

12/80

lex

UNIVERSITE D'ALGER

\*\*\*\*\*

—ooOoo—

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

\*\*\*\*\*

—ooOoo—

DEPARTEMENT ELECTRICITE

\*\*\*\*\*

—ooOoo—

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية  
PROJET DE FIN D'ETUDES  
المحكمة

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE

CONSTRUCTION D'UN MOTEUR  
SHUNT A COURANT CONTINU  
AVEC  
ENROULEMENT DE COMPENSATION

Proposé et dirigé par :  
\*\*\*\*\*

M. TARASSOV

Professeur à l'ENP  
\*\*\*\*\*

Etudié par :  
\*\*\*\*\*

B. MAZOUZE

A. BOUDEHANE

PROMOTION — JANVIER : 1980  
\*\*\*\*\*

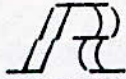




DEDICACE

Nous dédions cette thèse à nos parents , à nos frères  
et à nos amis ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué  
directement ou indirectement à l'élaboration de ce projet .

-----ooOoo-----



EMERCIEMENT

=O=O=O=O=O=O=O=O=O=O=O=O=O=O=O=O=

Par ce modeste travail , nous tenons à remercier tous les enseignants qui ont participé de près ou de loin à notre formation en particulier Monsieur TARASSOV notre promoteur pour ses efforts déployés pour nous permettre d'accomplir cette étude.

ALI et BRAHIM

Introduction

Cahier de charge

I - CALCUL ELECTROMAGNETIQUE

I -1 - Généralités

I -2 - Dimensions principales de la machine

I -3 - Enroulement , encoches et joug d'induit

I -4 - Dimensions du collecteur et des balais

I -5 - Entrefer, pôles principaux et joug du stator (culasse)

I -6 - Enroulement de compensation

I -7 - Calcul du circuit magnétique

II - COMMUTATION

II -1 - Dimensions des pôles auxiliaires

II -2 - Enroulement des pôles auxiliaires

III - PARAMETRES DU MOTEUR

III -1 Résistance de l'enroulement d'induit

III -2 Résistance de l'enroulement des pôles auxiliaires

III -3 Résistance de l'enroulement stabilisé

III -4 Résistance de l'enroulement de compensation

III -5 Force magnétomotrice d'excitation en charge, et enroulement d'excitati

III -6 Résistance de l'enroulement d'excitation

IV - PERTES ET RENDEMENT

IV -1 Pertes à vides

IV -2 Pertes en charge

IV -3 Rendement

V - CARACTERISTIQUES DE TRAVAIL

V -1 Régime à vitesse nominale

V -2 Régime à vitesse maximale

VI - CALCUL DU POIDS DE LA MACHINE

VI -1 Machine sans enroulement de compensation

VI -2 Machine avec enroulement de compensation

VI -3 Calcul des gains de cuivre et d'acier

CONCLUSION

Bibliographie

## - INTRODUCTION -

Lorsqu'on veut construire une machine électrique, on ne doit pas seulement tenir compte de ses propriétés électromagnétiques, mais faire en sorte que sa construction et son exploitation soient :

- économiques ( coût de la machine)
- rentables (simple, efficace, robuste, etc...)

Le dimensionnement d'une machine électrique dépend, tant du point de vue magnétique que du point de vue électrique d'une série de facteurs liés en partie aux propriétés thermiques des matériaux isolants et par suite à la durée de vie de la machine.

Notre projet fera l'objet d'une étude de construction d'un moteur shunt à courant continu avec enroulement de compensation qui est supposé être utilisé dans les conditions normales (laminoirs) et pour faire apparaître les avantages de cette construction (gain de cuivre, d'acier et une bonne commutation) on a traité en parallèle la construction d'un moteur shunt à courant continu sans enroulement de compensation.

L'étude comportera six chapitres :

- Dans le premier, on étudiera et calculera toutes les dimensions ainsi que toutes les grandeurs magnétiques et électriques des différentes parties constituant le moteur .
- Dans le deuxième, on étudiera la commutation et on dimensionnera les pôles auxiliaires et leur enroulement.
- Le troisième chapitre, qui sera consacré au calcul des paramètres du moteur, servira pour le calcul de la force magnétomotrice en charge et de l'enroulement d'excitation et pour la détermination des pertes et du rendement étudiés au chapitre quatre.
- Les caractéristiques de travail seront étudiées et tracées dans le chapitre cinq.
- Enfin, le dernier chapitre sera consacré au calcul de poids des deux types de machines.

- CAHIER DE CHARGE -

Sujet : Construction d'un moteur shunt à courant continu avec enroulement de compensation.

- Puissance utile nominale :  $P_n = 125 \text{ kW}$
- Tension nominale :  $U_n = 220 \text{ V}$
- Vitesse de rotation nominale :  $N_n = 1000 \text{ Tr/Mn}$

$$\frac{\text{Vitesse de rotation maximale} - N_{\text{max}}}{\text{Vitesse de rotation nominale} - N_n} = 2,5$$

Classe d'isolement : F

Acier électrotechnique disponible :  $\exists$  330; épaisseur = 0,5 mm.



CHAPITRE (I)  
+++++

=====  
CALCUL ELECTROMAGNETIQUE  
=====

I - 1 - GENERALITES

Le moteur shunt à courant continu avec enroulement de compensation est un moteur dont les pièces polaires des pôles principaux sont pourvues d'encoches où est logé un enroulement constitué de fils de cuivre réunis entre eux en série et parcouru par le courant d'induit c'est le bobinage de compensation destiné à compenser l'effet magnétique des ampères-tours de l'induit d'où une réduction du nombre de spires des enroulements d'excitation, de commutation et stabilisé ainsi qu'une diminution des dimensions géométriques du moteur d'où un gain de cuivre et d'acier. En outre, l'enroulement de compensation assure une meilleure commutation.

I - 2 - DIMENSIONS PRINCIPALES DE LA MACHINE

On se propose dans cette partie de déterminer les dimensions principales de la machine à partir des données du cahier de charge.

1 - DIAMETRE D'INDUIT : Il dépend du rapport de la puissance utile nominale par la vitesse de rotation nominale.

D'après figure 1 :  $D = f (P_n / N_n)$

on a :  $D = 40 \text{ cm}$ .

Le diamètre doit être normalisé par rapport à l'échelle du diamètre standard. La normalisation tient compte du découpage raisonnable des tôles d'acier avec un chet minimal.

! Encombrement	:	1	:	-----	:	11	:	12	:	13	:	-----	!
! D ( mm )	:	83	:	-----	:	368	:	423	:	493	:	-----	!

On prend l'encombrement : 12

D'où  $D = 42,3 \text{ cm}$

2 - NOMBRE DE PAIRES DE POLES :

- Il dépend du diamètre d'induit.

D'après figure 2 :  $2p = f (D)$

on a :  $2p = 4$

3 - INDUCTION MAGNETIQUE DANS L'ENTREFER ET CHARGE LINEAIRE (PREALABLE).

$B_g$  : Induction magnétique dans l'entrefer caractérisant les sollicitations magnétiques, elle dépend du diamètre d'induit.

d'après figure 3 :  $B_g = f (D)$       On a :  $B_g = 9400 \text{ Gs}$

A : représente la charge linéaire et caractérise la sollicitation électrique des matériaux actifs de la machine et dépend du diamètre d'induit.

d'après figure 4  $A = f (D)$       On a :  $A = 400 \text{ A/cm}$ .

../..

4 - PUISSANCE DE CALCUL

Elle est donnée par la relation suivante :

$$P' = K_D \frac{P_n}{\eta_n}$$

$K_D$  : Coefficient qui tient compte des chutes ohmiques dans l'enroulement d'excitation il est déterminé à partir du tableau 1 (T.1) :  $K_D = 0,93$

$\eta_n$  : Rendement nominal préalable donné par le tableau 2 (T.2) :  $\eta_n = 0,90$ .

$$P' = 0,93 \cdot \frac{125}{0,90} = 129,2 \text{ KW}$$

5 - LONGUEUR D'INDUIT :

Elle est donnée par la formule :

$$L_\delta = \frac{6,1 \cdot P' \cdot 10^{11}}{\alpha_\delta \cdot B_\delta \cdot A \cdot D^2 \cdot N_n}$$

- Les valeurs acceptables pour le rapport  $\alpha_\delta$  de l'arc polaire au pas polaire sont : pour les machines avec pôles auxiliaires : 0,62  $\ll \alpha_\delta \ll$  0,72  
on prend :  $\alpha_\delta = 0,65$

$$L_\delta = \frac{6,1 \cdot 129,2 \cdot 10^{11}}{0,65 \cdot 9400 \cdot 400 \cdot 42,3^2 \cdot 1000} = 18 \text{ cm.}$$

6 - PAS POLAIRE : Il est défini comme suit :

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 42,3}{4} = 33,21 \text{ cm}$$

7 - FACTEUR GEOMETRIQUE DE LA MACHINE

Il définit par le rapport de la longueur d'induit ou pas polaire.

$$\lambda = \frac{L_\delta}{\tau} = \frac{18}{33,21} = 0,54$$

Valeur de  $\lambda$  admissible :  $0,5 \leq \lambda \leq 1,5$

8 - VITESSE PERIPHERIQUE DE L'INDUIT :

Elle est calculée à partir de la relation :

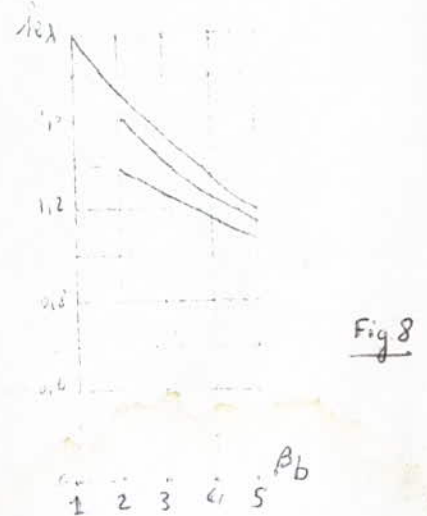
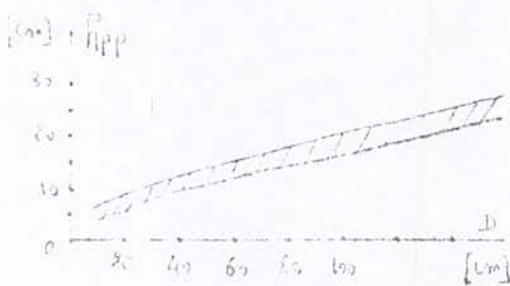
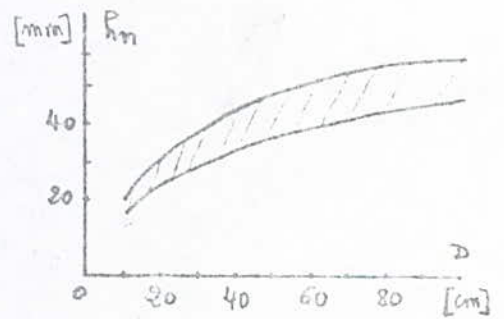
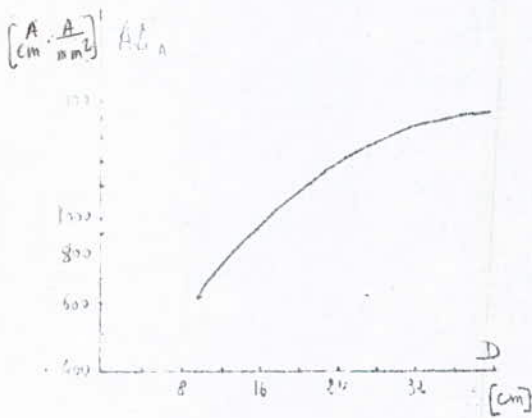
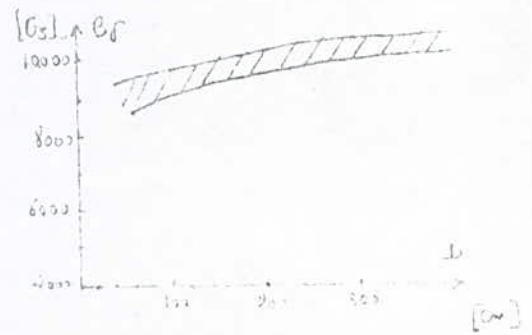
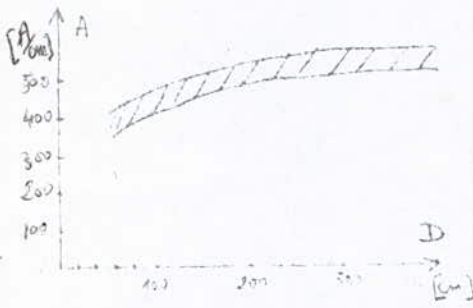
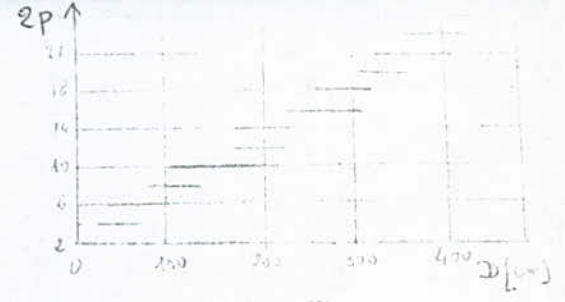
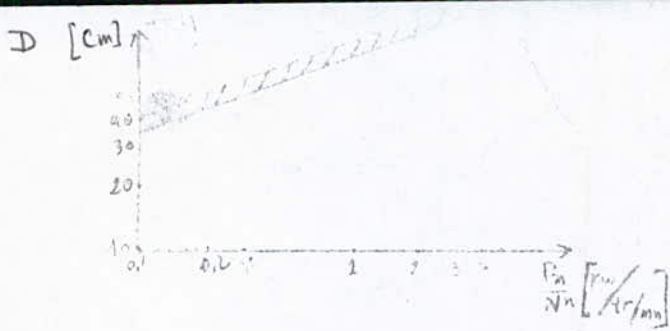
$$V_a = \frac{\pi \cdot D \cdot N_n}{60}$$

$$V_a = \frac{3,14 \cdot 0,423 \cdot 1000}{60} = 22,14 \text{ m/s}$$

9 - LONGUEUR TOTALE D'INDUIT :

- Pour les machines de faible et moyenne puissance on utilise la ventilation axiale d'où :

$$l = l_\delta = 18 \text{ cm.}$$



I - 3 : ENROULEMENT, ENCOCHES ET JOUG D'INDUIT

IO - Nombre d'encoches d'induit :

Le rapport du nombre d'encoches d'induit au nombre de pôles dépend du diamètre d'induit .

D'après tableau 3 (T3) on a :

$$\frac{Z}{2p} = (7 \div I2)$$

d'où :  $Z = (2p) \cdot (7 \div I2)$

$$Z = 4 (7 \div I2) = (28 \div 48)$$

on choisit :  $Z = 42$

II - Pas dentaire :

Il est donné par la relation :

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{Z}$$

$$t_1 = \frac{3,14 \cdot 42,3}{42} = 3,16 \text{ Cm}$$

I2 - Courant nominal d'induit

$$I_{an} = \frac{(I - k_B) \cdot P_n}{\eta_n \cdot N_n}$$

où  $k_B$  : Valeur relative au courant d'excitation, est tirée du tableau I<sup>b</sup> (T.I) :  $k_B = 0,01$

$$I_{an} = \frac{(I - 0,01) \cdot I25 \cdot 10^3}{0,90 \cdot 220} = \underline{625 \text{ A}}$$

I3 - Nombre de branches parallèles de l'enroulement d'induit :

Le rapport du courant nominal au nombre de branches parallèles doit vérifier la double inégalité :

$$100 \text{ A} \ll \frac{I_{an}}{2a} \ll 250 \text{ A}$$

Or :  $I_{an} = 625 \text{ A}$

d'où :  $2,50 \ll 2a \ll 6,25$

Dans le choix de l'enroulement d'induit, on doit veiller à ce que cet enroulement soit parfaitement symétrique. En effet, des dissymétries peuvent être la cause de pertes supplémentaires provoquées par les courants internes de compensation, de formation d'étincelles aux balais et d'un risque d'arcs entre balais contigus.

On choisit l'enroulement imbriqué simple à deux couches qui présente plusieurs avantages :

- possibilité de raccourcir le pas pour améliorer la forme de la force électromotrice et du champ magnétique.

- Son coût est bas ( raccourcissement des connections des parties frontales ).

- Élimination des harmoniques du rang 5,7,..

- Fabrication simplifiée : toutes les bobines ont la même forme et sont réalisées sur gabarit.

Condition de symétrie :

$$\frac{Z}{P} = \text{nombre entier}$$

et

$$\frac{K}{P} = \text{nombre entier}$$

K : étant le nombre de lames du collecteur

Dans la majorité des cas , l'enroulement imbriqué est exécuté comme un enroulement simple , c'est-à-dire avec un pas d'enroulement résultant

$$y = 1 \text{ et } a = p$$

$$\text{d'où : } \underline{2a = 2p = 4}$$

#### 14 - Nombre de conducteurs dans une encoche.

Il est donné par la relation suivante :

$$\frac{N}{Z} = \frac{A \cdot t_1 \cdot 2a}{I a n}$$

$$\frac{N}{Z} = \frac{400 \cdot 3,16 \cdot 4}{625} = 8,1$$

On prend :  $\frac{N}{Z} = 8$

- Valeurs exactes de  $B_{\delta}$  et A

$$B_{\delta} = 9400 \cdot \frac{8,1}{8} = 9520 \text{ Gs}$$

$$A = 400 \cdot \frac{8}{8,1} = 395 \text{ A/cm}$$

#### 15 - Nombre total de conducteurs :

$$N = \left(\frac{N}{Z}\right) \cdot Z$$

$$N = 8 \cdot 42 = \underline{336 \text{ Conducteurs.}}$$

I6 - Nombre de lames du collecteur :

- Ayant 8 conducteurs par encoche et puisqu'on utilise l'enroulement imbriqué simple à 2 couches donc le nombre de conducteurs dans une couche sera :

$$u = 4$$

- Le nombre de lames du collecteur sera alors défini comme suit :

$$K = u \cdot Z$$

$$K = 4 \cdot 42 = \underline{168 \text{ lames}}$$

- Le nombre de spires connectées en série entre 2 lames du collecteur est :

$$w_k = \frac{N}{2K} = \frac{336}{2 \cdot 168} = \underline{1 \text{ spire}}$$

- Les tensions entre lamelles :

Dans le choix du nombre des éléments d'induit et de celui des lamelles on doit veiller à ce que la tension entre 2 lamelles voisines ne devienne pas trop haute. Si cette tension dépasse une certaine valeur, 30 à 40 Volts environ, il se produit facilement une décharge entre les balais qui, par l'effet de l'arc électrique endommage le collecteur, le balais et le porte-balais.

La tension moyenne entre 2 Lames du collecteur est donnée par la relation suivante :

$$U_{K \text{ moy}} = \frac{U}{\left(\frac{K}{2p}\right) \cdot \alpha_s}$$

$$U_{K \text{ moy}} = \frac{220}{\frac{168}{4} \cdot 0,65} = \underline{8,1 \text{ V}}$$

I7 - Pas au collecteur

Dans un enroulement imbriqué simple le pas au collecteur est égal à un intervalle au collecteur c'est à dire :  $y_K = 1$

I8 - Pas polaire exprimé en encoches.

Il est défini comme suit :

$$y_Z = \frac{Z}{2p}$$

$$y_Z = \frac{42}{4} = 10,5$$

On réalise un enroulement imbriqué simple à pas raccourci d'où :

$$y_Z = \underline{10 \text{ encoches/pôle}}$$

I9 - Pas d'enroulement

- Premier pas partiel :  $y_I$

C'est la distance entre les premier. et second côtés actifs d'une même section.

Il est exprimé par le nombre d'encoches élémentaires donc :

$$y_I = u \cdot y_Z$$

$$y_I = 4 \cdot 10 = \underline{40 \text{ encoches élémentaires}}$$

- Deuxième pas partiel :

C'est la distance entre le second côté actif de la Section et le premier côté actif de la section qui suit la première

Il est déterminé par le nombre d'encoches élémentaires et défini comme suit :

$$y_2 = y_I - y$$

$y$  : représente le pas résultant .

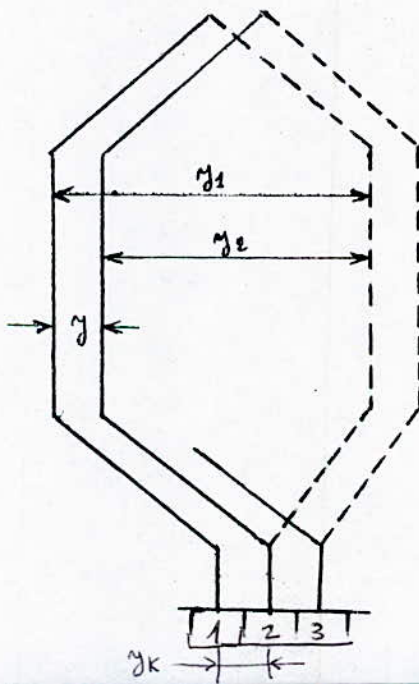
- C'est la distance déterminée par le nombre d'encoches élémentaires entre les côtés actifs correspondants.

- Etant donné qu'à une encoche élémentaire correspond un intervalle au collecteur pour que les pas  $y_K$  et  $y$  correspondent il faut qu'ils soient numériquement égaux c'est à dire :  $y_K = y$

Or :  $y_K = 1$  ( point I7 )

d'où :  $y = 1$

on a alors :  $y_2 = 40 - 1 = \underline{39 \text{ encoches élémentaires}}$



- Schéma montrant les pas d'enroulement.

Schéma - I -



## 20 - Charge limite d'échauffement :

- Notre moteur est de classe d'isolation F dont la teneur en chaleur est égale à 140° C

$$(A \Delta)_F = (A \Delta)_A \cdot \frac{\delta \theta_F}{\delta \theta_A} \cdot \frac{\rho_A}{\rho_F}$$

$(A \Delta)_A$  : Charge limite d'échauffement du moteur de classe d'isolation A dont la teneur en chaleur est égale à 100° C qui dépend du diamètre d'induit d'après figure 5 :  $(A \Delta)_A = 1900 \text{ (A/cm} \cdot \text{A/mm}^2)$

$$\delta \theta_F = \theta_F - \theta_0 = 140^\circ - 40^\circ = 100^\circ \text{C}$$

-  $\delta \theta_F$  étant la différence limite entre la température de l'enroulement de classe d'isolation F et la température standard de l'air refroidi

$$\delta \theta_A = \theta_A - \theta_0 = 100^\circ - 40^\circ = 60^\circ \text{C}$$

-  $\delta \theta_A$  étant la différence limite entre la température de l'enroulement de classe d'isolation A et la température standard de l'air refroidi

$\theta_0 = 40^\circ \text{C}$  : étant la température standard de l'air refroidi.

$$\rho_A = \theta_A + 235 = 100 + 235 = 335^\circ \text{K}$$

$$\rho_F = \theta_F + 235 = 140 + 235 = 375^\circ \text{K}$$

$\rho_A$  et  $\rho_F$  étant les résistivités spécifiques du cuivre pour les températures limitées 100° et 140° C pour les classes d'isolation A et F

$$\text{donc : } (A \Delta)_F = 1900 \cdot \frac{100}{60} \cdot \frac{335}{375} = \underline{2829 \text{ (A/Cm} \cdot \text{A/mm}^2)}$$

## 21 - Densité de courant d'induit :

Préalablement, sa valeur est donnée par la relation :

$$\Delta a = \frac{(A \Delta)_F}{A}$$

$$\Delta a = \frac{2829}{395} = 7,16 \text{ A/mm}^2$$

## 22 - Section d'un Conducteur :

Elle se définit comme suit :

$$S_a = \frac{I_{an}}{2a \cdot \Delta a}$$

$$S_a = \frac{625}{4 \cdot 7,16} = 21,8 \text{ mm}^2$$

- Les sections des conducteurs de l'enroulement sont normalisées ; dans notre cas on adopte :  $S_a = \underline{22,2 \text{ mm}^2}$  d'après tableau 4 (T 4)

- Les conducteurs choisis sont du type  $\Pi C B$  : fil de cuivre isolé par deux couches de tissu de verre imprégné au vernis résistant à la chaleur pour les classes jusqu'à F.

- Les conducteurs correspondants à cette section sont rectangulaires et ont pour dimensions :  $2,1 \text{ mm} / 10,8 \text{ mm}$

- La couche isolante du cuivre conducteur a pour épaisseur :  $0,27 \text{ mm}$

- Les dimensions du conducteur isolé seront donc :  $2,37 \text{ mm} / 11,07 \text{ mm}$

### 23 - Force électromotrice d'induit :

Préalablement, elle est définie comme suit :

$$E_{an} = \frac{P'}{I_{an}}$$

$$E_{an} = \frac{129,2 \cdot 10^3}{625} = \underline{207 \text{ V}}$$

### 24 - Flux magnétique principal :

- C'est le flux dans l'entrefer sur une aire qui correspond à un pas polaire, la machine fonctionnant à vide il est donné par la relation :

$$\Phi = \frac{60 \cdot E_{an} \cdot a \cdot 10^8}{p \cdot N_n \cdot N}$$

$$\Phi = \frac{60 \cdot 207 \cdot 2 \cdot 10^8}{2 \cdot 1000 \cdot 336} = 3,7 \cdot 10^6 \text{ Mx}$$

### 25 - Induction magnétique dans l'entrefer :

$$B_{\delta n} = \frac{\Phi}{\alpha_{\delta} \cdot \tau \cdot l_{\delta}}$$

$$B_{\delta n} = \frac{3,7 \cdot 10^6}{0,65 \cdot 33,21 \cdot 18} = 9520 \text{ Gs}$$

- Cette valeur est la même que celle trouvée au point I4 .

### 26 - Largeur minimale des dents d'induit :

- Les côtés des dents sont en trapèze car les encoches sont à côtés parallèles :

$$b_{Z3} = \frac{B_{\delta n} \cdot t_I \cdot l_{\delta}}{k_c \cdot l \cdot B_{Z_{max}}}$$

-  $B_{zmax}$  : Induction maximale dans les dents d'induit sa valeur est tirée du tableau 5 (T5)  $B_{zmax} = 23000$  Gs

-  $k_c$  : Facteur de remplissage des toles isolées par le vernis

valeurs admissibles :  $0,91 \leq k_c \leq 0,93$  on prend  $k_c = 0,93$

$$b_{z3} = \frac{9520 \cdot 3,16 \cdot 18}{0,93 \cdot 18 \cdot 23000} = 1,41 \text{ cm}$$

### 27 - Largeur d'encoches :

Prealablement , elle se definie comme suit :

$$b_n = t_3 - b_{z3}$$

$t_3$  : Pas dentaire minimal

$$t_3 = \frac{(D - 2 \cdot h_z)}{Z}$$

$h_z$  : etant la hauteur de la dent prealable qui depend du diametre et d'apres figure 6, au diametre  $D = 42,3$  cm correspond

$$h_z = 3,4 \text{ cm}$$

$$\text{d'ou : } t_3 = \frac{3,14 \cdot (42,3 - 2 \cdot 3,14)}{42,3} = 2,66 \text{ cm}$$

$$\text{donc : } b_n = 2,66 - 1,41 = 1,25 \text{ cm}$$

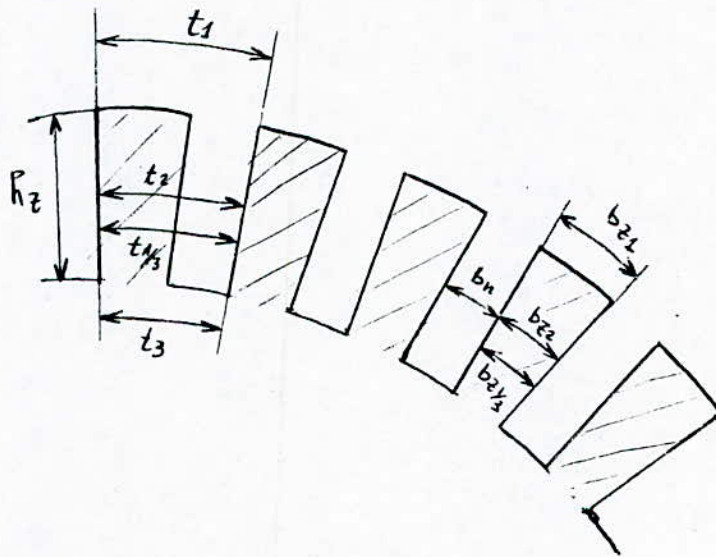


Schéma : 2

### 28 - Dimensions de l'encoche :

LA methode qu'on va adopter pour determiner le dimensionnement de l'encoche consiste d'abord à remplir cette derniere de conducteurs elementaires en tenant compte de l'isolation des conducteurs , du revêtement de l'encoche et du bandage en fil d'acier .

D'apres tableau A (TA) :

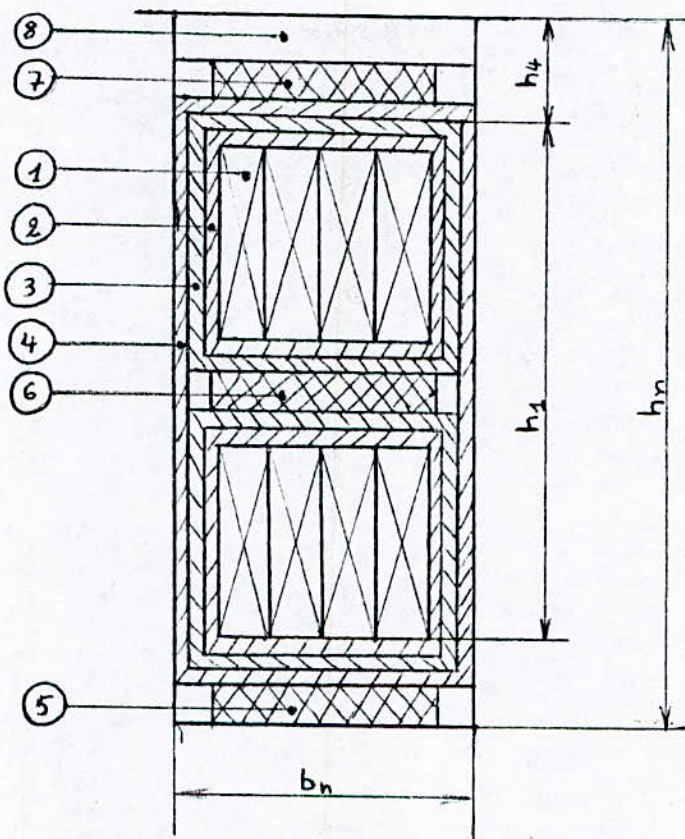
$$b_n = 12,10 \text{ mm}$$

$$h_I = 25,70 \text{ mm}$$

$$h_4 = 2,15 \text{ mm}$$

$$h_n = 31 \text{ mm}$$

Schema - 3 -



. TABLEAU : A  
 -o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

N°	Nature d'isolement	nombre de couches	Largeur (mm)	Hauteur(mm)
2	Ruban de verre micacé: 0,17mm	2	$(0,17 \times 2) \times 2 \times 2 = 1,36$	$(0,17 \times 2) \times 2 \times 4 = 2,72$
3	Ruban de verre imprégné au vernis : 0,2mm Coefficient d'élargissement de la bande : 0,6	I	$0,2 \times 2 = 0,4$ $0,4 \times 0,6 = 0,24$	$0,2 \times 2 \times 2 = 0,8$ $0,8 \times 0,6 = 0,48$
4	Tissu de verre imprégné au vernis : 0,15 mm	I	$0,15 \times 2 = 0,3$	$0,15 \times 2 = 0,3$
5	Tissu de Verre imprégné au vernis et pressé: 0,5 mm	I	_____	0,5
6	Tissu de verre imprégné au vernis et pressé: 0,5mm	I	_____	0,5
7	Tissu de verre imprégné au vernis et pressé: 0,5mm	I	_____	0,5
	Jeu technologique		0,3	0,55
8	Bandage avec fil d'acier		_____	1,5
	Largeur d'isolation: $\Delta_{iso}$		2,6	7,85
I	Conducteurs isolés		$2,37 \times 4 = 9,48$	$11,07 \times 2 = 22,14$
			12,08	30

29 - DENSITE DE COURANT D'INDUIT

Ayant normalisé la section des conducteurs, la valeur exacte de la densité de courant est donc :

$$\Delta_a = \frac{I_{an}}{2 a \cdot S_a}$$

$$\Delta_a = \frac{625}{4 \cdot 22,2} = 7 \text{ A/mm}^2$$

30 - HAUTEUR DU JOUG D'INDUIT :

Préalablement, elle est égale à :

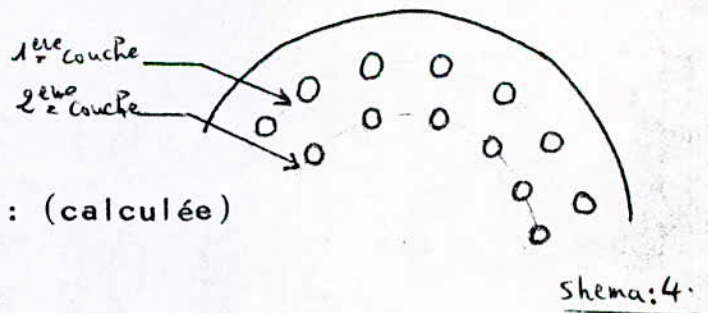
$$h_{aj} = \frac{\phi}{2 \cdot k_c \cdot l \cdot B_{aj}}$$

$B_{aj} = 13000 \text{Gs}$  : induction dans le joug d'induit tirée du tableau 5 (T.5)

$$h_{aj} = \frac{3,7 \cdot 10^6}{2 \cdot 0,93 \cdot 18 \cdot 1300} = 8,5 \text{ cm}$$

31 - CANAUX DE VENTILATION :

- Nombre de couches de canaux :  $m_k = 2$
- Diamètre d'un canal :  $d_k = 2 \text{ cm}$
- On utilise 20 canaux dans la première couche et 15 dans la deuxième



32 - HAUTEUR DU JOUG D'INDUIT : (calculée)

$$h_{aj} = \frac{D - D_a}{2} - h_z - \frac{2}{3} d_k$$

$D_a$  : étant le diamètre de l'arbre, sa valeur est :

$$D_a = D - 2 (h_z + h_{aj}) - \frac{m_k \cdot d_k}{3}$$

$$D_a = 42,3 - 2 (3,1 + 8,5) - \frac{2 \cdot 2}{3} = 17,8 \text{ cm}$$

Donc :

$$h_{aj} = \frac{42,3 - 17,8}{2} - 3,1 - \frac{2 \cdot 2}{3} = 7,8 \text{ cm}$$

33 - SECTION DU JOUG D'INDUIT : (Calculée)

$$S_{aj} = k_c \cdot l \cdot h_{aj} = 0,93 \cdot 18 \cdot 7,8 = 130,6 \text{ cm}^2$$

#### I 4 : DIMENSIONS DU COLLECTEUR ET DES BALAIS

- Le Collecteur est un dispositif spécial qui sert à redresser la force électromotrice alternative induite ainsi que le courant alternatif.

