

12/78

lex

UNIVERSITE D'ALGER  
 المكتبة  
 ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
 BIBLIOTHÈQUE

ECOLE NATIONALE  
 POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ELECTRICITE

PROJET DE FIN D'ETUDES

FONCTIONNEMENT ET ESSAIS DE MACHINE  
 ASYNCHRONE  
 - LA MACHINE ASYNCHRONE GENERALISEE  
 - METHODE DE FOURMARIER

المدرسة لوطنية للعلوم الهندسية  
 - المكتبة -  
 ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
 BIBLIOTHÈQUE

PROPOSE PAR  
 M. A. GRESILLON

ETUDIE PAR  
 MALEK AIT ALI  
 M. HAMED TOUCHRIFT

JUIN 1978

A mon frère TAHAR

En témoignage de ma reconnaissance  
pour ses sacrifices constants qui m'ont  
beaucoup aidé dans mes études , je dédie  
ce modeste ouvrage

M. TOUCHRIFT

A toute ma famille

En particulier à mes oncles  
LARBI et AMEZIANE et à mon  
frère RABAH.

M. AIT ALI

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

Nous tenons à remercier tous les professeurs de l'ENPA qui ont contribué à notre formation.

Nous tenons également à exprimer notre profonde reconnaissance à Messieurs Lakhdar AMIRI et Rachid MEHANNIK pour leur aide précieuse.

## INTRODUCTION

-----

La machine asynchrone est utilisée dans plusieurs domaines de l'industrie. C'est une machine d'une grande robustesse électrique et mécanique, qui ne nécessite qu'un entretien réduit. Elle se caractérise en général, par l'absence de collecteurs, balais et bagues. Cette machine fonctionne en moteur comme en génératrice et tout moteur asynchrone peut fonctionner en génératrice asynchrone sans aucune modification et aucune précaution spéciale. La machine asynchrone fonctionne également en frein.

Ces divers fonctionnements conduisent à des utilisations très intéressantes dans l'industrie. C'est ainsi que 95% des machines électriques sont des machines asynchrones; notamment dans les engins de levage de grosse puissance où on bénéficie de toutes les possibilités de cette machine.

Notre projet a consisté à élaborer des travaux pratiques sur la machine asynchrone et nous espérons que notre travail contribuera à améliorer et à compléter le contenu des essais effectués actuellement au niveau du module FEM 217. D'ailleurs notre choix pour ce sujet a été essentiellement <sup>guidé</sup> par le fait que notre travail pourrait être utilisé par les étudiants électrotechniciens, d'autant plus que les travaux pratiques qui seront présentés sont adaptables à l'état actuel du laboratoire d'électrotechnique de notre école.

ÉTUDE THÉORIQUE SUR LA

MACHINE SYNCHRONÉ

GENERALISÉE

## I-PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

- 1) Etude des champs tournants
- 2) Comparaison de la machine avec un transformateur

## II-ETUDE DU COUPLE

- 1) Expression du couple
- 2) Courbes du couple :  $C = f(g)$  et  $C = f(w')$

## III-BILAN DES PUISSANCES

## IV-DIAGRAMME DU CERCLE

- 1) Diagramme théorique
- 2) Disposition pratique du cercle

## V-FONCTIONNEMENT GENERALISE DE LA MACHINE ASYNCHRONE

- 1) Fonctionnement en moteur
- 2) Fonctionnement en génératrice
  - a) Principe
  - b) Stabilité
- 3) Fonctionnement en frein
  - a) Principe
  - b) Stabilité
  - c) Modification du cercle en fonctionnement frein

## VI-DIAGRAMME DU CERCLE COMPLET

## I-PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Nous considérerons que la machine asynchrone est triphasé et qu'elle possède une paire de pôles.

### I-1. ETUDE DU CHAMP TOURNANT

L'alimentation du stator crée à chaque bobine un champ ~~sinusoïdal~~ de la forme  $H_i = H_m \sin(\omega t - \varphi)$ , nous aurons donc :

$$H_1 = H_m \sin \omega t \quad ; \quad H_2 = H_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \quad ; \quad H_3 = H_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

La résultante de ces trois champs sinusoïdaux nous donne un champ TOURNANT à une vitesse  $\omega$  pulsation du réseau et ayant pour valeur  $3/2 H_m$ .

Les lignes de ce champ coupent les conducteurs du rotor, d'où la création d'une FEM. induite, donc de courants induits.

Il en résulte des forces appliquées à chaque conducteur qui font tourner le rotor à une vitesse différente de la vitesse du champ tournant du stator.

Si le rotor tournait à la vitesse de synchronisme, c'est à dire  $\omega$  lignes les  $\checkmark$  du champ tournant ne couperait plus les conducteurs et de ce fait la FEM. induite s'annulerait, de même que les courants induits et les forces appliquées aux conducteurs.

La vitesse relative du rotor par rapport au champ tournant du stator est  $\omega - \omega'$  ( $\omega'$ : vitesse du rotor). On dit que le rotor glisse par rapport au stator et on définit le glissement par :

$$g = \frac{\omega - \omega'}{\omega}$$

Les courants dans le rotor ont une pulsation  $\omega - \omega'$  et créent un champ tournant. Si le rotor était immobile, la vitesse de ce champ tournant serait  $\omega - \omega'$ , mais comme il tourne à la vitesse  $\omega'$ , alors ce champ a une vitesse  $\omega' + (\omega - \omega') = \omega$  par rapport au stator.

### I-2. COMPARAISON DE LA MACHINE ASYNCHRONE AVEC UN TRANSFORMATEUR

La répartition des flux du stator et du rotor est comparable à celle du transformateur, dont le primaire est le stator et le secondaire, le rotor.

Les équations électriques sont <sup>celles</sup> du transformateur avec la seule différence que la pulsation des courants dans le rotor est:  $\omega_1 = \omega - \omega'$ .

$$\begin{cases} \bar{V}_1 = R_1 \bar{I}_1 + j l_1 \omega \bar{I}_1 + j l_1 \omega' \bar{I}_1 + j M \omega \bar{I}_2 \\ 0 = R_2 \bar{I}_2 + j l_2 \omega_1 \bar{I}_2 + j l_2 \omega_1 \bar{I}_2 + j M \omega \bar{I}_1 \\ \omega - \omega' = g \omega \end{cases}$$

On peut écrire :

$$\begin{aligned} \bar{V}_1 &= \bar{E}_1 + R_1 \bar{I}_1 + j l_1 \omega \bar{I}_1 \\ 0 &= \bar{E}'_2 + R_2 \bar{I}_2 + j l_2 \omega_1 \bar{I}_2 \end{aligned}$$

Le rotor se comportant comme un générateur qui produit une FEM., on peut donc écrire :  $\bar{E}'_2 = R_2 \bar{I}_2 + j g l_2 \omega \bar{I}_2$

On exprime d'autre part  $E_1$  et  $E'_2$  en fonction du flux commun  $\phi$

$$\begin{aligned} E_1 &= k_1 n_1 \omega \phi \\ E'_2 &= k_2 n_2 \omega \phi \end{aligned}$$

$k_1$  et  $k_2$  étant les coefficients de bobinage.

On appelle  $E_2$  la FEM. du rotor à l'arrêt ( $g = 1$ ).

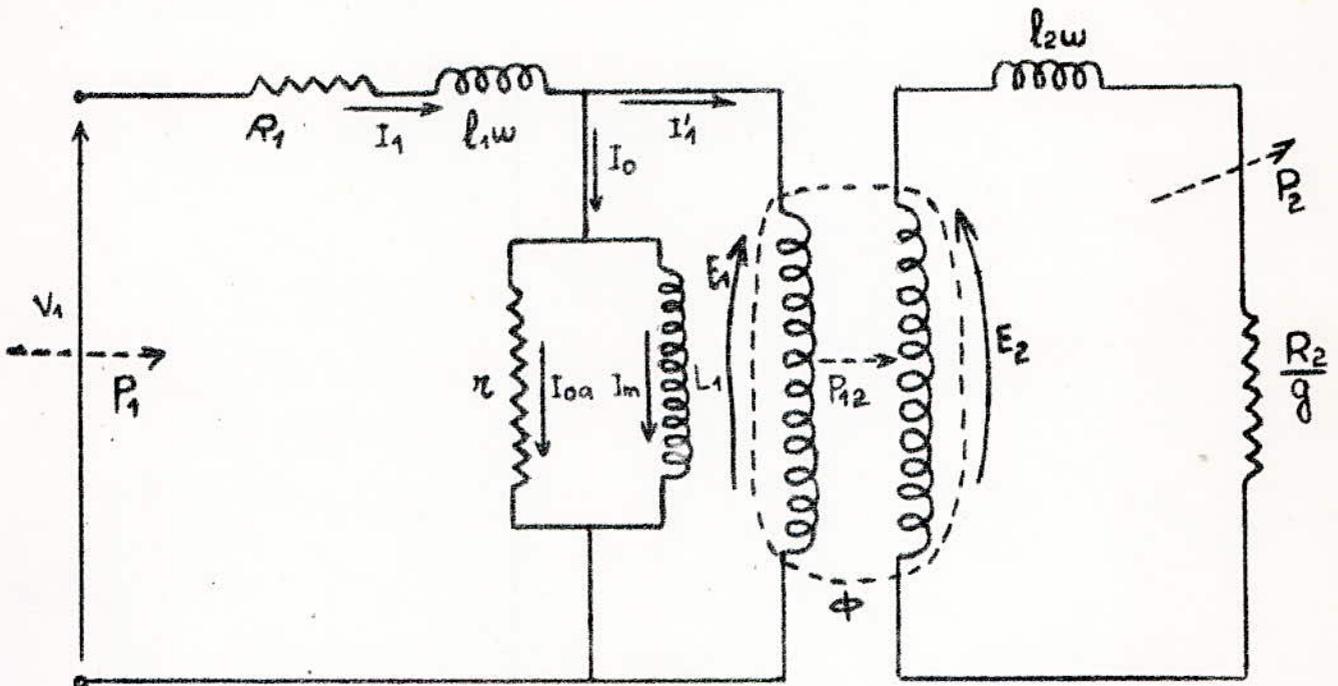
$$E_2 = k_2 n_2 \omega \phi \Rightarrow E'_2 = g E_2$$

Nous aurons finalement :  $g\bar{E}_2 = R_2\bar{I}_2 + jg l_2 \omega \bar{I}_2$   
 $\bar{E}_2 = \frac{R_2}{g}\bar{I}_2 + j l_2 \omega \bar{I}_2$

En plus des équations électriques, on doit tenir compte du courant magnétisant  $I_m$ .

$$k_1 n_1 \bar{I}_1 + k_2 n_2 \bar{I}_2 = k_1 n_1 \bar{I}_m$$

D'après ces équations on peut établir le schéma équivalent suivant



$I_0$  : courant à vide

$I_m$  : courant magnétisant

$I_{0a}$  : courant actif à vide

$r$  : résistance fictive représentant les pertes à vide  $P_0$  donc :

$$I_{0a} = P_0 / V_1$$

II- ETUDE DU COUPLE

II-1 EXPRESSION DU COUPLE

Chaque spire du rotor est parcourue par un courant  $I_2$  ;  
et étant dans un champ magnétique , elle est soumise à deux forces  
opposées , donc à un couple.

Ce couple a pour expression :

$$C_1 = \phi I_2 \cos \rho_2$$

$\phi$  : flux commun.  
 $I_2$  : courant dans la spire;  
 $\rho_2$  : déphasage de  $I_2$  par rapport à  $\% E_2$

En considérant que la machine a une paire de pôles (  $p= 1$  ), et  $n_2$  spires  
au rotor on a:  $C = n_2 C_1 = n_2 I_2 \phi \cos \rho_2$

Nous avons d'autre part:  $E_2 = R_2 n_2 \omega \phi \Rightarrow \phi = \frac{E_2}{R_2 n_2 \omega}$

et  $\bar{E}'_2 = R_2 \bar{I}_2 + j g l_2 \omega \bar{I}_2 = z_2 \bar{I}_2$

qui nous donne:  $\cos \rho_2 = \frac{z_2}{R_2}$  ,  $\bar{I}_2 = \frac{E'_2}{z_2} = \frac{g E_2}{z_2}$

donc 
$$C = g \frac{E_2^2 R_2}{R_2 n_2 \omega z_2^2}$$

II-2. COURBE DU COUPLE :  $C = f( g )$

L'allure de cette courbe est donnée par la relation  
trouvée précédemment. On remarque que  $C (-g) = C (g)$  ; cette courbe  
est donc symétrique par rapport à l'origine.

On peut écrire d'autre part :  $C = g \frac{k R_2}{R_2^2 + g^2 l_2^2 \omega^2}$  , sachant que  $Z = R_2 + j g l_2 \omega$

donc

$$C = \frac{k R_2}{\frac{R_2^2}{g} + g l_2^2 \omega^2}$$

1) Pour les petits glissements, on a:  $\frac{R_2^2}{g} \gg gl_2^2 w^2$  d'où :

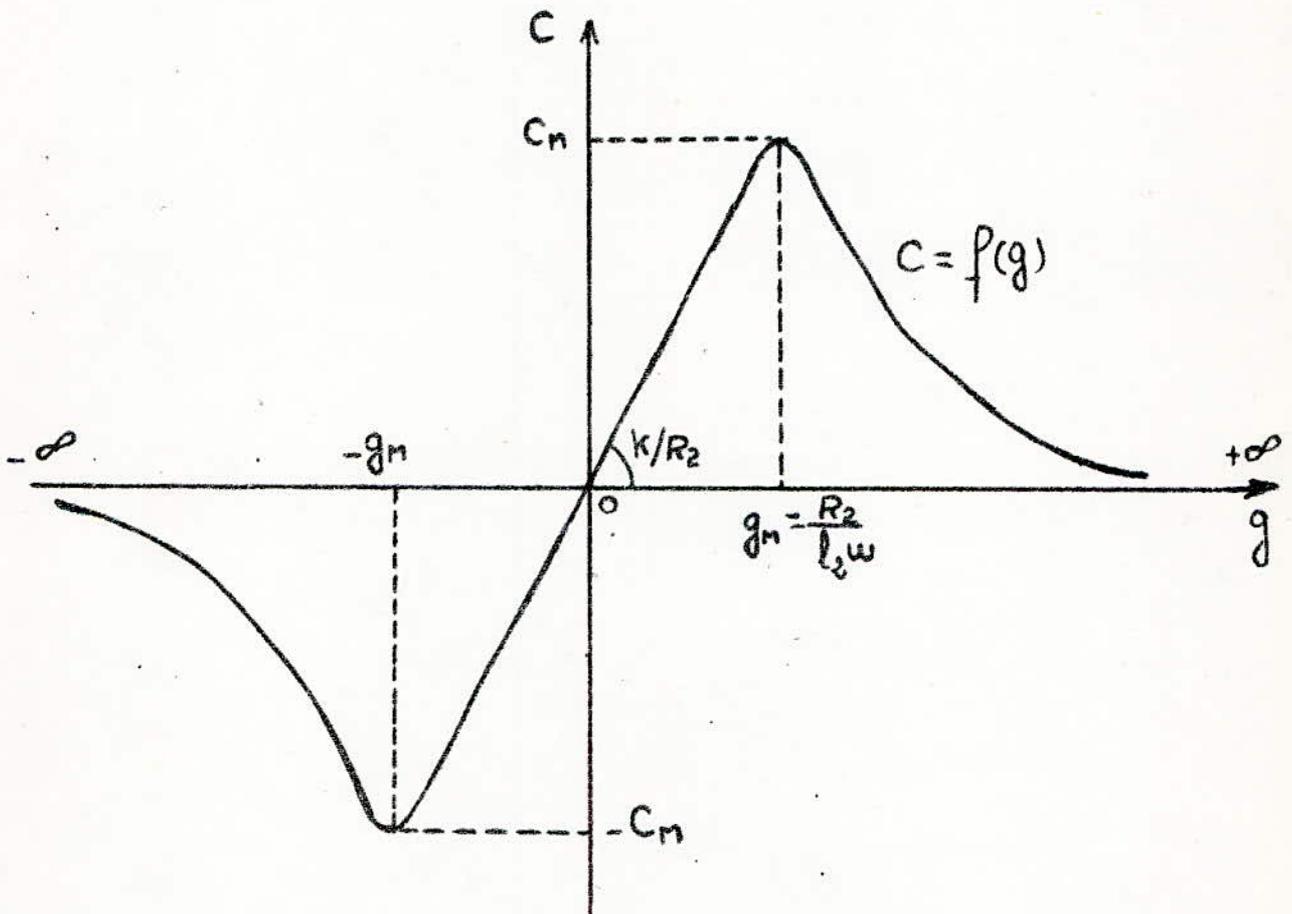
$C = Kg/R_2$  qui est une droite de pente  $K/R_2$ .

