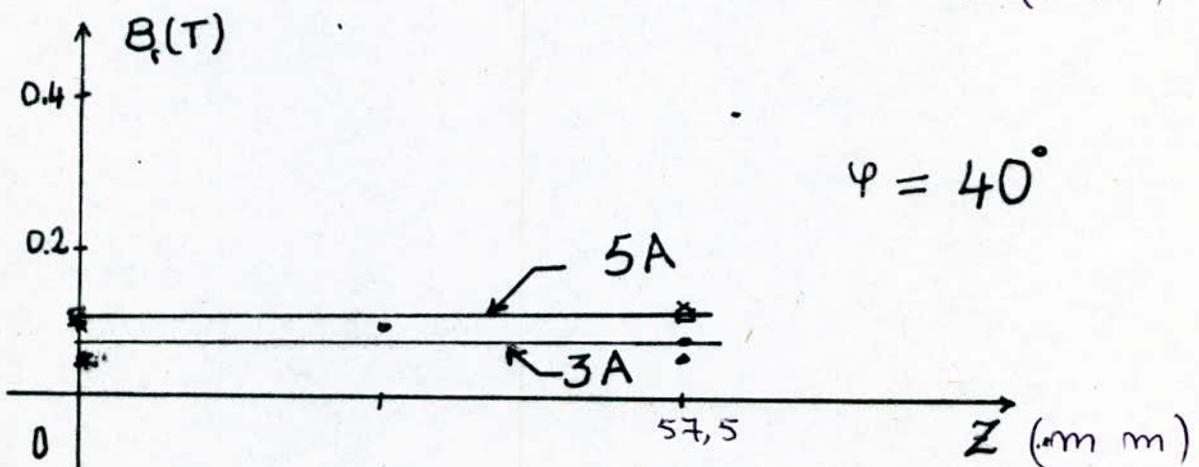
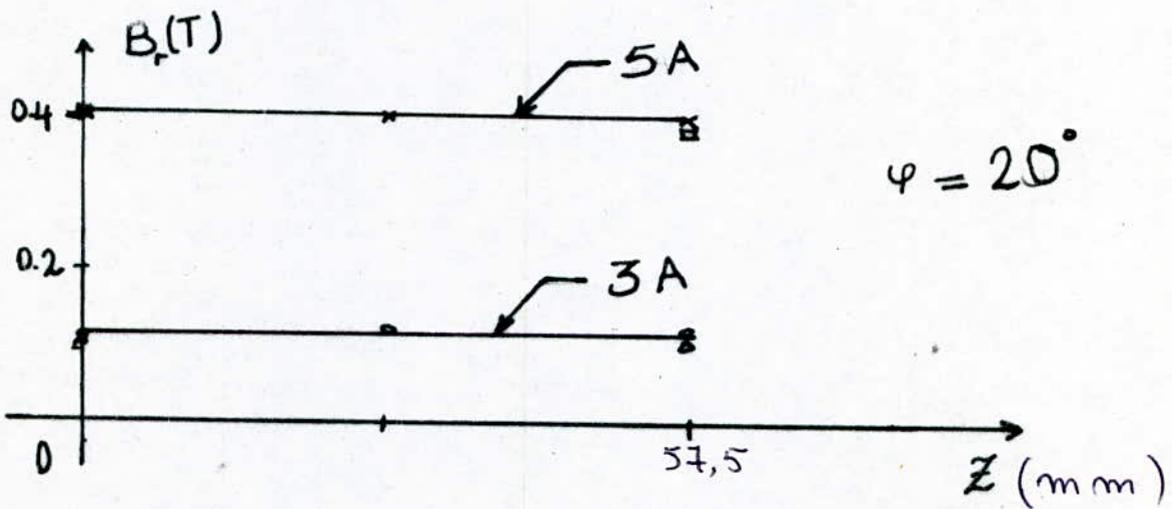