Il se compose : - des lames  
- de la monture qui assure le centrage et le serrage des lames. Les lames sont isolées entre elles et par rapport à la monture reliée à la masse.

#### 34 - DIAMETRE DU COLLECTEUR

- Le choix du diamètre du collecteur peut se faire sur la base des valeurs suivantes :

$$D_k = (0,60 \div 0,85) D$$

$$T_k = (0,45 \div 0,60) C_m$$

Pour les machines de diamètre d'induit :  $0,40 \text{ m} \ll D \ll 4,0 \text{ m}$

On prend :  $D_k = 0,75 D$

$$D_k = 0,75 \cdot 42,3 = \underline{31,70 \text{ cm}}$$

#### 35 PAS AU COLLECTEUR

Il est égales à :

$$T_k = \pi \cdot \frac{D_k}{168}$$

$$T_k = \frac{3,14 \cdot 31,72}{168} = \underline{0,59 \text{ cm}}$$

#### 36 CHOIX DES BALAIS :

- Les balais assurent la liaison des circuits fixes (Inducteur) et mobiles (Induit)

- Les qualités électriques d'un balai sont caractérisées principalement par la chute de tension au **contact**, qui est fonction de la densité de courant et de la pression exercée sur le balai.

- D'après, tableau 6 (T-6), pour les machines de puissance  $(10 \div 200)$  KW et pour des tensions inférieures à 1000 V, on utilise des balais électrographitiques qui ne grippent pas et possèdent un faible coefficient de frottement.

.../...

Balais électrographitiques  $\ni \Gamma 4$

- Chute de tension de contact :  $2 \Delta u_b = 2V$
- Densité de courant :  $\Delta_b = 12 \text{ A/cm}^2$
- Pression spécifique :  $p = (150 \div 200) \text{ gf/cm}^2$
- Coefficient de frottement :  $\mu_{fb} = 0,25$

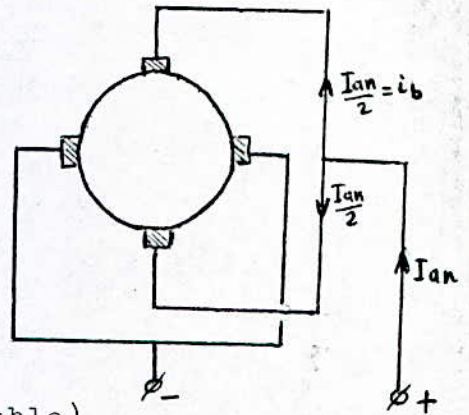
37 DIMENSIONS DES BALAIS :

- Courant traversant un balais :

$$i_b = \frac{I_{an}}{2} = \frac{625}{2} = 312,5 \text{ A}$$

- Section préalable des balais :

$$S_b = \frac{i_b}{\Delta_b} = \frac{312,5}{12} = 26 \text{ Cm}^2$$



Facteur de recouvrement des balais (Préalable)

$$\beta = \frac{b_b}{T_k} \gg \mu + 0,5$$

$$b_b \gg T_k (\mu + 0,5)$$

$$b_b \gg 0,59 (4 + 0,5)$$

$$b_b \gg 2,66 \text{ Cm}$$

shema : 5

$b_b$  : étant la largeur préalable du balais.

- Cette valeur doit être normalisée et d'après tableau 7 (T7)

On prend  $b_b = 2,5 \text{ Cm}$

- Connaissant, la section et la largeur du balai on détermine alors sa longueur préalable

$$l_b = \frac{S_b}{b_b}$$

$$l_b = \frac{26}{2,5} = 10,4 \text{ Cm}$$

- D'après, tableau 7 (T.7) :

On utilise 3 Balais tels que :

.../...



$$b_b = 2,5 \text{ Cm}$$

$$L_b = 4 \text{ Cm}$$

$$h_b = 4 \text{ Cm}$$

$h_b$  : étant la hauteur du balai ;

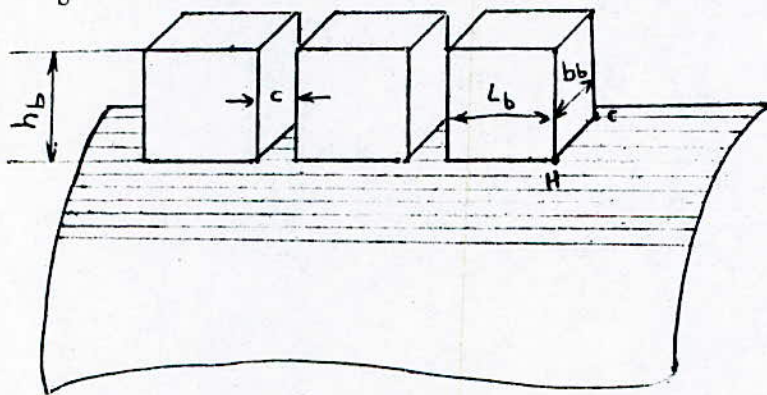


Schéma : 6

38 FACTEUR DE RECOUVREMENT DES BALAIS (Calculé)

$$P_b = \frac{b_b}{T_k} =$$

$$P_b = \frac{2,5}{0,59} = 4,24$$

39 NOMBRE DE BALAIS SUR UN PORTE-BALAI

Il est déterminé par la relation suivantes :

$$N'_b = \frac{I \text{ an}}{p \cdot \Delta_b \cdot b_b \cdot l_b}$$

$$N'_b = \frac{625}{2 \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot 4} = 2,6$$

Le Nombre de balais sur un porte-Balai doit être entier d'ou

$$\underline{N'_b = 3}$$

.../...

40 NOMBRE TOTAL DE BALAIS :

$$N_b = 2p \cdot N'_b$$

$$N_b = 4 \cdot 3 = \underline{12 \text{ BALAIS}}$$

41 Densité de courant des balais (Calculée)

- Sa valeur est donnée par la formule :

$$\Delta_b = \frac{2 I_{an}}{N_b \cdot b_b \cdot l_b}$$

$$\Delta_b = \frac{2 \cdot 625}{12 \cdot 2,5 \cdot 4} = \underline{10,4 \text{ A/Cm}^2}$$

42 LONGUEUR TOTALE DU COLLECTEUR

$$L_k = L_b \cdot N'_b + C (N'_b - 1) + 3 (C + 2)$$

C : étant l'intervalle entre 2 balais consécutifs dans un porte balais ; sa valeur est : C = 3 mm (voir schéma 6)

$$L_k = 40 \cdot 3 (3 - 1) + 3 (3 + 2) = 141 \text{ mm}$$

$$\underline{l_k = 14,1 \text{ Cm}}$$

43 VITESSE PERIPHERIQUE DU COLLECTEUR

Pour assurer une marche sans étincelles aux balais, la vitesse périphérique du collecteur doit être  $v_k \leq 35 \text{ m/s}$

$$v_k = \frac{\pi \cdot D_k \cdot N_n}{60} \cdot 10^{-2}$$

$$v_k = \frac{3,14 \cdot 31,7 \cdot 1000}{60} \cdot 10^{-2} = \underline{16,6 \text{ m/s}}$$

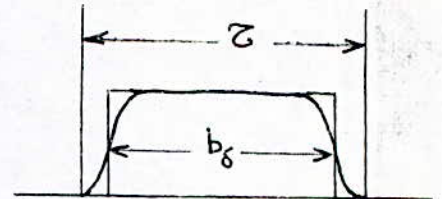
## I 5 ENTREFER POLES PRINCIPAUX ET JOUG DU STATOR (Culasse)

Ou se propose dans cette partie de calculer la valeur d'entrefer et dimensionner les poles principaux ainsi que le joug du stator pour les deux types de machines : machine ordinaire et machine avec enroulement de compensation.

### 44 ARC POLAIRE :

$$b_{\delta} = x_{\delta} \cdot \tau$$

$$b_{\delta} = 0,65,33,21 = \underline{21,6 \text{ cm}}$$



### 45 VALEUR D'ENTREFER :

Pour la machine ordinaire :

la valeur d'entrefer suivant l'axe du pole est :

$$\delta_{moy} \geq x_{\delta} \cdot \frac{b_{\delta} \cdot A}{B_{\delta n}}$$

Avec :  $x_{\delta} = (0,35 \div 0,40)$  : pour les encoches ouvertes avec

bandage

$$\delta \geq (0,35 \div 0,40) \frac{21,6 \cdot 395}{9520} = (0,31 \div 0,36) \text{ cm}$$

on choisit :  $\delta = 0,32 \text{ cm}$

L'entrefer étant progressif donc sa valeur moyenne est :

$$\delta_{moy} = \delta \cdot \frac{N_{max}}{N_n}$$

$$\delta_{moy} = 0,32 \cdot 2,5 \approx \underline{0,7 \text{ cm}}$$

Pour la machine avec enroulement de compensation :

L'entrefer est uniforme<sup>et</sup> est donné par la relation :

$$\delta^c = 0,002 \cdot D + (0,35 \div 0,40) \text{ cm}$$

$$\delta^c = 0,002 \cdot 423 + (0,35 \div 0,40) = (0,43 \div 0,48) \text{ cm}$$

on choisit :  $\delta^c = \underline{0,45 \text{ cm}}$

### 46 LONGUEUR AXIALE DES POLES PRINCIPAUX

$$l_{pp} = l_{ep} = l = \underline{18 \text{ cm}}$$

### 47 LARGEUR DES POLES PRINCIPAUX :

Elle est tirée de la relation :

$$b_{pp} = \frac{\sigma \cdot \Phi}{l_{pp} B_{pp}}$$

Bpp : Induction magnétique dans le pôle principal, d'après tableau  
5 (T-5) :  $B_{pp} = 17000 \text{ G}$

$\sigma = 1,15$  : Coefficient de fuite du flux magnétique Généralement, sa  
valeur est comprise entre 1,12 et 1,25

$$b_{pp} = \frac{1,15 \cdot 3,7 \cdot 10^6}{18 \cdot 17000} = 13,9 \text{ Cm}$$

$$\underline{b_{pp} = 14 \text{ Cm}}$$

#### 48 HAUTEUR DES POLES PRINCIPAUX :

Pour la machine ordinaire :

La hauteur du pôle principal dépend du diamètre d'induit ;  
d'après figure 7 /

$$h_{pp} = (10 \div 13) \text{ cm}$$

$$\text{on prend : } \underline{h_{pp} = 12 \text{ Cm}}$$

Pour la machine avec enroulement de compensation :

$$h_{pp}^c (0,7 \div 0,9) \cdot h_{pp}$$

$$h_{pp}^c (0,7 \div 0,9) \cdot 12 = (8,4 \div 10,8) \text{ CM}$$

$$\text{on choisit : } \underline{h_{pp}^c = 9,5 \text{ cm}}$$

#### 49 SECTION D'UN POLE PRINCIPAL :

Elle est la même pour les deux types de machines

$$S_{pp} = K_c l_{pp} \cdot b_{pp}$$

$k_c = 0,95$  facteur de remplissage des toles oxydées.

$$S_{pp} = 0,95 \cdot 18 \cdot 14 = \underline{239,5 \text{ cm}^2}$$
$$\underline{S_{pp} = S_{pp}^c = 239,4 \text{ cm}^2}$$

#### 50 LONGUEUR AXIALE DE LA CULASSE :

Pour les deux types de machine :

$$l_{cu} = (1,5 \div 2) l_1$$

$$l_{cu} = (1,5 \div 2) 18 = (27 \div 36) \text{ Cm}$$

$$\text{on prend : } \underline{l_{cu} = l_{cu}^c = 31 \text{ cm}}$$

.../...

### 51 HAUTEUR DE LA CULASSE

Elle se définit comme suit :

$$h_{cu} = \frac{\sigma \cdot \phi}{2 \cdot l_{cu} \cdot B_{cu}}$$

$B_{cu} = 11000 \text{ G}_s$  : Induction magnétique dans la culasse tirée du tableau 5 (T-5)

$$h_{cu} = \frac{1,15 \cdot 3,7 \cdot 10^6}{2 \cdot 31 \cdot 11000} = 6,2 \text{ cm}$$

$$\underline{h_{cu} = h_{cu}^c = 6,2 \text{ Cm}}$$

### 52 SECTION DE LA CULASSE

$$S_{cu} = h_{cu} \cdot l_{cu}$$

$$\underline{S_{cu} = S_{cu}^c = 193,4 \text{ Cm}^2}$$

### 53 DIAMETRE EXTERIEUR DE LA MACHINE :

Machine ordinaire :

$$D_{ext} = D + 2 (\delta + h_{pp} + h_{cu})$$

$$D_{ext} = 42,3 + 2 (0,32 + 12 + 6,2) = \underline{79,3 \text{ cm}}$$

Machine avec enroulement de compensation

$$D_{ext}^c = D + 2 (\delta^c + h_{pp}^c + h_{cu}^c)$$

$$D_{ext}^c = 42,3 + 2 (0,45 + 9,5 + 6,2) = \underline{74,6 \text{ cm}}$$

54-

CHARGE LINEAIRE DE L'ENROULEMENT DE COMPENSATION

Préalablement, elle est égale à la charge linéaire de l'enroulement d'induit :  $A^c = A$

55 -

LARGEUR D'EPANOUISSEMENT POLAIRE :

Il est tirée de la formule :

$$A^c = \frac{\alpha_f \cdot \tau}{bep} \cdot A$$

d'ou :  $bep = \alpha_f \cdot \tau$   
 $bep = 0,65 \cdot 33,21 = \underline{21,6 \text{ cm}}$

56 -

NOMBRE D'ENCOCHES PAR POLE PRINCIPAL :

$$Z^c = \frac{bep}{t_3^c}$$

$$t_3^c = t_1 = 3,16 \text{ cm} \quad : \text{ pas dentaire préalable}$$

$$Z^c = \frac{21,6}{3,16} = 6,8$$

$$\underline{Z^c = 6 \text{ encoches par pôle}}$$

On a choisi cette valeur pour des raisons de symétrie

57 -

NOMBRE DE CONDUCTEURS : on utilise deux conducteurs élémentaires dans une encoche.

$$N^c = 2 \cdot Z^c$$

$$N^c = 2 \cdot 6 = \underline{12 \text{ conducteurs par pôle}}$$

58 -

CHARGE LINEAIRE DE L'ENROULEMENT DE COMPENSATION :

( calculée)

$$\underline{A^c} = \frac{I_{an} \cdot N^c}{bep}$$

$$A^c = \frac{625 \cdot 12}{21,6} = 347 \text{ A/cm}$$

$$\underline{A^c = 350 \text{ A/cm}}$$

Elle se définit comme suit :

$$S^c = \frac{I_{an}}{\Delta^c}$$

$\Delta^c$  : étant la densité de courant de l'enroulement de compensation; on prend  
 $\Delta^c = 7 \text{ A/mm}^2$

$$S^c = \frac{625}{7} = 89,3 \text{ mm}^2$$

- les sections des conducteurs de l'enroulement sont normalisées : dans notre cas on adopte :  $S^c = 92,7 \text{ mm}^2$  ceci d'après tableau 8 (T-8) .

Les conducteurs correspondants à cette section sont rectangulaires et ont pour dimensions :

$$6 \text{ mm} / 15,6 \text{ mm}$$

- La couche isolante du cuivre conducteur a pour épaisseur : 0,27mm

- Les dimensions du conducteur isolé seront donc :

$$6,27 \text{ mm} / 15,87 \text{ mm}$$

DIMENSIONS DE L'ENCOCHE

- La méthode qu'on va adopter pour déterminer le dimensionnement de l'encoche consiste d'abord à remplir cette dernière de conducteurs élémentaires en tenant compte de l'isolation des conducteurs, du revêtement de l'encoche et de la cale .

- En tenant compte de toutes ces considérations, on aboutit aux dimensions suivantes d'après tableau B. (TB)

$$b_n^c = 15,2 \text{ mm}$$

$$h_n^c = 21,8 \text{ mm}$$

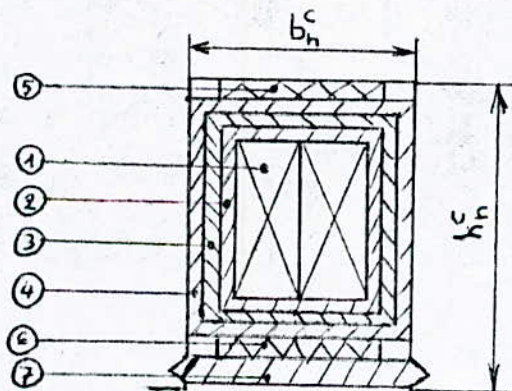


Schéma : 7

-000- SPECIFICATION D'ENCOCHE DES POLES -000-  
 -0-  
 PRINCIPAUX  
 -0-0-0-0-0-0-0-

T A B L E A U : B  
 -0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0-

N°	Nature d'isolement	nombre de couches	Largeur (mm)	Hauteur (mm)
2	Tissu de verre : 0,17mm	2	$(0,17 \times 2) \times 2 \times 2 = 1,36$	$(0,17 \times 2) \times 2 \times 2 = 1,36$
3	Bande de verre imprégné au vernis : 0,2 mm	2	$0,2 \times 2 = 0,4$	$0,2 \times 2 = 0,4$
	Coefficient d'élargissement de la bande : 0,6		$0,4 \times 0,6 = 0,24$	$0,4 \times 0,6 = 0,24$
4	Tissu de verre imprégné au vernis : 0,15 mm	2	$0,15 \times 2 = 0,3$	$0,15 \times 2 = 0,3$
5	Tissu de verre imprégné au vernis et pressé : 0,5mm	I	-----	0,5
6	Tissu de verre imprégné au vernis et pressé : 0,5mm	I	-----	0,5
	Jeu technologique		0,3	0,55
7	Cale		-----	2
I	Conducteurs isolées : (6,27 x 15,87)		$6,27 \times 2 = 12,54$	$15,87 \times 1 = 15,87$
			15,14	21,72



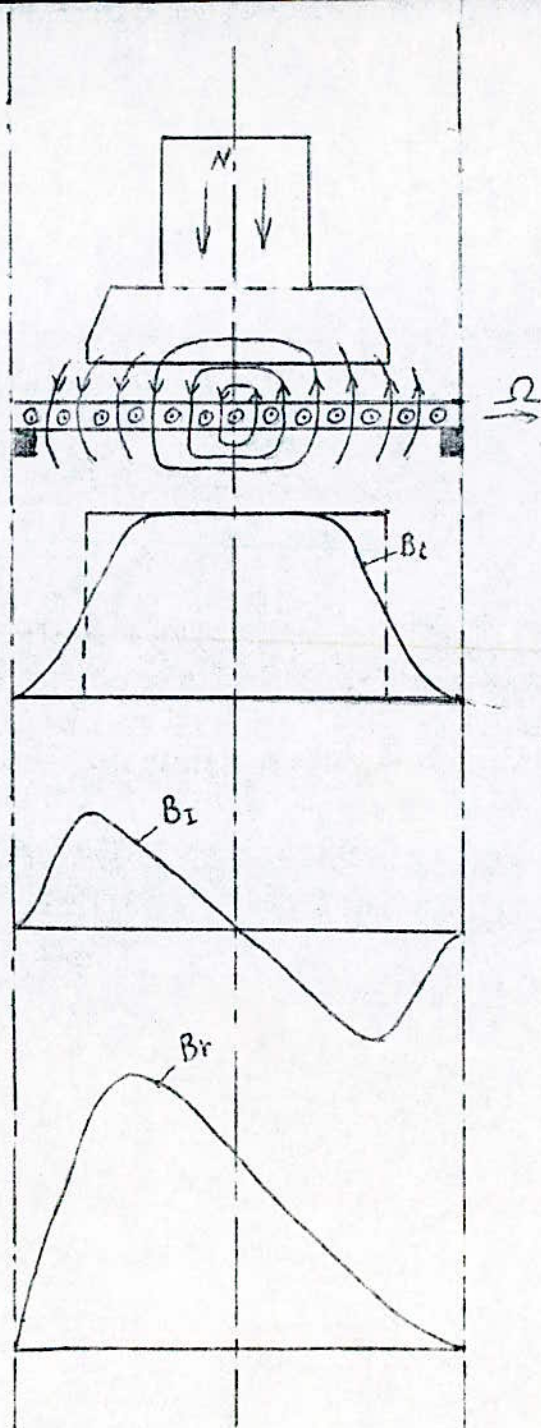


schéma - 8

$B_I$ : induction que donnerait la f.m.m de l'inducteur agissant seule

$B_I$ : induction que donnerait la f.m.m de l'induct agissant seule

$B_I^C$ : induction que donnerait la f.m.m de l'enroulement de compensation agissant seule

$B_r$ : induction résultante de la machine non compensée

$B_r^C$ : induction résultante de la machine compensée

$$B_r = B_I + B_I^C$$

$$B_r^C = B_I + B_I + B_I^C$$

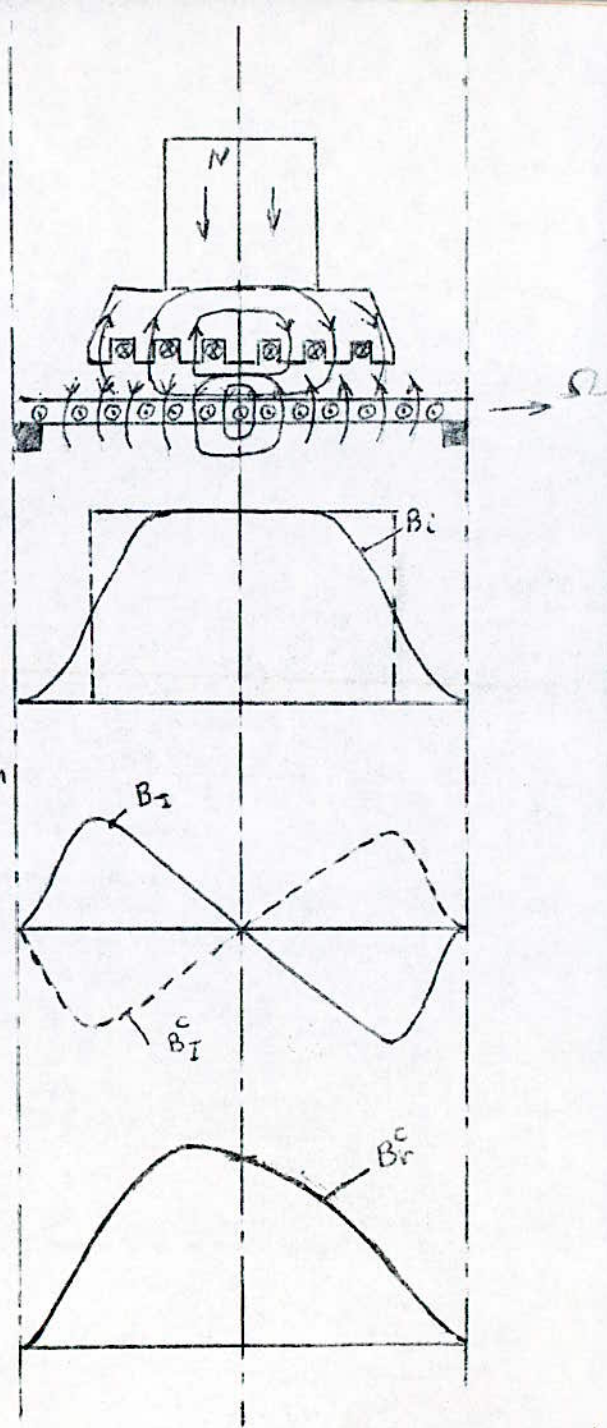


schéma : 9

I - 7 : Calcul du circuit magnétique :

IL s'agit de déterminer la force magnetomotrice (f-m-m) totale du circuit qui donne naissance au flux magnétique principal, lequel engendre la force electromotrice desirable. Ce calcul nous conduit à déterminer le courant d'excitation. le circuit magnétique se compose de l'entrefer, des dents et du joug d'induit, des poles principaux, de la culasse, du jeu technologique entre culasse et pole, et des dents des poles principaux dans le cas de la machine avec enroulement de compensation. Le materiau magnetique choisi pour l'induit est l'acier 330 laminé à froid dont l'alliage en silicium est élevé (4%) et présente de faibles pertes. Pour les pôles principaux, et de commutation, on utilise des toles d'acier de 2 mm d'epaisseur. L'acier coulé est choisi pour la culasse.

NB : Dans toute la suite des calculs, on utilise l'indice " c " pour designer la machine avec enroulement de compensation.