2) Pour les glissements importants,  $\frac{R_2^2}{g} \ll gl_2^2 w^2$  d'où :

$C = K' / g$  qui est une hyperbole.

Le maximum de cette courbe est obtenu pour  $\frac{R_2^2}{g} + gl_2^2 w^2$  minimum, d'où :

$g_m = \frac{R_2}{l_2 w}$



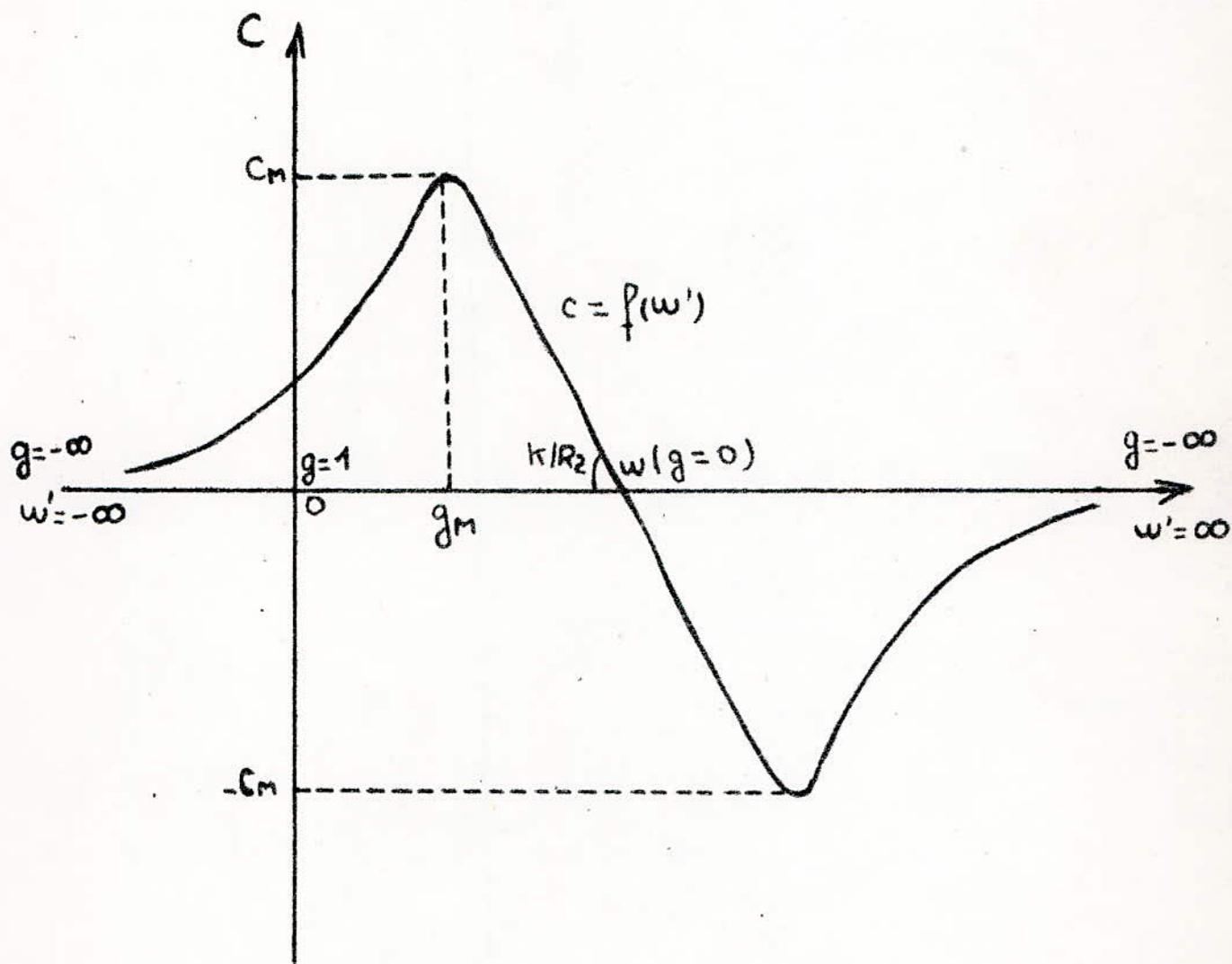
Il serait cependant utile de connaître la courbe  $C = f(w')$   
l'allure est la même avec seulement un décalage de l'échelle.

Nous remarquons que pour :  $g = 0$  nous avons  $w = w'$  (synchronisme)

$g = 1$  nous avons  $w' = 0$  (arrêt)

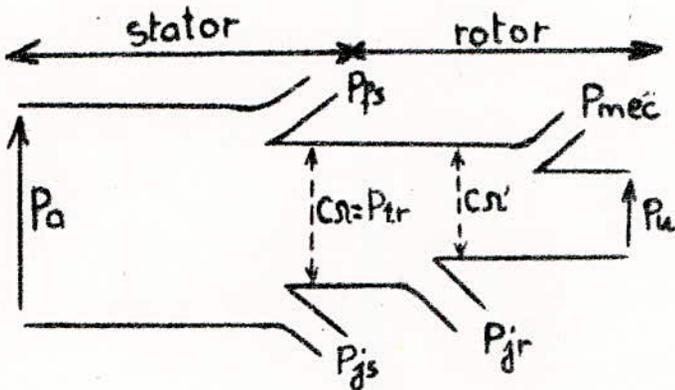
$g = +$  nous avons  $w' = -\infty$

$g = -$  nous avons  $w' = +\infty$



### III- BILAN DES PUISSANCES

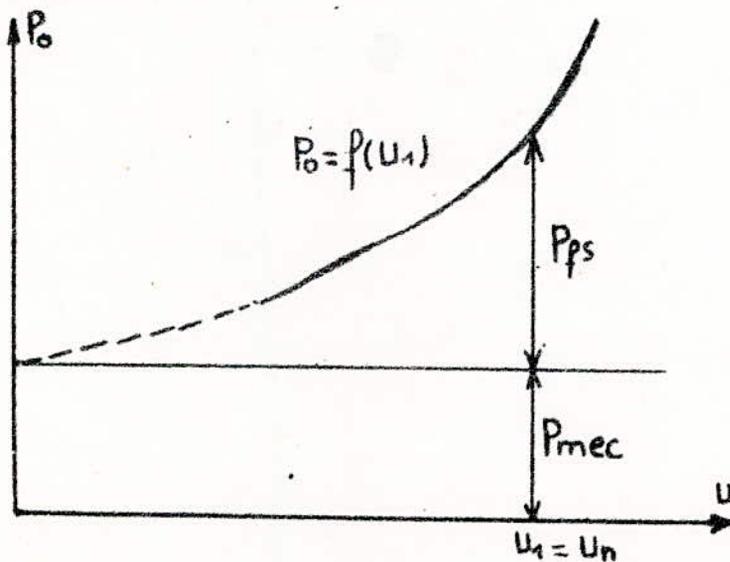
On peut schématiser le bilan des puissances de la manière suivante :



-  $P_a$  : Puissance absorbée par le stator :  $P_a = U_1 I_1 \sqrt{3} \cos \varphi_1$

-  $P_{fs}$  : Pertes fer dans le stator : elles sont constantes à tension et vitesse constantes. On peut les déterminer sachant que  $P_o = P_{fs} + P_m$   $P_o$  étant les pertes à vide (mesurées sur une machine à vide) , et  $P_m$  les pertes mécaniques (constantes).

L'extrapolation de la courbe  $P_o = f(U_1)$  nous donne les pertes  $P_m$  , donc on peut connaître les pertes fer statoriques  $P_{fs}$ .



- Pjs : Pertes joules statoriques  $P_{js} = 3/2 R_1 I_1^2$
- $R_1$  : Résistance entre bornes
- $I_1$  : courant de ligne.
- Ptr : Puissance transmise : C'est la puissance électromagnétique transmise par le stator au rotor à travers l'entrefer.

$$P_{tr} = P_a - P_{js} - P_{fs} = C\Omega$$

- Pjr : Pertes joules rotoriques.

Ptr est la puissance transmise au rotor à travers l'entrefer par le couple électromagnétique développé grâce au champ tournant de vitesse  $\Omega$ . Ce couple est également celui développé au rotor qui tourne à la vitesse  $\Omega'$ . Les pertes au niveau du rotor sont donc :  $C\Omega - C\Omega'$ . Sachant que les pertes fer du rotor sont négligeables étant donné la faible pulsation des courants, ces pertes représentent donc les pertes joules rotoriques.

$$P_{jr} = C\Omega - C\Omega' = C(\Omega - \Omega')$$

$$\Omega - \Omega' = g\Omega \Rightarrow P_{jr} = gC\Omega = gP_{tr}$$

$$P_{jr} = gP_{tr}$$

Pu : Puissance utile  $P_u = P_{tr} - gP_{tr} - P_m$

Pm : pertes mécaniques ou pertes constantes, nous avons donc

$P_u = (1 - g)P_{tr} - P_m$ , et nous avons d'autre part  $P_{tr} = P_a - P_{fs} - P_{js}$ ,

d'où :  $P_u = (1 - g)(\sqrt{3} U_1 I_1 \cos \phi_1 - P_{fs} - 3/2 R_1 I_1^2) - P_m$

Les pertes constantes ne pouvant pas être généralement séparées des pertes fer statoriques, on peut écrire :

$$P_u = (1 - g)(\sqrt{3} U_1 I_1 \cos \phi_1 - 3/2 R_1 I_1^2 - P_0)$$

de là on a le rendement.

$$\eta = \frac{(1 - g)(\sqrt{3} U_1 I_1 \cos \phi_1 - 3/2 R_1 I_1^2 - P_0)}{\sqrt{3} U_1 I_1 \cos \phi_1}$$

IV - DIAGRAMME DU CERCLE

On reprend les équations électriques de la machine :

$$\bar{U}_1 = \bar{E}_1 + R_1 \bar{I}_1 + j l_1 \omega \bar{I}_1$$

$$\bar{E}_2 = \frac{R_2}{g} \bar{I}_2 + j l_2 \omega \bar{I}_2$$

L'équation des ampères-tours nous donne  $\bar{I}_1 + m \bar{I}_2 = \bar{I}_m$

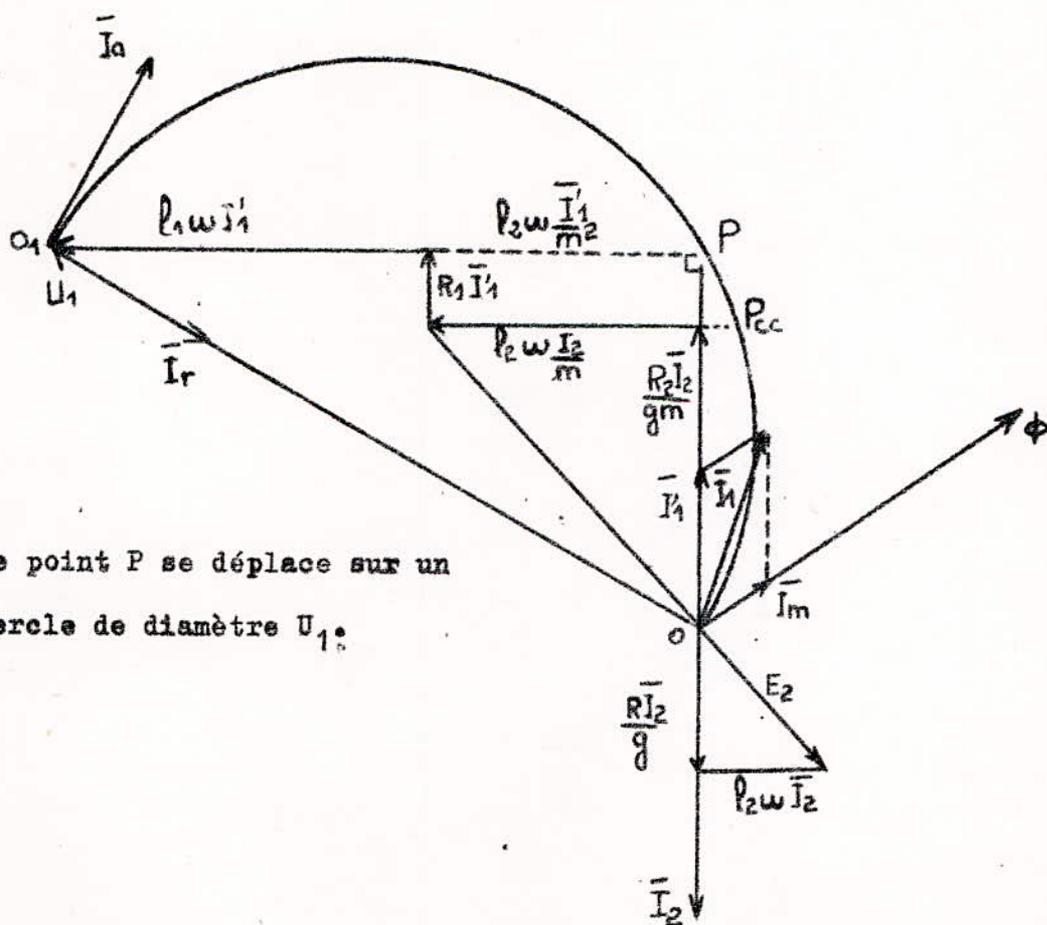
$m$  étant le rapport de transformation et soit  $\bar{I}'_1 = -m \bar{I}_2$

$\bar{I}'_1$  étant le courant du rotor ramené au stator

On peut remplacer  $\bar{I}_1$  par  $\bar{I}'_1$  dans la première équation, car :

$R_1 \bar{I}_m + j l_1 \omega \bar{I}_m$  est négligeable devant  $\bar{E}_1$ . En divisant la deu-

-xième équation par  $m$  (ce qui revient à ramener les grandeurs ro-  
-toriques au stator), on trace le diagramme suivant.



Le point P se déplace sur un  
cercle de diamètre  $U_1$  :





## 2- Détermination du point P<sub>cc</sub> point de court-circuit

Ce point est déterminé par l'essai ~~en~~ court-circuit à tension réduite car l'appel de courant est fort.

On mesure  $I'_{cc}$ ,  $U'_{cc}$ , et  $W_{cc}$ .