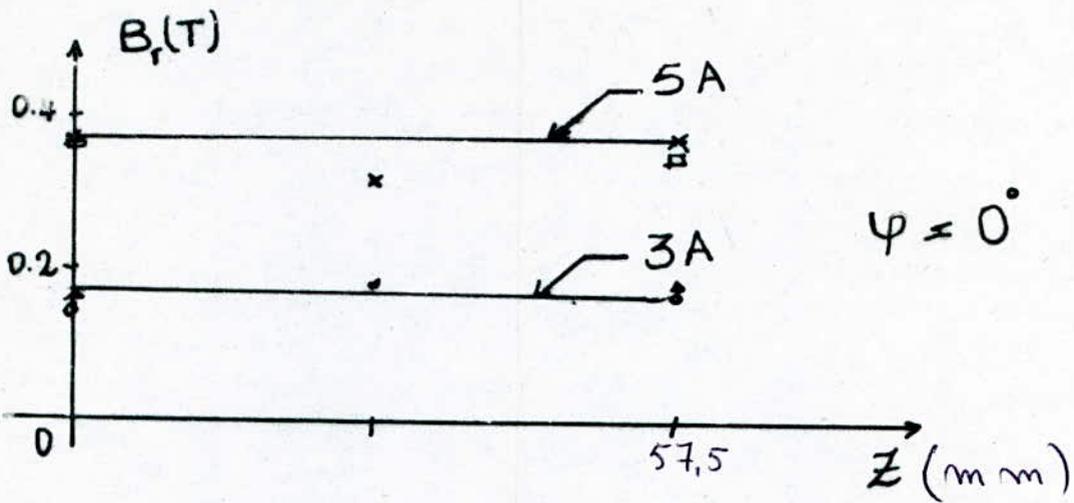