Fonctionnement à vide :

61 - flux magnétique principal :

$$\ast \quad \Phi = \frac{60 \cdot E_a \cdot a \cdot 10^8}{p \cdot N_n \cdot N}$$

$$\bar{\Phi} = \frac{60 \cdot 2 \cdot E_a \cdot 10^8}{2 \cdot 1000 \cdot 336} = \frac{17,9 \cdot 10^3 \cdot E_a}{1} \quad (Mx)$$

$$\ast \quad \bar{\Phi}^c = \bar{\Phi} = \frac{17,9 \cdot 10^3 \cdot E_a}{1} \quad (Mx)$$

62 - Induction magnetique dans l'entrefer :

$$\ast \quad B_g = \frac{\bar{\Phi}}{b_g \cdot l_g}$$

$$B = \frac{17,9 \cdot 10^3 \cdot E_a}{21,6 \cdot 18} = \frac{46 E_a}{1} \quad (Gs)$$

$$\ast \quad B_g^c = B_g = \frac{46 E_a}{1} \quad (Gs)$$

63 - Facteur d'entrefer :

$$\ast \quad K_g = K_{g1} \cdot K_{g2} \cdot K_{g3}$$

$K_g$  : Facteur d'entrefer, qui tient compte de la distribution du champ magnetique dans l'entrefer. *a cause de l'ouverture des encoches* L'induction augmente au niveau des têtes des dents à cette fin  $K_g$  est supérieur à l'unité.

$$K_{\delta I} = \frac{t_I + 10 \cdot \delta}{b_{Z_I} + 10 \cdot \delta}$$

$b_{Z_I}$  : Largeur maximale des dents d'induit, elle est donnée par la relation :  
(voir schéma 2)

$$b_{Z_I} = \frac{\pi D - b_n \cdot Z}{Z}$$

$$b_{Z_I} = \frac{3,14 \cdot 42,3 - 1,21 \cdot 42}{42} = \underline{1,95 \text{ cm}}$$

d'où :  $K_{\delta I} = \frac{3,16 + 10 \cdot 0,7}{1,95 + 10 \cdot 0,7} = \underline{1,14}$

en général :

$$K_{\delta 2} = 1,09 \quad \text{: pour tout type de machines}$$

$$K_{\delta 3} = 1 \quad \text{: pour les machines sans enroulement de compensation}$$

on a alors :  $K_{\delta} = 1,14 \cdot 1,09 \cdot 1 = \underline{1,24}$

$$* \quad K_{\delta}^c = K_{\delta I}^c \cdot K_{\delta 2}^c \cdot K_{\delta 3}^c$$

$$- \quad K_{\delta I}^c = \frac{t_I + 10 \cdot \delta^c}{b_{Z_I} + 10 \cdot \delta^c}$$

$$K_{\delta I}^c = \frac{3,16 + 10 \cdot 0,45}{1,95 + 10 \cdot 0,45} = \underline{1,19}$$

$$- \quad K_{\delta 2}^c = K_{\delta 2} = \underline{1,09}$$

$$- \quad K_{\delta 3}^c = \frac{t_3^c + 10 \cdot \delta^c}{b_{Z_3}^c + 10 \cdot \delta^c}$$

$t_3^c$  : pas dentaire relatif à l'enroulement de compensation (voir schéma 9)

$$t_3^c = \frac{b_{ep}}{Z^c} = \frac{21,6}{6} = \underline{3,6 \text{ cm}}$$

$$b_{Z_3}^c = t_3^c - b_n^c = 3,6 - 1,52 = \underline{2,08 \text{ cm}}$$

d'où :  $K_{\delta 3}^c = \frac{3,6 + 10 \cdot 0,45}{2,08 + 10 \cdot 0,45} = \underline{1,23}$

on obtient alors :  $K_{\delta}^c = 1,19 \cdot 1,09 \cdot 1,23 = \underline{1,6}$

64 - f m m dans l'entrefer :

Elle est donnée par la relation :

$$F_{\delta} = 1,6 B_{\delta} \cdot K_{\delta} \cdot \delta$$

$$F_{\xi} = 1,6 \cdot 46 \cdot E_a \cdot 1,24 \cdot 0,7 = \underline{63,9 \cdot E_a} \quad (At)$$

$$* F_{\xi}^C = 1,6 \cdot B_{\xi}^C \cdot K_{\xi}^C \cdot \xi^C$$

$$F_{\xi}^C = 1,6 \cdot 46 \cdot E_a \cdot 1,6 \cdot 0,45 = \underline{53 \cdot E_a} \quad (At)$$

### 65- Largeur des dents d'induit :

L'induit est le même pour les deux types de machines :

$$- b_{Z_1} = 1,95 \text{ cm} \quad (\text{point 63})$$

$$- b_{Z_2} = t_2 - b_n$$

$b_{Z_2}$  : Largeur au milieu de la dent d'induit (voir schéma 2)

$t_2$  : pas dentaire au milieu des dents d'induit (schéma 2)

$$t_2 = \frac{\pi \cdot (D - h_n)}{Z}$$

$$t_2 = \frac{3,14 (42,3 - 3,1)}{42} = \underline{2,93 \text{ cm}}$$

$$b_{Z_2} = 2,93 - 1,21 = \underline{1,72 \text{ cm}}$$

$$- b_{Z_3} = t_3 - b_n$$

$b_{Z_3}$  : Largeur minimale des dents d'induit (voir schéma 2)

$t_3$  : pas dentaire minimum (voir schéma 2) . IL est tiré de la relation :

$$t_3 = \frac{\pi \cdot (D - 2 h_n)}{Z}$$

$$t_3 = \frac{3,14 (42,3 - 2 \cdot 3,1)}{42} = \underline{2,70 \text{ cm}}$$

$$b_{Z_3} = 2,70 - 1,21 = \underline{1,49 \text{ cm}}$$

$$- b_{Z_{1/3}} = t_{1/3} - b_n$$

$b_{Z_{1/3}}$  : largeur de la dent d'induit au 1/3 de la hauteur (schéma 2)

$t_{1/3}$  : pas dentaire au 1/3 de la hauteur (schéma 2) . IL est défini

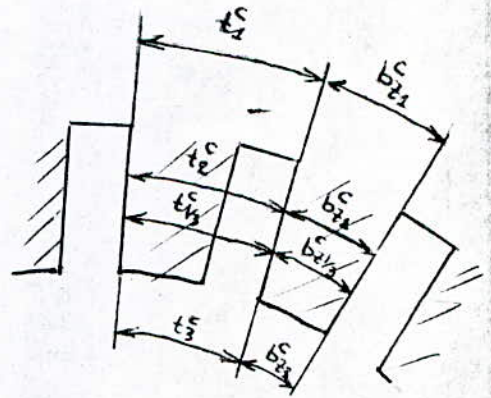
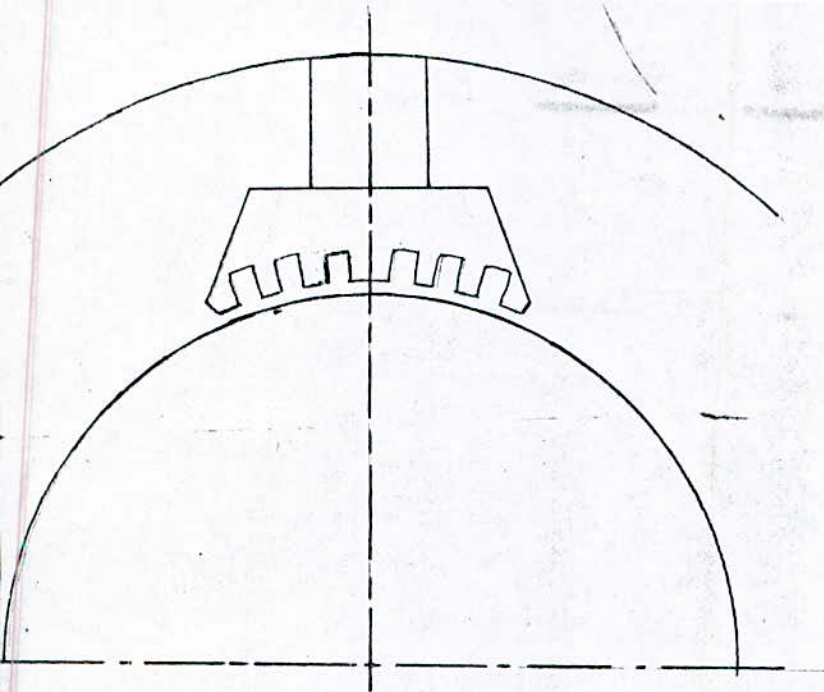
comme suit :

$$t_{1/3} = \frac{\pi \cdot (D - 4/3 h_n)}{Z}$$

$$t_{1/3} = \frac{3,14 (42,3 - 4/3 \cdot 3,1)}{42} = \underline{2,85 \text{ cm}}$$

$$b_{Z_{1/3}} = 2,85 - 1,21 = \underline{1,64 \text{ cm}}$$

66 - Largeur des dents des pôles principaux :



$$- t_3^c = \frac{\alpha \delta \cdot \pi / 2 \cdot (D/2 + \delta^c)}{Z^c}$$

$t_3^c$  : pas dentaire minimum des pôles principaux (calculé)

$$t_3^c = \frac{0,65 \cdot 3,14 \cdot (42,3/2 + 0,45)}{2 \cdot 6} = \underline{3,67 \text{ cm}}$$

$$- t_2^c = \frac{\alpha \delta \cdot \pi / 2 \cdot (D/2 + \delta^c + h_n^c / 2)}{Z^c}$$

$t_2^c$  : Etant le pas dentaire au milieu des dents des pôles principaux

$$t_2^c = \frac{0,65 \cdot 3,14 \cdot (42,3/2 + 0,45 + 2,18/2)}{2 \cdot 6} = \underline{3,86 \text{ cm}}$$

$$- t_1^c = \frac{\alpha \delta \cdot \pi \cdot (D/2 + \delta^c + h_n^c)}{Z^c}$$

$t_1^c$  : pas dentaire maximum des pôles principaux :

$$t_1^c = \frac{0,65 \cdot 3,14 \cdot (42,3/2 + 0,45 + 2,18)}{2 \cdot 6} = \underline{4,04 \text{ cm}}$$

$$- t_{I/3}^c = \frac{\alpha \delta \cdot \pi / 2 \cdot (D/2 + \delta^c + h_n^c / 3)}{Z^c}$$

$t_{I/3}^c$  : pas dentaire au I/3 de la hauteur des pôles principaux

$$- t_{I/3}^c = \frac{0,65 \cdot 3,14 (42,3/2 + 0,15 + 2,18/3)}{2 \cdot 6} = \underline{3,80 \text{ cm}}$$

$$- b_{Z_3}^c = t_3^c - b_n^c$$

$b_{Z_3}^c$  : Largeur minimale des dents des pôles principaux

$$b_{Z_3}^c = 3,67 - 1,52 = \underline{2,15 \text{ cm}}$$

$$- b_{Z_2}^c = t_2^c - b_n^c$$

$b_{Z_2}^c$  : Largeur moyenne des dents des pôles principaux

$$b_{Z_2}^c = 3,86 - 1,52 = \underline{2,34 \text{ cm}}$$

$$- b_{Z_I}^c = t_I^c - b_n^c$$

$b_{Z_I}^c$  : Largeur maximale des dents des pôles principaux

$$b_{Z_I}^c = 4,04 - 1,52 = \underline{2,52 \text{ cm}}$$

$$- b_{Z_{I/3}}^c = t_{I/3}^c - b_n^c$$

$b_{Z_{I/3}}^c$  : Largeur au I/3 de la hauteur des dents des pôles principaux

$$b_{Z_{I/3}}^c = 3,80 - 1,52 = \underline{2,28 \text{ cm}}$$

#### 67 - coefficient d'approximation de la courbe d'aimantation

Pour la courbe d'aimantation de l'acier 3 330 choisi pour l'induit .

$$K_{nI/3} = \frac{b_n \cdot l_f}{k_c \cdot l \cdot b_{Z_{I/3}}^c}$$

$$K_{nI/3} = \frac{1,21 \cdot 18}{0,93 \cdot 18 \cdot 1,64} = \underline{0,79}$$

- Pour la courbe d'aimantation des tôles d'acier choisies pour les pôles principaux .

$$K_{nI/3}^c = \frac{b_n^c \cdot l_f}{k_c \cdot l \cdot b_{Z_{I/3}}^c}$$

$$K_{nI/3}^c = \frac{1,52 \cdot 18}{0,95 \cdot 18 \cdot 2,28} = \underline{0,70}$$

$k_c = 0,95$  : Facteur de remplissage des tôles oxydées des pôles principaux .

68 - Induction dans les dents d'induit au I/3 de la hauteur :

Elle est donnée par la relation suivante :

$$B_{Z \text{ I/3}} = \frac{B_{\delta} \cdot t_I \cdot l}{k_c \cdot l \cdot b_{ZI/3}}$$

$$B_{ZI/3} = \frac{46 \cdot E_a \cdot 3,16 \cdot I8}{0,93 \cdot I8 \cdot I,64} = 95,3 \cdot E_a \quad (\text{Gs})$$

et d'après tableau 9 (T. 9) on tire la valeur de  $H_{ZI/3}$

69 - F m m des dents d'induit :

$$F_Z = 2 \cdot h_Z \cdot H_{ZI/3}$$

$$F_Z = 2 \cdot 3,1 \cdot H_{ZI/3} = \underline{6,2 H_{ZI/3}} \quad (\text{At})$$

avec :  $h_Z = h_n = 3,1 \text{ cm}$  : La hauteur des dents d'induit.

70 - Induction dans les dents des pôles principaux au I/3 de la hauteur

$$B_{ZI/3}^c = \frac{B_{\delta}^c \cdot t_3^c \cdot l_{\delta}}{k_c \cdot l \cdot b_{ZI/3}^c}$$

$$B_{ZI/3}^c = \frac{46 \cdot E_a \cdot 3,67 \cdot I8}{0,95 \cdot I8 \cdot 2,28} = 77,9 \cdot E_a \quad (\text{Gs})$$

- D'après tableau II (T II) on tire la valeur de  $H_{ZI/3}^c$

71 - F m m des dents des pôles principaux :

Elle se définit comme suit :

$$F_Z^c = 2 \cdot h_Z^c \cdot H_{ZI/3}^c$$

$h_Z^c$  : étant la hauteur des dents des pôles principaux sa valeur est :

$$h_Z^c = h_n^c = 2,18 \text{ cm}$$

$$F_Z^c = 2 \cdot 2,18 \cdot H_{ZI/3}^c = \underline{4,36 \cdot H_{ZI/3}^c} \quad (\text{At})$$

72 - Induction dans le joug d'induit :

Elle est déterminée comme suit :

$$B_{aj} = \frac{\Phi}{2 S_{aj}}$$

$$B_{aj} = \frac{17,9 \cdot 10^3 \cdot E_a}{2 \cdot 130,6} = \underline{68,5 \cdot E_a} \quad (\text{Gs})$$

D'après tableau 9 (T.9) on tire la valeur de  $H_{aj}$

73 - F m m dans le joug d'induit :

$$F_{aj} = L_{aj} \cdot H_{aj}$$

$L_{aj}$  : étant la longueur du joug d'induit qui est déterminé à partir de la relation :

$$L_{aj} = \frac{\pi \cdot (D - 2 h_n - h_{aj})}{2 p}$$

avec :  $h_{aj}$  : hauteur du joug d'induit . (point 32-I)

$$L_{aj} = \frac{3,14 (42,3 - 2 \cdot 3,1 - 7,8)}{4} = \underline{22,22 \text{ cm}}$$

donc :  $F_{aj} = \underline{22,22 \cdot H_{aj}} \quad (\text{At})$

74 - Flux de fuite des pôles principaux :

$$\Phi_{\sigma} = \frac{4,5 \cdot l_{pp} \cdot b_{pp}}{\tau} \cdot (F_{\delta} + F_Z + F_{aj})$$

$$\Phi_{\sigma} = \frac{4,5 \cdot 18 \cdot 14}{33,21} \cdot (F_{\delta} + F_Z + F_{aj}) = \underline{34,15 (F_{\delta} + F_Z + F_{aj})}$$

$$\Phi_{\sigma}^c = \frac{4,5 \cdot l_{pp} \cdot b_{pp}}{\tau} \cdot (F_{\delta}^c + F_Z + F_{aj} + F_Z^c)$$

$$\Phi_{\sigma}^c = \frac{4,5 \cdot 18 \cdot 14}{33,21} \cdot (F_{\delta}^c + F_Z + F_{aj} + F_Z^c)$$

$$\Phi_{\sigma}^c = \underline{34,15 (F_{\delta}^c + F_Z + F_{aj} + F_Z^c)} \quad (\text{Mx})$$

75 - Coefficient de fuite magnétique :

$$\sigma = \frac{\Phi + \Phi_{\sigma}}{\Phi} = 1 + \frac{\Phi_{\sigma}}{\Phi}$$

$$\sigma = \frac{\Phi^c + \Phi_{\sigma}^c}{\Phi^c} = 1 + \frac{\Phi_{\sigma}^c}{\Phi^c}$$



76 - Flux magnétique dans les pôles principaux :

$$\Phi_{pp} = \Phi + \Phi_{\sigma}$$

$$\Phi_{pp}^c = \Phi^c + \Phi_{\sigma}^c$$

77 - Induction magnétique dans les pôles principaux :

$$B_{pp} = \frac{\Phi_{pp}}{S_{pp}}$$

$$B_{pp} = \frac{\Phi_{pp}}{239,4} \quad (\text{Gs})$$

La section des pôles principaux étant la même pour les deux types de machines.

on a alors :

$$B_{pp}^c = \frac{\Phi_{pp}^c}{239,4} \quad (\text{Gs})$$

d'après tableau II (T II) on tire les valeurs de  $H_{pp}$  ET  $H_{pp}^c$

78 - F m m des pôles principaux :

$$F_{pp} = 2 \cdot h_{pp} \cdot H_{pp} \cdot ..$$

$$F_{pp} = 2 \cdot 12 \cdot H_{pp} = \underline{24 \cdot H_{pp}} \quad (\text{At})$$

$$F_{pp}^c = 2 (h_{pp}^c - h_{Z'}^c) \cdot H_{pp}^c$$

$$F_{pp}^c = 2 (9,5 - 2,18) \cdot H_{pp}^c = \underline{14,64 \cdot H_{pp}^c} \quad (\text{At})$$

79 - F m m dans le jeu technologique entre culasse et pôle :

$$F_{\delta_{pp}} = 2 \cdot 0,8 \cdot B_{pp} \cdot \delta_{pp}$$

$\delta_{pp}$  : étant l'entrefer existant entre culasse et pôle dû à la technologie. Il est évalué à :  $\delta_{pp} = 0,015 \text{ cm}$

$$F_{\delta_{pp}} = 2 \cdot 0,8 \cdot 0,015 \cdot B_{pp} = \underline{0,024 \cdot B_{pp}} \quad (\text{At})$$

$$* \quad F_{\delta_{pp}}^c = 2 \cdot 0,8 \cdot \delta_{pp} \cdot B_{pp}^c$$

$$F_{\delta_{pp}}^c = 2 \cdot 0,8 \cdot 0,015 \cdot B_{pp}^c = 0,024 \cdot B_{pp}^c \quad (\text{At})$$

80 - Induction magnétique dans la culasse :

$$* \quad B_{cu} = \frac{\sigma \cdot \Phi}{2 \cdot S_{cu}} = \frac{\Phi_{pp}}{2 \cdot S_{cu}}$$

$$S_{cu} = 193,4 \text{ cm}^2 \quad (\text{pt. 52-I})$$

$$B_{cu} = \frac{\Phi_{pp}}{2 \cdot 193,4} = \frac{\Phi_{pp}}{386,8} \quad (\text{Gs})$$

$$* \quad B_{cu}^c = \frac{\Phi_{pp}^c}{2 \cdot S_{cu}}$$

$$B_{cu}^c = \frac{\Phi_{pp}^c}{386,8} \quad (\text{Gs})$$

D'après tableau IO (T IO) on tire les valeurs de  $H_{cu}$  et  $H_{cu}^c$

81 - F m m de la culasse .

$$* \quad F_{cu} = L_{cu} \cdot H_{cu}$$

$L_{cu}$  : étant la longueur de la culasse suivie par le flux magnétique, définie comme suit :

$$L_{cu} = \frac{\pi \cdot (D_{ext} - h_{cu})}{2 p}$$

$$L_{cu} = \frac{3,14 (79,3 - 6,2)}{4} = 57,4 \text{ cm}$$

on a alors :  $F_{cu} = 57,4 \cdot H_{cu} \quad (\text{At})$

$$* \quad F_{cu}^c = L_{cu}^c \cdot H_{cu}^c$$

avec :  $L_{cu}^c = \frac{\pi \cdot (D_{ext}^c - h_{cu}^c)}{2 p}$

$$L_{cu}^c = \frac{3,14 \cdot (74,6 - 6,2)}{4} = 53,7 \text{ cm}$$

Donc :  $F_{cu}^c = 53,7 \text{ cm}$  (At)

82 - F m m Totale par paire de pôles :

$$\ast \quad \Sigma F = F_{\delta} + F_Z + F_{aj} + F_{pp} + F_{\delta pp} + F_{cu} \quad (\text{At})$$

$$\ast \quad \Sigma F^c = F_{\delta}^c + F_Z + F_{aj} + F_Z^c + F_{pp}^c + F_{\delta pp}^c + F_{cu}^c \quad (\text{At})$$

83 - F m m totale dans la machine :

$$\ast \quad F_o = p \cdot \Sigma F$$

$$F_o = 2 \cdot \Sigma F$$

$$\ast \quad F_o^c = p \cdot \Sigma F^c$$

$$F_o^c = 2 \cdot \Sigma F^c$$

84 - Facteur de saturation :

Les valeurs admissibles du facteur de saturation sont :

$$K_{\mu} = 1,1 \div 1,35$$

$$\ast \quad K_{\mu} = \frac{\Sigma F}{F_{\delta}}$$

D'après tableau C (T C) , on à :

- pour la valeur nominale à vide de la f.e.m  $E_{an} = 207 \text{ V}$

on à :  $\Sigma F = 17124 \text{ At}$

$$F_{\delta} = 13227 \text{ At}$$

d'ou :  $K_{\mu} = \frac{17124}{13227} = 1,29$

$$\ast \quad K_{\mu}^c = \frac{\Sigma F^c}{F_{\delta}^c}$$

D'après tableau D (T D) : les valeurs de  $\Sigma F^c$  et  $F_{\delta}^c$  correspondants à la f.e.m nominale à vide  $E_{an} = 207 \text{ V}$  sont :

$$\Sigma F^c = 13950 \text{ At}$$

$$F_{\delta}^c = 10971 \text{ At}$$

donc :  $K_{\mu}^c = \frac{13950}{10971} = 1,27$

Si :  $K \ll 1,1$  : il y'a un excès d'acier dans la machine

$K \gg 1,35$  : il y'a une grande saturation dans la machine

En conclusion nos deux types de machines sont bien utilisées

# SCHÉMA D'ENROULEMENT D'INDUIT

Enroulement imbriqué simple à 2 couches à pas raccourci

$2p = 4$  ;  $K = 168$  ;  $u = 4$  ;  $Z = 42$

sens de rotation de l'induit →

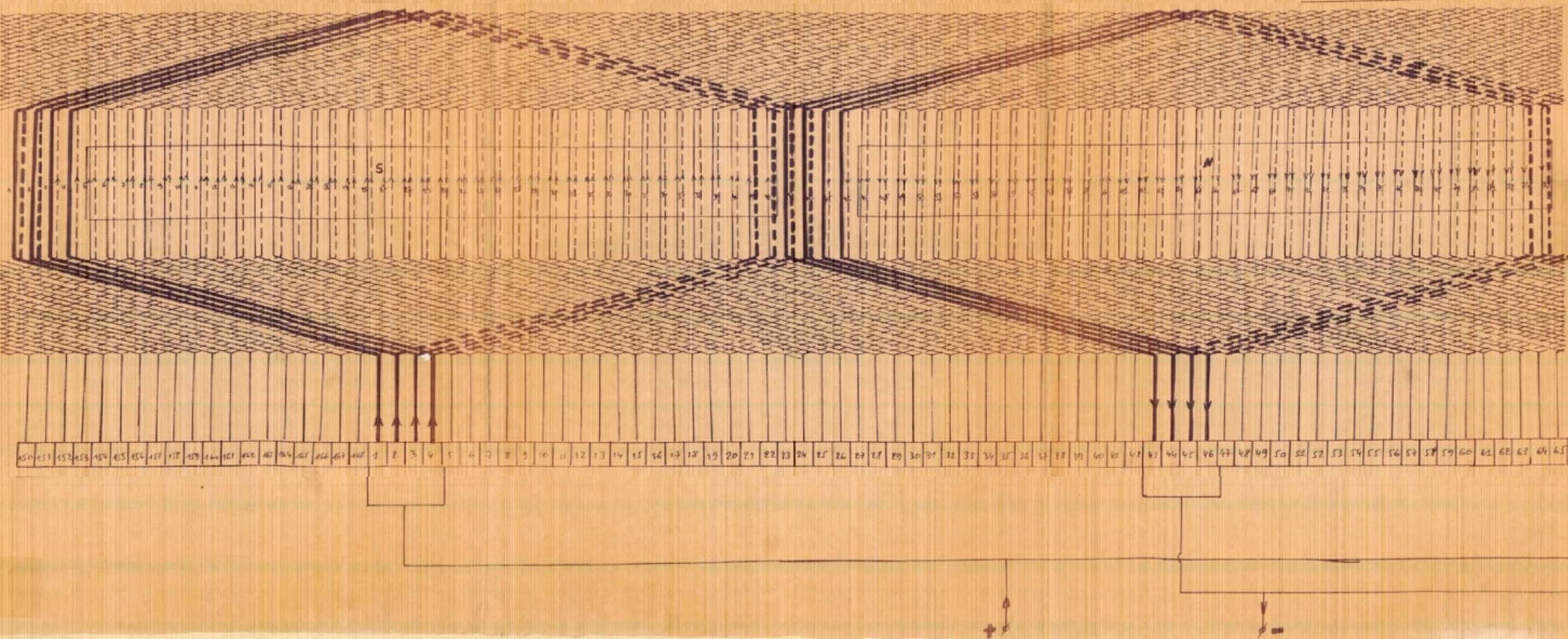


Tableau de valeurs du circuit  
magnétique de la machine non compensée

$E_a$	V	60	110	170	207	220	240	204,4
$\Phi = 17,9 E_a \cdot 10^3$	$M_{lx}$	$1,07 \cdot 10^6$	$1,97 \cdot 10^6$	$3,04 \cdot 10^6$	$3,71 \cdot 10^6$	$3,94 \cdot 10^6$	$4,30 \cdot 10^6$	$3,66 \cdot 10^6$
$B_s = 46 E_a$	$G_s$	2760	5060	7820	9520	10120	11040	9400
$F_s = 63,9 E_a$	At	3834	7029	10863	13227	14058	15336	13062
$B_{z_{1/3}} = 95,3 E_a$	$G_s$	5720	10480	16200	19730	20970	22870	19480
$H_{z_{1/3}}$	At/cm	0,80	1,98	5,66	9,8	4,60	1240	67,6
$F_z = 6,2 \cdot H_{z_{1/3}}$	At	4,96	12,28	35,1	607,6	2352	7688	449,1
$B_{aj} = 68,5 E_a$	$G_s$	4110	7540	11650	14180	15070	16440	14000
$H_{aj}$	At/cm	0,6	1,21	2,32	3,3	4	6,2	3,2
$F_{aj} = 22,22 \cdot H_{aj}$	At	13,3	26,9	51,6	73,3	88,9	137,8	71,1
$F_{sz_{aj}} = F_s + F_z + F_{aj}$	At	3852	7068	10950	13908	17000	23162	13552
$\Phi_{\sigma} = 34,15 \cdot F_{sz_{aj}}$	$M_{lx}$	$0,13 \cdot 10^6$	$0,24 \cdot 10^6$	$0,37 \cdot 10^6$	$0,47 \cdot 10^6$	$0,58 \cdot 10^6$	$0,79 \cdot 10^6$	$0,46 \cdot 10^6$
$\sigma = 1 + \frac{\Phi_{\sigma}}{\Phi}$	-	1,12	1,12	1,12	1,13	1,15	1,18	1,12
$\Phi_{pp} = \Phi + \Phi_{\sigma}$	$M_{lx}$	$1,20 \cdot 10^6$	$2,21 \cdot 10^6$	$3,41 \cdot 10^6$	$4,18 \cdot 10^6$	$4,52 \cdot 10^6$	$5,09 \cdot 10^6$	$4,12 \cdot 10^6$
$B_{pp} = \frac{\Phi_{pp}}{235,4}$	$G_s$	5010	9230	14240	17460	18880	21260	17210
$H_{pp}$	At/cm	2,50	4,97	16,20	31,30	176	640	79,95
$F_{pp} = 24 \cdot H_{pp}$	At	60	119	389	2191	4224	15360	1919
$F_{spp} = 0,024 \cdot B_{pp}$	At	120	222	342	419	453	510	413
$B_{cu} = \frac{\Phi_{pp}}{336,8}$	$G_s$	3100	5700	8800	10800	11700	13160	10650
$H_{cu}$	At/cm	2,48	4,61	7,76	10,56	12,27	16,5	10,3
$F_{cu} = 57,4 \cdot H_{cu}$	At	142,4	264,6	445,4	606	704,3	947	531
$\Sigma F = F_{sz_{aj}} + F_{pp} + F_{spp} + F_{cu}$	At	4174	7674	12126	17124	22380	33972	16470
$F_0 = 2 \cdot \Sigma F$	At	8348	15348	24232	34248	44760	73958	32940

(T-C)

magnétique de La machine compensée

$E_a$	V	60	110	170	207	220	240	204,8
$\Phi^c = 17,9 \cdot E_a \cdot 10^3$	$M_x$	$1,07 \cdot 10^6$	$1,97 \cdot 10^6$	$3,04 \cdot 10^6$	$3,71 \cdot 10^6$	$3,94 \cdot 10^6$	$4,30 \cdot 10^6$	$3,66 \cdot 10^6$
$B_s^c = 46 \cdot E_a$	$G_s$	2760	5060	7820	9520	10120	11040	9420
$F_s^c = 53 \cdot E_a$	At	3180	5830	9010	10971	11660	12720	10854
$B_{2Y_3}^c = 95,3 \cdot E_a$	$G_s$	5720	10780	16200	19730	20970	22870	19520
$H_{2Y_3}$	At/cm	0,80	1,98	5,66	98	460	1240	72,4
$F_2^c = 6,2 \cdot H_{2Y_3}$	At	4,96	12,28	35,10	607,6	2852	7688	449
$B_{2Y_3}^c = 77,9 \cdot E_a$	$G_s$	4670	8570	13240	16130	17140	18700	15950
$H_{2Y_3}^c$	At/cm	2,37	4,40	11,55	43,30	77	162	38,7
$F_2^c = 4,36 \cdot H_{2Y_3}^c$	At	10,33	19,18	50,36	188,8	335,7	706,3	168,7
$B_{aj} = 68,5 \cdot E_a$	$G_s$	4110	7540	11650	14180	15070	16440	14030
$H_{aj}$	At/cm	0,60	1,21	2,32	3,30	4	6,20	3,22
$F_{aj} = 22,22 \cdot H_{aj}$	At	13,3	26,9	51,6	73,3	88,9	137,8	71,5
$F_{s2aj}^c = F_s^c + F_2^c + F_{aj} + F_2^c$	At	3209	5888	9147	11841	14937	21252	11543
$\Phi_{\sigma}^c = 34,15 \cdot F_{s2aj}^c$	$M_x$	$0,11 \cdot 10^6$	$0,20 \cdot 10^6$	$0,32 \cdot 10^6$	$0,40 \cdot 10^6$	$0,51 \cdot 10^6$	$0,73 \cdot 10^6$	$0,39 \cdot 10^6$
$\sigma^c = 1 + \frac{\Phi_{\sigma}^c}{\Phi^c}$	-	1,10	1,10	1,10	1,11	1,13	1,17	1,11
$\Phi_{pp}^c = \Phi^c + \Phi_{\sigma}^c$	$M_x$	$1,18 \cdot 10^6$	$2,17 \cdot 10^6$	$3,35 \cdot 10^6$	$4,11 \cdot 10^6$	$4,45 \cdot 10^6$	$5,03 \cdot 10^6$	$4,05 \cdot 10^6$
$B_{pp}^c = \frac{\Phi_{pp}^c}{239,4}$	$G_s$	4930	9060	14000	17170	18600	21000	16920
$H_{pp}^c$	At/cm	2,50	4,86	14,90	78,20	156	560	66,9
$F_{pp}^c = 14,64 \cdot H_{pp}^c$	At	36,60	71,15	218	1145	2284	8198	979
$F_{spp}^c = 0,024 \cdot B_{pp}^c$	At	118,3	217,4	336	412,1	446,4	504	406
$B_{cu}^c = \frac{\Phi_{pp}^c}{386,8}$	$G_s$	3050	5600	8660	10620	11500	13000	10470
$H_{cu}^c$	At/cm	2,44	4,52	7,61	10,28	11,87	15,90	9,99
$F_{cu}^c = 53,7 \cdot H_{cu}^c$	At	131	243	409	552	637	854	536
$\Sigma F^c = F_{s2aj}^c + F_{pp}^c + F_{spp}^c + F_{cu}^c$	At	3495	6420	10110	13950	18304	30808	13464
$F_o^c = 2 \Sigma F^c$	At	6990	12840	20220	27900	36608	61616	26928

CHAPITRE (II)

COMMUTATION

- II - COMMUTATION -

La commutation est l'ensemble de phénomènes liés à la variation du courant dans les conducteurs de l'enroulement d'induit lorsqu'ils passent par la zone où ils sont court-circuités par les balais appliqués au collecteur. La commutation est considérée comme bonne lorsque la variation du courant dans les sections n'est pas accompagnée d'étincelles entre les balais et le collecteur et la surface de ce dernier reste propre et non endommagée lorsque la machine travaille de façon continue. Au contraire, la commutation est considérée comme insuffisante si des étincelles se forment aux balais avec enbommagement visible de la surface du collecteur qui perturbe le bon fonctionnement de la machine.

La meilleure méthode pour améliorer la commutation consiste à utiliser des pôles auxiliaires munis d'un enroulement connecté en série avec celui d'induit, disposés entre les pôles principaux suivant les lignes neutres théoriques. Les balais sont calés également suivant ces lignes et restent dans cette position quelle que soit la charge. Le nombre de pôles auxiliaires est généralement égal au nombre de pôles principaux.