L'essai étant fait à tension constante  $U_1 = U_n$ , on calcule le courant  $I_{cc}$  qu'on aurait eu si l'essai était effectué à cette tension

$U_n$ , et on admet que:

$$I_{cc} = I'_{cc} \frac{U_n}{U'_{cc}}$$

-  $W_{cc} = I_{cc} U'_{cc} 3 \cos \varphi_{cc}$  donc:

$$\cos \varphi_{cc} = \frac{W_{cc}}{I'_{cc} U'_{cc} \sqrt{3}}$$

Connaissant  $I_{cc}$  et son déphasage  $\varphi_{cc}$ , le point  $P_{cc}$  est déterminé.

## 3- Détermination du point P<sub>∞</sub>

Pour connaître ce point, il suffit de calculer les pertes joules statoriques pour l'essai en court-circuit.

On appelle la droite  $P_0 P_{\infty}$  la droite des couples et la droite  $P_0 P_{cc}$ , droite des puissances utiles.

## 4- Droite des glissements

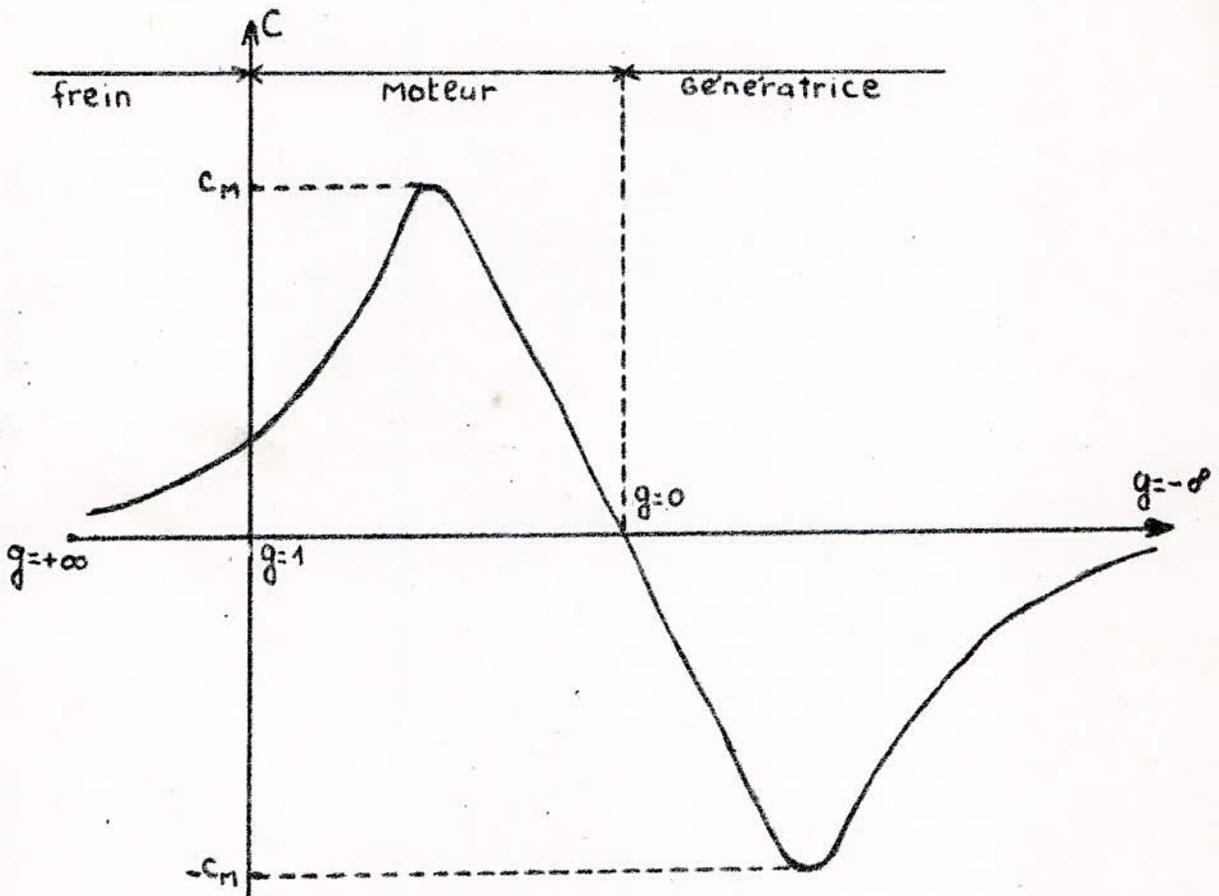
C'est une droite parallèle à la droite  $P_0 P_{\infty}$

A partir de  $P_0$  on trace les droites  $P_0 P_{\infty}$ ,  $P_0 P_{cc}$ ,  $P_0 P$ , et la tangente au cercle. Le point de rencontre de cette tangente avec la droite des glissements nous donne  $g = 0$ , et le point de rencontre de  $P_0 P_{cc}$  avec cette droite nous  $g = 1$ .

## V- FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE ASYNCHRONE

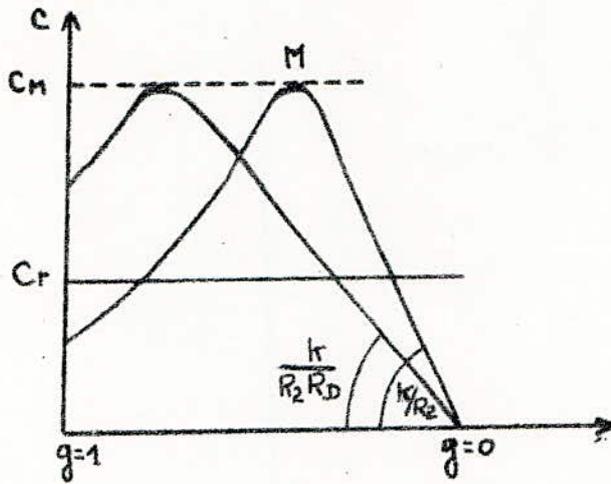
La courbe du couple  $C = f( w' )$  détermine 3 zones de fonctionnement de la machine .

- Fonctionnement en moteur (de  $g=0$  à  $g=1$  )
- Fonctionnement en génératrice ( $g=-\infty$  à  $g=0$  )
- Fonctionnement en frein ( $g=1$  à  $g=\infty$ )

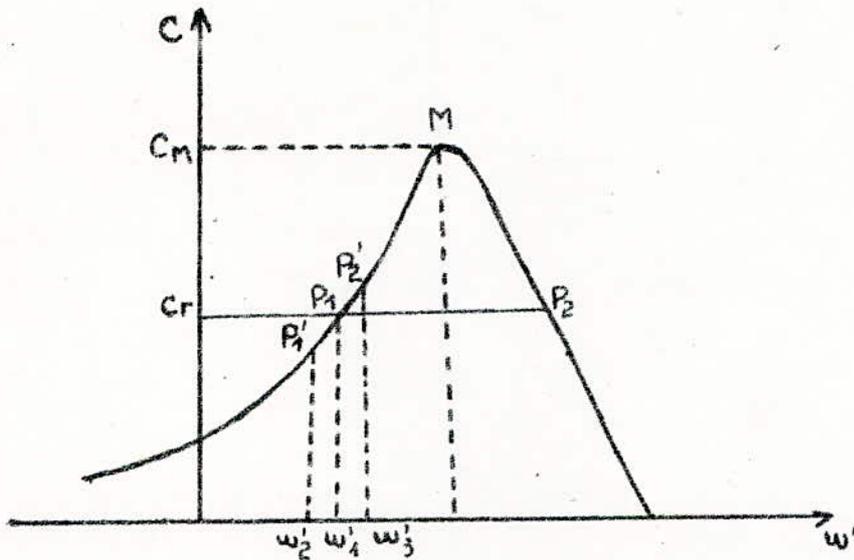


### V-1 Fonctionnement en moteur

La machine fonctionne en moteur de l'arrêt ( $g=1$ ), jusqu'au synchronisme ( $g=0$ ).



La courbe du couple  $C=f(s)$  nous permet d'étudier le démarrage du moteur. La valeur du couple  $C_M$  étant constante quelque soit la résistance rotorique, on voit qu'on peut améliorer le couple de démarrage en insérant une résistance supplémentaire  $R_D$  au rotor. Cette courbe nous permet de connaître également la stabilité du moteur



Si à la suite d'une variation quelconque (tension, couple résistant  $w_0$ ), le point  $P_1$  se déplace en  $P_1'$  alors  $C_M - C_r < 0$  donc la

vitesse tend à diminuer d'avantage d'après la relation :

$$J \frac{dn}{dt} = C_m - C_r < 0$$

Par contre si la variation se fait dans l'autre sens c'est-à-dire

$P_1$  en  $P_2'$  alors  $C_m - C_r > 0$  et par conséquent la vitesse va tendre à augmenter plus, donc  $P_1$  est un point de fonctionnement instable.

Le même raisonnement permet de constater que  $P_2$  est un point de fonctionnement stable.

La partie ascendante jusqu'en M est donc une partie de fonctionnement instable, tandis que la partie descendante est une partie de fonctionnement stable.

## V-2 Fonctionnement en génératrice

### a) Principe

Supposant que la machine est entraînée par un moteur auxiliaire à la vitesse de synchronisme,  $P_{js}$  et  $P_{fs}$  sont fournies par le réseau tandis que les pertes mécaniques  $P_m$  sont fournies par le moteur d'entraînement.

On augmente la vitesse du rotor (à l'aide du moteur d'entraînement)

au delà du synchronisme :  $w' > w_s$  donc  $g < 0$  et  $E_2' = gE_2$

change de sens, de même que  $I_{2a} = \frac{gE_2 \cos \varphi_2}{Z_2} = \frac{gE_2 R_2}{Z_2^2}$

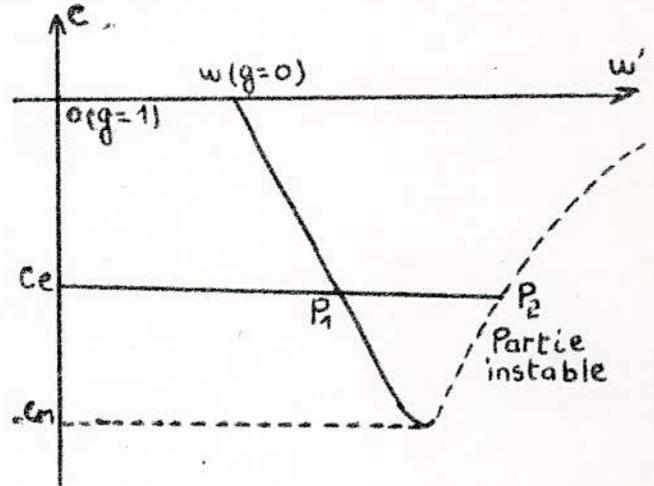
tandis que la composante réactive  $I_{2r} = \frac{gE_2 \sin \varphi_2}{Z_2} = \frac{g^2 E_2 l_2 w}{Z_2^2}$  conserve son sens.

Le couple électromagnétique de la machine change également de sens et s'oppose ainsi au couple d'entraînement : C'EST UN COUPLE RESISTANT.

La machine fonctionne donc en génératrice. Elle fournit au réseau une puissance active d'où elle absorbe la puissance réactive nécessaire à sa magnétisation.

b) Stabilité

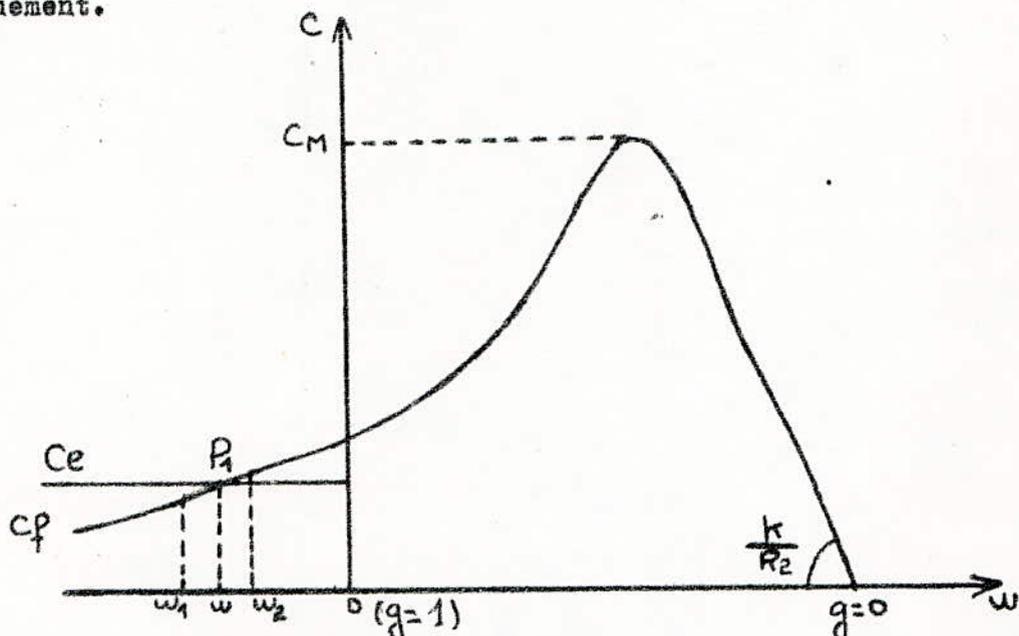
Par le même raisonnement qu'en fonctionnement moteur, on voit que pour une quelconque variation dans la partie descendante, le point de fonctionnement tend toujours à revenir en  $P_1$ , point de fonctionnement stable, alors que c'est le contraire qui se passe dans la partie ascendante.



V-3 Fonctionnement en frein

La machine fonctionne en frein quand le rotor tourne en sens inverse de celui du champ tournant du stator ( $g > 1$ ). La courbe du couple  $C=f(g)$  montre que le couple de la machine reste toujours positif, ce qui signifie qu'elle consomme toujours de la puissance au réseau. Mais la vitesse  $w'$  devenant négative par rapport à celle du champ tournant, il s'agit d'un couple opposé. Un tel fonctionnement ne permet de récupérer aucune puissance électrique, et où toute la puissance du couple résistant est transformée en PERTES DANS LE ROTOR.

L'étude de la courbe nous permet d'étudier la stabilité de ce fonctionnement.



Cette courbe montre que pour une machine à rotor en court-circuit le couple de freinage est faible pour  $g$  supérieur à 1. Le point  $P_1$  d'équilibre des couples est un point de fonctionnement instable.

Pour une petite augmentation de la vitesse ( $\omega_1$  supérieure à  $\omega$ ), la différence  $C_e - C_f$  est positive et d'après  $J \frac{dn}{dt} = C_e - C_f > 0$  on voit que la vitesse tend à augmenter encore plus.

Le même raisonnement s'applique pour une diminution de la vitesse.

On peut donc dire qu'un tel fonctionnement est impossible avec une machine à rotor en court-circuit. Pour cela il faut insérer une résistance  $R_f$  (beaucoup plus grande que  $R_D$ , résistance de démarrage) dans le circuit du rotor qui fait déplacer le point M vers les glissements  $g$  supérieur à 1.

On voit donc que les machines destinées à un tel fonctionnement doivent être à rotor bobiné.





## INTRODUCTION

-----

Le travail qu'on a effectué est destiné aux étudiants de FEN 217. Il consiste en deux travaux pratiques :

1° - Le moteur asynchrone et la machine asynchrone généralisée. Ce TP comprend un rappel théorique et une partie concernant directement les essais à effectuer. Il permet d'utiliser la machine asynchrone dans ses divers fonctionnements , à savoir : en moteur en génératrice et en frein.