fig II.5

C O N C L U S I O N

CONCLUSION

Cette étude nous a permis de déterminer la distribution de l'induction magnétique dans l'entrefer de la machine à réluctance variable pure . Elle a été faite en empruntant deux méthodes ,l'une expérimentale et l'autre numérique .

L'étude expérimentale a permis un relevé local de la distribution du champ magnétique dans la machine en utilisant deux méthodes l'une "manuelle" et l'autre "electronique" .

Comme pour la machine bipolaire il apparait deux résultats importants :

- Les effets d'extrémités ne sont pas importants ,et on peut négliger la composante axiale du champ magnétique.

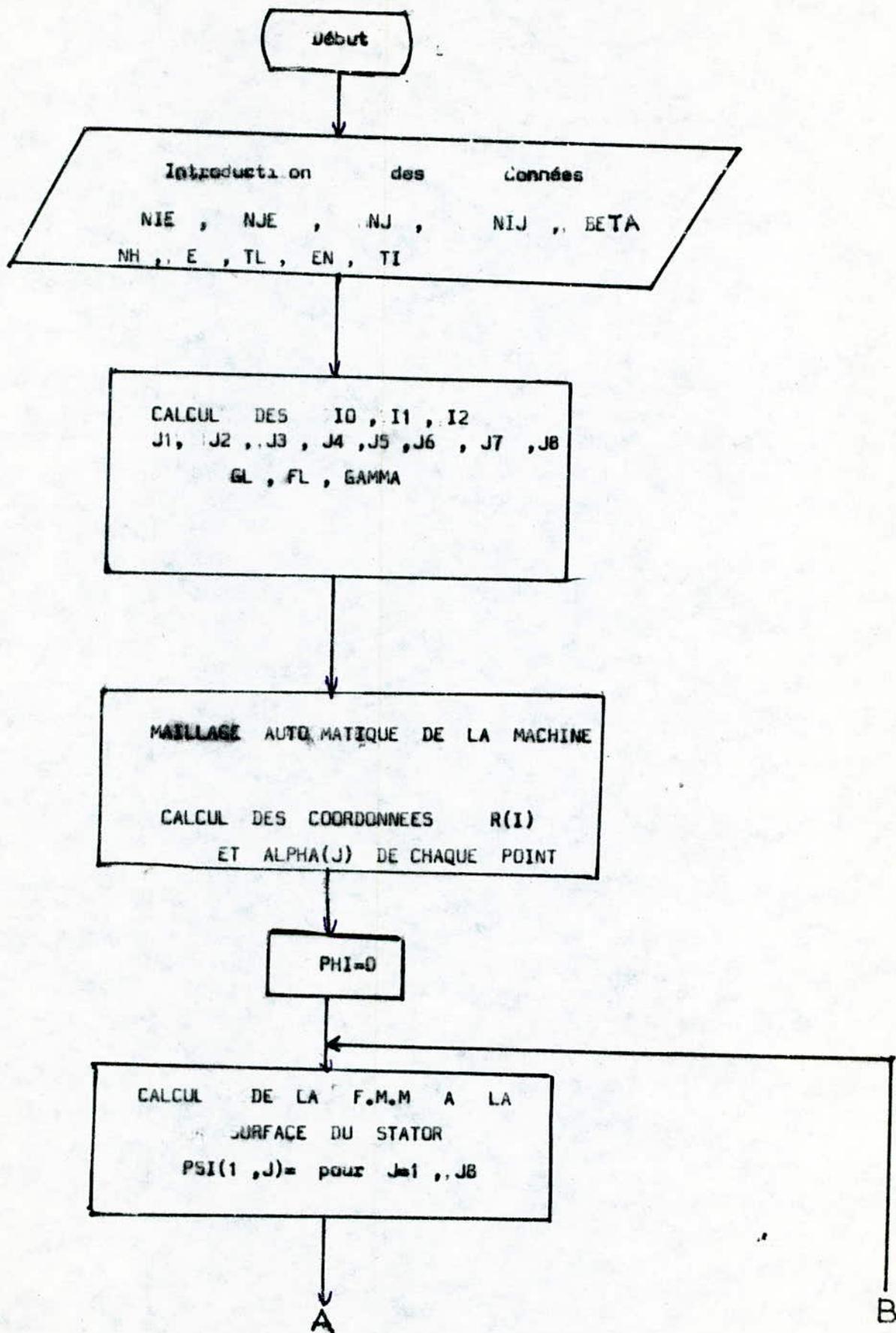
- Le flux direct est canalisé dans le petit entrefer et on peut admettre un flux normal nul dans la zone à grand entrefer .

L'étude theorique en concordance avec celle expérimentale a permis la détermination des réactances de la machine en fonction de la position du rotor .

Elle a aussi montré l'influence de l'angle d'ouverture sur les performances de la machine .

Une généralisation de ces résultats pour des MRV possédant un nombre de paires de poles plus grand ,est souhaitable .

A N N E X E



B
E

A
INITIALISATION DES PSI(I,J)
DO J = 1 , JB
PSI(I,J) = PSI(1 , J) / I pour I = 2, 10 - 1
PSI(I,J) = 0 pour I = 10, N
B(I,J) = PSI(I,J)