II - I : DIMENSIONS DES POLES AUXILIAIRES :

I - Raccourcissement du pas d'enroulement d'induit :

$$\varepsilon_K = \left| \frac{K}{2p} - u \cdot yz \right|$$

$$\varepsilon_K = \left| \frac{168}{4} - 4 \cdot 10 \right| = \underline{2}$$

2 - Largeur de la zone de commutation :

$$b_{K3}' = b_b' + t_K' \left( u + \varepsilon_K - \frac{a}{p} \right)$$

$b_b'$  : Largeur des balais rapportée au diamètre d'induit

$$b_b' = b_b \cdot \frac{D}{D_K}$$

$$b_b' = 2,5 \cdot \frac{42,3}{31,7} = 3,33 \text{ cm}$$

$t_K'$  : pas au collecteur rapporté au diamètre d'induit

$$t_K' = t_K \cdot \frac{D}{D_K}$$

$$t_K' = 0,59 \cdot \frac{42,3}{31,7} = 0,79 \text{ cm}$$

on a alors :

$$b_{K3}' = 3,33 + 0,79 \left( 4 + 2 - \frac{2}{2} \right) = \underline{7,28} \text{ cm}$$



### 3 - Détermination des perméances :

#### a - Perméance d'encoches d'induit :

$$\lambda_n = \frac{h_I}{3b_n} + \frac{h_4}{b_n}$$

$$b_n = \underline{1,21} \text{ cm} ; h_4 = \underline{0,215} \text{ cm} ; h_I = \underline{2,57} \text{ cm} \quad (\text{voir schéma. 3})$$

$$\lambda_n = \frac{2,57}{3 \cdot 1,21} + \frac{0,215}{1,21} = \underline{0,88}$$

#### b - Perméance des dents d'induit :

$$\lambda_z = \frac{b_{\text{epx}}}{k_{\delta x} \cdot \delta_x}$$

$b_{\text{epx}}$  : Largeur d'épanouissement du pôle auxiliaire.

$$b_{\text{epx}} = (0,65 \div 0,75) \cdot b_{K3}$$

$$b_{\text{epx}} = (0,65 \div 0,75) \cdot 7,28 = (4,73 \div 5,46) \text{ cm}$$

on prend :  $b_{\text{epx}} = \underline{4,8} \text{ cm}$

$\delta_x$  : Entrefer sous le pôle auxiliaire.

$$\delta_x = (1,5 \div 2) \cdot \delta$$

$$\delta_x = (1,5 \div 2) \cdot 0,71 = (1,05 \div 1,4) \text{ cm}$$

on choisit :  $\delta_x = \underline{1,2} \text{ cm}$

$k_{\delta x}$  : Coefficient d'entrefer du pôle auxiliaire.

$$k_{\delta x} = \frac{t_I + 10 \delta_x}{(t_I - b_n) + 10 \delta_x}$$

$$k_{\delta x} = \frac{3,16 + 10 \cdot 1,2}{(3,16 - 1,21) + 10 \cdot 1,2} = \underline{1,09}$$

donc :  $\lambda_z = \frac{4,8}{1,09 \cdot 1,2} = \underline{3,67}$

$$\lambda_z^c = \frac{b_{epx}^c}{k_x^c \cdot x}$$

$$b_{epx}^c = b_{epx} = 4,8 \text{ cm}$$

$$\delta_x^c = (1,5 \div 2) \cdot \delta^c$$

$$\delta_x^c = (1,5 \div 2) \cdot 0,45 = (0,675 \div 0,9) \text{ cm}$$

on prend :  $\delta_x^c = \underline{0,8 \text{ cm}}$

$$k_{\delta x}^c = \frac{t_I + 10\delta_x^c}{(t_I - b_n) + 10 \cdot \delta_x^c}$$

$$k_{\delta x}^c = \frac{3,16 + 10 \cdot 0,8}{(3,16 - 1,21) + 10 \cdot 0,8} = \underline{1,12}$$

donc :  $\lambda_z^c = \frac{4,8}{1,12 \cdot 0,8} = \underline{5,36}$

c - Perméance de bandage :

$$\lambda_{bd} = \frac{30000 S_{bd}}{A \cdot b_{K3} \cdot l_{\delta}}$$

$$S_{bd} = n_{bd} \cdot \frac{\pi \cdot d_{bd}^2}{4}$$

$S_{bd}$  : Section du bandage.

$d_{bd} = 0,1 \text{ cm}$  : diamètre du fil d'acier de bandage.

$n_{bd} = 42 \text{ spires}$  : nombre de spires de bandage.

$$S_{bd} = 42 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = \underline{0,33 \text{ cm}^2}$$

$$\lambda_{bd} = \frac{30000 \cdot 0,33}{395 \cdot 7,28 \cdot 18} = \underline{0,19}$$

$$\lambda_{bd}^c = \frac{30000 \cdot S_{bd}^c}{(A - A^c) \cdot b_{K3} \cdot l}$$

$$S_{bd}^c = S_{bd} = 0,33 \text{ cm}^2$$

$$\lambda_{bd}^c = \frac{30000 \cdot 0,33}{(395 - 350) \cdot 7,28 \cdot 18} = \underline{1,68}$$

d - Permeance des parties frontales :

$$\lambda_{pf} = 0,5 \cdot \frac{l_{pf}}{l_s}$$

$l_{pf}$  : Longueur des parties frontales, elle est donnée par la relation :

$$l_{pf} = 1,3 \cdot \tau$$

$$l_{pf} = 1,3 \cdot 33,21 = 43,2 \text{ cm}$$

$$\lambda_{pf} = 0,5 \cdot \frac{42,3}{18} = \underline{1,2}$$

4 - Perméance moyenne :

$$\gamma = 0,4 \cdot \pi (k_\lambda \cdot \lambda_n + k_\lambda \cdot \lambda_z + \lambda_{bd} + \lambda_{pf})$$

$k_\lambda$  : coefficient qui tient compte de l'induction mutuelle des sections commutées .

D'après la figure . 8 (Fig . 8 ) on a :

$$\left. \begin{array}{l} \beta_b = 4,24 \\ u = 4 \\ \varepsilon_K = 2 \end{array} \right\} \longrightarrow k_\lambda = 1,16$$

$$\gamma = 0,4 \cdot 3,14 \cdot (1,16 \cdot 0,88 + 1,16 \cdot 3,67 + 0,19 + 1,2)$$

$$\gamma = \underline{8,38}$$

$$\gamma^c = 0,4 \cdot \pi (k_\lambda \cdot \lambda_n^c + k_\lambda \cdot \lambda_z^c + \lambda_{bd}^c + \lambda_{pf}^c)$$

$$\gamma^c = 0,4 \cdot 3,14 \cdot (1,16 \cdot 0,88 + 1,16 \cdot 5,36 + 1,68 + 1,2)$$

$$\gamma^c = \underline{12,71}$$

5 - F-e-m réactive moyenne dans une section commutée :

- C'est la f-e-m  $e_r$  qu'une section produirait en elle-même si le courant s'y inversait linéairement .

-  $e_r$  chiffre la difficulté de la commutation en donnant la tension que l'inductance de la section commutée oppose à l'inversion du courant .

- La f-e-m réactive est d'autant plus grande :

.. + que l'inductance de la section commutée est plus forte .

+ que la variation de courant dans le balai à assurer est plus importante .

+ que le temps disponible pour l'inversion est plus bref .

- Cette f-e-m réactive moyenne de commutation doit être compensée par une f-e-m d'égale grandeur et de sens opposé , induite par le champ de commutation dans les sections commutées .

$$* \quad e_r = 2 \cdot w_p \cdot v_a \cdot A \cdot \gamma \cdot l_\delta \cdot 10^{-6}$$

$w_p = w_K = I$  : Nombre de spires connectées en série entre deux lames du collecteur .

$$v_a = 22,14 \text{ m/s} \quad (\text{pt. 8-I})$$

$$A = 395 \text{ A/cm} \quad (\text{pt. 14-I})$$

$$\gamma = 8,38 \quad (\text{pt. 4-II})$$

$$l_\delta = 18 \text{ cm} \quad (\text{pt. 5-I})$$

$$\text{D'où : } e_r = 2 \cdot I \cdot 22,14 \cdot 395 \cdot 8,38 \cdot 18 \cdot 10^{-6} = \underline{2,64 \text{ V}}$$

$$* \quad e_r^c = 2 \cdot w_p \cdot v_a \cdot (A - A^c) \cdot \gamma^c \cdot l_\delta \cdot 10^{-6}$$

$$A^c = 350 \text{ A/cm} \quad (\text{pt. 58-I})$$

$$\gamma^c = 12,71 \quad (\text{pt. 4 -II})$$

$$e_r^c = 2 \cdot I \cdot 22,14 \cdot (395 - 350) \cdot 12,71 \cdot 18 \cdot 10^{-6} = \underline{10,46 \text{ V}}$$

$e_r^c < e_r$  : ceci montre qu'on a une meilleure commutation avec la machine compensée .

## 6 - Induction magnétique dans l'entrefer du pôle auxiliaire .

$$* \quad B_{\delta x} = \gamma \cdot A + \frac{(\Delta U_{bH} - \Delta U_{bC}) \cdot a \cdot 10^6}{2 \cdot w_K \cdot v_a \cdot l_\delta \cdot p \cdot \beta_b}$$

- Pour les balais électro-graphitiques :

$$(\Delta U_{bH} - \Delta U_{bC}) = 1,5 \text{ V} \quad (\text{Voir schéma- 6}) \quad 42$$

$$B_{\delta x} = 8,38 \cdot 395 + \frac{1,5 \cdot 2 \cdot 10^6}{2 \cdot 1 \cdot 22,14 \cdot 18 \cdot 2 \cdot 4,24} = 3750 \text{ Gs}$$

$$B_{\delta x}^c = \gamma^c \cdot (A - A^c) + \frac{(\Delta U_{bH} - \Delta U_{bC}) \cdot a \cdot 10^6}{2 \cdot w_K \cdot v_a \cdot l_{\delta} \cdot p \cdot \beta_b}$$

$$B_{\delta x} = 12,71 \cdot (395 - 350) + \frac{1,5 \cdot 2 \cdot 10^6}{2 \cdot 1 \cdot 22,14 \cdot 18 \cdot 2 \cdot 4,24} = 1020 \text{ Gs}$$

7 - Coefficient d'entrefer du pôle auxiliaire :

$$k_{\delta x} = \frac{t_I}{t_I - \gamma \cdot \delta_x}$$

Avec :

$$\gamma = \frac{\left(\frac{b_n}{\delta_x}\right)^2}{5 + \frac{b_n}{\delta_x}}$$

$$\gamma = \frac{\left(\frac{1,21}{1,2}\right)^2}{5 + \frac{1,21}{1,2}} = 0,17$$

D'où :

$$k_{\delta x} = \frac{3,16}{3,16 - 0,17 \cdot 1,2} = 1,1$$

$$k_{\delta x}^c = \frac{t_I}{t_I - \gamma^c \cdot \delta_x^c}$$

Avec :

$$\gamma^c = \frac{\left(\frac{b_n}{\delta_x^c}\right)^2}{5 + \frac{b_n}{\delta_x^c}}$$

$$\gamma^c = \frac{\left(\frac{1,21}{0,8}\right)^2}{5 + \frac{1,21}{0,8}} = 0,35$$

D'où :

$$k_{\delta x}^c = \frac{3,16}{3,16 - 0,35 \cdot 0,8} = 1,1$$

8 - Flux magnétique dans l'entrefer du pôle auxiliaire :

$$\Phi_{\delta x} = B_{\delta x} \cdot l_{px} \cdot b_{epx}$$

$l_{px}$  : étant la longueur du pôle auxiliaire, sa valeur est égale à la longueur de la machine :

$$l_{px} = l = l_{\delta} = 18 \text{ cm}$$

$$\Phi_{\delta x} = 3750 \cdot 18 \cdot 4,8 = \underline{0,324 \cdot 10^6} \text{ Mx}$$

$$\Phi_{\delta x}^{\circ} = B_{\delta x}^{\circ} \cdot l_{px}^{\circ} \cdot b_{epx}^{\circ}$$

Avec :

$$l_{px}^{\circ} = l_{px} = 18 \text{ cm}$$

$$b_{epx}^{\circ} = b_{epx} = 4,8 \text{ cm}$$

D'où :

$$\Phi_{\delta x}^{\circ} = 1020 \cdot 18 \cdot 4,8 = \underline{0,088 \cdot 10^6} \text{ Mx}$$

9 - Perméance de fuite :

$$\lambda_{\sigma x} = \frac{H^{\prime}}{L^{\prime}} + \frac{H^{\prime\prime}}{L^{\prime\prime}} + 0,75 \cdot \frac{H^{\prime\prime\prime}}{L^{\prime\prime\prime}}$$

D'après le schéma : IO, on a :

$$\begin{array}{ll} H^{\prime} = 1,4 \text{ cm} & ; \quad L^{\prime} = 3,0 \text{ cm} \\ H^{\prime\prime} = 2,2 \text{ cm} & ; \quad L^{\prime\prime} = 4,0 \text{ cm} \\ H^{\prime\prime\prime} = 8,0 \text{ cm} & ; \quad L^{\prime\prime\prime} = 12,0 \text{ cm} \end{array}$$

On obtient donc :

$$\lambda_{\sigma x} = \frac{1,4}{3} + \frac{2,2}{4} + 0,75 \cdot \frac{8}{12} = \underline{1,51}$$

$$\lambda_{\sigma x}^{\circ} = \frac{H^{\prime \circ}}{L^{\prime \circ}} + \frac{H^{\prime\prime \circ}}{L^{\prime\prime \circ}} + 0,75 \cdot \frac{H^{\prime\prime\prime \circ}}{L^{\prime\prime\prime \circ}}$$

D'après le schéma : II, On a les valeurs suivantes :

$$\begin{array}{ll} H^{\prime \circ} = 2,8 \text{ cm} & ; \quad L^{\prime \circ} = 3,2 \text{ cm} \\ H^{\prime\prime \circ} = 3,2 \text{ cm} & ; \quad L^{\prime\prime \circ} = 3,2 \text{ cm} \\ H^{\prime\prime\prime \circ} = 3,0 \text{ cm} & ; \quad L^{\prime\prime\prime \circ} = 11,0 \text{ cm} \end{array}$$

$$\text{On a alors : } \lambda_{\sigma x}^c = \frac{2,8}{3,2} + \frac{3,2}{3,2} + 0,75 \cdot \frac{3}{11} = \underline{2,1}$$

10 - Flux de fuite du pôle auxiliaire :

$$\ast \quad \Phi_{\sigma x} = F_{px} \cdot l_{px} \cdot \lambda_{\sigma x}$$

$$\text{Avec : } F_{px} = 1,4 \cdot A \cdot \tau$$

$$\text{Donc : } \Phi_{\sigma x} = 1,4 \cdot 395 \cdot 33,21 \cdot 18 \cdot 1,51 = \underline{0,5 \cdot 10^6 \text{ Mx}}$$

$$\ast \quad \Phi_{\sigma x}^c = F_{px}^c \cdot l_{px} \cdot \lambda_{\sigma x}^c$$

$$\text{Avec : } F_{px}^c = 1,4 \cdot (A - A^c) \cdot \tau$$

$$\text{D'où : } \Phi_{\sigma x}^c = 1,4 \cdot (395 - 350) \cdot 33,21 \cdot 18 \cdot 2,1 \\ = \underline{0,079 \cdot 10^6 \text{ Mx}}$$

11 - Flux magnétique total dans l'épanouissement du pôle auxiliaire :

$$\ast \quad \Phi_{px} = \Phi_{\delta x} + \Phi_{\sigma x}$$

$$\Phi_{px} = 0,324 \cdot 10^6 + 0,500 \cdot 10^6 = \underline{0,824 \cdot 10^6 \text{ Mx}}$$

$$\ast \quad \Phi_{px}^c = \Phi_{\delta x}^c + \Phi_{\sigma x}^c$$

$$\Phi_{px}^c = 0,088 \cdot 10^6 + 0,079 \cdot 10^6 = \underline{0,167 \cdot 10^6 \text{ Mx}}$$

12 - Coefficient de fuite du flux magnétique du pôle auxiliaire :

$$\ast \quad \sigma_x = \frac{\Phi_{px}}{\Phi_{\delta x}}$$

$$\sigma_x = \frac{0,824 \cdot 10^6}{0,324 \cdot 10^6} = \underline{2,54}$$

- Les valeurs admissibles :  $\sigma_x = 2,5 \div 3,5$

$$\ast \quad \sigma_x^c = \frac{\Phi_{px}^c}{\Phi_{\delta x}^c}$$

$$\sigma_x^c = \frac{0,167 \cdot 10^6}{0,088 \cdot 10^6} = \underline{1,9}$$

Généralement, pour les machines avec enroulement de compensation :  $\sigma_x^c \approx 2$

13 - Vérification de l'induction totale dans le joug d'induit et dans la culasse  
pour une surcharge de 1,5 fois le régime nominal :

a - Joug d'induit :

$$* \quad B_{aj \text{ max.}} = \frac{\Phi + 1,5 \cdot \Phi_{\delta x}}{2 \cdot S_{aj}}$$

$$S_{aj} = 130,6 \text{ cm}^2 \quad (\text{pt. 33 - I})$$

$$\Phi = 3,66 \cdot 10^6 \text{ Mx}$$

- La valeur de  $\Phi$  est tirée du tableau C ( T - C ) correspondant à  
 la f-e-m nominale en charge :  $E_{an} = 204,4 \text{ V}$

$$B_{aj \text{ max.}} = \frac{3,66 \cdot 10^6 + 1,5 \cdot 0,324 \cdot 10^6}{2 \cdot 130,6} = \underline{15870 \text{ Gs}}$$

$$* \quad B_{aj \text{ max.}}^c = \frac{\Phi^c + 1,5 \cdot \Phi_{\delta x}^c}{2 \cdot S_{aj}}$$

$$\Phi^c = 3,66 \cdot 10^6 \text{ Mx}$$

- La valeur de  $\Phi^c$  est tirée du tableau D ( T - D ) correspondant à  
 la f-e-m nominale en charge :  $E_{an}^c = 204,8 \text{ V}$

$$B_{aj \text{ max.}}^c = \frac{3,66 \cdot 10^6 + 1,5 \cdot 0,088 \cdot 10^6}{2 \cdot 130,6} = \underline{14520 \text{ Gs}}$$

b - Culasse :

$$* \quad B_{cu \text{ max.}} = \frac{\Phi_{pp} + 1,5 \cdot \Phi_{px}}{2 \cdot S_{cu}}$$

$$S_{cu} = 193,4 \text{ cm}^2 \quad (\text{pt. 52 - I})$$

$$\Phi_{pp} = 4,12 \cdot 10^6 \text{ Mx}$$

- Cette valeur de  $\Phi_{pp}$  est tirée du tableau C ( T - C )  
 correspondant à :  $E_{an} = 204,4 \text{ V}$

$$B_{cu \text{ max.}} = \frac{4,12 \cdot 10^6 + 1,5 \cdot 0,824 \cdot 10^6}{2 \cdot 193,4} = \underline{13850 \text{ Gs}}$$



$$\ast \quad B_{cu \text{ max.}}^c = \frac{\Phi_{pp}^c + 1,5 \cdot \Phi_{px}^c}{2 \cdot S_{cu}}$$

$$\Phi_{pp}^c = 4,05 \cdot 10^6 \text{ Mx}$$

- Cette valeur de  $\Phi_{pp}^c$  est tirée du tableau D ( T - D ) correspondant à

$$E_{an}^c = 204,8 \text{ V}$$

$$B_{cu \text{ max.}}^c = \frac{4,05 \cdot 10^6 + 1,5 \cdot 0,167 \cdot 10^6}{2 \cdot 193,4} = \underline{11120 \text{ Gs}}$$

#### I4 - Section et dimensions des pôles auxiliaires

$$\ast \quad S_{px} \geq \frac{\Phi_{px}}{B_{px}}$$

$$\Phi_{px} = 0,824 \cdot 10^6 \text{ Mx} \quad (\text{pt. II - II})$$

- L'induction magnétique maximale dans les pôles auxiliaires est généralement comprise entre 6000 et 6500 Gs afin d'éviter la saturation de ces pôles .

$$B_{px} = ( 6000 \div 6500 ) \text{ Gs}$$

$$\text{D'où : } S_{px} \geq \frac{0,824 \cdot 10^6}{( 6000 \div 6500 )} = ( 137,3 \div 126,8 ) \text{ cm}^2$$

$$\text{On choisit : } S_{px} = \underline{144 \text{ cm}^2}$$

$$\text{Avec : } l_{px} = 18 \text{ cm}$$

$$b_{px} = 8 \text{ cm}$$

$b_{px}$  : étant la largeur du noyau du pôle auxiliaire .

$\ast$  On garde les mêmes dimensions des pôles auxiliaires pour la machine avec enroulement de compensation .

$$\text{Donc : } S_{px}^c = 144 \text{ cm}^2$$

$$l_{px}^c = 18 \text{ cm}$$

$$b_{px}^c = 8 \text{ cm}$$

15 - Induction magnétique dans le pôle auxiliaire :

$$* \quad B_{px} = \frac{\Phi_{px}}{S_{px}}$$

$$B_{px} = \frac{0,824 \cdot 10^6}{144} = \underline{5720 \text{ Gs}}$$

$$* \quad B_{px}^c = \frac{\Phi_{px}^c}{S_{px}^c}$$

$$B_{px}^c = \frac{0,167 \cdot 10^6}{144} = \underline{1160 \text{ Gs}}$$

- Les valeurs de  $B_{px}$  et  $B_{px}^c$  sont acceptables car elles sont inférieures aux valeurs maximales données au ( pt. I4 - II )

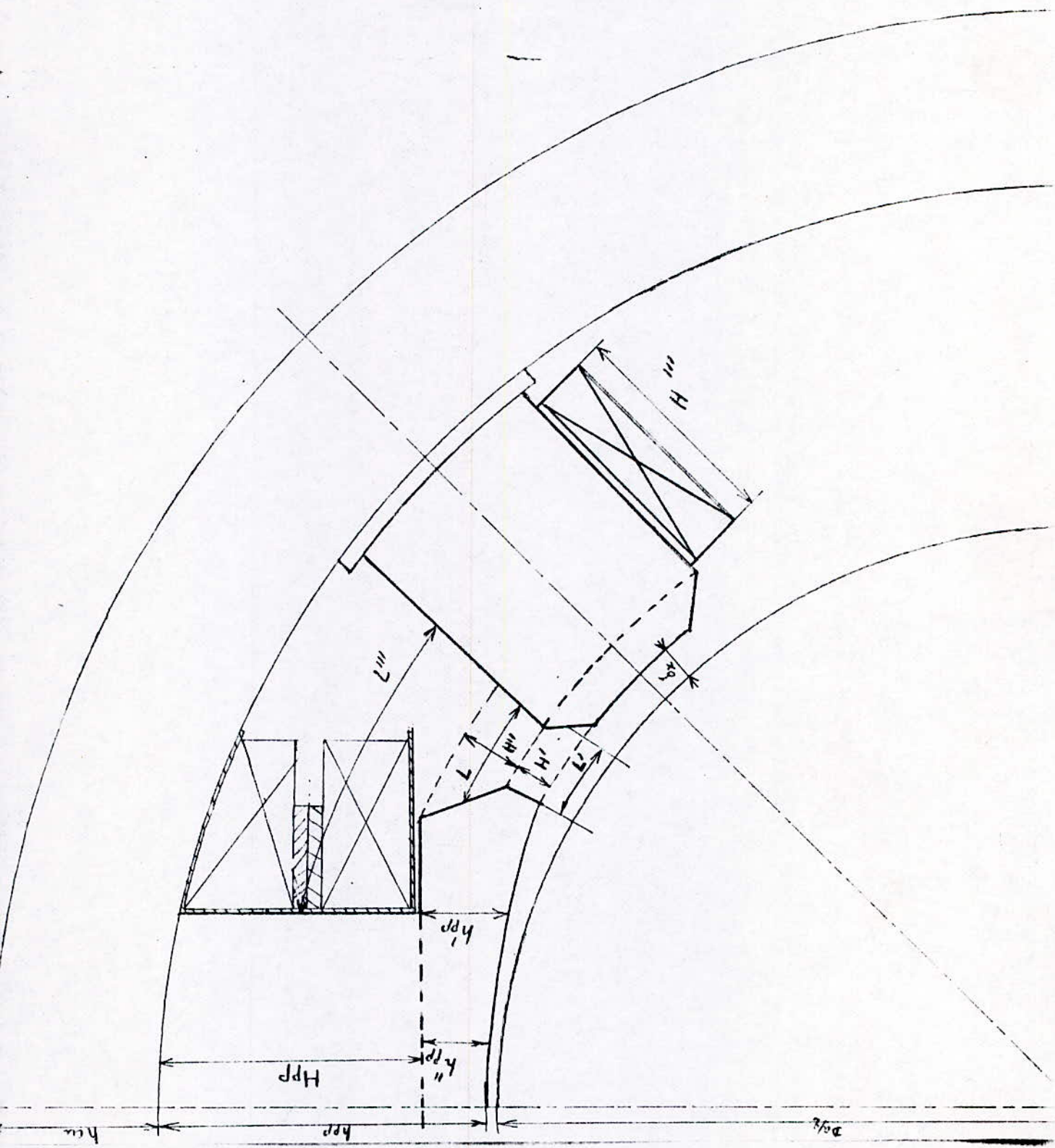
§§§§§§§§§§§§§§§§

$D_{ext} = 79,3 \text{ cm}$

$h_{pp} = 12 \text{ cm}$

$H_{p\alpha} = 11 \text{ cm}$

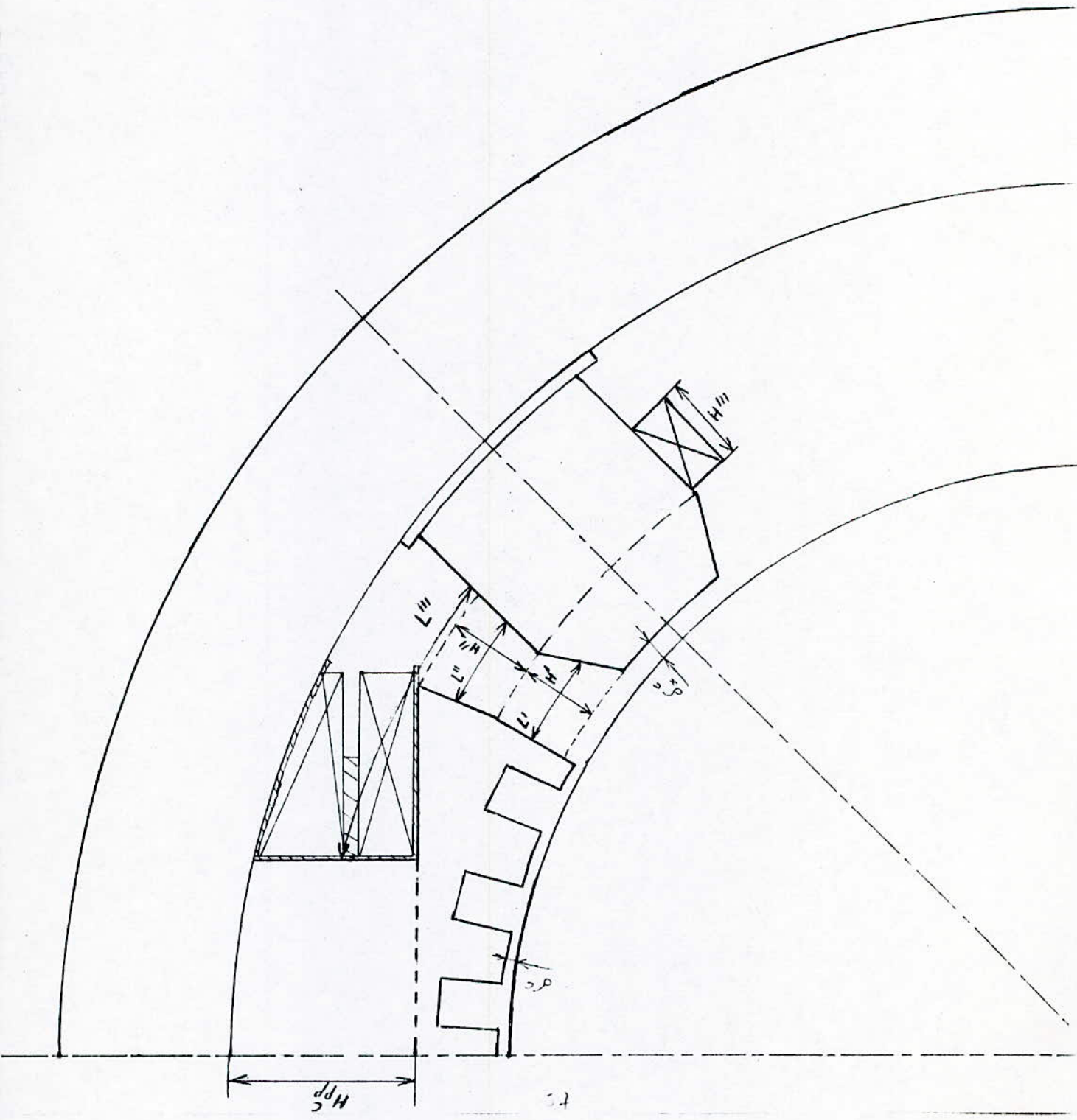
$H_{pp} = 9,4 \text{ cm}$



Machine avec enroulement de Compensation.

Schema - 11

- $D_{ext} = 74,6 \text{ cm}$
- $h_{pp}^c = 9,5 \text{ cm}$
- $H_{px}^c = 9,8 \text{ cm}$
- $H_{pp}^c = 6,4 \text{ cm}$



II - 2 : ENROULEMENT DES POLES AUXILIAIRES

16 - F-m-m de l'enroulement pour une paire de pôles auxiliaires

Elle est donnée par la relation suivante :

$$* \quad F_{px} = 1,1 \cdot 1,6 \cdot B_{\delta x} \cdot k_{\delta x} \cdot \delta_x + A \cdot \tau$$

$$B_{\delta x} = 3750 \text{ Gs} \quad (\text{pt. 6 - II})$$

$$k_{\delta x} = 1,1 \quad (\text{pt. 7 - II})$$

$$\delta_x = 1,2 \text{ cm} \quad (\text{pt. 3-b-II})$$

$$\text{D'où : } F_{px} = 1,1 \cdot 1,6 \cdot 3750 \cdot 1,1 \cdot 1,2 + 395 \cdot 33,21$$

$$F_{px} = \underline{21830 \text{ At}}$$

$$* \quad F_{px}^c = 1,1 \cdot 1,6 \cdot B_{\delta x}^c \cdot k_{\delta x}^c \cdot \delta_x^c + (A - A^c) \cdot \tau$$

$$B_{\delta x}^c = 1020 \text{ Gs} \quad (\text{pt. 6 - II})$$

$$k_{\delta x}^c = 1,1 \quad (\text{pt. 7 - II})$$

$$\delta_x^c = 0,8 \text{ cm} \quad (\text{pt. 3-b-II})$$

$$\text{Donc : } F_{px}^c = 1,1 \cdot 1,6 \cdot 1020 \cdot 1,1 \cdot 0,8 + (395 - 350) \cdot 33,21$$

$$F_{px}^c = \underline{3074 \text{ At}}$$

17 - Nombre de spires par pôle auxiliaire :

$$* \quad w_x = \frac{F_{px}}{p \cdot I_{an}}$$

$$w_x = \frac{21830}{2 \cdot 625} = 17,5$$

On adopte donc :  $w_x = \underline{18 \text{ spires par pôle}}$

$$* \quad w_x^c = \frac{F_{px}^c}{p \cdot I_{an}}$$

$$w_x^c = \frac{3074}{2 \cdot 625} = 2,5$$

On prend alors :  $w_x^c = \underline{3 \text{ spires par pôle}}$

18 - Section et dimensions du fil de l'enroulement des pôles auxiliaires :

$$* \quad S_{ex} = \frac{I_{an}}{\Delta_{ex}}$$

$\Delta_{ex} = (3 \div 5) \text{ A/mm}^2$  : étant la densité de courant dans les conducteurs de l'enroulement des pôles auxiliaires .

On choisit :  $\Delta_{ex} = 4 \text{ A/mm}^2$

$$S_{ex} = \frac{625}{4} = 156,3 \text{ mm}^2$$

- Les sections des fils sont normalisées ; dans notre cas on adopte d'après tableau - 8 ( T - 8 ) :  $S_{ex} = \underline{153,1 \text{ mm}^2}$

- les conducteurs choisis sont du type  $\Pi C \square$ , rectangulaires et ont pour dimensions :  $4,4 \text{ mm} / 35 \text{ mm}$

- La couche isolante a pour épaisseur :  $0,27 \text{ mm}$

- Les dimensions des conducteurs en tenant compte de l'isolation :

$$\underline{4,67 \text{ mm} / 35,27 \text{ mm}}$$

$$* \quad S_{ex}^c = \frac{I_{an}}{\Delta_{ex}}$$

$$S_{ex}^c = \frac{625}{4} = 156,3 \text{ mm}^2$$

- D'après tableau - 8 ( T - 8 ) : la section normalisée choisie :

$$S_{ex}^c = \underline{139,5 \text{ mm}^2}$$

- Les conducteurs correspondants à cette section sont rectangulaires du type  $\Pi C \square$  et ont pour dimensions :  $9 \text{ mm} / 15,6 \text{ mm}$

- En tenant compte de l'isolement , les dimensions des conducteurs deviennent alors :

$$\underline{9,27 \text{ mm} / 15,87 \text{ mm}}$$

19 - Disposition de l'enroulement :

Afin de réduire la dispersion des pôles auxiliaires on dispose leur enroulement autant que possible plus près de l'induit et on divise l'entrefer en deux parties : l'entrefer entre l'induit et la pièce pôlaire du pôle auxiliaire et l'entrefer entre le noyau du pôle auxiliaire et la culasse en remplissant le dernier entrefer avec des cales en matériau non magnétique .