Pensant que les essais sont longs à effectuer en une seule séance de travaux pratiques , il serait plus pédagogique de le diviser en deux parties.

- Détermination du diagramme du cercle et fonctionnement moteur.

- Fonctionnement en génératrice et en frein et essais supplémentaire

2° - La séparation des pertes fer dans le stator par la méthode de FOURMARIER .

Ce TP intéressant quant à son principe et sa simplicité comprend une partie théorique et une partie concernant les essais à effectuer.

Il peut être réalisé en une séance de travaux pratiques.

FEN 217

M O T E U R    M S Y N C H R O N E    E T

M A C H I N E    M S Y N C R O N E

G E N E R A L I S E E

MATERIEL A EMPLOYER

- 1 Interrupteur triphasé simple à fusible
- 1 Interrupteur triphasé double à fusible
- 1 Interrupteur monophasé simple à fusible
- 2 Inverseurs de tension
- 1 Commutateur de wattmètre
- 1 Transformateur d'intensité calibre 50-20-10A
- 1 Ampèremètre alternatif calibre 5A
- 2 Voltmètre alternatifs 50-150-500V
- 1 Wattmètre 5-10A , 125-250V
- 1 Rhéostat 100Ω pouvant être monté en potentiomètre
- 1 Ampèremètre continu calibre 2A
- 1 Millivoltmètre (shunt 50A)
- 2 Voltmètres continu 150V
- 1 Rhéostat de démarrage triphasé
- 3 Boites de résistances 110V , 30A
- 1 Stoboscope
- 1 Tachymètre

I- INTRODUCTION.

La généralisation du fonctionnement de la machine asynchrone conduit à des utilisations très intéressantes, permettant la marche dans les deux sens de rotation, la récupération de l'énergie et le freinage jusqu'à l'arrêt.

Pour bénéficier de ces divers fonctionnements, il est nécessaire que le rotor soit bobiné et construit spécialement pour supporter la marche en frein.

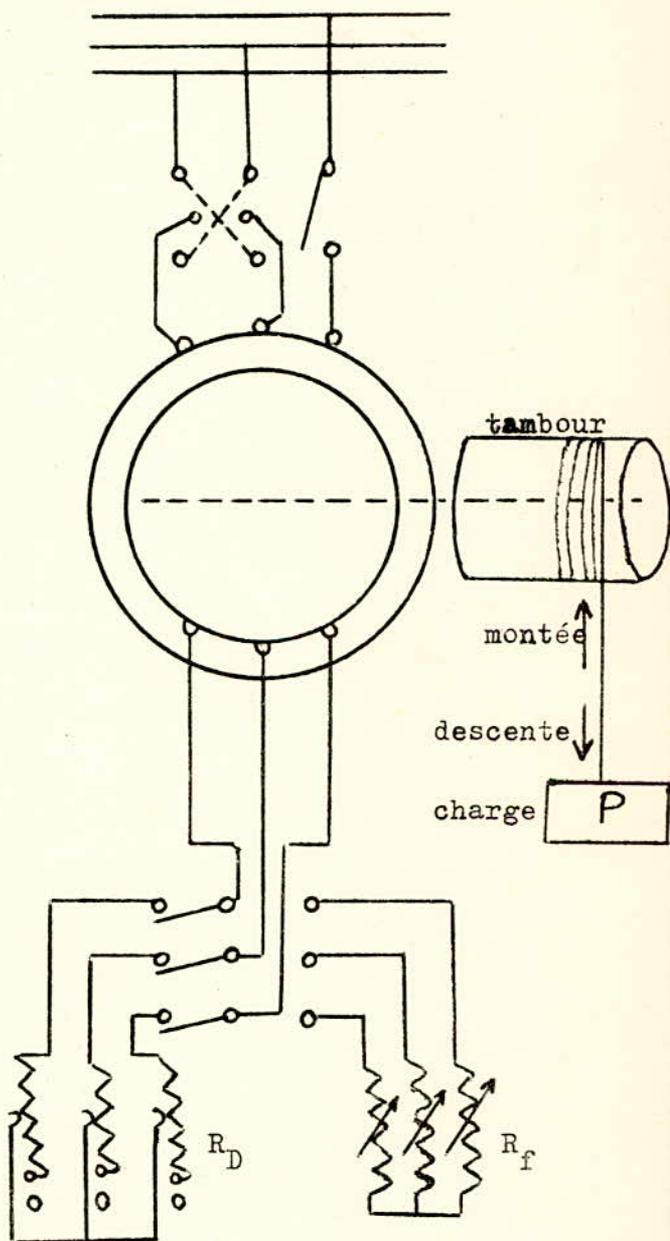
La machine asynchrone est notamment utilisé dans les engins de levage; cet exemple met bien en évidence les trois fonctionnements de la machine.

1) Montée

La machine fonctionne en moteur dans le sens du champ tournant statorique.

2) Descente

Pendant la descente le sens de rotation est inversé. La machine fonctionne en récupération. Elle est entraînée par la charge dans le sens du champ tournant; elle dépasse la vitesse du synchronisme et fonctionne automatiquement en génératrice asynchrone.



3) Frein : pour arrêter la descente , il faut fonctionner en frein , c'est-à-dire inverser le sens du champ tournant en ayant soin d'insérer simultanément la résistance de freinage dans le circuit du rotor.

#### METHODE DE MESURE DU GLISSEMENT

Le glissement est une grandeur fondamentale de la machine asynchrone car toutes les grandeurs de la machine en dépendent. Il est donc primordial de connaître sa valeur.

On peut le déterminer à partir du diagramme du cercle , il en est de même pendant les essais où on peut le mesurer à l'aide des deux méthodes suivantes.

##### 1) Méthode stroboscopique

On peint sur l'arbre du rotor un repère que l'on éclaire à partir du même réseau par une lampe sans inertie. On compte le nombre de tours  $N_1$  du repère en 1 minute et on applique la formule générale :

$$g\% = \frac{w_s - w'}{w_s} \cdot 100 = \frac{N_1}{N_s} \cdot 100$$

$N_s$ : vitesse de synchronisme en tr/mn

Remarque : cette méthode n'est utilisée que pour les glissement faibles car à partir d'une certaine charge , le glissement devenant grand on ne peut plus suivre la rotation du repère.

2- Mesure du glissement à l'aide du tachymètre

La mesure du glissement à l'aide du tachymètre étant trop imprécise pour les petits glissements , cet appareil n'est utilisé que pour les glissements importants.

Il est cependant nécessaire de l'étalonner (ce qui est possible simplement en cours de manipulation), et de considérer que son erreur absolue reste constante.

R A P P E L T H E O R I Q U E

I- DETERMINATION DU DIAGRAMME DU CERCLE

Pour déterminer le diagramme du cercle il faut connaître 3 points de ce cercle.

a) le point  $P_0$ , point à vide qu'on confondra avec  $P_S$  point de synchronisme où le glissement est nul.

b) le point  $P_{cc}$ , point de court-circuit qui correspond à  $g = 1$

c) le point  $P_{\infty}$ , qui correspond à  $g = \infty$

1- Détermination du point  $P_0$

L'essai à vide ( à tension nominale ) nous permet de mesurer  $I_0$  ( courant de ligne du stator ) et  $W_0$  puissance absorbée à vide ; ( par la méthode des 2 wattmètres ).

$$W_0 = P_0 + 3/2 R_1' I_0^2$$

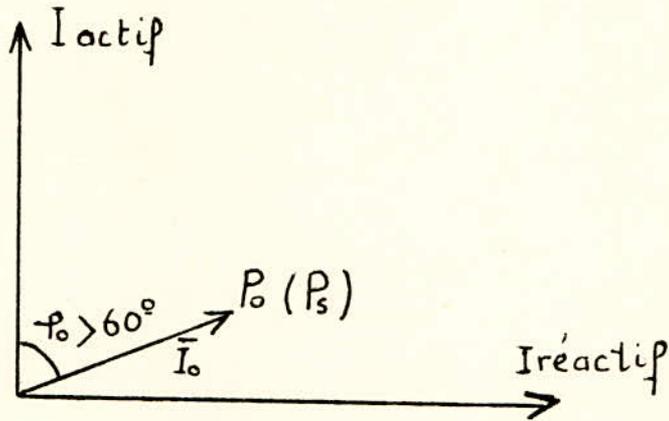
$3/2 R_1' I_0^2$  : pertes joules statoriques souvent négligeables à vide  
-de

$P_0$  : pertes à vide

Donc  $W_0 \# P_0$ , d'où le déphasage

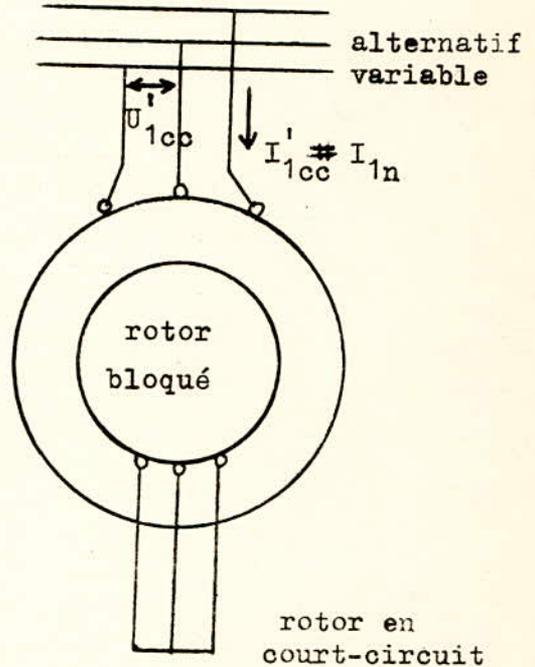
$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} U_{1n} I_0}$
--

$\varphi_0$  détermine la direction de  $I_0$  par rapport à l'axe des courants actifs  
connaissant  $I_0$  ( module ) et  $\varphi_0$  on connaît la position de  $P_0$  :



2- Détermination du point P<sub>cc</sub> ( point de court-circuit )

L'essai en court-circuit (rotor bloqué) nous permet de déterminer le point P<sub>cc</sub>, cet essai se fait à tension réduite U'<sub>1cc</sub> de façon à avoir un courant au stator I'<sub>1cc</sub> voisin de I<sub>1n</sub>; on mesure également W<sub>cc</sub> ( puissance absorbée en court-circuit )



$$W_{cc} = \sqrt{3} U'_{1cc} I'_{1cc} \cos \varphi_{cc}$$

d'où

$$\cos \varphi_{cc} = \frac{W_{cc}}{3 U'_{1cc} I'_{1cc}}$$

REMARQUE

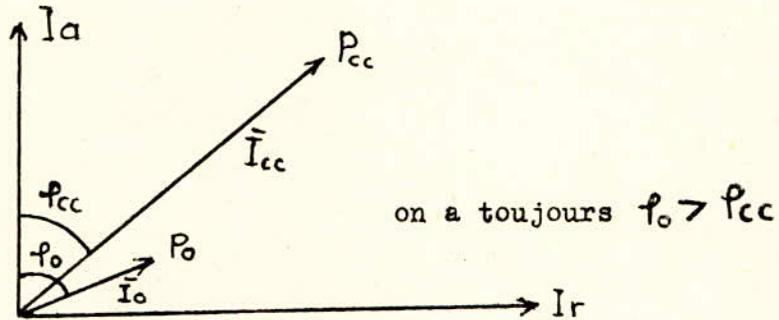
W<sub>cc</sub> est une puissance dissipée par effet joule dans les enroulements statoriques et rotoriques étant donné que les pertes fer sont négligeables (% aux pertes fer à tension nominale), puisque cet essai se fait à tension réduite et on sait que les pertes fer sont proportionnelles au carré de la tension d'alimentation : P<sub>f</sub> = kU<sup>2</sup>.  
 Mais comme le diagramme du cercle est tracé à tension constante

$U_1 = U_{1n}$  ( tension nominale ); on doit calculer le courant  $I_{cc}$  qu'on aurait eu pour cette tension. Ce courant est donné par :

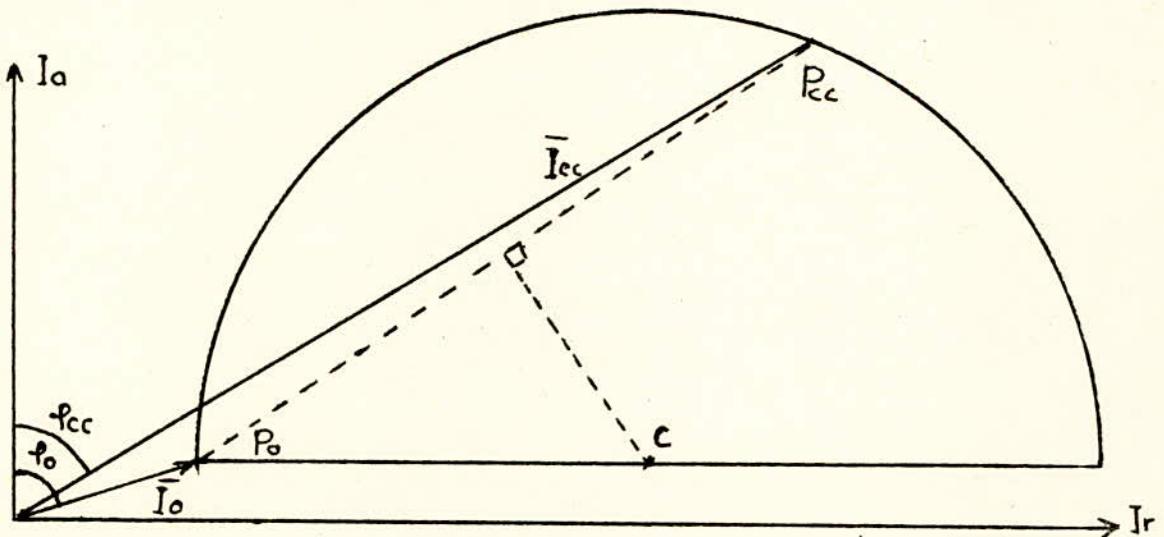
$$I_{cc} = I'_{cc} \frac{U_{1n}}{U'_{1cc}}$$

$I_{cc}$  : véritable courant de court-circuit obtenu à tension nominale , car on peut considérer que les courants et les tensions de court-circuit varient proportionnellement.

Connaissant  $I_{cc}$  courant de court-circuit (en module ) à tension nominale et  $\varphi_{cc}$  qui nous donne la direction de ce courant par rapport à l'axe des courants actifs , le point  $P_{cc}$  est déterminé.



Connaissant les points  $P_0$  et  $P_{cc}$  , et en considérant que le centre du cercle est à l'horizontale de  $P_0$  on peut tracer ce cercle.



Pour avoir une bonne précision il est indispensable de tracer le cercle à très grande échelle.

3- Détermination du point  $P_{\infty}$

On projette  $P_{cc}$  en A sur le diamètre du cercle ;

$P_{cc}A$  nous donne les pertes joules de la machine , en court-circuit.

On calcule les pertes joules statoriques qui sont égales à :

$(3/2)R_1 I_{1cc}^2$ , où  $R_1$  est la résistance entre bornes et  $I_{1cc}$  courant de ligne (en court-circuit) ramené à la tension nominale.