K = 1

CALCUL DE PSI(I,J) en utilisant
la formule (I.8)
pour I = 2, N et J = 1 , JB

DELTA = 0

I = 2

J = 1

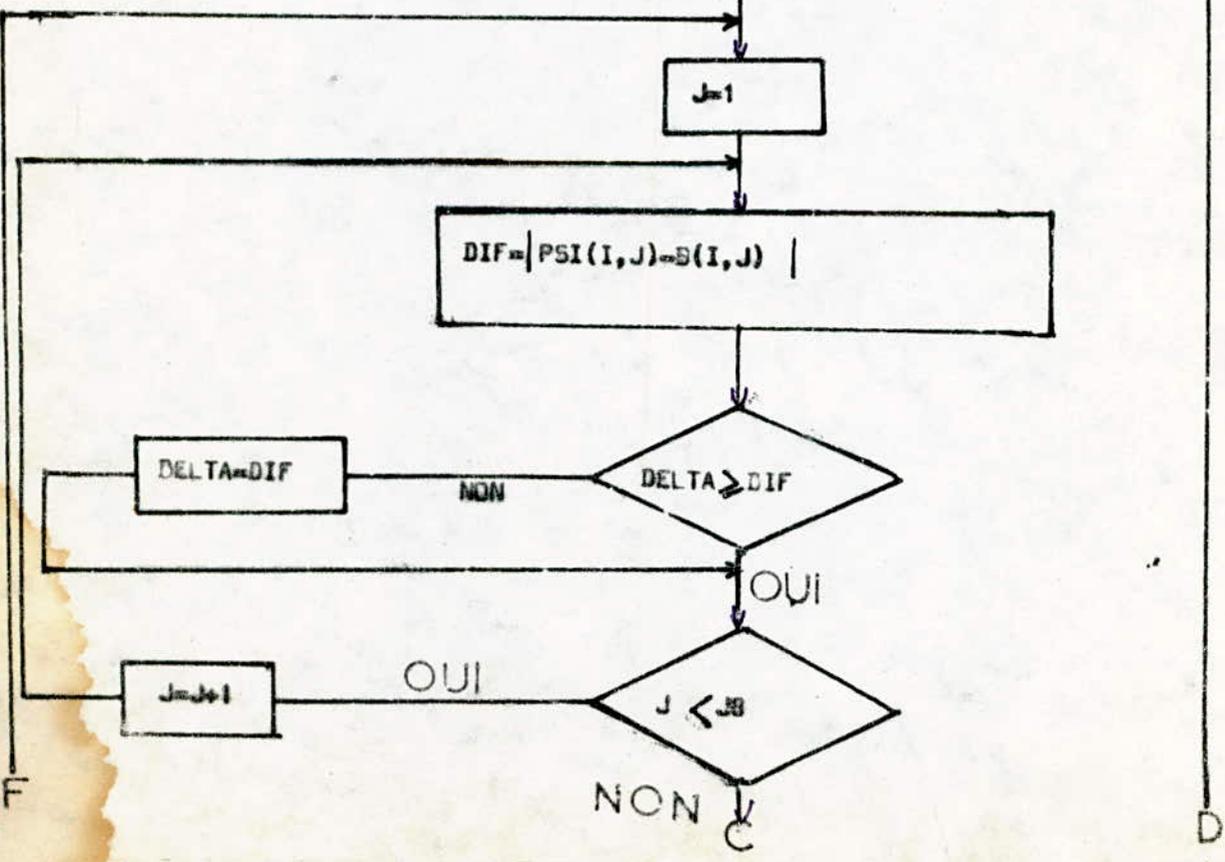
DIF = | PSI(I,J) - B(I,J) |

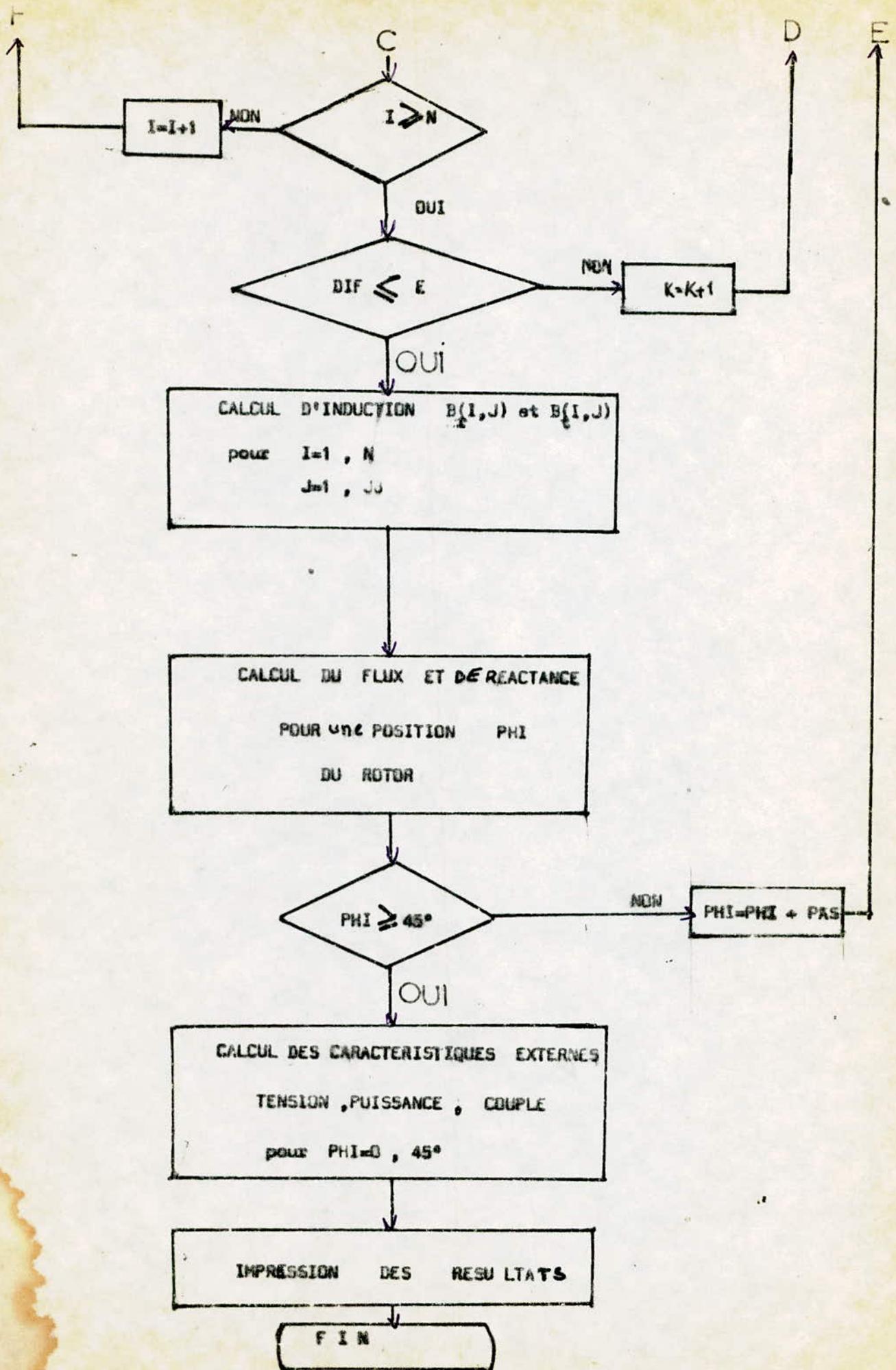
DELTA = DIF

DELTA > DIF

J = J + 1

J <= JB





BIBLIOGRAPHIE

- /1/. Saint Jean
" électrotechnique et machine électrique "
édition EYROLLES , année 1977 .
- /2/. M.F. ZAIM
Cours de machine électrique à courant
alternatif
E.N.P.A
- /3/. K.P.P Pillai
" Torque calculation of polyphase reluctance
machine "
IEEE N° 12 Decembre 1967 .
- /4/. S.DJEMAA
" cours théorie du champ électromagnétique
E.N.P.A
- /5/. B.LAPORTE , F.M SARGOS
" machine à réluctance variable "
RGE Mars 1987 .
- /6/. K.ATTALAH , A.BEN AHMED
Détermination du flux magnétique dans les
M.C.A. cas d'une M.R.V pour
projet de fin d'études
promotion JUIN 1988 .
- /7/. A.MAILFERT
" machine à réluctance variable "
technique de l'ingénieur D 550
MARS 1986 .
- /8/. L.F DORVAL
" Techniques des impulsions "
Mc GRAW - Hill 1983