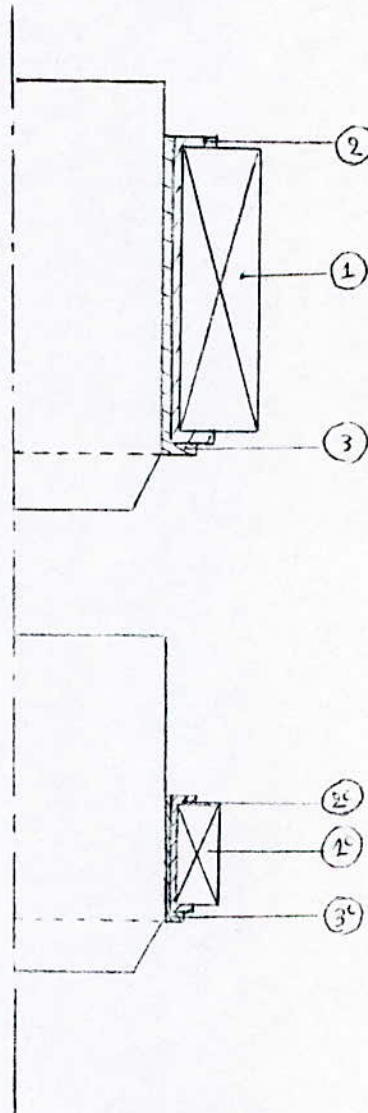


Schéma: 12

- 1- 1<sup>c</sup> : Conducteurs
- 2- 2<sup>c</sup> : Carton électrotechnique
- 3- 3<sup>c</sup> : Support d'enroulement

CHAPITRE (III)

PARAMETRES DU MOTEUR



- On se propose dans cette partie de calculer les résistances des différents enroulements .

III - I Résistance de l'enroulement d'induit :

$$r_a(20^\circ\text{C}) = \frac{N \cdot l_{a \text{ moy.}}}{5600 \cdot (2a)^2 \cdot S_a}$$

$r_a(20^\circ\text{C})$  : résistance de l'enroulement d'induit à la température  $20^\circ\text{C}$

$l_{a \text{ moy.}}$  : étant la longueur totale d'un conducteur .

$$l_{a \text{ moy.}} = l_I + l_{pf}$$

$l_{pf}$  : longueur moyenne de la partie frontale d'un conducteur .

$$l_{a \text{ moy.}} = l_I + 1,3 \cdot \tau$$

$$l_{a \text{ moy.}} = 18 + 1,3 \cdot 33,21 = \underline{61 \text{ cm}}$$

$$S_a = 22,2 \text{ mm}^2 \quad (\text{pt. } 22 - I)$$

$$r_a(20^\circ\text{C}) = \frac{336 \cdot 61}{5600 \cdot 16 \cdot 22,2} = \underline{0,0100 \ \Omega}$$

- à la température ( $115^\circ\text{C}$ ) de travail :

$$r_a(115^\circ\text{C}) = k_\theta \cdot r_a(20^\circ\text{C})$$

$k_\theta$  : Coefficient d'augmentation de la résistance sous l'effet de la température .

D'après tableau - E ( T - E ) on a :  $k_\theta = 1,37$

$$r_a(115^\circ\text{C}) = 1,37 \cdot 0,0100 = \underline{0,0137 \ \Omega}$$

- à la température ( $140^\circ\text{C}$ ) maximale :

$$r_a(140^\circ\text{C}) = k_\theta \cdot r_a(20^\circ\text{C})$$

D'après tableau - E ( T - E ) :  $k_\theta = 1,47$

$$r_a(140^\circ\text{C}) = 1,47 \cdot 0,0100 = \underline{0,0147 \ \Omega}$$

III- 2: Résistance de l'enroulement des pôles auxiliaires :

$$r_x (20^\circ\text{C}) = \frac{2p \cdot w_x \cdot l_{x \text{ moy.}}}{5600 \cdot S_{ex}}$$

$l_{x \text{ moy.}}$  : longueur moyenne d'une spire .

$$l_{x \text{ moy.}} = 2 \cdot ( l_{px} + b_{px} + 4 \cdot \Delta_{iso.} ) + \pi \cdot b_K$$

$$\Delta_{iso.} = 0,2 \text{ cm} \quad ( \text{ Voir schéma - I2 ; chapitre - II } )$$

$b_K$  : rayon de courbure des conducteurs

Pour :  $D > 30 \text{ cm}$  :  $b_K \leq 5 \text{ cm}$  On prend  $b_K = 3 \text{ cm}$

$$l_{x \text{ moy.}} = 2 \cdot ( 18 + 8 + 4 \cdot 0,2 ) + 3,14 \cdot 3$$

$$l_{x \text{ moy.}} = \underline{63 \text{ cm}}$$

$$\text{D'où : } r_x (20^\circ\text{C}) = \frac{4 \cdot 18 \cdot 63}{5600 \cdot 153,1} = \underline{0,0053 \Omega}$$

- à la température 115°C :

$$r_x (115^\circ\text{C}) = k_\theta \cdot r_x (20^\circ\text{C})$$

$$r_x (115^\circ\text{C}) = 1,37 \cdot 0,0053 = \underline{0,0072 \Omega}$$

- à la température 140°C :

$$r_x (140^\circ\text{C}) = k_\theta \cdot r_x (20^\circ\text{C})$$

$$r_x (140^\circ\text{C}) = 1,47 \cdot 0,0053 = \underline{0,0078 \Omega}$$

$$r_x^c (20^\circ\text{C}) = \frac{2p \cdot w_x^c \cdot l_{x \text{ moy.}}}{5600 \cdot S_{ex}^c}$$

$$r_x^c (20^\circ\text{C}) = \frac{4 \cdot 3 \cdot 63}{5600 \cdot 139,5}$$

$$r_x^c (20^\circ\text{C}) = \underline{0,0010 \Omega}$$

- à la température 115°C :

$$r_x^c (115^\circ\text{C}) = k_\theta \cdot r_x^c (20^\circ\text{C})$$

$$r_x^c (115^\circ\text{C}) = 1,37 \cdot 0,0010 = \underline{0,0014 \Omega}$$

- à la température 140°C :

$$r_x^c (140^\circ\text{C}) = k_\theta \cdot r_x^c (20^\circ\text{C})$$

$$r_x^c (140^\circ\text{C}) = 1,47 \cdot 0,0010 = \underline{0,0015 \Omega}$$

### III - 3 : Résistance de l'enroulement stabilisé :

Pour obtenir une caractéristique de vitesse tombante , on dote souvent les moteurs shunts sans enroulement de compensation , d'un petit enroulement en série avec celui d'induit " stabilisateur " à flux additif dont la f-m-m équilibre à peu près la f-m-m de démagnétisation . Ceci permet un fonctionnement stable du moteur .

- Section des conducteurs de l'enroulement stabilisé

$$S_{st} = \frac{I_{an}}{\Delta_{st}}$$

$\Delta_{st}$  : Densité de courant de l'enroulement stabilisé

$$\Delta_{st} = (3 \div 4) \text{ A / mm}^2$$

On prend :  $\Delta_{st} = 4 \text{ A / mm}^2$

$$S_{st} = \frac{625}{4} = 156,3 \text{ mm}^2$$

+ Les sections des conducteurs sont normalisées , dans notre cas on adopte :

$$S_{st} = \underline{163,6 \text{ mm}^2}$$

+ Les conducteurs choisis sont du type T1C11 , rectangulaires et ont pour dimensions :

$$4,7 \text{ mm} / 35 \text{ mm}$$

\* La couche isolante a pour épaisseur : 0,27 mm

\* Les dimensions des conducteurs en tenant compte de l'isolation :

$$\underline{4,97 \text{ mm} / 15,27 \text{ mm}}$$

\* - à la température 20°C :

$$r_{st} (20^\circ\text{C}) = \frac{2p \cdot w_{st} \cdot l_{st \text{ moy.}}}{5600 \cdot S_{st}}$$

$l_{st \text{ moy.}}$  : Longueur moyenne d'une spire

$$l_{st \text{ moy.}} = 2 \cdot ( l_{PP} + b_{PP} + 4 \cdot \Delta_{iso.} ) + \pi \cdot b_K$$

$$\Delta_{iso.} = 0,2 \text{ cm}$$

$$b_K = 3 \text{ cm}$$

$$l_{st \text{ moy.}} = 2 \cdot ( 18 + 14 + 4 \cdot 0,2 ) + 3,14 \cdot 3$$

$$l_{st \text{ moy.}} = \underline{75 \text{ cm}}$$

$w_{st}$  : Nombre de spires de l'enroulement stabilisé, préalablement on prend :

$$w_{st} = 2$$

$$r_{st} (20^\circ\text{C}) = \frac{4 \cdot 2 \cdot 75}{5600 \cdot 163,6} = \underline{0,0007 \Omega}$$

- à la température 115°C :

$$r_{st} (115^\circ\text{C}) = k_0 \cdot r_{st} (20^\circ\text{C})$$

$$r_{st} (115^\circ\text{C}) = 1,37 \cdot 0,0007 = \underline{0,0009 \Omega}$$

- à la température 140°C :

$$r_{st} (140^\circ\text{C}) = k_0 \cdot r_{st} (20^\circ\text{C})$$

$$r_{st} (140^\circ\text{C}) = 1,47 \cdot 0,0007 = \underline{0,0010 \Omega}$$

$$r_{st}^c (20^\circ\text{C}) = \frac{2p \cdot w_{st} \cdot l_{st \text{ moy}}}{5600 \cdot S_{st}}$$

$$w_{st}^c = 1 \quad (\text{Préalable})$$

$$r_{st}^c (20^\circ\text{C}) = \frac{4 \cdot 1 \cdot 75}{5600 \cdot 163,6} = \underline{0,0003 \Omega}$$

- à la température 115°C :

$$r_{st}^c (115^\circ\text{C}) = k_\theta \cdot r_{st}^c (20^\circ\text{C})$$

$$r_{st}^c (115^\circ\text{C}) = 1,37 \cdot 0,0003 = \underline{0,0004 \Omega}$$

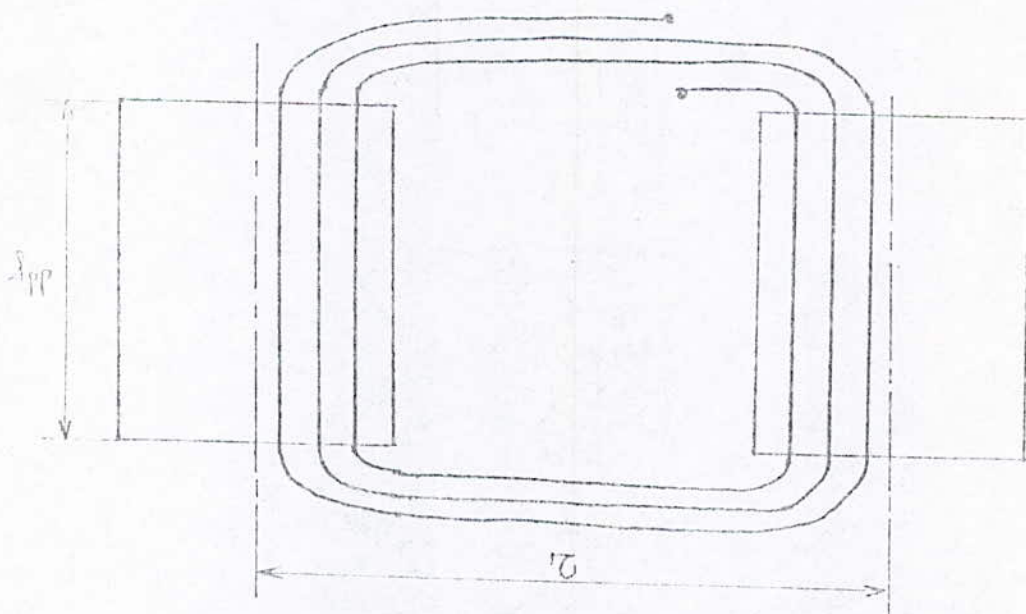
- à la température 140°C :

$$r_{st}^c (140^\circ\text{C}) = k_\theta \cdot r_{st}^c (20^\circ\text{C})$$

$$r_{st}^c (140^\circ\text{C}) = 1,47 \cdot 0,0003 = \underline{0,0005 \Omega}$$

III - 4 : Résistance de l'enroulement de compensation :

$$r^c (20^\circ\text{C}) = \frac{2p \cdot w^c \cdot l_{\text{moy}}^c}{5600 \cdot S^c}$$



$w^c = 6$  : Nombre de spires par pôle

$l_{\text{moy.}}^c$  : Longueur moyenne d'une spire

$$l_{\text{moy.}}^c = 2 \cdot (\tau - 3 \cdot t_2^c) + 2 \cdot l_{pp} + 4 \cdot \Delta_{\text{iso.}} + \pi \cdot b_K$$

$$\Delta_{\text{iso.}} = 0,2 \text{ cm}$$

$$b_K = 2 \text{ cm}$$

$$l_{\text{moy.}}^c = 2 \cdot (33,21 - 3 \cdot 3,86) + 2 \cdot 18 + 4 \cdot 0,2 + 3,14 \cdot 2$$

$$l_{\text{moy.}}^c = \underline{86,3 \text{ cm}}$$

$$\text{Donc : } r^c (20^\circ\text{C}) = \frac{4 \cdot 6 \cdot 86,3}{5600 \cdot 92,7} = \underline{0,0040 \ \Omega}$$

- à la température 115°C :

$$r^c (115^\circ\text{C}) = k_\theta \cdot r^c (20^\circ\text{C})$$

$$r^c (115^\circ\text{C}) = 1,37 \cdot 0,0040 = \underline{0,0055 \ \Omega}$$

- à la température 140°C :

$$r^c (140^\circ\text{C}) = k_\theta \cdot r^c (20^\circ\text{C})$$

$$r^c (140^\circ\text{C}) = 1,47 \cdot 0,0040 = \underline{0,0059 \ \Omega}$$

III - 5 : F - m - m d'excitation en charge et enroulement d'excitation :

I - F-e-m d'induit nominale en charge : ( Calculée )

$$* \quad E_{\text{an}} = U_n - I_{\text{an}} \cdot [r_a(115^\circ\text{C}) + r_x(115^\circ\text{C}) + r_{\text{st}}(115^\circ\text{C})] - 2 \Delta U_b$$

2  $U_b = 2 \text{ V}$  : La chute de tension aux balais .

$$E_{\text{an}} = 220 - 625 \cdot (0,0137 + 0,0072 + 0,0009) - 2$$

$$E_{\text{an}} = \underline{204,4 \text{ V}}$$

$$E_{an}^{\circ} = U_n - I_{an} \cdot [r_a(115^{\circ}C) + r_x^{\circ}(115^{\circ}C) + r_{st}^{\circ}(115^{\circ}C) + r^{\circ}(115^{\circ}C)] - 2 \Delta U_b$$

$$E_{an}^{\circ} = 220 - 625 \cdot (0,0137 + 0,0014 + 0,0004 + 0,0055) - 2$$

$$E_{an}^{\circ} = \underline{204,8 \text{ V}}$$

2 - F-m-m d'excitation nécessaire à la f-e-m  $E_{an}$  :

⊗ D'après tableau - C ( T - C ) :

- pour  $E_{an} = 204,4 \text{ V}$  on a :  $F_{exc. E} = \underline{32948 \text{ At}}$

⊗ D'après tableau - D ( T - D ) :

- pour  $E_{an}^{\circ} = 204,8 \text{ V}$  on a :  $F_{exc. E}^{\circ} = \underline{26928 \text{ At}}$

3 - Réaction d'induit démagnétisante par pôle :

Les balais se trouvant sur la ligne neutre théorique, la f-m-m transversale de l'induit déforme le champ magnétique principal en l'affaiblissant à la corne de sortie et le renforçant à la corne d'entrée. Mais lorsque le circuit magnétique de la machine est saturé on peut donc parler de l'effet démagnétisant de la réaction d'induit transversale.

⊗ Préalablement :  $F_{qdn} = \frac{I}{6} \cdot \frac{\Delta B_I' - \Delta B_2'}{\Delta B_I' + \Delta B_2'} \cdot b_{ep} \cdot A$

D'après figure - 9 ( Fig - 9 )

$$\Delta B_I' = a' b' = 2600 \text{ Gs}$$

$$\Delta B_2' = c' d' = 875 \text{ Gs}$$

$$F_{qdn} = \frac{I}{6} \cdot \frac{2600 - 875}{2600 + 875} \cdot 21,6 \cdot 395 = \underline{706 \text{ At}}$$

Connaissant :  $\frac{I}{2} \cdot F_{qdn} = 353 \text{ At}$

On détermine :  $\Delta B_I$  et  $\Delta B_2$

$$\Delta B_1 = ab = 2325 \text{ Gs}$$

$$\Delta B_2 = cd = 925 \text{ Gs}$$

- La valeur exacte de la réaction d'induit démagnétisante est donc :

$$F_{qdn} = \frac{I}{6} \cdot \frac{\Delta B_1' - \Delta B_2'}{\Delta B_1 + \Delta B_2} \cdot b_{ep} \cdot A$$

$$F_{qdn} = \frac{I}{6} \cdot \frac{2600 - 875}{2325 + 925} \cdot 21,6 \cdot 395$$

$$F_{qdn} = \underline{755 \text{ At}}$$

$$F_{qdn}^c = \frac{I}{6} \cdot \frac{\Delta B_1' - \Delta B_2'}{\Delta B_1 + \Delta B_2} \cdot b_{ep} \cdot (A - A^c)$$

- D'après figure 10 : ( Fig - 10 )

$$\Delta B_1' = a'b' = 225 \text{ Gs}$$

$$\Delta B_2' = c'd' = 180 \text{ Gs}$$

$$F_{qdn}^c = \frac{I}{6} \cdot \frac{225 - 180}{225 + 180} \cdot 21,6 \cdot (395 - 350)$$

$$F_{qdn}^c = \underline{20 \text{ At}}$$

4 - Vitesse nominale à vide : Pour les deux types de machines :

$$N_{on} = (1,10 \div 1,15) \cdot N_n = (1,10 \div 1,15) \cdot 1000 = \underline{(1100 \div 1150)} \frac{tr}{min}$$

5 - F-m-m de l'enroulement d'excitation à vide :

$$E_{ao} = E_{ao}^c \approx U_n = 220 \text{ V}$$

$$e_n = \frac{E_{ao}}{N_{on}} = \frac{E_{ao}^c}{N_{on}}$$

$$e_n = \frac{220}{(1100 \div 1150)} = (0,200 \div 0,191)$$

\* D'après figure 11 - ( Fig - 11 )

$$F_{exc.o} = \underline{(31600 \div 29100) \text{ At}}$$



\* D'après figure I2 - ( Fig - I2 )

$$F_{exc.o}^C = \frac{( 25200 \div 23000 )}{At}$$

6 - F-m-m de l'enroulement stabilisé nominale :

$$* \quad F_{st} = F_{exc.E} + F_{qdt} - F_{exc.o}$$

$F_{qdt}$  : Réaction d'induit démagnétisante totale .

$$F_{qdt} = 2p \cdot F_{qdn}$$

$$F_{qdt} = 4 \cdot 755 = \underline{3020 \text{ At}}$$

$$F_{st} = 32948 + 3020 - ( 31600 \div 29100 )$$

$$F_{st} = \underline{( 4368 \div 6868 ) \text{ At}}$$

$$* \quad F_{st}^C = F_{exc.E}^C + F_{qdt}^C - F_{exc.o}^C$$

$$F_{qdt}^C = 2p \cdot F_{qdn}^C$$

$$F_{qdt}^C = 4 \cdot 20 = \underline{80 \text{ At}}$$

$$F_{st}^C = 26928 + 80 - ( 25200 \div 23000 )$$

$$F_{st}^C = \underline{( 1808 \div 4008 ) \text{ At}}$$

7 - Nombre de spires de l'enroulement stabilisé par pôle : ( Calculé )

$$* \quad w_{st} = \frac{F_{st}}{2p \cdot I_{an}}$$

$$w_{st} = \frac{( 4368 \div 6868 )}{4 \cdot 625} = \underline{( 1,75 \div 2,75 )}$$

On adopte :  $w_{st} = \underline{2 \text{ Spires par pôle}}$

$$* \quad w_{st}^C = \frac{F_{st}^C}{2p \cdot I_{an}}$$

$$w_{st}^C = \frac{( 1808 \div 4008 )}{4 \cdot 625} = \underline{( 0,72 \div 1,60 )}$$

On adopte :  $w_{st}^C = \underline{1 \text{ Spire par pôle}}$

8 - F-m-m de l'enroulement d'excitation nominale :

$$\times \quad F_{exc.n} = F_{exc.E} + F_{qdt} - F_{st}$$

$$F_{st} = 2p \cdot w_{st} \cdot I_{an}$$

$$F_{st} = 4 \cdot 2 \cdot 625 = \underline{5000 \text{ At}}$$

$$F_{exc.n} = 32948 + 3020 - 5000 = \underline{30968 \text{ At}}$$

$$\times \quad F_{exc.n}^C = F_{exc.E}^C + F_{qdt}^C - F_{st}^C$$

$$F_{st}^C = 2p \cdot w_{st}^C \cdot I_{an}$$

$$F_{st}^C = 4 \cdot 2 \cdot 625 = \underline{2500 \text{ At}}$$

$$F_{exc.n}^C = 26928 + 80 - 2500 = \underline{24508 \text{ At}}$$

9 - F-m-m de l'enroulement d'excitation maximale :

$$\times \quad F_{exc.max.} = ( I_{1,10} \div I_{1,05} ) \cdot F_{exc.n}$$

$$F_{exc.max.} = ( I_{1,10} \div I_{1,05} ) \cdot 30968$$

$$F_{exc.max.} = \underline{( 34065 \div 32516 ) \text{ At}}$$

$$\times \quad F_{exc.max.}^C = ( I_{1,10} \div I_{1,05} ) \cdot F_{exc.n}^C$$

$$F_{exc.max.}^C = ( I_{1,10} \div I_{1,05} ) \cdot 24508$$

$$F_{exc.max.}^C = \underline{( 26959 \div 25733 ) \text{ At}}$$

10 - Section des conducteurs de l'enroulement d'excitation à 140°C :

$$\times \quad S_{exc.} = \frac{F_{exc.max.} \cdot l_{exc.moy.}}{3800 \cdot U_n}$$

$l_{exc.moy.}$  : Longueur moyenne d'une spire .

$$l_{exc.moy.} = 2 \cdot ( l_{pp} + b_{pp} + 4 \cdot \Delta_{iso.} ) + \pi \cdot b_K$$

$$\Delta_{iso.} = 0,2 \text{ cm}$$

$$b_K = 2,5 \text{ cm}$$

$$l_{exc.moy.} = 2.(18 + 14 + 4 \cdot 0,2) + 3,14 \cdot 2,5 = \underline{73 \text{ cm}}$$

$$S_{exc.} = \frac{(34065 \div 32516) \cdot 73}{3800 \cdot 220} = (2,97 \div 2,84) \text{ mm}^2$$

- La section des fils doit être normalisée, à partir du tableau - I2 :

$$S_{exc.} = \underline{2,78 \text{ mm}^2}$$

- Les conducteurs choisis sont ronds du type ПСΠТ et ont pour diamètre :

$$\underline{1,88 \text{ mm}}$$

- La couche isolante a pour épaisseur : 0,23 mm

- Le diamètre du conducteur isolé est donc : 2,11 mm

A partir de la section normalisée, on détermine une valeur préalable de  $F_{exc.max.}$  :

$$F_{exc.max.} = \frac{3800 \cdot S_{exc.} \cdot U_n}{l_{exc.moy.}}$$

$$F_{exc.max.} = \frac{3800 \cdot 2,78 \cdot 220}{73} = \underline{31837 \text{ At}}$$

$$S_{exc.}^c = \frac{F_{exc.max.}^c \cdot l_{exc.moy.}}{3800 \cdot U_n}$$

$$l_{exc.moy.} = 73 \text{ cm}$$

$$S_{exc.}^c = \frac{(26959 \div 25733) \cdot 73}{3800 \cdot 220} = (2,35 \div 2,25) \text{ mm}^2$$

- D'après tableau I2, la section normalisée est :  $S_{exc.}^c = \underline{2,22 \text{ mm}^2}$

- On adopte les mêmes de type de conducteurs que pour la machine non compensée d'où :

Diamètre du conducteur nu : 1,68 mm

Diamètre du conducteur isolé : 1,91 mm

$$\text{Préalablement : } F_{exc.max.}^c = \frac{3800 \cdot S_{exc.}^c \cdot U_n}{l_{exc.moy.}}$$

$$F_{exc.max.}^c = \frac{3800 \cdot 2,22 \cdot 220}{73} = \underline{25424 \text{ At}}$$

II - Courant d'excitation maximum : ( Préalable )

$$* \quad I_{exc.max.} = \Delta_{exc.} \cdot S_{exc.}$$

$\Delta_{exc.}$  : Densité de courant de l'enroulement d'excitation .

Pour les machines dont la classe d'isolation est F et diamètre d'induit  $D = ( 20 \div 50 )$  cm :  $\Delta_{exc.} = ( 2,5 \div 4 )$  A / mm<sup>2</sup>

$$I_{exc.max.} = ( 2,5 \div 4 ) \cdot 2,78$$

$$I_{exc.max.} = ( 6,95 \div 11,12 ) \text{ A}$$

$$* \quad I_{exc.max.}^c = \Delta_{exc.} \cdot S_{exc.}^c$$

$$I_{exc.max.}^c = ( 2,5 \div 4 ) \cdot 2,22$$

$$I_{exc.max.}^c = ( 5,55 \div 8,88 ) \text{ A}$$

I2 - Nombre de spires par pôle de l'enroulement d'excitation :

$$* \quad w_{exc.} = \frac{F_{exc.max.}}{2p \cdot I_{exc.max.}}$$

$$w_{exc.} = \frac{31837}{4 \cdot ( 6,95 \div 11,12 )}$$

$$w_{exc.} = ( 1145 \div 716 )$$

On choisit :  $w_{exc.} = \underline{935}$  Spires par pôle

$$* \quad w_{exc.}^c = \frac{F_{exc.max.}^c}{2p \cdot I_{exc.max.}^c}$$

$$w_{exc.}^c = \frac{25424}{4 \cdot ( 5,55 \div 8,88 )}$$

$$w_{exc.}^c = ( 1145 \div 716 )$$

On adopte :  $w_{exc.}^c = \underline{740}$  Spires par pôle

- Pour assurer un meilleur refroidissement on divise l'enroulement d'excitation en deux parties en hauteur entre lesquelles on laisse un canal de ventilation où est logé l'enroulement stabilisé .

( Voir schémas IO et II ) .

III - 6 : Résistance de l'enroulement d'excitation :

\* - à la température 20°C :

$$r_{exc.} (20^{\circ}C) = \frac{2p \cdot w_{exc.} \cdot l_{exc.moy.}}{5600 \cdot S_{exc.}}$$

$$r_{exc.} (20^{\circ}C) = \frac{4 \cdot 935 \cdot 73}{5600 \cdot 2,78} = \underline{17,5 \Omega}$$

- à la température 115°C :

$$r_{exc.} (115^{\circ}C) = k_{\theta} \cdot r_{exc.} (20^{\circ}C)$$

$$r_{exc.} (115^{\circ}C) = 1,37 \cdot 17,5 = \underline{24,0 \Omega}$$

- à la température 140°C :

$$r_{exc.} (140^{\circ}C) = k_{\theta} \cdot r_{exc.} (20^{\circ}C)$$

$$r_{exc.} (140^{\circ}C) = 1,47 \cdot 17,5 = \underline{25,7 \Omega}$$

\* - à la température 20°C :

$$r_{exc.}^c (20^{\circ}C) = \frac{2p \cdot w_{exc.}^c \cdot l_{exc.moy.}}{5600 \cdot S_{exc.}^c}$$

$$r_{exc.}^c (20^{\circ}C) = \frac{4 \cdot 740 \cdot 73}{5600 \cdot 2,22} = \underline{17,4 \Omega}$$

- à la température 115°C :

$$r_{exc.}^c (115^{\circ}C) = k_{\theta} \cdot r_{exc.}^c (20^{\circ}C)$$

$$r_{exc.}^c (115^{\circ}C) = 1,37 \cdot 17,4 = \underline{23,8 \Omega}$$

- à la température 140°C :

$$r_{exc.}^c (140^{\circ}C) = k_{\theta} \cdot r_{exc.}^c (20^{\circ}C)$$

$$r_{exc.}^c (140^{\circ}C) = 1,47 \cdot 17,4 = \underline{25,6 \Omega}$$

13 - Courant d'excitation maximum : ( Calculé )

$$I_{exc.max.} = \frac{U_n}{r_{exc.} (140^{\circ}C)}$$

$$I_{exc.max.} = \frac{220}{25,7} = 8,56 \text{ A}$$

$$I_{exc.max.}^c = \frac{U_n}{r_{exc.}^c (140^\circ C)}$$

$$I_{exc.max.}^c = \frac{220}{25,6} = \underline{8,59 \text{ A}}$$

14 - F-m-m maximale de l'enroulement d'excitation : ( Calculée )

$$F_{exc.max.} = 2p \cdot w_{exc.} \cdot I_{exc.max.}$$

$$F_{exc.max.} = 4 \cdot 935 \cdot 8,56 = \underline{32000 \text{ At}}$$

$$F_{exc.max.}^c = 2p \cdot w_{exc.}^c \cdot I_{exc.max.}^c$$

$$F_{exc.max.}^c = 4 \cdot 740 \cdot 8,59 = \underline{25430 \text{ At}}$$

15 - Courant nominal d'excitation :

$$I_{exc.n} = \frac{F_{exc.n}}{2p \cdot w_{exc.}}$$

$$I_{exc.n} = \frac{30968}{4 \cdot 935} = \underline{8,28 \text{ A}}$$

$$I_{exc.n}^c = \frac{F_{exc.n}^c}{2p \cdot w_{exc.}^c}$$

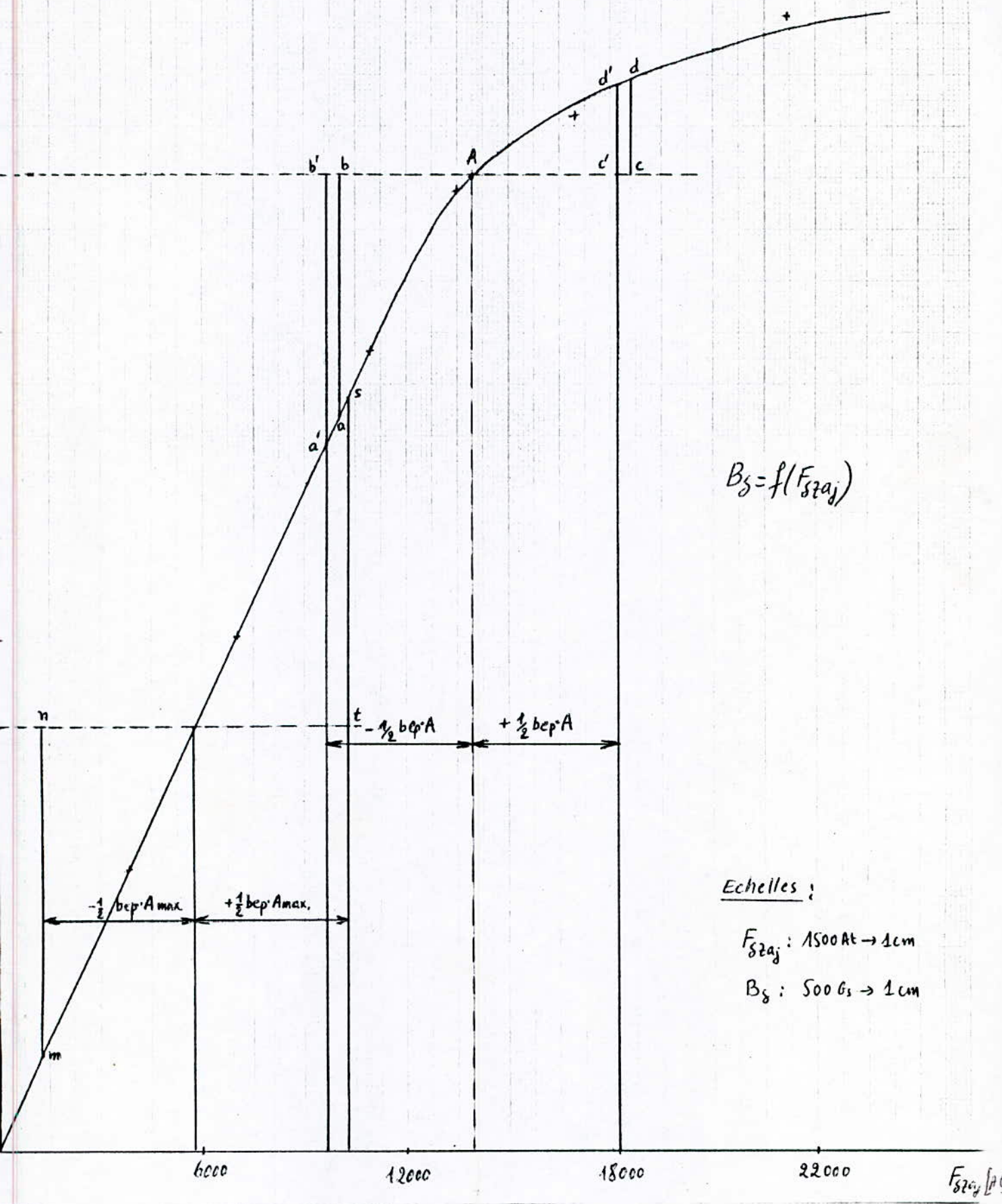
$$I_{exc.n}^c = \frac{24508}{4 \cdot 740} = \underline{8,28 \text{ A}}$$