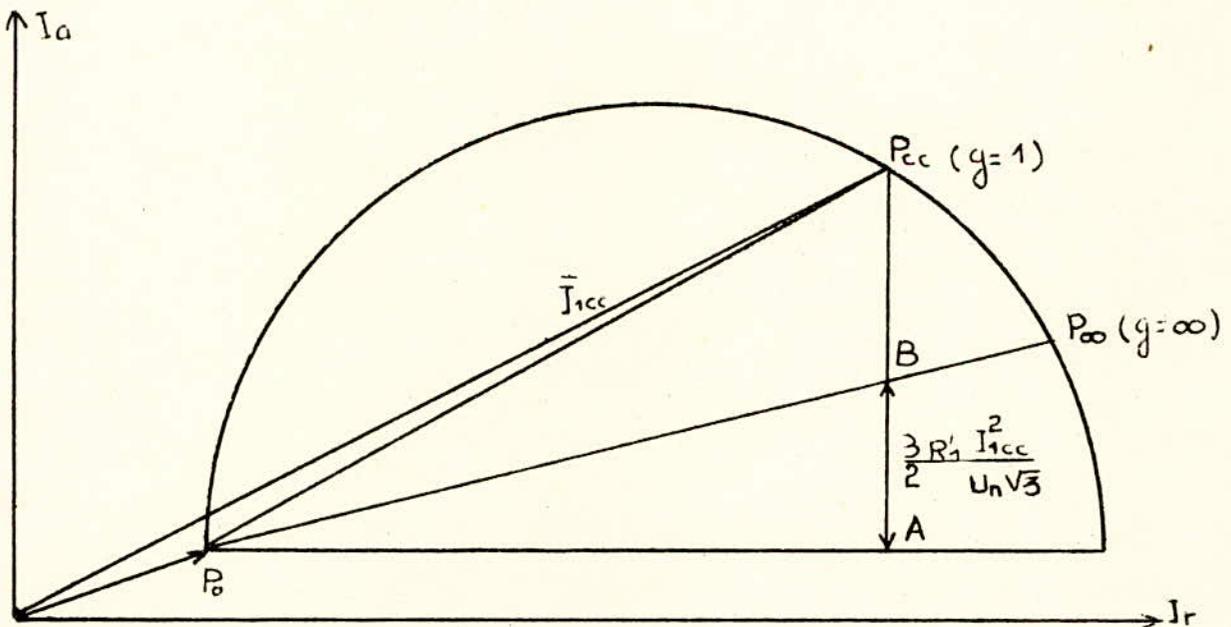
Le diagramme du cercle étant tracé à l'échelle des courants on ramène

$(3/2)R_1 I_{1cc}^2$  qui est une puissance à cette échelle , ce qui nous donne

$$(3/2) R_1 \frac{I_{1cc}^2}{\sqrt{3}U_{1n}}$$

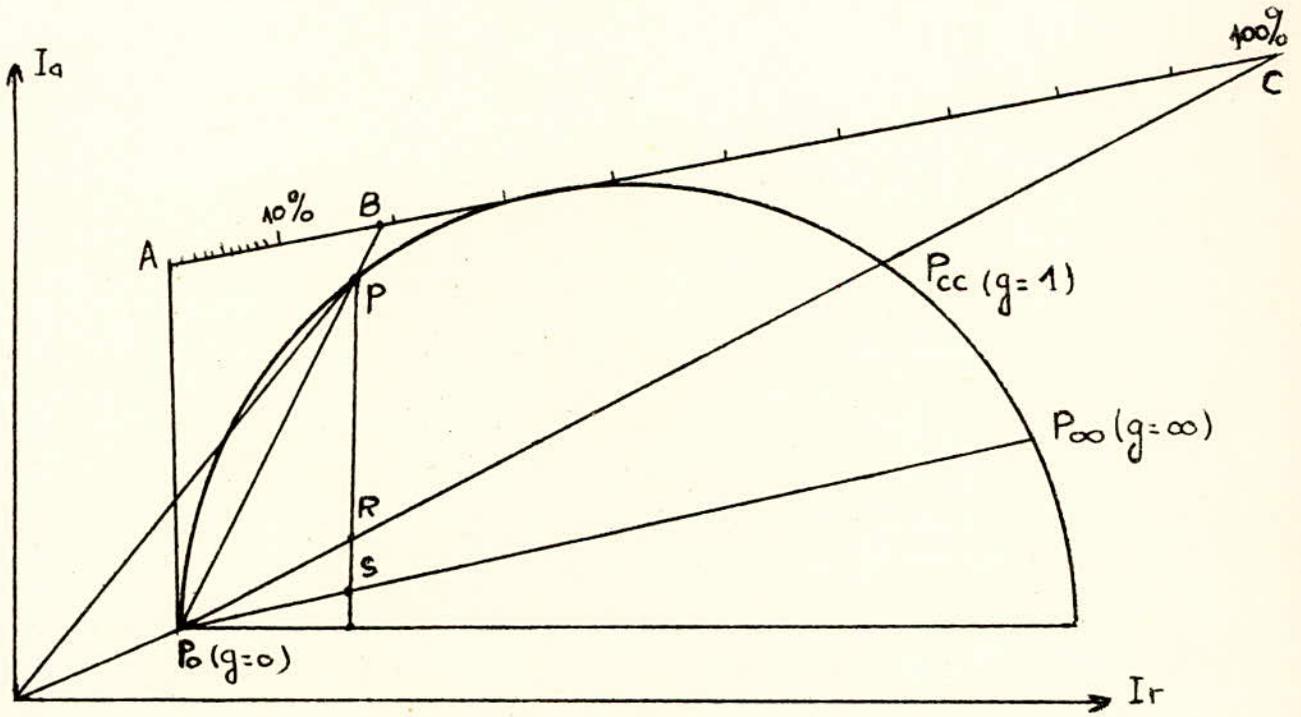
La valeur trouvée nous donne sur  $P_{cc}A$  un point B qui sépare les pertes joules statoriques des pertes joules rotoriques en court-circuit.

La droite  $P_0B$  appelée droite des couples coupe le cercle au point  $P_{\infty}$



DROITE DES GLISSEMENTS

La droite des glissements est une parallèle quelconque à la droite des couples  $P_0P_\infty$ . *Pole au lieu de P0*  
On trace à partir de  $P_0$  les droites  $P_0P_{cc}$ ,  $P_0P_\infty$  et la tangente au cercle en  $P_0$ , qui coupent la droite des glissements aux points A, B et C.  
Les pertes joules rotoriques  $P_{jr}$  sont représentées par le segment RS et la puissance  $P_{tr}$  reçue par le rotor est représentée par PS.  
Nous avons  $gP_{tr} = P_{jr}$  donc  $g = P_{jr}/P_{tr} = RS/PS$   
et d'autre part les triangles semblables  $P_0RS$  avec  $P_0AC$  et  $P_0PS$  avec  $P_0AB$  qui nous donnent  $RS/PS = AB/AC = g$   
Le segment AC divisé en 100 parties correspond à  $g = 1 = 100\%$  et le segment AB mesure le glissement en %.





### UTILISATION DU CERCLE

Pour un fonctionnement moteur correspondant au point  $P_1$  :

$\vec{OP}_1$  nous donne le courant  $I_1$  absorbé par le moteur et son déphasage  $\varphi_1$  par rapport à la tension.

$\vec{PoP}_1$  représente le courant rotorique ramené au stator.

### MESURE DES PUISSANCES

En multipliant l'échelle des courants par  $U_{1n}\sqrt{3}$  on obtient sur les axes actifs et réactifs, les puissances actives et réactives absorbées ou fournies par la machine.

$-P_1T$  mesure la puissance active totale absorbée par le moteur :

$$P_a = I_a U_{1n} \sqrt{3}$$

$-VT$  mesure les pertes à vide :  $P_o$  = pertes mécaniques + pertes fer statoriques.

$-VS$  mesure les pertes joules au stator  $P_{js}$ .

$-PS$  mesure la puissance transmise du stator au rotor à travers

l'entrefer :  $P_{tr} = P_a - P_o - P_{js} = P_u + P_{jr}$

$-RS$  mesure les pertes joules rotoriques  $P_{jr}$

$-PR$  mesure la puissance utile transmise à l'arbre du rotor

$-OT$  mesure la puissance réactive absorbée par le moteur

### MESURE DU COUPLE

$PS$  mesure la puissance transmise du stator au rotor à travers l'entrefer. Sachant que  $P_{tr} = C\Omega$  donc  $C = P_{tr}/\Omega$ .  $PS$  mesure donc également le couple électromagnétique à l'échelle  $U_{1n}\sqrt{3}/\Omega$ , avec  $\Omega = \omega/p = \frac{2\pi N_s t_r / mn}{60}$   
 $N_s$  étant la vitesse de synchronisme.

La machine asynchrone est une machine qui permet divers fonctionnements.

- 1) Fonctionnement moteur
- 2) Fonctionnement génératrice
- 3) Fonctionnement frein.

Ces différents fonctionnements sont mis en évidence par la courbe du couple

DETERMINATION DE LA COURBE DU COUPLE

On sait que la machine asynchrone tourne à la vitesse différente de la vitesse de synchronisme. On dit que le rotor glisse par rapport à la vitesse du champ tournant statorique.

Le glissement est défini par la relation :

$$g\% = \frac{w_s - w}{w} \cdot 100$$

L'expression du couple nous est donnée par :

$$C = \frac{g E_2^2 R_2}{R_2 n_2 w Z_2^2}$$

avec  $Z_2 = R_2 + j g l_2 w$  où  $R_2$  est la résistance

du rotor en court-circuit; on peut donc écrire:

$$C = \frac{K R_2}{R_2^2/g + g l_2^2 w^2}$$

On remarque que  $C(-g) = -C(g)$  donc  $C(g)$  est symétrique par rapport à l'origine .

1) Pour les petits glissements :  $g l_2^2 w^2 \ll R_2^2/g$  donc

$C = K g/R_2$  est une droite de pente  $K/R_2$  .

2) Pour les grands glissements :  $R_2^2/g \ll g l_2^2 w^2$  donc

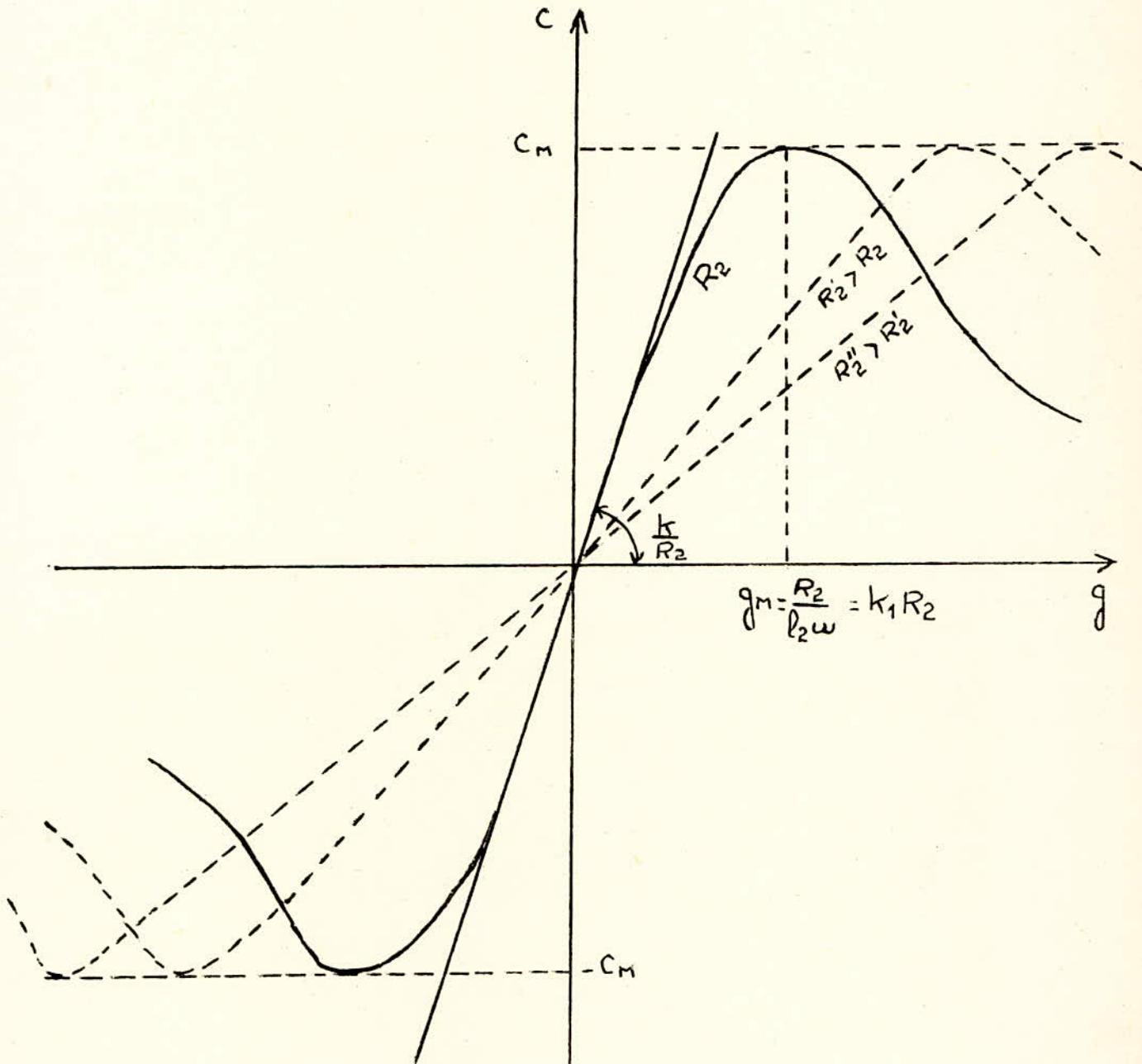
$C = K R_2 / g l_2^2 w^2 = K'/g$  est une hyperbole.

Le maximum de  $C(g)$  est obtenu pour  $R_2^2/g + g l_2^2 w^2$  minimum , ce qui nous donne :

$$g_M = R_2 / l_2 w = K_1 R_2 \quad l_2 w \text{ étant constant.}$$

$g_M$  nous donne la valeur maximum du couple  $C_M = K''/l_2\omega$  ; cette valeur est indépendante de  $R_2$ . Ce résultat indique que la valeur maximale du couple est constante, quelle que soit la valeur de la résistance  $R_2$  du rotor . En particulier si on augmente la valeur de  $R_2$  , la courbe prend des allures telles que celles tracées en pointillés.

$$R_2' > R_2 \quad \text{et} \quad R_2'' > R_2'$$

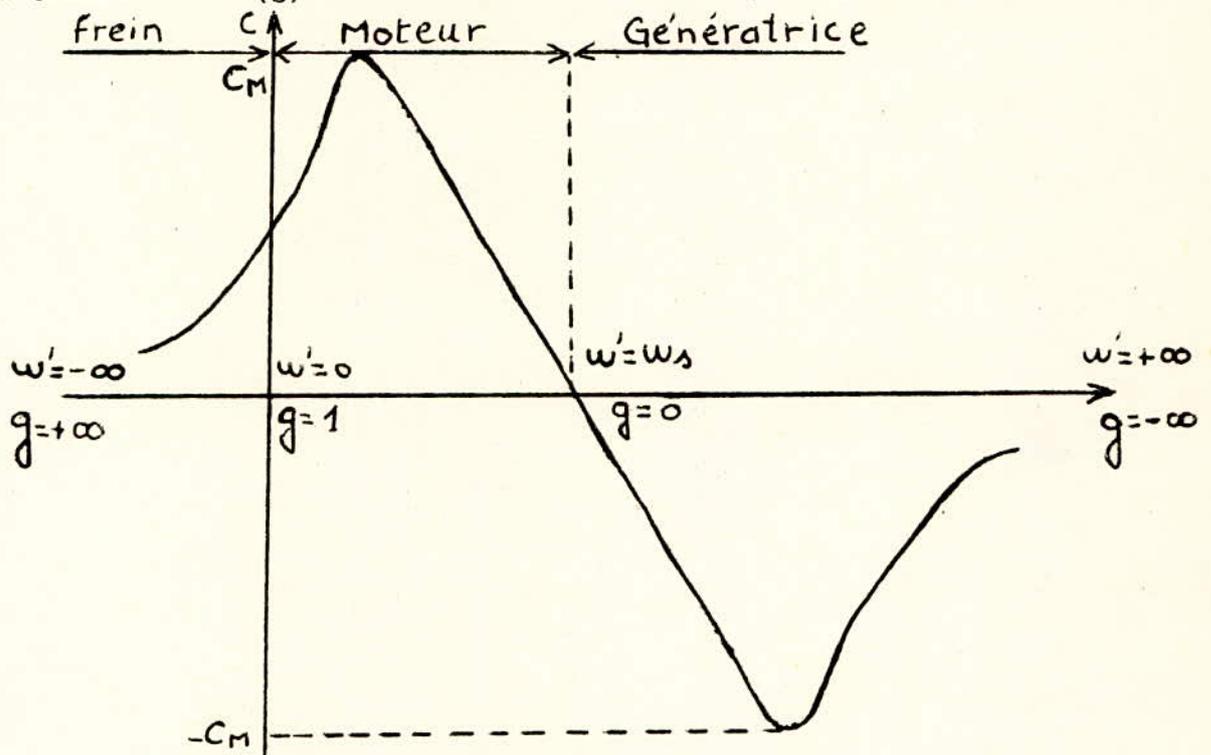


On remarque que pour  $g = 0$ ,  $w' = w_s$  et pour  $g = 1$ ,  $w' = 0$ .

D'autre part, pour  $g = +\infty$ ,  $w' = -\infty$  et pour  $g = -\infty$ ,  $w' = +\infty$

On voit donc que les origines de  $g$  et de  $w'$  ne coïncident pas et que les sens croissants sont inverses l'un de l'autre.

De la courbe  $C = f(g)$  on détermine une courbe plus pratique:  $C = f(w')$



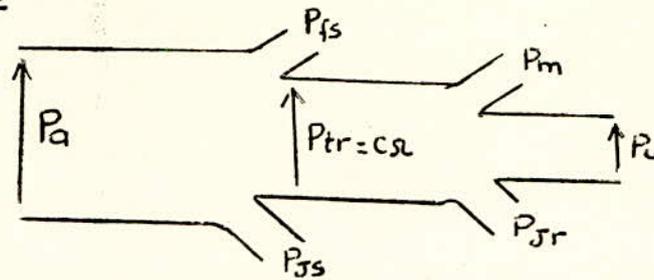
La courbe du couple permet de définir 3 zones de fonctionnement.

$0 < g < 1$  Fonctionnement moteur

$g < 0$  Fonctionnement génératrice

$g > 1$  Fonctionnement frein

BILAN DES PUISSANCES



$P_{tr} = P_a - P_{js} - P_{fs} = C\Omega$  est la puissance transmise du stator au rotor à travers l'entrefer. Le rotor tournant à la vitesse  $\Omega'$ , la puissance développée par celui-ci est  $C\Omega'$ . Donc  $C\Omega - C\Omega'$  représente les pertes au niveau du rotor. Comme les pertes fer rotoriques sont négligeables,  $C\Omega - C\Omega'$  nous donne les pertes joules rotoriques  $P_{jr}$ .

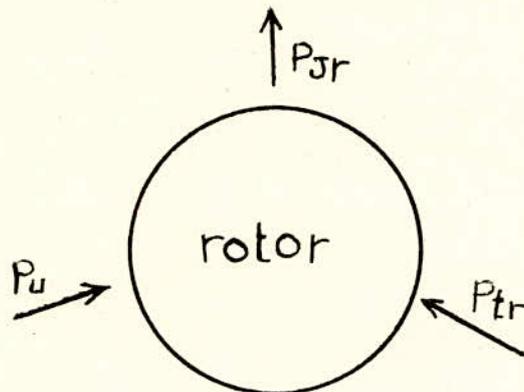
$$C\Omega - C\Omega' = P_{jr} = C(\Omega - \Omega') = gC\Omega, \quad (\Omega - \Omega') = g\Omega$$

$$P_{jr} = g P_{tr}$$

Les puissances échangées au niveau du rotor sont donc:

- $P_{tr}$  : puissance transmise du stator au rotor ou puissance traversant l'entrefer.
- $P_u$  : puissance sur l'arbre du rotor.
- $P_{jr}$  : pertes joules rotoriques.

On comptera positivement les puissances absorbées par le rotor et les orientations comme indiquées sur le schéma.



$P_{jr}$  qui est une puissance dissipée est toujours positive.

Le principe de la conservation de l'énergie nous permet d'écrire:

$$P_{tr} + P_u = P_{jr}$$

et nous avons d'autre part  $P_{jr} = g P_{tr}$ , donc  $P_{tr} + P_u = g P_{tr}$

$$\text{d'où } P_{tr} (1 - g) + P_u = 0$$

et nous avons finalement :

$$\begin{aligned} g P_{tr} &> 0 \\ P_u &= (g - 1) P_{tr} \end{aligned}$$

ces deux relations sont valables quel que soit le fonctionnement de la machine

### 1) En moteur

la machine fonctionne en moteur de l'arrêt

( $g = 1$ ), au synchronisme ( $g = 0$ ).

$$P_{jr} = g P_{tr} > 0 ; g > 0 \Rightarrow P_{tr} > 0$$

$$P_u = (g - 1) P_{tr}$$

$$\left. \begin{array}{l} g - 1 < 0 \\ P_{tr} > 0 \end{array} \right\} P_u < 0$$

$P_u$  est donc une puissance fournie par la machine ; ceci montre que le rotor reçoit une puissance  $P_{tr}$  à travers l'entrefer et fournit une puissance  $P_u$  sur l'arbre.

### 2) En génératrice

La machine fonctionne en génératrice

de  $g = 0$  à  $g = -\infty$

$P_{jr} = g P_{tr}$  puissance qui est toujours dissipée dans le rotor donc positive

$$g < 0 \Rightarrow P_{tr} < 0$$

$$\text{et } P_u = (g-1)P_{tr} > 0 \text{ puisque } g-1 < 0 \text{ et } P_{tr} < 0$$

La puissance utile sur l'arbre est absorbée par le rotor qui fournit la puissance  $P_{tr}$  au stator à travers l'entrefer. Dans ce fonctionnement on récupère donc de l'énergie active sur le réseau.

3) En frein  $g > 1$

$$\text{On a toujours } P_{Jr} = gP_{tr} > 0 \text{ donc } P_{tr} > 0$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{d'autre part } g-1 > 0 \\ P_{tr} > 0 \end{array} \right\} P_u = (g-1)P_{tr} > 0$$

On remarque dans ce fonctionnement que toutes les puissances sont dissipées au rotor qui reçoit la puissance  $P_{tr}$  transmise par le stator à travers l'entrefer et  $P_u$  la puissance transmise sur l'arbre.

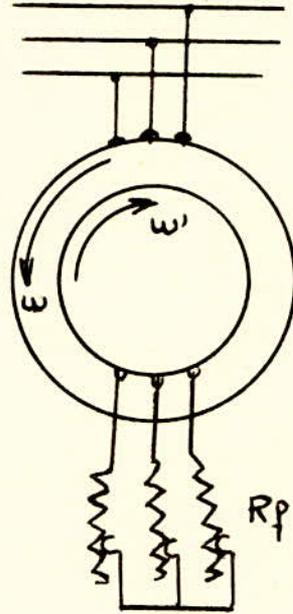
REMARQUE : La machine absorbe au réseau une puissance réactive nécessaire à sa magnétisation et cela <sup>est</sup> quelquesoit son fonctionnement, ce qui <sup>est</sup> bien montré sur le diagramme du cercle.

FONCTIONNEMENT EN FREIN

fonctionne

La machine asynchrone en frein lorsque son sens de rotation est inverse de celui du champ tournant.

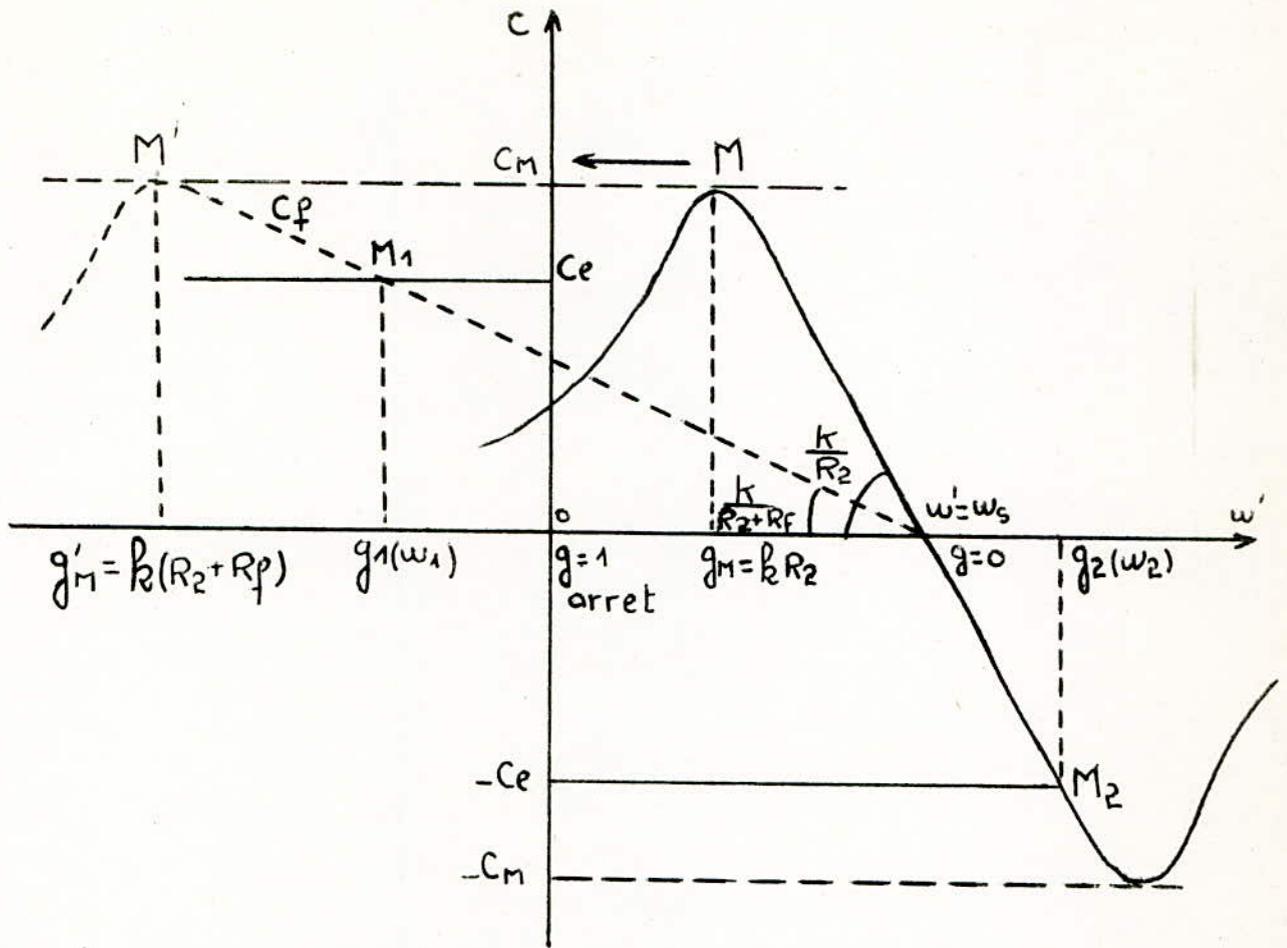
Mais un tel fonctionnement n'est possible que pour les machines à rotor bobiné, car il faut insérer dans le circuit du rotor 1 résistance  $R_f$  de freinage qui permet un fonctionnement stable et un déplacement du point M du couple maximum à un glissement  $g$  supérieur à 1.



Dans ce fonctionnement l'insertion de la résistance  $R_f$  (au rotor) déplace le point M du couple maximum  $C_M$  au point  $M'$  qui a un glissement supérieur à  $g = 1$  (courbe du couple). Mais  $C_M$  reste constant quelque soit la résistance  $R_f$ .

Par contre, sur le diagramme du cercle le point M qui correspond au couple maximum est fixe, donc pour ce fonctionnement en frein c'est le point  $P_{cc}$  ( $g=1$ ) qui se déplace de façon à avoir  $g$  supérieur à 1 pour le point M.

Le cercle étant constant, ceci nous amène à modifier l'échelle des glissements.

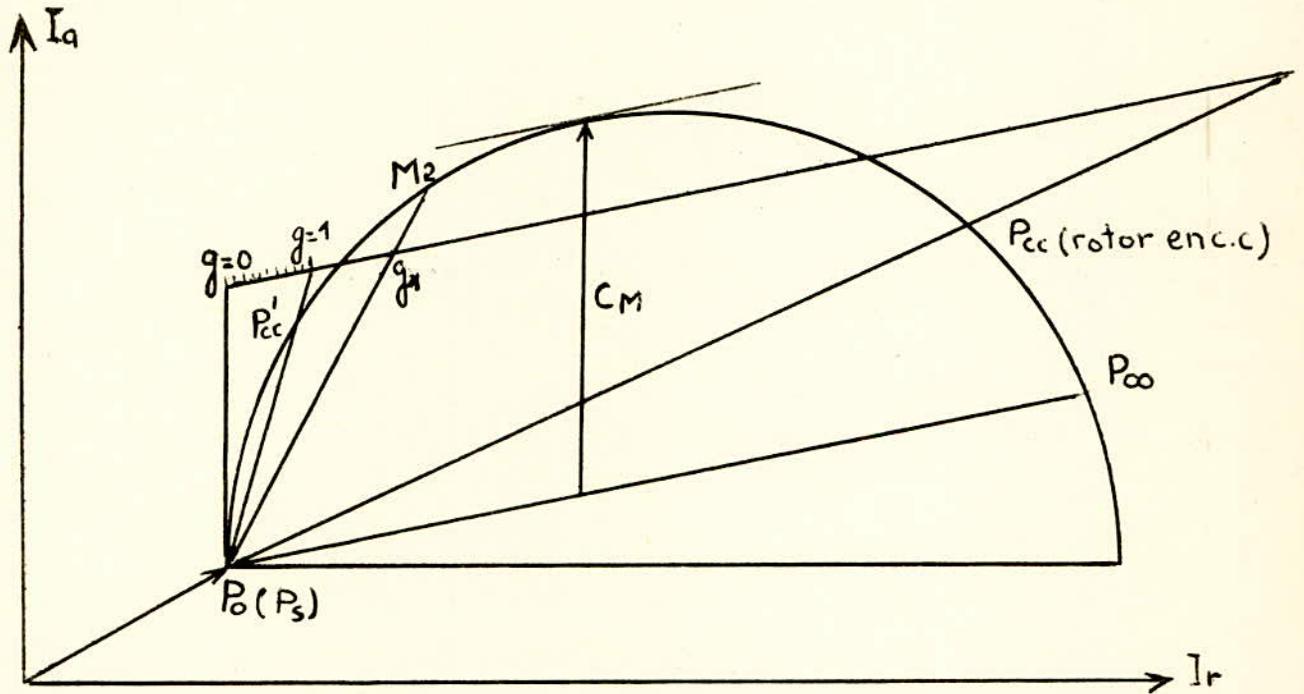


REMARQUE :

Si on effectuait l'essai en frein sans l'insertion des résistances de freinage , on aurait un courant encore plus important que le courant de court-circuit  $I_{cc}$ .