TABLEAU - E :

	Température maximale					Température de travail	
Classe d'isolement	A	E	B	F	H	A, E, B	F, H
Température °C	110	115	120	140	165	75	115
$k_\theta$	1,32	1,37	1,40	1,47	1,57	1,22	1,37

( T - E )

Fig-9



$B_s = f(F_{szaj})$

Echelles :

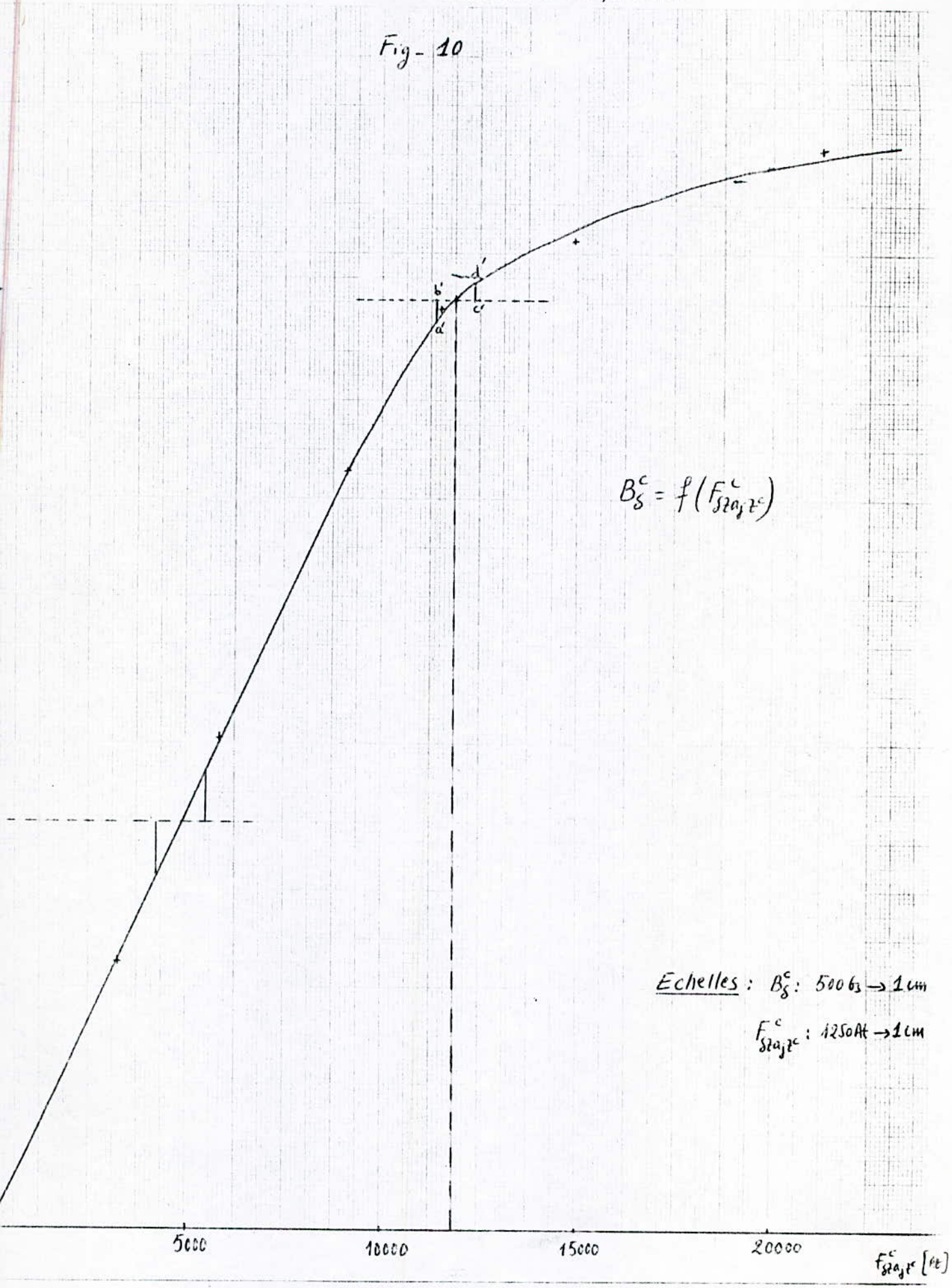
$F_{szaj} : 1500 \text{ At} \rightarrow 1 \text{ cm}$

$B_s : 500 \text{ G}_s \rightarrow 1 \text{ cm}$

$B_S^c [G_s]$

Machine compensée

Fig- 10



$$B_S^c = f(F_{sta, r}^c)$$

Echelles :  $B_S^c : 500 G_s \rightarrow 1 \text{ cm}$

$F_{sta, r}^c : 1250 \text{ kg} \rightarrow 1 \text{ cm}$

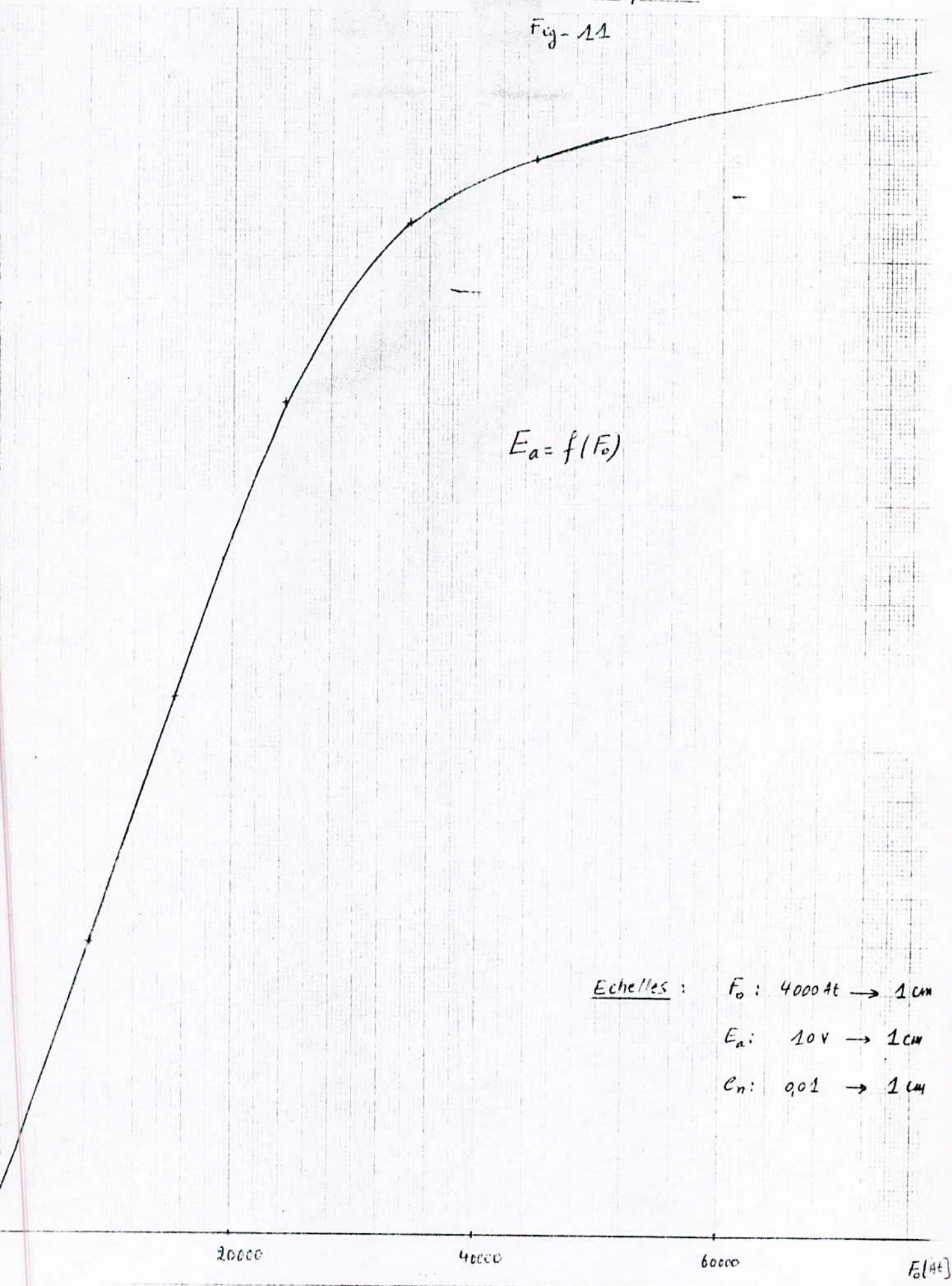
$F_{sta, r}^c [kg]$



$E_a (V), c_n [V/ct/(mn)]$

Machine non compensée

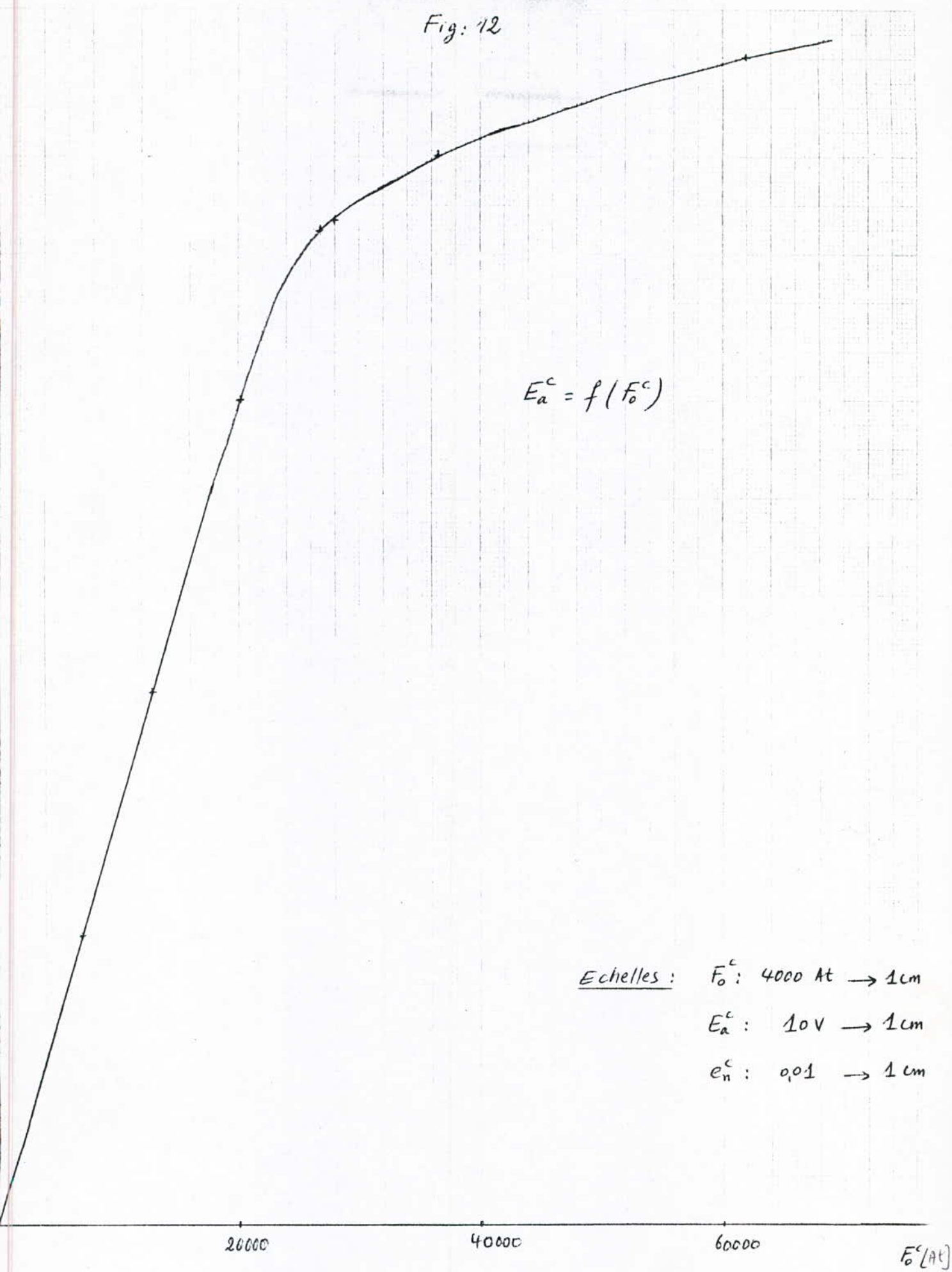
Fig- 11



$E_a^c [V], e_n^c [V/kr/min]$

Machine compensée

Fig: 12



CHAPITRE (IV)  
+++++

PERTES ET RENDEMENT  
-----

on distingue les pertes à vide et en charge

IV I - Pertes à vide :

Elles comprennent les pertes dans le fer et les pertes mécaniques

I - Poids du joug d'induit :

Il est donné par la relation suivante :

$$G_{aj} = 7,8 \cdot 2p \cdot L_{aj} \cdot S_{aj} \cdot 10^{-3}$$

$$L_{aj} = 22,22 \text{ cm ( pt . 66 - I )}$$

$$S_{aj} = 130,6 \text{ cm}^2 \text{ ( pt . 33 - I )}$$

$$\text{Densité de l'acier} = 7,8 \text{ g/cm}^3$$

$$G_{aj} = 7,8 \cdot 4 \cdot 22,22 \cdot 130,6 \cdot 10^{-3} = \underline{90,5 \text{ Kg.}}$$

2 - Poids des dents d'induit :

$$G_z = 7,8 \cdot Z \cdot h_z \cdot k_c \cdot l \cdot b_{z2} \cdot 10^{-3}$$

$$h_z = 3,1 \text{ cm}$$

$$b_{z2} = 1,72 \text{ cm}$$

$$k_c = 0,93$$

$$Z = 42$$

$$l = 18 \text{ cm}$$

$$G_z = 7,8 \cdot 42 \cdot 3,1 \cdot 0,93 \cdot 18 \cdot 1,72 \cdot 10^{-3} = \underline{29,2 \text{ Kg.}}$$

3 - Fréquence du cycle d'aimantation :

$$f = \frac{p \cdot N}{60}$$

$$f = \frac{2 \cdot 1000}{60} = 33,3 \text{ Hz}$$

4 - Pertes d'acier dans le joug d'induit :

Elles sont données par la relation :

$$P_{ac \ aj} = C_{aj} \cdot \left( \frac{B_{aj}}{10000} \right)^2 \cdot G_{aj}$$

$C_{aj}$  : pertes spécifiques de l'acier  $\ni 330$

$$C_{aj} = p (\ni II) \cdot \{ (\ni 330) \}$$

$\bar{p}$  ( $\exists$  II) : pertes spécifiques de l'acier  $\exists$  II pris comme référence pour les calculs.

$\gamma$  ( $\exists$  330) : Facteur multiplicatif relatif à la nuance d'acier utilisé

$B_{aj}$  : induction dans le joug d'induit correspondant à :  $E_{an} = 204,4$  V  
tirée du tableau C :  $B_{aj} = 14000$  Gs

D'après les tableaux I3 et I4 on a :

$$\bar{p} (\exists \text{ II}) = 6,9 \text{ W/Kg}$$

$$\gamma (\exists 330) = 0,32.$$

$$C_{aj} = 6,9 \cdot 0,32 = \underline{2,21 \text{ W/Kg}}$$

on a enfin :

$$P_{ac \text{ aj}} = 2,21 \cdot \left( \frac{14000}{10000} \right)^2 \cdot 90,5 = \underline{392 \text{ W}}$$

$$\ast \quad P_{ac \text{ aj}}^c = C_{aj} \cdot \left( \frac{B_{aj}^c}{10000} \right)^2 \cdot G_{aj}$$

$$B_{aj}^c = B_{aj} = 14000 \text{ Gs.}$$

$$\text{donc : } P_{ac \text{ aj}}^c = P_{ac \text{ aj}} = \underline{392 \text{ W.}}$$

### 5 - Pertes d'acier dans les dents d'induit :

Elles sont données par la relation

$$\ast \quad P_{ac \text{ Z}} = G_Z \cdot \left( \frac{B_{Z2}}{10000} \right)^2 \cdot G_Z$$

$$B_{Z2} = B_{Z1/3} \cdot \frac{b_{Z1/3}}{b_{Z2}}$$

$B_{Z1/3}$  : induction au 1/3 de la hauteur des dents d'induit correspondant à :  $E_{an} = 204,4$  V , elle est tirée du tableau C (T.C) :

$$B_{Z1/3} = 19480 \text{ Gs}$$

$$B_{Z2} = 19480 \cdot \frac{1,64}{1,72} = 18570 \text{ Gs}$$

$$C_Z = p (\varnothing II) \cdot \left\{ (\varnothing 330) \right\}$$

D'après les tableaux I3 et I4 on a :  $p (\varnothing II) = 11,7 \text{ W / Kg}$

$$\left\{ (\varnothing 330) \right\} = 0,32$$

$$C_Z = 11,7 \cdot 0,32 = 3,74$$

On a donc :  $P_{ac Z} = 3,74 \cdot \left( \frac{18570}{10000} \right)^2 \cdot 29,2 = \underline{377 \text{ W}}$

$$P_{ac Z}^c = C_Z \cdot \left( \frac{B_{Z2}^c}{10000} \right)^2 \cdot G_Z$$

$$B_{Z2}^c = B_{Z2} \quad \text{D'où : } P_{ac Z}^c = P_{ac Z} = \underline{377 \text{ W}}$$

6 - Pertes dans les dents d'induit des pôles principaux :

$$P_{ac Zc} = C_Z^c \cdot \left( \frac{B_{Z2c}^c}{10000} \right)^2 \cdot G_Z^c$$

$$B_{Z2c}^c = B_{Z1/3}^c \cdot \frac{b_{Z1/3}^c}{b_{Z2}^c}$$

$B_{Z1/3}^c = 15950 \text{ Gs}$  : Valeur de l'induction pour :  $E_{an} = 204,8 \text{ V}$  tirée du tableau D ( T - D )

$$B_{Z2c}^c = 15950 \cdot \frac{2,28}{2,34} = \underline{15540 \text{ Gs}}$$

- Connaissant  $B_{Z2}^c$ , à partir des tableaux I3 et I4 on tire :

$$p (\varnothing II) = 8,5 \text{ W / Kg}$$

$$\left\{ (\varnothing 330) \right\} = 0,32$$

$$C_Z^c = 8,5 \cdot 0,32 = 2,72$$

Poids des dents des pôles principaux :

$$G_Z^c = 7,8 \cdot Z^c \cdot h_Z^c \cdot k_c \cdot 1 \cdot b_{Z2}^c \cdot 10^{-3}$$

$$G_Z^c = 7,8 \cdot 24 \cdot 2,18 \cdot 0,93 \cdot 18 \cdot 2,34 \cdot 10^{-3} = \underline{16 \text{ Kg}}$$

On a enfin :  $P_{ac Zc} = 2,72 \cdot \left( \frac{15540}{10000} \right)^2 \cdot 16 = \underline{105 \text{ W}}$

7 - Pertes spécifiques de surface de l'épanouissement des pôles :

Elles sont définies comme suit :

$$* \quad p_{\text{surf.}} = k_o \cdot \left( \frac{Z \cdot N_n}{10000} \right)^{1,5} \cdot \left( \frac{B_o \cdot t_I}{1000} \right)^2$$

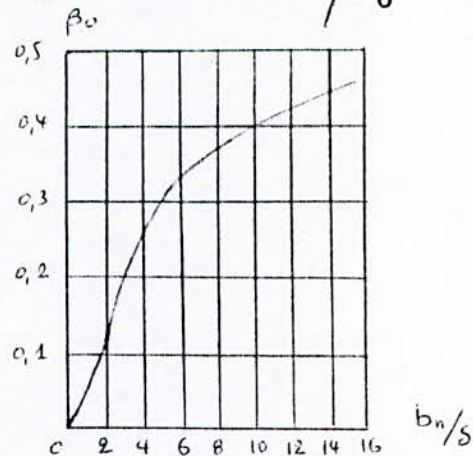
$k_o = 2$  : Coefficient de correction .

$$B_o = \beta_o \cdot k_\delta \cdot B_\delta$$

Connaissant :  $\delta = 0,7$  cm ;  $b_n = 1,21$  cm

$$\frac{b_n}{\delta} = \frac{1,21}{0,7} = 1,73$$

D'après figure ci-dessous on tire :  $\beta_o = 0,07$



$B_\delta = 9400$  Gs : Induction dans l'entrefer pour :

$E_{\text{an}} = 204,4$  V tirée du tableau C ( T - C ) .

$$B_o = 0,07 \cdot 1,24 \cdot 9400 = 816 \text{ Gs}$$

$$p_{\text{surf.}} = 2 \cdot \left( \frac{42 \cdot 1000}{10000} \right)^{1,5} \cdot \left( \frac{816 \cdot 3,16}{1000} \right)^2 = 114 \text{ W / m}^2$$

$$* \quad p_{\text{surf.}}^c = k_o \cdot \left( \frac{Z \cdot N_n}{10000} \right)^{1,5} \cdot \left( \frac{B_o^c \cdot t_I}{1000} \right)^2$$

$$B_o^c = \beta_o^c \cdot k_\delta^c \cdot B_\delta^c$$

- Connaissant :  $\delta^c = 0,45$  cm ;  $b_n = 1,21$  cm

$$\frac{b_n}{\delta^c} = \frac{1,21}{0,45} = 2,7$$

D'après figure ci-dessus on tire :  $\beta_o^c = 0,23$

$$B_o^c = 0,23 \cdot 1,60 \cdot 9420 = \underline{3467 \text{ Gs}}$$

$$p_{\text{surf.}}^c = 2 \cdot \left( \frac{42 \cdot 1000}{10000} \right)^{1,5} \cdot \left( \frac{3467 \cdot 3,16}{10000} \right)^2 = \underline{2066 \text{ W} / \text{m}^2}$$

### 8) - Pertes de surface totales:

$$\Sigma \quad P_{\text{surf.}} = 2p \cdot \tau \cdot \alpha_{\zeta} \cdot l \cdot p_{\text{surf.}} \cdot 10^{-4}$$

$$P_{\text{surf.}} = 4 \cdot 33,21 \cdot 0,65 \cdot 18 \cdot 114 \cdot 10^{-4} = \underline{18 \text{ W}}$$

$$\Sigma \quad P_{\text{surf.}}^c = 2p \cdot \tau \cdot \alpha_{\zeta} \cdot l \cdot p_{\text{surf.}}^c \cdot 10^{-4}$$

$$P_{\text{surf.}}^c = 4 \cdot 33,21 \cdot 0,65 \cdot 18 \cdot 2066 \cdot 10^{-4} = \underline{320 \text{ W}}$$

### 9 - Pertes totales d'acier :

$$\Sigma \quad P_{\text{ac t}} = P_{\text{ac aj}} + P_{\text{ac Z}} + P_{\text{surf.}}$$

$$P_{\text{ac t}} = 392 + 377 + 18 = \underline{787 \text{ W}}$$

$$\Sigma \quad P_{\text{ac t}}^c = P_{\text{ac aj}}^c + P_{\text{ac Z}}^c + P_{\text{ac Zc}} + P_{\text{surf.}}$$

$$P_{\text{ac t}}^c = 392 + 377 + 105 + 320 = \underline{1194 \text{ W}}$$

### 10 - Pertes mécaniques :

Pour les deux types de machines :

$$P_{\text{méc}} = (0,75 \div 2) \% \cdot P_n$$

$$P_{\text{méc}} = 0,75 \% \cdot 125 \cdot 10^3 = \underline{940 \text{ W}}$$

### 11 - Pertes mécaniques de frottement balais - collecteur :

Pour les deux types de machines:

$$P_b = 9,81 \cdot k_{fb} \cdot p_b \cdot S_b \cdot v_K$$

$$k_{fb} = 0,25 \quad : \text{ Coefficient de frottement.}$$

$$p_b = (0,15 \div 0,2) \text{ kgf/cm}^2$$

$$v_K = \frac{\pi \cdot D_K \cdot N_n}{6000} = \frac{3,14 \cdot 31,72 \cdot 1000}{6000} = 16,6 \text{ m/s.}$$



$$S_b = 2p \cdot N'_b \cdot b_b \cdot l_b$$

$$S_b = 4 \cdot 3 \cdot 2,5 \cdot 4 = 120 \text{ cm}^2$$

$$\text{D'où : } P_b = 9,81 \cdot 0,25 \cdot 0,15 \cdot 120 \cdot 16,6 = \underline{733 \text{ W}}$$

#### I2 - Pertes mécaniques totales :

Pour les deux types de machines :

$$P_{\text{méc t}} = P_{\text{méc}} + P_b$$

$$P_{\text{méc t}} = 940 + 733 = \underline{1673 \text{ W}}$$

#### IV - 2 Pertes en charge :

Il s'agit des pertes dans les différents enroulements:

#### I3 - Pertes joules dans l'enroulement d'induit.

$$P_{\text{cu a}} = I_{\text{an}}^2 \cdot r_a \text{ (115°C)}$$

$$P_{\text{cu a}} = 625^2 \cdot 0,0137 = \underline{5350 \text{ W}}$$

#### I4 - Pertes joules dans l'enroulement des pôles auxiliaires :

$$\pi \quad P_{\text{cu x}} = I_{\text{an}}^2 \cdot r_x \text{ (115°C)}$$

$$P_{\text{cu x}} = 625^2 \cdot 0,0072 = \underline{2810 \text{ W}}$$

$$\pi \quad P_{\text{cu x}}^c = I_{\text{an}}^2 \cdot r_x^c \text{ (115°C)}$$

$$P_{\text{cu x}}^c = 625^2 \cdot 0,0014 = \underline{547 \text{ W}}$$

#### I5 - Pertes joules dans l'enroulement stabilisé :

$$\pi \quad P_{\text{cu St}} = I_{\text{an}}^2 \cdot r_{\text{St}} \text{ (115°C)}$$

$$P_{\text{cu St}} = 625^2 \cdot 0,0009 = \underline{350 \text{ W}}$$

$$\pi \quad P_{\text{cu St}}^c = I_{\text{an}}^2 \cdot r_{\text{St}}^c \text{ (115°C)}$$

$$P_{\text{cu St}}^c = 625^2 \cdot 0,0004 = \underline{156 \text{ W}}$$

#### I6 - Pertes joules dans l'enroulement de compensation :

16 - Pertes joules dans l'enroulement de compensation :

$$P_{cu}^c = I_{an}^2 \cdot r^c (115^\circ C)$$

$$P_{cu}^c = 625^2 \cdot 0,0055 = \underline{2148 \text{ W}}$$

17 - Pertes dues au contact balais - collecteur :

Pour les deux types de machines on a :

$$P_{bK} = 2 \cdot \Delta U_b \cdot I_{an}$$

$$P_{bK} = 2 \cdot 625 = \underline{1250 \text{ W}}$$

18 - Pertes joules totales dans le circuit d'induit :

$$\times \quad P_{cu \ t} = P_{cu \ a} + P_{cu \ x} + P_{cu \ St} + P_{bK}$$

$$P_{cu \ t} = 5350 + 2810 + 350 + 1250 = \underline{9760 \text{ W}}$$

$$\times \quad P_{cu \ t}^c = P_{cu \ a}^c + P_{cu \ x}^c + P_{cu \ St}^c + P_{cu}^c + P_{bK}$$

$$P_{cu \ t}^c = 5350 + 547 + 156 + 2148 + 1250 = \underline{9450 \text{ W}}$$

19 - Pertes joules dans l'enroulement d'excitation :

$$\times \quad P_{cu \ exc} = I_{exc \ n}^2 \cdot r_{exc} (140^\circ C)$$

$$P_{cu \ exc} = 8,28^2 \cdot 25,7 = \underline{1762 \text{ W}}$$

$$\times \quad P_{cu \ exc}^c = I_{exc \ n}^{c2} \cdot r_{exc}^c (140^\circ C)$$

$$P_{cu \ exc}^c = 8,28^2 \cdot 25,6 = \underline{1756 \text{ W}}$$

20 - Pertes joules totales dans l'enroulement d'excitation :

Pour les deux types de machines on a :

$$P_{exc} = U_n \cdot I_{exc \ n}$$

$$P_{exc} = 220 \cdot 8,28 = \underline{1820 \text{ W}}$$

21 - Pertes supplémentaires :

- \* Pour les machines non compensées, elles sont estimées à 0,5 % de la puissance nominale:

$$P_{\text{supp}} = 0,005 \cdot P_n$$

$$P_{\text{supp}} = 0,005 \cdot 125 \cdot 10^3 = \underline{625 \text{ W}}$$

- \* Pour les machines compensées, les pertes supplémentaires sont négligeables :

$$P_{\text{supp}}^c = 0$$

22 - Pertes totales dans la machine :

$$\sum P = P_{\text{act}} + P_{\text{méc}} + P_{\text{cu}} + P_{\text{exc}} + P_{\text{supp}}$$

$$\sum P = 787 + 1673 + 9760 + 1820 + 625 = \underline{14,67 \text{ KW}}$$

$$\sum P^c = P_{\text{act}}^c + P_{\text{méc}}^c + P_{\text{cu}}^c + P_{\text{exc}}^c + P_{\text{supp}}^c$$

$$\sum P^c = 1194 + 1673 + 9450 + 1820 + 0 = \underline{14,14 \text{ KW}}$$

23 - Puissance absorbée :

Pour les deux types de machines :

$$P_{\text{In}} = U_n \cdot I_n \cdot 10^{-3}$$

$$I_n = I_{\text{an}} + I_{\text{exc n}}$$

$$I_n = 625 + 8,28 = \underline{633,28 \text{ A}}$$

$$P_{\text{In}} = 220 \cdot 633,28 \cdot 10^{-3} = \underline{139,32 \text{ KW}}$$