Ceci est bien mis en évidence par le diagramme du cercle , la droite des glissements restant inchangée et le glissement étant supérieur à 1 ( $g > 1$ ) pour l'essai en frein.

DIAGRAMME DU CERCLE POUR L'ESSAI EN FREIN



$P_{cc}$  : rotor en court-circuit

$P'_{cc}$  : rotor + résistance de freinage considéré comme un nouveau rotor.

M E S U R E S

I- Mesures en vue de la détermination du cercle

1- Mesure des résistances rotoriques et statoriques

a) Méthode de mesure

- Utiliser la méthode voltampérométrique (voir figure 1)
- Partir d'une tension nulle et l'augmenter progressivement jusqu'à obtenir un courant voisin du courant nominal.

b) Relevé

- Noter V et I pour 3 valeurs de I comprises entre  $I_n/2$  et  $I_n$

- Calculer la moyenne de V/I

- Calculer les résistances à chaud en utilisant la relation:

$$R_t = R_{t_0} (1 + a(t - t_0)) \text{ avec } a = 0,004/^\circ\text{C POUR LE}$$

cuiivre

$t_0$ : température ambiante

$t = 75^\circ\text{C}$  d'après les normes

internationales.

2- Mesures à vide

Réaliser le montage correspondant à la figure 2

a) Méthode de mesure

- T.I. calibre 10A
  - Wattmètre -circuit tension: calibre 250V
  - -circuit intensité: calibre 5A
  - Ampèremètre -calibre 5A
- Vérifier que le rhéostat de démarrage est sur le plot mort (circuit du rotor ouvert), que  $K_1$  est ouvert et  $K_2$  sur une position quelconque.

-Mettre  $K_5$  sur la position 1,  $K_6$  ouvert (la génératrice n'est pas excitée)

-Brancher le stroboscope sur 220 alternatif.

-Fermer  $K_1$  et démarrer le moteur à l'aide du rhéostat de démarrage.

-Régler la fréquence du stroboscope jusqu'à obtenir la stabilisation du repère marqué sur l'arbre du rotor (stabilisation d'un seul repère).

On considérera que pour ce fonctionnement le glissement est nul.

#### REMARQUE

Le moteur asynchrone ne fonctionne pas exactement à vide puisqu'il entraîne une machine à courant continu qui lui présente un couple résistant supplémentaire. Mais le glissement est négligeable devant les incertitudes de mesures données par les appareils de mesure dont on dispose.

On considère que le stroboscope n'a pas de précision absolue quant à l'indication qu'il donne, mais que réglé sur une certaine fréquence au début de la séance; il ne dérivera pas et donnera une fréquence d'éclairs fixe.

#### ÉTALONNAGE DU TACHYMÈTRE

Lorsque le glissement devient grand on ne peut plus suivre la rotation du repère. On utilise alors la méthode du tachymètre. Pour cela il est nécessaire de l'étalonner. Ayant admis qu'à vide on a la vitesse de synchronisme, on mesure cette vitesse à l'aide du tachymètre. On observe une certaine erreur absolue, qu'on considérera constante par la suite, étant donné que les vitesses mesurées sont assez voisines.

#### b) Relevé

-Mesurer à l'aide de la méthode des deux wattmètre la puissance à vide

$W_0$ .

-Relever  $I_0$ .

### 3- Mesures en court-circuit

- T.I. calibre 20A
- Ampèremètre calibre 5A
- Wattmètre -circuit tension: calibre 250V.
- circuit intensité calibre 5A.

#### a) Méthode de mesure

- $K_1$  étant ouvert , brancher l'alimentation sur "l'alternatif variable" et régler la tension du réseau à la tension minimum.
- Mettre  $K_5$  sur la position 1 et court-circuiter le rhéostat de démarrage
- Bloquer le rotor (à la main s'il y a lieu).
- $K_3$  étant toujours sur la même position , fermer  $K_1$ .
- Augmenter progressivement la tension jusqu'à obtenir un courant voisin du courant nominal.

#### b) Relevé

- Relever  $W_{cc}$  par la méthode des deux wattmètres.
- Noter  $U_{cc}$  et  $I_{cc}$ .

## II- MESURE EN CHARGE (fonctionnement moteur , génératrice et frein)

- T.I. calibre 20A.
- Wattmètre : -circuit tension , calibre 250V.
- circuit intensité , calibre 5A
- Ampèremètre calibre 5A.

### 1- Fonctionnement moteur.

#### a) Méthode de mesure

- Redémarrer le moteur comme pour l'essai à vide.

- Agir sur le réseau "continu variable" jusqu'à obtenir une tension de 120V.

- Exciter la machine à courant continu , et vérifier le bon sens de déviation de l'ampèremètre; régler l'excitation pour obtenir une tension de 120V aux bornes de l'induit.

- Vérifier que la tension du réseau "continu variable" et celle aux bornes de l'induit sont EGALES et OPPOSEES.

Pour cela , placer un voltmètre entre A et B qui doit indiquer 120V. Ramener la borne du voltmètre qui était en A à C et celle qui était en B à D. Si le voltmètre dévie dans le même sens que pour la position AB et indique 120V , alors on pourra coupler la machine à courant continu sur le réseau en fermant  $K_G$ .

Si le voltmètre dévie en sens inverse , les tensions ne sont pas en opposition , alors , inverser les deux bornes de l'induit et revérifier à nouveau.

L'EGALITE ET L'OPPOSITION des tensions étant VERIFIEES , on peut alors coupler la machine à courant continu au réseau sans DANGER .

Observer la stabilité du repère marqué sur l'arbre du rotor après le couplage; le glissement est donc très faible en ce point de fonctionnement. Le rotor tourne à une vitesse voisine de celle de synchronisme.

- En diminuant l'excitation de la machine à courant continu , sa vitesse augmente au delà du synchronisme. On a donc le système :

Moteur à courant continu et Génératrice asynchrone

On note le sens de variation du repère sur l'arbre.

- En augmentant l'excitation de la machine à courant continu , sa vitesse diminue en deçà du synchronisme .On a le système :

Moteur asynchrone et Génératrice à courant continu

On note le changement du sens de la vitesse apparente du repère sur l'arbre.

#### REMARQUE

On adoptera le signe positif pour les énergies absorbées par la machine au réseau , et le signe négatif pour les énergies fournies par la machine au réseau.

En moteur , la machine absorbe de la puissance active correspondant à la puissance utile sur l'arbre et à ses pertes. Elle absorbe également de la puissance réactive nécessaire pour produire le champ tournant. Ces deux puissances sont comptées positivement.

En génératrice la machine fournit au réseau une puissance active qu'on comptera donc négativement , mais elle absorbe toujours une puissance réactive nécessaire à sa magnétisation qu'on comptera positivement.

#### b) Relevé

- Relever  $W$  ,  $I$  ,  $g$  pour différentes valeurs de l'excitation de la machine à courant continu correspondant à ce fonctionnement , en prenant soin de ne pas dépasser  $1,2 I_n$  de chaque machine( "continu" et asynchrone).

Le glissement est relevé par la méthode stroboscopique; pour un point de fonctionnement donné , on voit le repère tourner à une certaine vitesse . On compte le nombre  $N_1$  de tours en une minute ; le glissement sera:

$$g = (N_1 / N_s) \cdot 100 \quad N_s : \text{vitesse de synchronisme en tours/minute}$$

## 2- Fonctionnement en génératrice

### a) Méthode de mesure

Diminuer l'excitation de la machine à courant continu, ce qui revient à augmenter la vitesse de rotation. À la vitesse de synchronisme on remarquera la stabilisation du repère. au delà de cette vitesse le repère tourne en sens inverse : on est en fonctionnement génératrice.

### b) Relevé

- Relever  $W$ ,  $I$ , et  $g$  pour différentes valeurs de la machine à courant continu correspondant à ce fonctionnement, en prenant soin de ne pas dépasser  $1,2I_n$  ( $I_n$  courant nominal de chaque machine).

## 3- Fonctionnement en frein

### a) Méthode de mesure

Utiliser comme résistance de freinage  $R_f$  3 boîtes de résistances (110V, 30A)

- Fermer 5 plots sur chaque boîte de résistances.
- La machine fonctionnant légèrement en génératrice, prendre le glissement pour ce point de fonctionnement avant de passer en frein.
- Inverser  $K_3$  et mettre  $K_5$  sur la position 2 SIMULTANÉMENT (très important)
- Equilibrer les résistances de façon à obtenir des tensions égales à leurs bornes.

### b) Relevé

- Constater que la vitesse de rotation a diminué.

- Relever  $W$ ,  $I_s$  (courant statorique),  $U_c$  (tension aux bornes de l'induit de la machine à courant continu),  $I_c$  (courant d'induit),  $J$  (courant d'excitation de la machine à courant continu),  $V_r$  (tension aux bornes des résistances de freinage) pour ce point de fonctionnement, ainsi que le glissement (méthode tachymétrique).

### III-Mesures annexes

La machine fonctionnant en frein, il serait intéressant de connaître la répartition des puissances, soit de faire le bilan des puissances. Ce qui nous amène à effectuer des mesures supplémentaires:

1- Mesure de la résistance d'induit de la machine à courant continu (pertes joules dans l'induit).

2- Mesures des résistances de freinage (pertes joules du rotor pour l'essai en frein).

3- Mesures des pertes fer statoriques (séparation des pertes fer du stator et des pertes mécaniques)

4- Mesure des pertes à vide de la machine à courant continu ( $P_o = P_{fc} + P_{m1} + P_{m2}$ )

$P_{m1}$ : pertes mécaniques de la machine à C.C

$P_{m2}$ : pertes mécaniques de la machine asyn-

-chrone.

#### 1-Mesures des pertes fer statoriques de la machine asynchrone.

Utiliser le montage de la figure 1

##### a) Méthode de mesure

- $K_1$  ouvert, brancher le stator sur le réseau "alternatif variable".
- Vérifier que  $K_6$  est ouvert (machine à courant continu non alimentée)

- Redémarrer le moteur asynchrone de la même manière que lors de l'essai à vide.

L'essai à vide, le stator étant alimenté à tension variable, permet de séparer les pertes fer des pertes mécaniques en réduisant la tension  $U_1$  (tout en gardant une valeur suffisante pour que le glissement reste faible). Sachant que :  $P_0 = P_{fs} + P_m$ , on trace la courbe  $P_0 = f(U_1)$ . L'extrapolation de cette courbe jusqu'à  $U_1=0$  nous donne les pertes mécaniques.



b) Relevé

- Relever la courbe  $W_0 = f(U_1)$ .
- Noter les pertes fer statoriques pour  $U_1 = U_n$ .

## 2- Mesure des pertes à vide de la machine à courant continu

### a) Méthode de mesure

Utiliser le montage de la figure 1

- Ouvrir  $K_1$  (machine asynchrone non alimentée)
- Régler la tension d'alimentation "continuable" à ZERO
- Fermer  $K_6$  et démarrer le moteur en augmentant progressivement la tension.

En faisant tourner le groupe entraîné par le moteur à courant continu, moteur asynchrone non alimenté, on se place au point de fonctionnement en frein relevé, c'est-à-dire :

- 1°) Même vitesse en agissant sur la tension d'alimentation.
- 2°) Même f<sub>cem</sub> en gardant la même valeur de l'excitation.

b) Relevé

- Relever U et I (induit)
- u et J (inducteur)

déterminer les pertes à vide de la machine à courant continu:  $P_0 = P_f + P_m$ .

$P_m$  étant les pertes mécaniques des deux machines.

3- Mesure de la résistance d'induit de la machine à courant continu

a) Méthode de mesure

Utiliser le montage de la figure 2 (méthode voltampèremétrique)

- Maintenir le moteur à la main pour l'empêcher de tourner (le rémanent tendant à cet effet)
- Partir d'une tension nulle et l'augmenter progressivement jusqu'à obtenir un courant voisin du courant nominal.
- Faire tourner très lentement l'arbre du moteur à la main et observer la légère variation des appareils autour de leur valeur moyenne.

b) Relevé

- Noter V et I pour trois valeurs de I comprises entre  $I_n/2$  et  $I_n$ .
- Calculer la valeur moyenne de  $V/I$ , soit  $R_a$ .

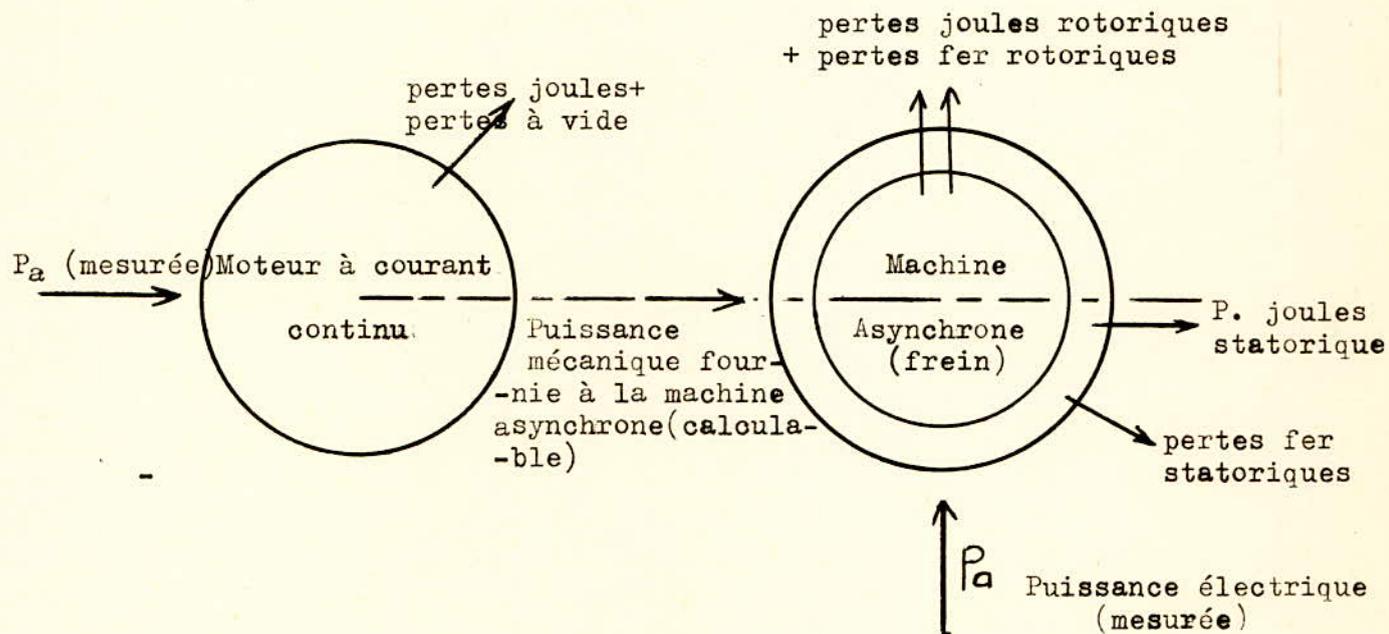
4- Mesure des trois résistances de freinage

Méthode de mesure et relevé

- Utiliser la méthode voltampèremétrique.
- Noter V et I pour chaque résistance.
- Calculer  $V/I$ , soit  $R_{f1}$ ,  $R_{f2}$ ;  $R_{f3}$ .