24 - Puissance utile :

$$P_{2n} = P_{\text{In}} - \sum P$$

$$P_{2n} = 139,32 - 14,67 = \underline{124,65 \text{ KW}}$$

$$P_{2n}^c = P_{\text{Im}} - \sum P^c$$

$$P_{2n}^c = 139,32 - 14,14 = \underline{125,18 \text{ KW}}$$

IV - 3 - Rendement :

$$\pi \quad \eta_n(\%) = \frac{P_{2n}}{P_{In}} \cdot 100$$

$$\eta_n(\%) = \frac{124,65}{139,32} \cdot 100 = \underline{89,5\%}$$

$$\pi \quad \eta_n^c(\%) = \frac{P_{2n}^c}{P_{In}} \cdot 100$$

$$\eta_n^c(\%) = \frac{125,18}{139,32} \cdot 100 = \underline{89,9\%}$$

CHAPITRE (V)  
+ +

C A R A C T E R I S T I Q U E S D E T R A V A I L

- I - Regime en charge pour la vitesse nominale :

on se propose de déterminer :  $N = \Gamma_u - I - P_I - \eta = f(P_2)$

I - Pertes à vide :

$$\ast P_{oa} = P_{act} + P_{mect}$$

$$P_{oa} = 787 + 1673 = \underline{2460 \text{ W}}$$

$$\ast P_{oa}^c = P_{act}^c + P_{mect}$$

$$P_{oa}^c = 1194 + 1673 = \underline{2867 \text{ W}}$$

2 - Fmm de la reaction d'induit :

$$\ast F_{ra} = 2p \cdot F_{qdn} \cdot \frac{I_a}{I_{an}}$$

$$F_{ra} = 4 \cdot 755 \cdot \frac{I_a}{625} = \underline{4,83 I_a} \text{ (At)}$$

$$\ast F_{ra}^c = 2p \cdot F_{qdn}^c \cdot \frac{I_a^c}{I_{an}}$$

$$F_{ra}^c = 4 \cdot 20 \cdot \frac{I_a^c}{625} = \underline{0,13 I_a^c} \text{ (At)}$$

$I_a$  : étant le courant d'induit

3 - Fem d'induit :

$$\ast E_a = U_n - I_a \left[ r_a(115^\circ\text{C}) + r_x(115^\circ\text{C}) + r_{st}(115^\circ\text{C}) + \frac{2\Delta U_b}{I_{an}} \right]$$

$$E_a = 220 - I_a \left( 0,0137 + 0,0072 + 0,0009 + \frac{2}{625} \right)$$

$$= \underline{(220 - 0,0250 I_a)} \text{ (V)}$$

$$\ast E_a^c = U_n - I_a^c \left[ r_a(115^\circ\text{C}) + r_x^c(115^\circ\text{C}) + r_{st}^c(115^\circ\text{C}) + r^c(115^\circ\text{C}) + \frac{2\Delta U_b}{I_{an}} \right]$$

$$E_a^c = 220 - I_a^c \left( 0,0137 + 0,0014 + 0,0055 + \frac{2}{625} + 0,0004 \right)$$

$$= \underline{(220 - 0,0242 I_a^c)} \text{ (V)}$$

4 - Fmm totale d'excitation :

$$\ast F_{exc_n} = 2p \cdot I_{exc_n} \cdot W_{exc}$$

$$F_{exc_n} = 4 \cdot 8,28 \cdot 935 = \underline{30967 \text{ At}}$$

$$F_{st} = 2p \cdot w_{st} \cdot I_a$$

$$F_{st} = 4 \cdot 2 \cdot I_a = \underline{8 I_a}$$

d'où :

$$F_{exc.E} = F_{exc.n} + F_{st} - F_{ra}$$

$$F_{exc.E} = 30967 + 8 \cdot I_a - 4,83 \cdot I_a \text{ (At)}$$

$$F_{exc.b} = \underline{30967 + 3,17 \cdot I_a} \text{ (At)}$$

$$* \quad F_{exc.n}^C = 2p \cdot I_{exc.n}^C \cdot w_{exc}^C$$

$$F_{exc.n}^C = 4 \cdot 8,28 \cdot 740 = 24508 \text{ At}$$

$$F_{st}^C = 2p \cdot w_{st}^C \cdot I_a^C$$

$$F_{st}^C = 4 \cdot 1 \cdot I_a^C = 4 \cdot I_a^C$$

D'où :

$$F_{exc.E}^C = F_{exc.n}^C + F_{st}^C - F_{ra}^C$$

$$F_{exc.E}^C = 24508 + 4I_a^C - 0,13 \cdot I_a^C = 24508 + 3,87 \cdot I_a^C \quad (\text{At})$$

5 - F e m par unité de vitesse :  $e_n$

$$* \quad \text{D'après figure II on tire :} \quad e_n = \frac{E_a}{N}$$

$$* \quad \text{D'après figure I2 on tire :} \quad e_n^C = \frac{E_a^C}{N^C}$$

6 - Vitesse de rotation :

$$* \quad N = \frac{E_a}{e_n}$$

$$* \quad N^C = \frac{E_a^C}{e_n^C}$$

7 - Courant total du moteur :

$$* \quad I = I_a + I_{exc.n}$$

$$I = I_a + 8,28$$

$$* \quad I^C = I_a^C + I_{exc}^C = I_a^C + 8,28$$

8 - Courant d'induit à vide :

$$* \quad I_{oa} = \frac{P_{oa}}{U_n}$$

$$I_{oa} = \frac{2460}{220} = \underline{\underline{11,2 \text{ A}}}$$

$$* \quad I_{oa}^C = \frac{P_{oa}^C}{U_n}$$

$$I_{oa}^C = \frac{2867}{220} = \underline{\underline{13,0 \text{ A}}}$$

9 - Puissance absorbée :

$$* \quad P_I = U_n \cdot I \cdot 10^{-3}$$

$$P_I = 220 \cdot I \cdot 10^{-3} = \underline{\underline{0,22 I}} \quad (\text{KW})$$

$$* P_I^c = U_n I^c 10^{-3}$$

$$P_I^c = 220 \cdot I^c \cdot 10^{-3} = \underline{0,22 I^c} \quad (\text{KW})$$

10 - Puissance utile :

$$* P_2 = (E_a \cdot I_a - P_{oa} - P_{\text{supp}} \left( \frac{I}{I_n} \right)^2) \cdot 10^{-3}$$

$$P_2 = (E_a \cdot I_a - 2460 - \frac{625}{(633,28)^2} \cdot I^2) \cdot 10^{-3}$$

$$\underline{P_2 = (E_a \cdot I_a - 2460 - 0,0016 \cdot I^2) \cdot 10^{-3}} \quad (\text{KW})$$

$$* P_2^c = (E_a^c \cdot I_a^c - P_{oa}^c - P_{\text{supp}}^c \left( \frac{I^c}{I_n^c} \right)^2) \cdot 10^{-3}$$

$$P_2^c = (E_a^c \cdot I_a^c - 2867 - 0) \cdot 10^{-3} = \underline{(E_a^c \cdot I_a^c - 2867) \cdot 10^{-3}} \quad (\text{KW})$$

11 - Couple utile :

$$* \Gamma_u = 973 \cdot \frac{P_2}{N}$$

$$* \Gamma_u^c = 973 \cdot \frac{P_2^c}{N^c}$$

12 - Rendement :

$$* \eta (\%) = \frac{P_2}{P_I} \cdot 100$$

$$* \eta^c (\%) = \frac{P_2^c}{P_I^c} \cdot 100$$

13 - Variation nominale de la vitesse :

C'est la variation de la vitesse lors du passage de la charge nominale à la marche à vide, variation exprimée en pourcent de la vitesse nominale  $N_n$ .

$$* \Delta N_n = \frac{N_o - N_n}{N_n} \cdot 100$$

$$\Delta N_n = \frac{1111 - 1000}{1000} \cdot 100 = \underline{11,1\%}$$

$$* \Delta N_n^c = \frac{N_o^c - N_n^c}{N_n^c} \cdot 100$$

$$\Delta N_n^c = \frac{1111 - 1000}{1000} \cdot 100 = \underline{11,1\%}$$

Les valeurs de  $N_o$  ET  $N_o^c$  sont tirées des tableaux F et G.

Elles correspondent à la marche à vide. Généralement :  $\Delta N_n = (2 \div 10) \%$



### TABLEAU F

Tableau de Valeurs des caractéristiques de travail du régime nominal en charge

|   |                  |       |       |        |        |        |        |        |        |
|---|------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $I_{exc}$   | A                | 8,28  | 8,28  | 8,28   | 8,28   | 8,28   | 8,28   | 8,28   | 8,28   |
| $I_a$   | A                | 11,2  | 50    | 200    | 400    | 500    | 625    | 780    | 930    |
| $E_u = 220 - 0,0250 I_a$                              | V                | 220   | 218,8 | 215    | 210    | 207,5  | 204,4  | 200,5  | 196,8  |
| $F_{exc E} = 30967 + 3,17 I_a$                        | At               | 31000 | 31126 | 31600  | 32235  | 32552  | 32948  | 33440  | 33915  |
| $e_n = \frac{E_u}{N}$                                 | $\frac{V}{tr/m}$ | 0,198 | 0,199 | 0,200  | 0,201  | 0,202  | 0,204  | 0,205  | 0,206  |
| $N = \frac{E_u}{e_n}$                                 | $tr/m$           | 1111  | 1099  | 1075   | 1044   | 1027   | 1000   | 978    | 955    |
| $I = I_a + 8,28$                                      | A                | 19,48 | 58,28 | 208,28 | 408,28 | 508,28 | 633,28 | 788,28 | 938,28 |
| $P_1 = 220 \cdot 10^{-3} I$                           | Kw               | 4,28  | 12,82 | 45,82  | 89,82  | 111,82 | 139,32 | 173,42 | 206,42 |
| $P_2 = \sqrt{E_u I_a - 2460 - 0,0016 I^2} \cdot 10^3$ | Kw               | 0     | 8,47  | 40,47  | 81,27  | 100,88 | 124,65 | 152,94 | 179,15 |
| $\Gamma_u = 973 \frac{P_2}{N}$                        | $kgf \cdot m$    | 0     | 7,50  | 36,63  | 75,74  | 95,58  | 121,23 | 152,15 | 182,53 |
| $\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100$                    | %                | 0     | 66,1  | 88,3   | 90,5   | 90,2   | 89,5   | 88,2   | 86,8   |

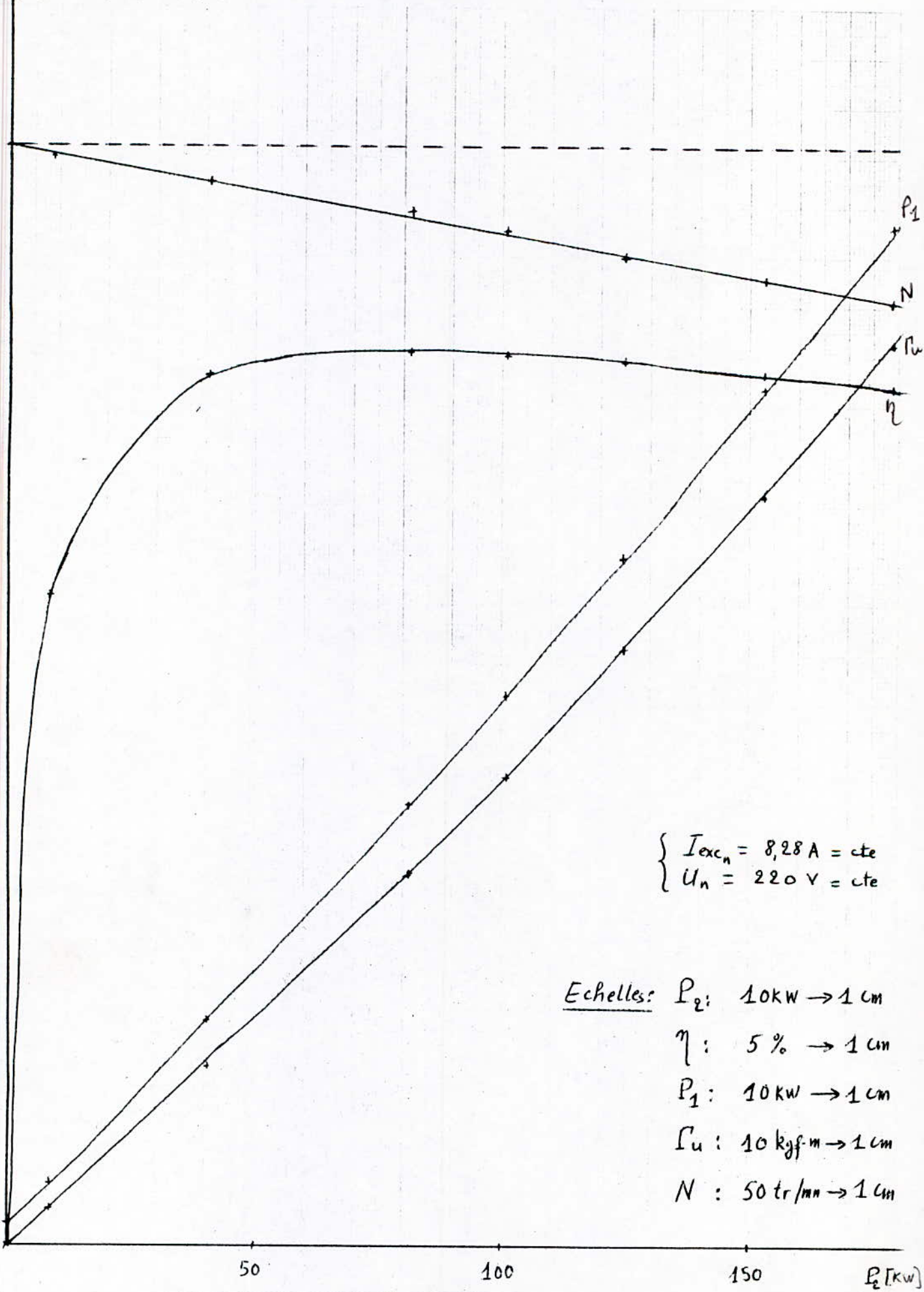
TABLEAU : G

Tableau de valeurs des caractéristiques de travail du régime nominal en charge :

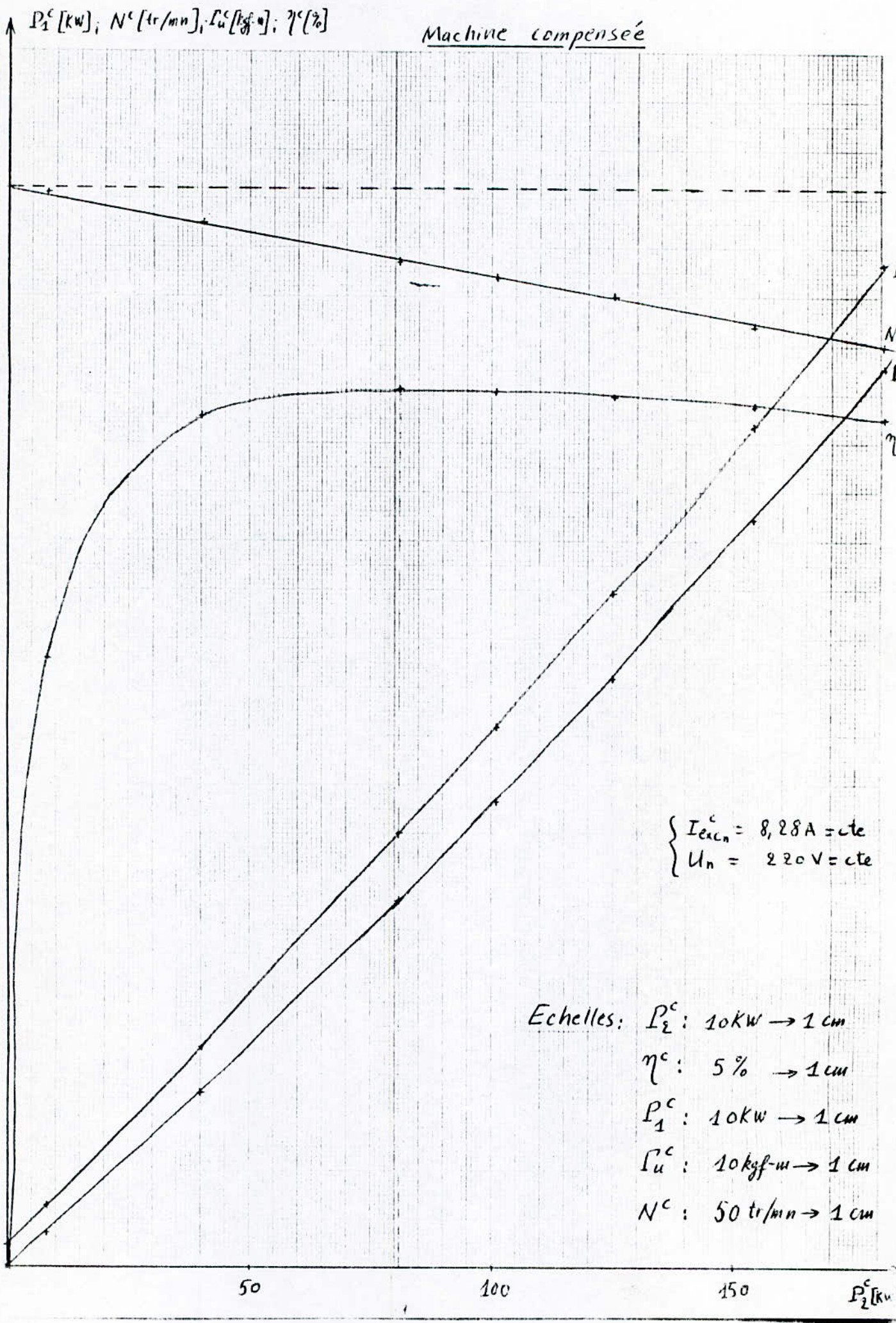
|  |                |       |       |        |        |        |        |        |        |
|--|----------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $I_{exc}$                                    | A              | 8,28  | 8,28  | 8,28   | 8,28   | 8,28   | 8,28   | 8,28   | 8,28   |
| $I_a^c$                                      | A              | 13    | 50    | 200    | 400    | 500    | 625    | 780    | 930    |
| $E_a^c = 220 - 0,0242 I_a^c$                 | V              | 220   | 218,8 | 215,2  | 210,3  | 207,9  | 204,8  | 201,1  | 197,5  |
| $F_{excE}^c = 24508 + 3,8 I_a^c$             | A.t            | 24558 | 24701 | 25282  | 26056  | 26443  | 26928  | 27527  | 28107  |
| $e_n^c = \frac{E_a^c}{N^c}$                  | $\frac{V}{\%}$ | 0,198 | 0,198 | 0,200  | 0,203  | 0,204  | 0,205  | 0,207  | 0,208  |
| $N^c = \frac{E_a^c}{e_n^c}$                  | $\frac{V}{mm}$ | 1111  | 1105  | 1076   | 1036   | 1019   | 1000   | 971    | 950    |
| $I^c = I_a^c + 8,28$                         | A              | 21,28 | 58,28 | 208,28 | 408,28 | 508,28 | 633,28 | 788,28 | 938,28 |
| $P_1^c = 220 \cdot 10^{-3} \cdot I^c$        | Kw             | 4,68  | 12,82 | 45,82  | 89,82  | 111,82 | 139,32 | 173,42 | 206,72 |
| $P_2^c = [E_a^c I_a^c - 2867] \cdot 10^{-3}$ | Kw             | 0     | 8,07  | 40,17  | 81,25  | 101,08 | 125,18 | 153,99 | 180,80 |
| $\Gamma_u^c = \frac{P_2^c}{N^c} \cdot 973$   | Kgf.m          | 0     | 7,11  | 36,32  | 76,31  | 96,51  | 124,8  | 154,31 | 185,18 |
| $\eta^c = \frac{P_2^c}{P_1^c} \cdot 100$     | -              | 0     | 62,9  | 87,7   | 90,5   | 90,4   | 89,9   | 88,8   | 87,6   |

Machine non compensée

$P_1$  [kw];  $N$  [tr/mn];  $\Gamma_u$  [kgf-m];  $\eta$  [%]



Machine compensée



V-2 - : Regime en charge pour la vitesse maximale :

On se propose dans cette partie d'étudier les caractéristiques de travail de notre machine pour le régime en charge nominale à la vitesse maximale .

$$N_{n \cdot \max} = 2,25 N_n$$

$$N_{n \cdot \max} = 2,25 \cdot 1000 = \underline{2250 \text{ tr/mn}}$$

I4 - Pertes à vide :

Les pertes à vide sont constante et sont données par la relation :

$$* \quad P_{oa} = P_{mec} \cdot \left( \frac{N_{n \cdot \max}}{N_n} \right)^2 + P_b \cdot \frac{N_{n \cdot \max}}{N_n} + P_{act}$$

$$P_{oa} = 940 \cdot \left( \frac{2250}{1000} \right)^2 + 733 \cdot \frac{2250}{1000} + 787 = \underline{7195 \text{ W}}$$

$$* \quad P_{oa}^c = P_{mec} \cdot \left( \frac{N_{n \cdot \max}}{N_n} \right)^2 + P_b \cdot \frac{N_{n \cdot \max}}{N_n} + P_{act}^c$$

$$P_{oa}^c = 940 \cdot \left( \frac{2250}{1000} \right)^2 + 733 \cdot \frac{2250}{1000} + 1194 = \underline{7600 \text{ W}}$$

I5 - Courant à vide :

$$* \quad I_{oa} = \frac{P_{oa}}{U_n} = \frac{7195}{220} = \underline{32,7 \text{ A}}$$

$$* \quad I_{oa}^c = \frac{P_{oa}^c}{U_n} = \frac{7600}{220} = \underline{34,5 \text{ A}}$$

I6 - Courant nominal du régime maximum :

$$* \quad I_{an(\max)} = I_{an} + I_{oa}$$

$$I_{an(\max)} = 625 + 32,7 = 657,5 \text{ A} \quad \longrightarrow \quad I_{an(\max)} = \underline{657 \text{ A}}$$

$$* \quad I_{an(\max)}^c = I_{an} + I_{oa}^c$$

$$I_{an(\max)}^c = 625 + 34,5 = 659,5 \text{ A} \quad \longrightarrow \quad I_{an(\max)}^c = \underline{659 \text{ A}}$$

I7 - F e m d'induit :

$$* \quad E_{an} = U_n - 0,0250 I_n$$

$$E_{an} = 220 - 0,0250 I_n$$

$$* \quad E_{an}^c = U_n - 0,0242 I_n^c$$

$$E_{an}^c = 220 - 0,0242 I_n^c$$

18 - Induction dans l'entrefer :

$$* \quad B_{\delta} = B_{\delta n} \cdot \frac{N_n}{N_{n(max)}}$$

$$B_{\delta} = 9400 \cdot \frac{1000}{2250} = \underline{4180 \text{ Gs}}$$

$$* \quad B_{\delta}^c = B_{\delta n}^c \cdot \frac{N_n}{N_{n(max)}}$$

$$B_{\delta}^c = 9420 \cdot \frac{1000}{2250} = \underline{4190 \text{ Gs}}$$

19 - Réaction d'induit démagnétisante :

$$* \quad F_{\text{adn}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{\Delta B_1' - \Delta B_2'}{\Delta B_1' + \Delta B_2'} \cdot b_{ep} \cdot A_{\text{max}}$$

$A_{\text{max}}$  : charge linéaire du courant pour le regime maximum

$$A_{\text{max}} = A \cdot \frac{I_{an(max)}}{I_{an}}$$

$$A_{\text{max}} = 395 \cdot \frac{657}{625} = \underline{415,2 \text{ A/cm}}$$

D'après figure 9 (fig 9) on a :

$$\Delta B_1' = mh = 3250 \text{ Gs}$$

$$\Delta B_2' = ts = 3200 \text{ Gs}$$

$$F_{\text{adn}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{3250 - 3200}{3250 + 3200} \cdot 21,6 \cdot 415,2 = \underline{12 \text{ At}}$$

$$* \quad F_{\text{adn}}^c \approx 0$$

Car la valeur  $\frac{1}{2} b_{ep} \cdot A_{\text{max}}^c$  est très faible donc on se trouve sur la

partie linéaire de la courbe .  $B_{\delta}^c = f(F_{\delta}^c)$  (FIG.10)

20 - F m m D'excitation totale nominale ;

$$* \quad e_n = \frac{E_{an}}{N_n}$$

$$e_n = \frac{220 - 0,0250 I_{an(max)}}{N_n}$$

$$e_n = \frac{220 - 0,0250 \cdot 657}{2250} = \frac{203,6}{2250} = \underline{0,0905}$$

D'après figure II  $e_n = f(F_o)$  on tire :  $F_{\text{exc.E}} = \underline{12600 \text{ At}}$

$$* \quad e_n^c = \frac{E_{an}^c}{N}$$

$$e_n^c = \frac{220 - 0,0242 I_{an}(\max)}{2250}$$

$$e_n^c = \frac{220 - 0,0242 \cdot 659}{2250} = \underline{0,0908}$$

D'après figure I2  $e_n^c = f(F_o^c)$  on tire :  $\underline{F_{exc.E}^c = 10480 \text{ At}}$

21 - F m m d'excitation nominale :

$$* \quad F_{exc.n} = F_{exc.E} + F_{qdt} - F_{st}$$

$$F_{st} = 2p w_{st} \cdot I_{an}(\max)$$

$$F_{st} = 4 \cdot 2 \cdot 657 = \underline{5256 \text{ At}}$$

$$F_{qdt} = 2p \cdot F_{qdn}$$

$$F_{qdt} = 4 \cdot I2 = \underline{48 \text{ At}}$$

d'où :

$$F_{exc.n} = 12600 + 48 - 5256 = \underline{7392 \text{ At}}$$

$$* \quad F_{exc.n}^c = F_{exc.E}^c + F_{qdt}^c - F_{st}^c$$

$$F_{st}^c = 2p \cdot w_{st}^c \cdot I_{an}^c(\max) = 4 \cdot 1 \cdot 659 = \underline{2636 \text{ At}}$$

$$F_{qdt}^c = 0$$

d'où :

$$F_{exc.n}^c = 10480 + 0 - 2636 = \underline{7844 \text{ At}}$$

22 - F m m d'excitation totale :

pour un courant d'induit  $I_a$  :

$$* \quad F_{exc.E} = F_{exc.n} + F_{st} - F_{qdt}$$

$$F_{st} = 2p \cdot w_{st} \cdot I_a$$

$$F_{st} = 4 \cdot 2 \cdot I_a = \underline{8 \cdot I_a}$$

$$F_{qdt} = 2p \cdot F_{qdn} \cdot \frac{I_a}{I_{an}}$$

$$F_{qdt} = 4 \cdot I2 \cdot \frac{I_a}{657} = \underline{0,073 I_a}$$

$$F_{exc.E} = 7392 + 8 I_a - 0,073 I_a = 7392 + 7,93 I_a$$

$$* \quad P_{exc.E}^C = P_{exc.n}^C + P_{st}^C - P_{qdt}^C$$

$$P_{st}^C = 2p \cdot w_{st}^C \cdot I_a^C$$

$$P_{st}^C = 4 \cdot 1 \cdot I_a^C = 4 \cdot I_a^C$$

$$P_{qdt}^C = 0$$

$$P_{exc.E}^C = 7844 + 4 \cdot I_a^C$$

23 - Courant d'excitation nominal :

$$* \quad I_{exc.n} = \frac{P_{exc.n}}{2p \cdot w_{exc}}$$

$$I_{exc.n} = \frac{7392}{4 \cdot 935} = \underline{1,98 \text{ A}}$$

$$* \quad I_{exc.n}^C = \frac{P_{exc.n}^C}{2p \cdot w_{exc}^C}$$

$$I_{exc.n}^C = \frac{7844}{4 \cdot 740} = \underline{2,65 \text{ A}}$$

24 - Courant du moteur :

$$* \quad I = I_a + I_{exc.n}$$

$$I = I_a + 1,98$$

$$* \quad I^C = I_a^C + I_{exc.n}^C$$

$$I^C = I_a^C + 2,65$$

25 - Puissance consommée :

$$* \quad P_I = U_n \cdot I \cdot 10^{-3}$$

$$P_I = 220 \cdot I \cdot 10^{-3} = \underline{0,22 \cdot I} \quad (\text{KW})$$

$$* \quad P_I^C = U_n \cdot I^C \cdot 10^{-3}$$

$$P_I^C = 220 \cdot I^C \cdot 10^{-3} = \underline{0,22 \cdot I^C} \quad (\text{KW})$$

26 - Puissance fournie :

$$P_2 = [E_a \cdot I_a - P_{ca} - P_{suff.n}, \left(\frac{I}{I_n}\right)^2]$$



$$I_n = I_{an} + I_{exc.n}$$

$$I_n = 657 + 1,98 \approx 659 \text{ A}$$

$$P_2 = (E_a \cdot I_a - 7195 - \frac{625}{659^2} \cdot I^2) = \underline{(E_a \cdot I_a - 7195 - 0,0014 \cdot I^2)} \quad (\text{KW})$$

$$* \quad P_2^c = (E_a^c \cdot I_a^c - P_{oa}^c - P_{supp.n}^c \cdot \left(\frac{I}{I_n}\right)^2)$$

$$P_{supp.n}^c = 0 \quad (\text{point 2I - IV})$$

$$P_2^c = \underline{(E_a^c \cdot I_a^c - 7600)} \quad (\text{KW})$$

27 - Couple utile :

$$* \quad \Gamma_u = 973 \cdot \frac{P_2}{N} \quad (\text{Kgf-m})$$

$$* \quad \Gamma_u^c = 973 \cdot \frac{P_2^c}{N^c} \quad (\text{Kgf-m})$$

28 - Rendement :

$$* \quad \eta (\%) = \frac{P_2}{P_I} \cdot 100$$

$$= \quad \eta^c (\%) = \frac{P_2^c}{P_I^c} \cdot 100$$

29 - Variation nominale de la vitesse :

$$* \quad \Delta N_n = \frac{N_o - N_n}{N_n} \cdot 100$$

$$\Delta N_n = \frac{4000 - 2250}{2250} \cdot 100 = \underline{78 \%}$$

$$= \quad \Delta N_n^c = \frac{N_o^c - N_n^c}{N_n^c} \cdot 100$$

$$\Delta N_n^c = \frac{3188 - 2250}{2250} \cdot 100 = \underline{42 \%}$$

$N_o$  et  $N_o^c$  : vitesses à vide tirées des tableaux H et G

Tableaux de valeurs des caractéristiques de travail du régime nominal en charge pour la vitesse maximale.

|   |              |       |       |
|---|--------------|-------|-------|
| $I_{exc}$   | A            | 1,98  | 1,98  |
| $I_a$   | A            | 32,7  | 657   |
| $E_a = 220 - 0,0250 \cdot I_a$                                    | V            | 220   | 203,6 |
| $F_{excE} = 7392 + 7,93 \cdot I_a$                                | At           | 7651  | 12602 |
| $e_n = \frac{E_a}{N} = f(F_{excE})$                               | V/<br>tr/min | 0,055 | 0,090 |
| $N = \frac{E_a}{e_n}$   | tr/min       | 4000  | 2250  |
| $I = I_a + 1,98$  | A            | 34,7  | 659   |
| $P_2 = 0,22 \cdot I$  | KW           | 7,63  | 145   |
| $P_2 = [E_a \cdot I_a - 7195 - 0,0024 \cdot I_a^2] \cdot 10^{-3}$ | KW           | 0     | 126   |
| $\Gamma_u = 973 \cdot \frac{P_2}{N}$                              | KgP/m        | 0     | 54,2  |
| $\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100$                                | -            | 0     | 86,9  |

TABLEAU: H

|  |              |       |       |
|--|--------------|-------|-------|
| $I_{exc}^c$  | A            | 2,65  | 2,65  |
| $I_a^c$  | A            | 34,5  | 659   |
| $E_a^c = 220 - 0,0242 \cdot I_a^c$                 | V            | 220   | 204,1 |
| $F_{excE}^c = 7844 + 4 \cdot I_a^c$                | At           | 7982  | 10480 |
| $e_n^c = \frac{E_a^c}{N^c} = f(F_{excE}^c)$        | V/<br>tr/min | 0,069 | 0,090 |
| $N^c = \frac{E_a^c}{e_n^c}$                        | tr/min       | 3188  | 2250  |
| $I^c = I_a^c + 2,65$                               | A            | 37,2  | 661,7 |
| $P_1^c = 0,22 \cdot I^c$                           | KW           | 8,18  | 145,6 |
| $P_2^c = [E_a^c \cdot I_a^c - 7600] \cdot 10^{-3}$ | KW           | 0     | 127,5 |
| $\Gamma_u^c = 973 \cdot \frac{P_2^c}{N^c}$         | KgP/m        | 0     | 54,7  |
| $\eta = \frac{P_2^c}{P_1^c} \cdot 100$             | -            | 0     | 87,6  |

TABLEAU: I

CHAPITRE (VI)  
+++++

=====  
CALCUL DU POIDS DE LA MACHINE  
=====

CHAPITRE (VI)  
+++++

CALCUL DU POIDS DE LA MACHINE

VI - CALCUL DU POIDS DE LA MACHINE  
 =0=0=0=0=0=0=0=0=0=0=0=0=0=

On se propose dans cette partie de calculer le poids de cuivre et d'acier utilisé dans la machine .

VI -I : Machine sans enroulement de compensation :

1 - Poids de cuivre de l'enroulement d'induit :

$$G_{\text{cu.a}} = N \cdot l_{\text{a moy.}} \cdot S_{\text{a}} \cdot \gamma_{\text{cu}} \cdot 10^{-5}$$

$$\gamma_{\text{cu}} = 8,9 \text{ g/cm}^3 : \text{Densité du cuivre}$$

$$N = 336 \quad (\text{pt. I5 - I})$$

$$l_{\text{a moy.}} = 61 \text{ cm} \quad (\text{pt. III - I})$$

$$S_{\text{a}} = 22,2 \text{ mm}^2 \quad (\text{pt. 22 - I})$$

$$G_{\text{cu.a}} = 336 \cdot 61 \cdot 22,2 \cdot 8,9 \cdot 10^{-5} = \underline{40,5 \text{ Kg}}$$

2 - POIDS de cuivre de l'enroulement des pôles auxiliaires:

$$G_{\text{cu.x}} = 2p \cdot w_{\text{x}} \cdot l_{\text{x moy.}} \cdot S_{\text{ex}} \cdot \gamma_{\text{cu}} \cdot 10^{-5}$$

$$w_{\text{x}} = 18 \quad (\text{pt. I7 - II})$$

$$l_{\text{x moy.}} = 63 \text{ cm} \quad (\text{pt -III - 2})$$

$$S_{\text{ex}} = 153,1 \text{ mm}^2 \quad (\text{pt. I8 - II})$$

$$G_{\text{cu.x}} = 4 \cdot 18 \cdot 63 \cdot 153,1 \cdot 8,9 \cdot 10^{-5} = \underline{61,8 \text{ Kg}}$$

3 - Poids de cuivre de l'enroulement stabilisé :

$$G_{\text{cu.st}} = 2p \cdot w_{\text{st}} \cdot l_{\text{st moy.}} \cdot S_{\text{st}} \cdot \gamma_{\text{cu}} \cdot 10^{-5}$$

$$w_{\text{st}} = 2 \quad (\text{pt. 7 - III})$$

$$l_{\text{st moy.}} = 75 \text{ cm} \quad (\text{pt. III - 3})$$

$$S_{\text{st}} = 163,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{pt. III - 3})$$

$$G_{\text{cu.st}} = 4 \cdot 2 \cdot 75 \cdot 163,6 \cdot 8,9 \cdot 10^{-5} = \underline{8,7 \text{ kg}}$$

#### 4 - Poids de Cuivre de l'enroulement d'excitation :

$$G_{\text{cu.exc}} = 2p \cdot w_{\text{exc}} \cdot l_{\text{exc moy}} \cdot S_{\text{exc}} \cdot \gamma_{\text{cu}} \cdot 10^{-5}$$

$$w_{\text{exc}} = 935 \quad (\text{pt. I2 - III})$$

$$l_{\text{exc. moy}} = 73 \text{ cm} \quad (\text{pt. IO - III})$$

$$S_{\text{exc}} = 2,78 \text{ mm}^2 \quad (\text{pt. IO - III})$$

$$G_{\text{cu.exc}} = 4 \cdot 935 \cdot 73 \cdot 2,78 \cdot 8,9 \cdot 10^{-5} = \underline{67,6 \text{ Kg}}$$

#### 5 - Poids totale de cuivre de la machine :

$$G_{\text{cu.t}} = G_{\text{cu.a}} + G_{\text{cu.st}} + G_{\text{cu.exc}} + G_{\text{cu.r}}$$

$$G_{\text{cu.t}} = 40,5 + 61,8 + 8,7 + 67,6 = \underline{178,6 \text{ Kg}}$$

#### 6 - Poids d'acier d'induit :

$$G_{\text{ac.a}} = G_{\text{ac.aj}} + G_{\text{ac.Z}} + G_{\text{ac.ar}} - G_{\text{ac.ca}}$$

$$G_{\text{ac.aj}} = 90,5 \text{ Kg} \quad (\text{pt. I - IV})$$

$$G_{\text{ac.Z}} = 29,2 \text{ Kg} \quad (\text{pt. 2 - IV})$$

$G_{\text{ac.ar}}$  : étant le poids de l'arbre

$$G_{\text{ac.ar}} = \pi \cdot \left(\frac{d_{\text{ar}}}{2}\right)^2 \cdot l \cdot \gamma_{\text{ac}} \cdot 10^{-3}$$

$$G_{\text{ac.ar}} = 3,14 \cdot \left(\frac{17,8}{2}\right)^2 \cdot 18 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = \underline{34,9 \text{ Kg}}$$

$G_{\text{ac.ca}}$  = étant le poids des canaux de ventilation :

$$G_{\text{ac.ca}} = (20 + 15) \cdot \left(\frac{d_{\text{K}}}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot l \cdot \gamma_{\text{ac}} \cdot 10^{-3}$$

$$G_{\text{ac.ca}} = 35 \cdot \left(\frac{2}{2}\right)^2 \cdot 3,14 \cdot 18 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = \underline{15,4 \text{ Kg}}$$

d'où :

$$G_{\text{ac.ca}} = 90,5 + 29,2 + 34,9 - 15,4 = \underline{139 \text{ Kg}}$$

#### 7 - Poids d'acier des pôles principaux :

$$G_{\text{ac.pp}} = G_{\text{ac.np}} + G_{\text{ac.ep}}$$

$G_{\text{ac.np}}$  : poids d'acier du noyau du pôle :

$$G_{\text{ac.np}} = 2p \cdot k_c \cdot H_{\text{pp}} \cdot b_{\text{pp}} \cdot l_{\text{np}} \cdot \gamma_{\text{ac}} \cdot 10^{-3}$$

$$H_{\text{pp}} = 9,4 \text{ cm} \quad (\text{Voir schéma IO})$$

$$G_{ac.np} = 4 \cdot 0,95 \cdot 9,4 \cdot 14 \cdot 18 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = \underline{70,2 \text{ Kg}}$$

$G_{ac.ep}$  : poids d'acier d'épanouissement pôleaire : (voir schéma IO)

$$G_{ac.ep} = 2p \cdot k_c \cdot l_{pp} \cdot 22 \cdot 3,6 \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$$G_{ac.ep} = 4 \cdot 0,95 \cdot 18 \cdot 22 \cdot 3,6 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = \underline{42,3 \text{ Kg}}$$

donc:

$$G_{ac.pp} = 70,2 + 42,3 = \underline{112,5 \text{ Kg}}$$

8 - POIDS d'acier des pôles auxiliaires :

$$G_{ac.px} = 2p \cdot H_{px} \cdot b_{px} \cdot l_{px} \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$H_{px} = 11 \text{ cm}$  : hauteur du pôle auxiliaire (voir schéma IO)

$$G_{ac.px} = 4 \cdot 11 \cdot 8 \cdot 18 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = \underline{49,4 \text{ Kg}}$$

9 - Poids d'acier de la culasse :

$$G_{ac.cul} = \pi \cdot \left( \frac{D_{ext}^2}{4} - \frac{(D_{ext} - h_{cu})^2}{4} \right) \cdot l_{cu} \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$$G_{ac.cul} = 3,14 \cdot \left( \frac{79,3^2}{4} - \frac{(79,3 - 6,2)^2}{4} \right) \cdot 31 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3}$$

$$G_{ac.cul} = \underline{179,4 \text{ Kg}}$$

10 - Poids total d'acier de la machine :

$$G_{ac_t} = G_{ac.a} + G_{ac.pp} + G_{ac.px} + G_{ac.cul}$$

$$G_{ac_t} = 139 + 112,5 + 49,4 + 179,4 = \underline{480 \text{ Kg}}$$

11 - poids totale de la machine :

$$G = G_{cu_t} + G_{ac_t}$$

$$G = 178,6 + 470 = \underline{648,6 \text{ Kg}}$$

$$G = \underline{650 \text{ Kg}}$$

VI - 2 : Machine avec enroulement de compensation :

I2 - Poids de cuivre de l'enroulement d'induit :

l'induit est le même pour les deux types de machines donc:

$$G_{cu.a}^c = G_{cu.a} = \underline{40,5 \text{ kg}}$$

I3 - Poids de cuivre de l'enroulement des pôles auxiliaires:

$$G_{cu.x}^c = 2p \cdot w_x^c \cdot l_{x.moy} \cdot S_{ex}^c \cdot \gamma_{cu} \cdot 10^{-5}$$

$$S_{ex}^c = 139,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{pt. I8 - II})$$

$$l_{x \text{ moy.}} = 63 \text{ cm} \quad (\text{pt. III - I})$$

$$w_x^c = 3 \quad (\text{pt. I7 - II})$$

$$G_{cu}^c = 4 \cdot 3 \cdot 63 \cdot 139,5 \cdot 8,9 \cdot 10^{-5} = \underline{9,4 \text{ Kg}}$$

I4 - Poids de cuivre de l'enroulement stabilisé :

$$G_{cu.st}^c = 2p \cdot w_{st}^c \cdot l_{st \text{ moy.}} \cdot S_{st} \cdot \gamma_{cu} \cdot 10^{-5}$$

$$w_{st}^c = 1 \quad (\text{pt. 7 - III})$$

$$l_{st \text{ moy.}} = 75 \text{ cm} \quad (\text{pt. III - 3})$$

$$S_{st} = 163,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{pt. III - 3})$$

$$G_{cu.st}^c = 4 \cdot 1 \cdot 163,6 \cdot 8,9 \cdot 10^{-5} = \underline{4,4 \text{ Kg}}$$

I5 - Poids de cuivre de l'enroulement d'excitation :

$$G_{cu.exc}^c = 2p \cdot w_{exc}^c \cdot l_{exc.moy} \cdot S_{exc}^c \cdot \gamma_{cu} \cdot 10^{-5}$$

$$w_{exc} = 740 \quad (\text{pt. I2 - III})$$

$$l_{exc \text{ moy.}} = 73 \text{ cm} \quad (\text{pt. I0 - III})$$

$$S_{exc}^c = 2,22 \text{ mm}^2 \quad (\text{pt. I0 - III})$$

$$G_{cu.exc}^c = 4 \cdot 740 \cdot 73 \cdot 2,22 \cdot 8,9 \cdot 10^{-5} = \underline{42,7 \text{ Kg}}$$

I6 - Poids de cuivre de l'enroulement de compensation :

$$G_{cu}^c = 2p \cdot w^c \cdot l_{moy}^c \cdot S^c \cdot \gamma_{cu} \cdot 10^{-5}$$

$$w^c = 6 \quad (\text{pt. III - 4})$$

$$l_{moy}^c = 86,3 \text{ cm} \quad (\text{pt. III - 4})$$

$$S^c = 92,7 \text{ mm}^2 \quad (\text{pt. 58 - I})$$

$$G_{cu}^c = 4 \cdot 6 \cdot 86,3 \cdot 92,7 \cdot 8,9 \cdot 10^{-5} = \underline{17,1 \text{ Kg}}$$



17 - Poids total de cuivre de la machine :

$$G_{cu}^C = G_{cu.a}^C + G_{cu.x}^C + G_{cu.st}^C + G_{cu.exc}^C + G_{cu}^C$$

$$G_{cu}^C = 40,5 + 9,4 + 4,4 + 42,7 + 17,1 = \underline{114,1 \text{ Kg}}$$

18 - Poids d'acier d' induit :

$$G_{ac.a}^C = G_{ac.a} = \underline{139 \text{ Kg}}$$

19 - Poids d'acier des pôles principaux :

$$G_{ac.pp}^C = G_{ac.np}^C + G_{ac.ep}^C - G_{ac.enc}^C$$

$$- G_{ac.np}^C = 2p \cdot k_c \cdot H_{pp}^C \cdot b_{pp} \cdot l_{pp} \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$$H_{pp}^C = 6,4 \text{ cm (d'après schéma II)}$$

$$G_{ac.np}^C = 4 \cdot 0,95 \cdot 6,4 \cdot 14 \cdot 18 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = \underline{47,8 \text{ Kg}}$$

$$- G_{ac.ep}^C = 2p \cdot k_c \cdot l_{pp} \cdot 24 \cdot 4 \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$$G_{ac.ep}^C = 4 \cdot 0,95 \cdot 18 \cdot 24 \cdot 4 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = \underline{51,2 \text{ Kg}}$$

$$- G_{ac.enc}^C : \text{ poids des encoches des pôles principaux}$$

$$G_{ac.enc}^C = 2p \cdot w^C \cdot k_c \cdot b_n^C \cdot h_n^C \cdot l_{pp} \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$$G_{ac.enc}^C = 4 \cdot 6 \cdot 0,95 \cdot 1,52 \cdot 2,18 \cdot 18 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = \underline{10,6 \text{ Kg}}$$

d'où

$$G_{ac.pp}^C = 47,8 + 51,2 - 10,6 = \underline{88,4 \text{ Kg}}$$

20 - Poids d'acier des pôles auxiliaires :

$$G_{ac.px}^C = 2p \cdot H_{px}^C \cdot b_{px}^C \cdot l_{px}^C \cdot \gamma_{ac} \cdot 10^{-3}$$

$$H_{px}^C = 9,2 \text{ cm hauteur du pôle auxiliaire (d'après schéma II)}$$

$$b_{px}^C = 8 \text{ cm (pt. I4 - II)}$$

$$l_{px}^C = 18 \text{ cm (pt. I4 - II)}$$

$$G_{ac.px}^C = 4 \cdot 9,2 \cdot 8 \cdot 18 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = \underline{41,3 \text{ Kg}}$$



## CONCLUSION

Les moteurs shunts à courant continu possèdent des caractéristiques de réglage souples et pour cette raison ils sont irremplaçables dans les installations où la vitesse doit être réglée dans de larges limites .

Ce projet nous a permis de connaître les avantages de l'enroulement de compensation ( bonne commutation , gain de cuivre et gain d'acier ) . Mais , la mise au point de cette enroulement présente des difficultés technologiques . Pour cela , il n'est employé que dans les machines de grandes puissances .

—oo0oo—

## BIBLIOGRAPHIE

— Construction de machines électriques (écrit en Russe) :

SERGEEV — VINOGRADOV — GORJAINOV

\* Machines électriques (T-1) : M. KOSTENKO — L. PIOTROVSKI

\* Calcul des machines électriques (T-2) : M. LIWSCHITZ — L. MARET

—oo0oo—

| Pn<br>(KW) | RE N D E M E N T (%)        |      |      |      |
|------------|-----------------------------|------|------|------|
|            | T E N S I O N (220 V)       |      |      |      |
|            | VITESSE DE ROTATION (tr/mn) |      |      |      |
|            | 750                         | 1000 | 1500 | 3000 |
| 25         | 83,5                        | 85,5 | 86,0 | 88,5 |
| 32         | 85,0                        | 85,0 | 87,5 | 84,0 |
| 42         | 86,0                        | 87,0 | 87,5 | 86,0 |
| 55         | 87,5                        | 87,5 | 87,0 | ---  |
| 75         | 88,0                        | 88,5 | 89,5 | ---  |
| 85         | 88,5                        | ---  | ---  | ---  |
| 110        | ---                         | 89,0 | 89,5 | ---  |
| 125        | ---                         | 90,0 | 90,0 | ---  |
| 160        | ---                         | ---  | 90,0 | ---  |
| 200        | ---                         | ---  | 91,0 | ---  |

( T - 2 )

| Pn (KW)    | k <sub>B</sub> |
|------------|----------------|
| I          | 0,2 - 0,08     |
| I - I0     | 0,1 - 0,0025   |
| I0 - I00   | 0,035 - 0,02   |
| I00 - I000 | 0,02 - 0,005   |

( T - 1 )

| D ( cm ) | Z / 2p  |
|----------|---------|
| 8 - 50   | 8 - 12  |
| 50 - 100 | 10 - 17 |
| 100      | 17 - 25 |

( T - 3 )

| b(mm), a(mm) | ) S E C T I O N ( ( mm <sup>2</sup> ) |       |       |       |       |       |       |
|--------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|              | 1,68                                  | 1,81  | 1,95  | 2,10  | 2,26  | 2,44  | 2,63  |
| 8,00         | 13,20                                 | 14,40 | 15,40 | 16,30 | 17,60 | 19,00 | 20,50 |
| 8,60         | 14,20                                 | 15,50 | 16,60 | 17,60 | 18,90 | 20,50 | 22,10 |
| 9,30         | 15,40                                 | 16,60 | 17,90 | 19,00 | 20,50 | 22,20 | 24,00 |
| 10,00        | 16,60                                 | 17,90 | 19,30 | 20,50 | 22,10 | 23,90 | 25,80 |
| 10,80        | 17,90                                 | 19,30 | 20,90 | 22,20 | 23,90 | 25,90 | 27,90 |
| 11,60        | ---                                   | ---   | ---   | 23,90 | 25,70 | 27,80 | 30,00 |
| 12,50        | ---                                   | ---   | ---   | 25,80 | 27,80 | 30,00 | 32,40 |

( T - 4 )

| Valeurs admissibles d'induction magnetique ( G <sub>s</sub> ) |               |
|---|---------------|
| Joug d'induit p > I   | 10000 à 15000 |
| Dents d'induit  | 21000 à 23000 |
| Noyau des poles   | 14000 à 15000 |
| Culasse   | 11000 à 13000 |

( T - 5 )

| P A L A I S<br>ELECTRO - GRAPHITIQUES | 2ΔU <sub>b</sub><br>( V ) | Δ <sub>b</sub><br>( A / cm <sup>2</sup> ) | V <sub>n</sub><br>( m/s ) | p <sub>b</sub> ( gf / cm <sup>2</sup> ) | Pn ( KW )                  |
|---------------------------------------|---------------------------|---|---------------------------|---|----------------------------|
| ЭГ 2a                                 | 2,6                       | 10  | 45                        | 200 à 250                               | 10<br>à<br>200<br>U < 1000 |
| ЭГ 4                                  | 2,0                       | 12  | 40                        | 150 à 200                               |                            |
| ЭГ 8                                  | 2,4                       | 10  | 40                        | 200 à 400                               |                            |
| ЭГ 14                                 | 2,5                       | 10 - 11                                   | 40                        | 200 à 400                               |                            |

( T - 6 )

|                       |       |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| S ( mm <sup>2</sup> ) | 1,911 | 2,06 | 2,22 | 2,38 | 2,57 | 2,78 | 2,99 | 3,20 |
| d ( mm )              | 1,56  | 1,62 | 1,68 | 1,74 | 1,81 | 1,88 | 1,95 | 2,02 |

( T - 12 )

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| b ( mm ) | 5,0  | 6,3  | 8,0  | 10,0 | 12,5 | 16,0 | 20,0 | 25,0 | 32,0 |
| l ( mm ) | 6,3  | 10,0 | 10,0 | 12,5 | 16,0 | 20,0 | 32,0 | 32,0 | 50,0 |
|          | 8,0  | 12,5 | 12,5 | 25,0 | 20,0 | 25,0 | 40,0 | 40,0 |      |
|          | 10,0 |      | 16,0 | 40,0 | 32,0 | 32,0 | 50,0 |      |      |
|          |      |      | 20,0 |      | 40,0 | 40,0 |      |      |      |
|          |      |      |      |      | 50,0 | 50,0 |      |      |      |

h = (6,3 + 80,0) mm

( T - 7 )

| SECTION ( mm <sup>2</sup> ) |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| b(mm)                       | a(mm) | 4,1   | 4,4   | 4,7   | 5,0   | 5,1   | 5,5   | 6,0   | 6,5 |
| 13,5                        | 54,5  | 58,5  | 62,6  | —     | 68,0  | 73,4  | 80,1  | 86,9  |     |
| 14,5                        | 58,6  | 62,9  | 67,3  | —     | 74,1  | 78,9  | 86,1  | 93,4  |     |
| 15,6                        | 63,1  | 67,6  | 72,4  | —     | 78,7  | 84,9  | 92,7  | 100,5 |     |
| 16,0                        | —     | —     | —     | 79,1  | —     | —     | 95,1  | —     |     |
| 16,8                        | 68,0  | 73,0  | 78,1  | —     | 84,8  | 91,5  | 99,9  | 108,3 |     |
| 18,0                        | 72,9  | 78,3  | 83,7  | —     | 90,9  | 98,1  | 107,1 | 116,1 |     |
| 19,5                        | 79,1  | 84,3  | 90,8  | —     | 98,6  | 106,4 | 116,1 | 126,9 |     |
| 20,0                        | —     | —     | —     | 99,1  | —     | —     | 119,1 | —     |     |
| 22,0                        | 89,1  | 95,8  | 102,5 | —     | 111,3 | 120,1 | 131,1 | 142,1 |     |
| 25,0                        | 101,4 | 109,1 | 116,5 | 124,1 | 126,6 | 136,6 | 149,1 | 161,6 |     |
| 26,3                        | 106,9 | 114,3 | 122,7 | —     | 133,2 | 143,8 | 156,9 | 170,1 |     |
| 28,0                        | 113,9 | 122,3 | 130,7 | —     | 141,9 | 153,1 | 167,1 | 181,1 |     |
| 30,0                        | 122,1 | 131,1 | 140,1 | 149,1 | 152,1 | 164,1 | —     | —     |     |
| 32,0                        | 139,9 | 139,3 | 149,5 | —     | 162,3 | 175,1 | —     | —     |     |
| 35,0                        | 142,6 | 153,1 | 163,6 | —     | —     | —     | —     | —     |     |

( T - 8 )

| B ( G ) | Acier |       |       |       |       | Electrotechnique |       |       |       |       | D 330 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         | 0     | 100   | 200   | 300   | 400   | 500              | 600   | 700   | 800   | 900   |       |
| 6000    | 0,81  | 0,83  | 0,85  | 0,87  | 0,89  | 0,91             | 0,93  | 0,95  | 0,97  | 0,99  |       |
| 7000    | 1,10  | 1,12  | 1,14  | 1,16  | 1,18  | 1,20             | 1,22  | 1,24  | 1,26  | 1,28  |       |
| 8000    | 1,30  | 1,32  | 1,34  | 1,36  | 1,38  | 1,40             | 1,42  | 1,44  | 1,46  | 1,49  |       |
| 9000    | 1,52  | 1,55  | 1,58  | 1,61  | 1,64  | 1,67             | 1,70  | 1,73  | 1,76  | 1,79  |       |
| 10000   | 1,82  | 1,85  | 1,88  | 1,92  | 1,95  | 1,98             | 2,01  | 2,04  | 2,07  | 2,10  |       |
| 11000   | 2,13  | 2,16  | 2,19  | 2,22  | 2,25  | 2,28             | 2,31  | 2,34  | 2,37  | 2,40  |       |
| 12000   | 2,43  | 2,46  | 2,49  | 2,52  | 2,55  | 2,58             | 2,61  | 2,64  | 2,67  | 2,71  |       |
| 13000   | 2,75  | 2,79  | 2,83  | 2,87  | 2,91  | 2,95             | 3,00  | 3,05  | 3,10  | 3,15  |       |
| 14000   | 3,20  | 3,26  | 3,32  | 3,38  | 3,44  | 3,50             | 3,58  | 3,66  | 3,74  | 3,82  |       |
| 15000   | 3,90  | 4,02  | 4,14  | 4,26  | 4,38  | 4,50             | 4,64  | 4,78  | 4,92  | 5,06  |       |
| 16000   | 5,20  | 5,44  | 5,66  | 5,88  | 6,10  | 6,32             | 6,65  | 6,98  | 7,32  | 7,66  |       |
| 17000   | 8,00  | 8,40  | 8,90  | 9,40  | 9,90  | 10,40            | 11,32 | 12,24 | 13,16 | 14,08 |       |
| 18000   | 15,00 | 15,42 | 17,00 | 19,22 | 21,44 | 23,66            | 25,88 | 28,20 | 30,80 | 34,50 |       |
| 19000   | 38,25 | 42    | 46    | 52    | 58    | 70               | 82    | 94    | 109   | 134   |       |
| 20000   | 160   | 200   | 250   | 300   | —     | —                | —     | —     | —     | —     |       |

( T - 9 )

| B ( G ) | A C I E R |       |       |       |       | C O U L É |       |       |       |       |
|---------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
|         | 0         | 100   | 200   | 300   | 400   | 500       | 600   | 700   | 800   | 900   |
| 0       | 0,00      | 0,08  | 0,16  | 0,24  | 0,32  | 0,40      | 0,48  | 0,56  | 0,64  | 0,72  |
| 1000    | 0,80      | 0,88  | 0,96  | 1,04  | 1,12  | 1,20      | 1,28  | 1,36  | 1,44  | 1,52  |
| 2000    | 1,60      | 1,68  | 1,76  | 1,84  | 1,92  | 2,00      | 2,08  | 2,16  | 2,24  | 2,32  |
| 3000    | 2,40      | 2,48  | 2,56  | 2,64  | 2,72  | 2,80      | 2,88  | 2,96  | 3,04  | 3,12  |
| 4000    | 3,20      | 3,28  | 3,36  | 3,44  | 3,52  | 3,60      | 3,68  | 3,76  | 3,84  | 3,92  |
| 5000    | 4,00      | 4,04  | 4,17  | 4,26  | 4,34  | 4,43      | 4,52  | 4,61  | 4,70  | 4,79  |
| 6000    | 4,88      | 4,97  | 5,06  | 5,16  | 5,25  | 5,35      | 5,44  | 5,54  | 5,64  | 5,74  |
| 7000    | 5,84      | 5,93  | 6,03  | 6,13  | 6,23  | 6,32      | 6,42  | 6,52  | 6,62  | 6,72  |
| 8000    | 6,82      | 6,93  | 7,03  | 7,24  | 7,34  | 7,45      | 7,55  | 7,66  | 7,76  | 7,87  |
| 9000    | 7,98      | 8,10  | 8,23  | 8,35  | 8,48  | 8,50      | 8,73  | 8,85  | 8,98  | 9,11  |
| 10000   | 9,24      | 9,38  | 9,53  | 9,69  | 9,86  | 10,04     | 10,22 | 10,39 | 10,56 | 10,73 |
| 11000   | 10,90     | 11,08 | 11,27 | 11,47 | 11,67 | 11,87     | 12,07 | 12,27 | 12,48 | 12,69 |
| 12000   | 12,90     | 13,15 | 13,40 | 13,70 | 14,00 | 14,30     | 14,60 | 14,90 | 15,20 | 15,55 |
| 13000   | 15,90     | 16,30 | 16,70 | 17,20 | 17,60 | 18,10     | 18,60 | 19,20 | 19,70 | 20,30 |
| 14000   | 20,90     | 21,60 | 22,30 | 23,00 | 23,70 | 24,40     | 25,30 | 26,20 | 27,10 | 28,00 |
| 15000   | 28,90     | 29,90 | 31,00 | 32,10 | 33,20 | 34,30     | 35,60 | 37,00 | 38,30 | 39,60 |
| 16000   | 41,00     | 42,50 | 44,00 | 45,50 | 47,00 | 48,70     | 50,00 | 51,50 | 53,00 | 55,00 |

( T - 10 )

| B ( G <sub>B</sub> ) | T Ô L E S |       |       |       |       | D ' A C I E R |       |       |       |       | D ' E P A I S S E U R 2mm |  |  |  |  |
|----------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|--|--|--|--|
|                      | 0         | 100   | 200   | 300   | 400   | 500           | 600   | 700   | 800   | 900   |                           |  |  |  |  |
| 1000                 | 1,00      |       |       |       |       |               |       |       |       |       |                           |  |  |  |  |
| 2000                 | 1,40      |       |       |       |       |               |       |       |       |       |                           |  |  |  |  |
| 3000                 | 1,80      |       |       |       |       |               |       |       |       |       |                           |  |  |  |  |
| 4000                 | 2,10      |       |       |       |       |               |       |       |       |       |                           |  |  |  |  |
| 5000                 | 2,50      |       |       |       |       | 2,75          |       |       |       |       |                           |  |  |  |  |
| 6000                 | 2,95      |       |       |       |       | 3,20          |       |       |       |       |                           |  |  |  |  |
| 7000                 | 3,45      |       |       |       |       | 3,75          |       |       |       |       |                           |  |  |  |  |
| 8000                 | 4,05      |       |       |       |       | 4,40          |       |       |       |       |                           |  |  |  |  |
| 9000                 | 4,80      | 4,90  | 4,95  | 5,05  | 5,10  | 5,20          | 5,30  | 5,40  | 5,50  | 5,60  |                           |  |  |  |  |
| 10000                | 5,70      | 5,82  | 5,95  | 6,07  | 6,15  | 6,30          | 6,42  | 6,55  | 6,65  | 6,80  |                           |  |  |  |  |
| 11000                | 6,90      | 7,03  | 7,20  | 7,31  | 7,48  | 7,60          | 7,75  | 7,90  | 8,08  | 8,25  |                           |  |  |  |  |
| 12000                | 8,45      | 8,60  | 8,80  | 9,00  | 9,20  | 9,40          | 9,60  | 9,92  | 10,15 | 10,45 |                           |  |  |  |  |
| 13000                | 10,80     | 11,12 | 11,45 | 11,75 | 12,20 | 12,60         | 13,00 | 13,50 | 13,93 | 14,50 |                           |  |  |  |  |
| 14000                | 14,90     | 15,30 | 15,95 | 16,45 | 17,00 | 17,50         | 18,35 | 19,20 | 20,10 | 21,10 |                           |  |  |  |  |
| 15000                | 22,70     | 24,50 | 25,60 | 27,10 | 28,80 | 30,50         | 32,00 | 34,00 | 36,50 | 37,50 |                           |  |  |  |  |
| 16000                | 40,00     | 42,50 | 45,00 | 47,50 | 50,00 | 52,50         | 55,80 | 59,50 | 62,30 | 66,00 |                           |  |  |  |  |
| 17000                | 70,50     | 75,30 | 79,50 | 84,00 | 88,50 | 93,20         | 98,00 | 103,0 | 108,0 | 114,0 |                           |  |  |  |  |
| 18000                | 119,0     | 124,0 | 130,0 | 135,0 | 141,0 | 148,0         | 156,0 | 162,0 | 170,0 | 178,0 |                           |  |  |  |  |
| 19000                | 188,0     | 197,0 | 207,0 | 215,0 | 226,0 | 235,0         | 245,0 | 256,0 | 265,0 | 275,0 |                           |  |  |  |  |
| 20000                | 290,0     | 302,0 | 315,0 | 328,0 | 342,0 | 361,0         | 380,0 |       |       |       |                           |  |  |  |  |

( T - II )

| Acier Electrotechnique 3 II - Epaisseur 0,5 mm - Fréquence 50 Hz |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| B ( T )  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,8  | 1,9 |
| p  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| (w/kg)   | 1,00 | 1,40 | 1,90 | 2,30 | 2,80 | 3,30 | 4,20 | 4,90 | 5,90 | 6,90 | 7,90 | 9,00 | 9,90 | 11,0 | 12, |

( T - T3 )

| ACIER            | 312  | 321  | 331  | 341  | 342  | 341  | 331  | 342  | 3310 | 3320 | 3330 | 3310 | 3320 | 3330 |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Epaisseur ( mm ) | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| γ                | 0,85 | 0,76 | 0,61 | 0,49 | 0,43 | 0,41 | 0,49 | 0,36 | 0,36 | 0,35 | 0,32 | 0,30 | 0,27 | 0,24 |

( T - I4 )