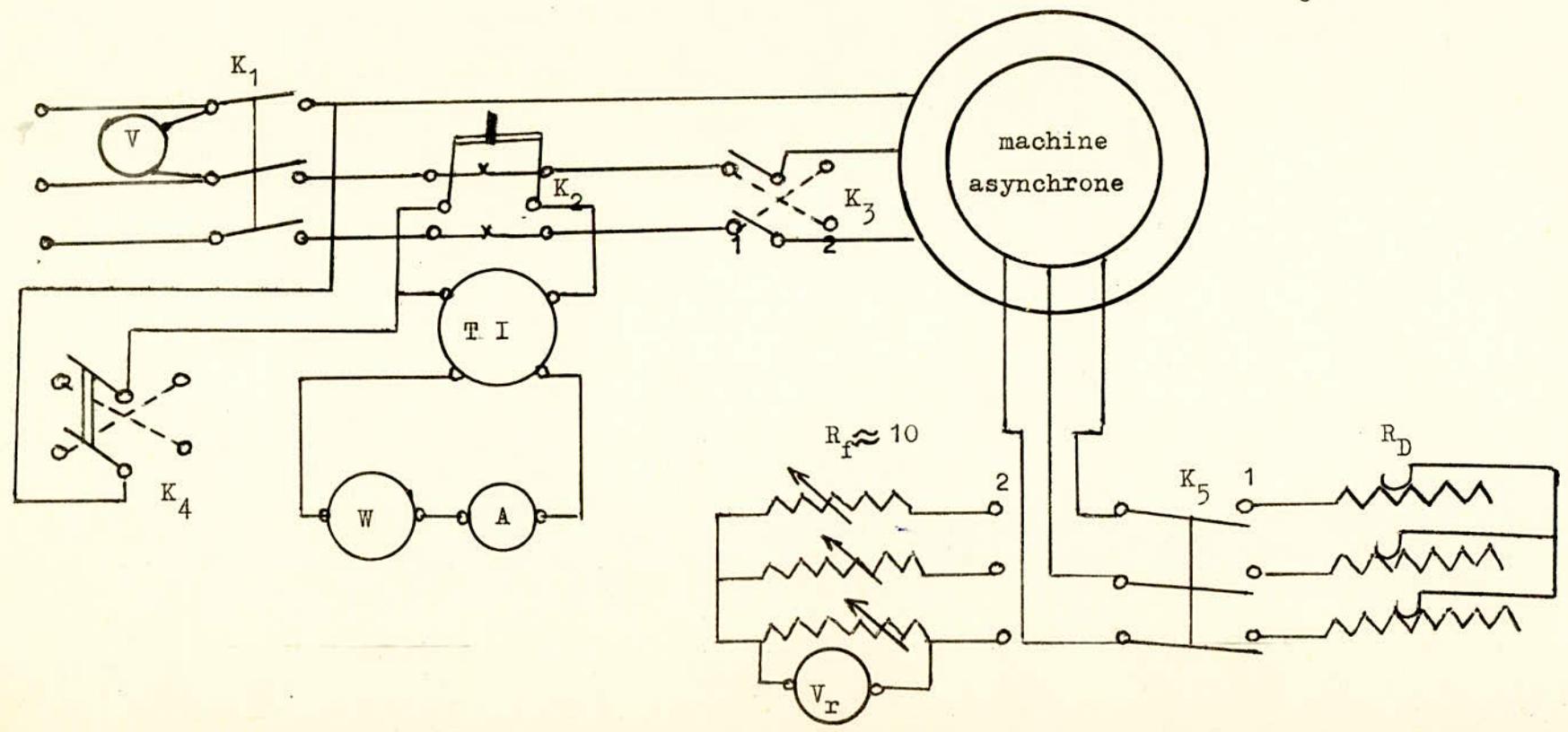
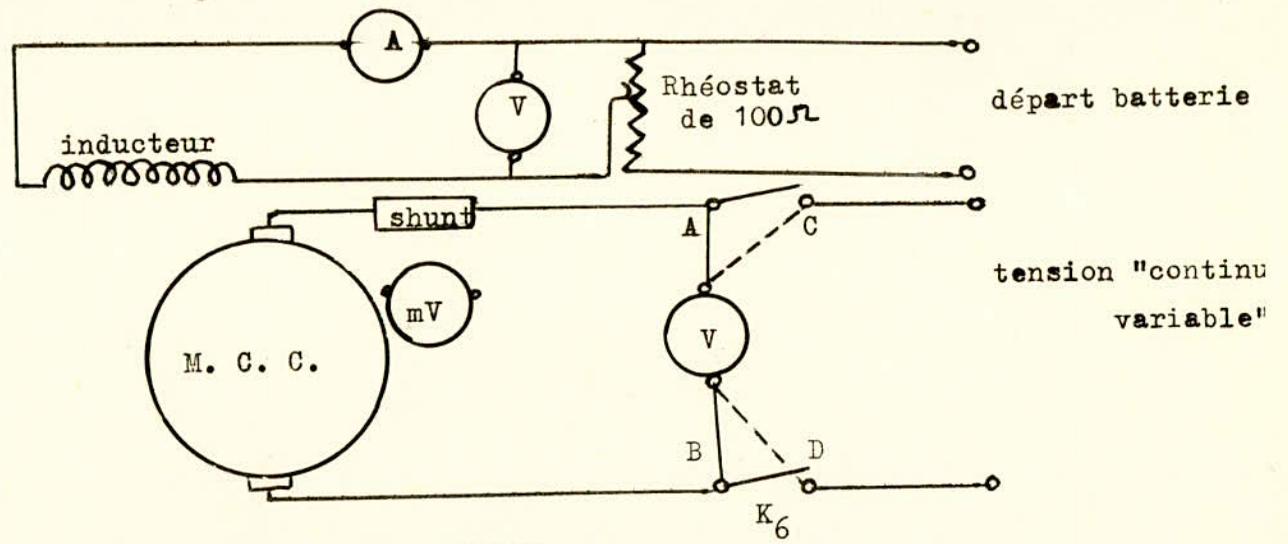


La puissance dissipée dans le rotor (pertes fer + pertes joules) doit être égales à la somme des puissances absorbées par les deux machines auxquelles on retirera toutes les pertes .



- Calculer les pertes fer rotoriques pour le point de fonctionnement en frein relevé.

FIGURE 1



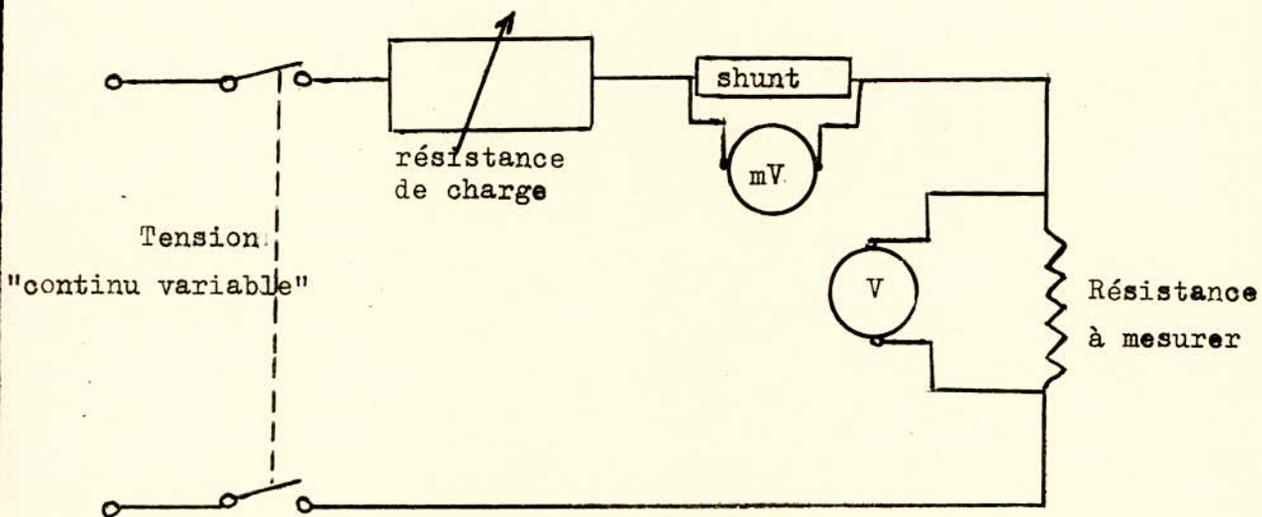


FIGURE 2

MACHINE ASYNCHROME GENERALISEE

RESULTATS OBTENUS LORS DES ESSAIS

I- DETERMINATION DU DIAGRAMME DU CERCLE

1°) Mesure des résistances statorique et rotorique

On effectue 3 mesures pour chaque résistance ; les essais nous donne:

<u>rotor</u>		<u>stator</u>	
U(V)	I(A)	U(V)	I(A)
1	5	9,8	15
3,2	15	6,4	10
5,5	25	3,3	5

$R_r = 0,21 \text{ ohm}$                        $R_s = 0,73 \text{ ohm}$

2°) Essai à vide

$$I_0 = 7,8 \text{ A}$$

$$W_0 = 630 \text{ W}$$

$$U = U_n = 220 \text{ V}$$

ce qui nous donne  $\cos\phi_0 = W_0 / UI_0 \times 1,732 = 630 / 220 \times 7,8 \times 1,732$

$$\underline{\cos\phi_0 = 0,21} \quad \text{d'où} \quad \underline{\phi = 78^\circ}$$

3°) Essai en court circuit

$$U'_{cc} = 45\text{V} \quad ; \quad I'_{cc} = 14,6\text{A} \quad ; \quad W_{cc} = 460\text{W}$$

$$I_{cc} = I'_{cc} \times U_n / U'_{cc} = 14,6 \times 220 / 45 = \underline{71,3\text{A}}$$

$$\cos\phi_{cc} = W_{cc} / U'_{cc} \times I'_{cc} \times 1,732 = 0,404$$

$$\underline{\cos\phi_{cc} = 0,404} \quad \text{d'où} \quad \underline{\phi_{cc} = 66^\circ}$$

4°) Calcul des pertes joules statoriques en court-circuit

$$P_{js} = (3/2) R_s \times I_{cc}^2 = \underline{5566\text{W}}$$

II- MESURES EN CHARGE

	<u>M O T E U R</u>						<u>G E N E R A T R I C E</u>				
W	1000	1360	2160	3000	3800	4460	320	440	900	1320	1600
I	8,2	8,6	9,8	11,6	13,4	16	7,6	7,8	8,2	9,2	9,4
g%	0,43	1	1,46	2,6	3,13	3,73	0,2	0,5	1,4	1,6	2,2
C	1,88	4,13	9,07	14,2	18,9	23,7	5,35	6,13	9,11	11,9	13,7
cosφ	0,31	0,41	0,56	0,66	0,73	0,75	0,11	0,14	0,28	0,37	0,43

III- ESSAI EN FREIN

Grandeurs alternatives

$W = 2420 \text{ W} \quad ; \quad I_g = 10,2\text{A} \quad ; \quad V_{rf} = 100\text{V}$

Grandeurs continues

$U = 104\text{V} \quad ; \quad I_a = 25,75\text{A} \quad ; \quad J = 0,25\text{A}$

le glissement est:  $g = 187\%$

IV- MESURES ANNEXES

1°) Relevé de  $P_o = f(U)$

U(V)	240	234	225	215	201	190	175	160	146	130	110	90	75	50
W(W)	760	700	620	580	520	500	440	400	400	370	360	340	340	340

2°) Mesure des pertes à vide de la machine à courant continu

Cette est prise au point de fonctionnement en frein relevé c'est-à-dire même vitesse et même foem.

L'essai nous donne :  $I = 2,35A$  ;  $U = 102V$

$$P_o = UI = 239,7 \text{ W}$$

3°) Mesure de la résistance d'induit

On effectue 3 mesures

$$- U = 14V \quad ; \quad I = 20A \quad ; \quad R_a = 0,7 \text{ ohm.}$$

$$- U = 11,6 \quad ; \quad I = 15,8 \quad ; \quad R_a = 0,73 \text{ ohm.}$$

$$- U = 8V \quad ; \quad I = 11,2 \quad ; \quad R_a = 0,72 \text{ ohm.}$$

$$R = 0,716 \text{ ohm.}$$

4°) Mesure des résistances de freinage

La mesure de  $R_{f1}$  nous donne:  $U = 117v$  et  $I = 11,5A$

$$\text{d'où } R_{f1} = 10,17 \text{ ohm}$$

pour  $R_{f2}$  et  $R_{f3}$  on obtient :  $U = 117V$  ;  $I = 11,5A$  et  $U = 113V$  ;  $I = 11,5A$

$$\text{d'où } R_{f2} = 10,17 \text{ ohm} \quad \text{et} \quad R_{f3} = 10,27 \text{ ohm}$$

CALCUL DES PERTES FER ROTORIQUE POUR L'ESSAI ENFREIN

$$P_{me} = UI - P_{ja} - P_o = 2678 - 477 - 239,7 = 1961,3 \text{ W}$$

$$P_{tr} = W - P_{js} - P_{fs} = 2420 - 260 - 108 = 2052 \text{ W}$$

$$P_{me} + P_{tr} = P_{jr} + P_{fr} = 4013 \text{ W}$$

$$P_{jr} = 3V_R^2 / R = 3 \times (100) / 10,2 = 2941 \text{ W}$$

$$\text{d'où } P_{fr} = 4013 - 2941 = 1072 \text{ W}$$

Tableau des valeur données par le cercleEN. MOTLUR

$P_a$	$\delta\%$	$\cos\phi$	C	I
623,5	0	0,207	-	7,7
1364	0,5	0,407	4,46	8,6
1637	1	0,446	5,95	9,...
3312,	2	0,71	16,63	11,8
4130	3	0,768	21,3	13,8
5066	4	0,81	27,3	16,
6780,8	5,6	0,836	37	20,8
8339,66	7,8	0,836	45,67	25,6
8840	8,1	0,834	49,15	27,8
10444	10,5	0,827	56,1	31,7
11067,5	11,8	0,816	58,82	34,8
11652	13	0,8	61,31	37,2
12158	14	0,796	63,54	39,4
12626	15,7	0,778	65,13	41,6
13016	17	0,766	66,27	43,6
13405	18,5	0,75	67,51	45,8
13717	20,6	0,73	67,8	48,2

EN GENERATRICE

$P_u$	$\xi \%$	$\cos\phi$	C	I
225	0,5	0,08	4,85	7,6
1067	1	0,34	9,2	8,2
1447	1,5	0,43	10,9	8,8
1905	2,2	0,53	16,63	9,4
3585	3,5	0,709	27,8	13
5222	5	0,78	39,22	17,1
6742	6	0,8	50,38	21,6
8151	7,2	0,8	60,56	26
9353	8,7	0,789	70,49	30,4
10444	10,2	0,77	79,43	34,8
11418	11	0,749	87,87	39,1
12158	13	0,72	95,06	43
12782	14,5	0,697	101,5	47
13016	16	0,65	106,2	51
15172	18	0,61	109,7	54,8
13094	19	0,59	110,9	56,2
12860	21	0,55	112,2	59,7

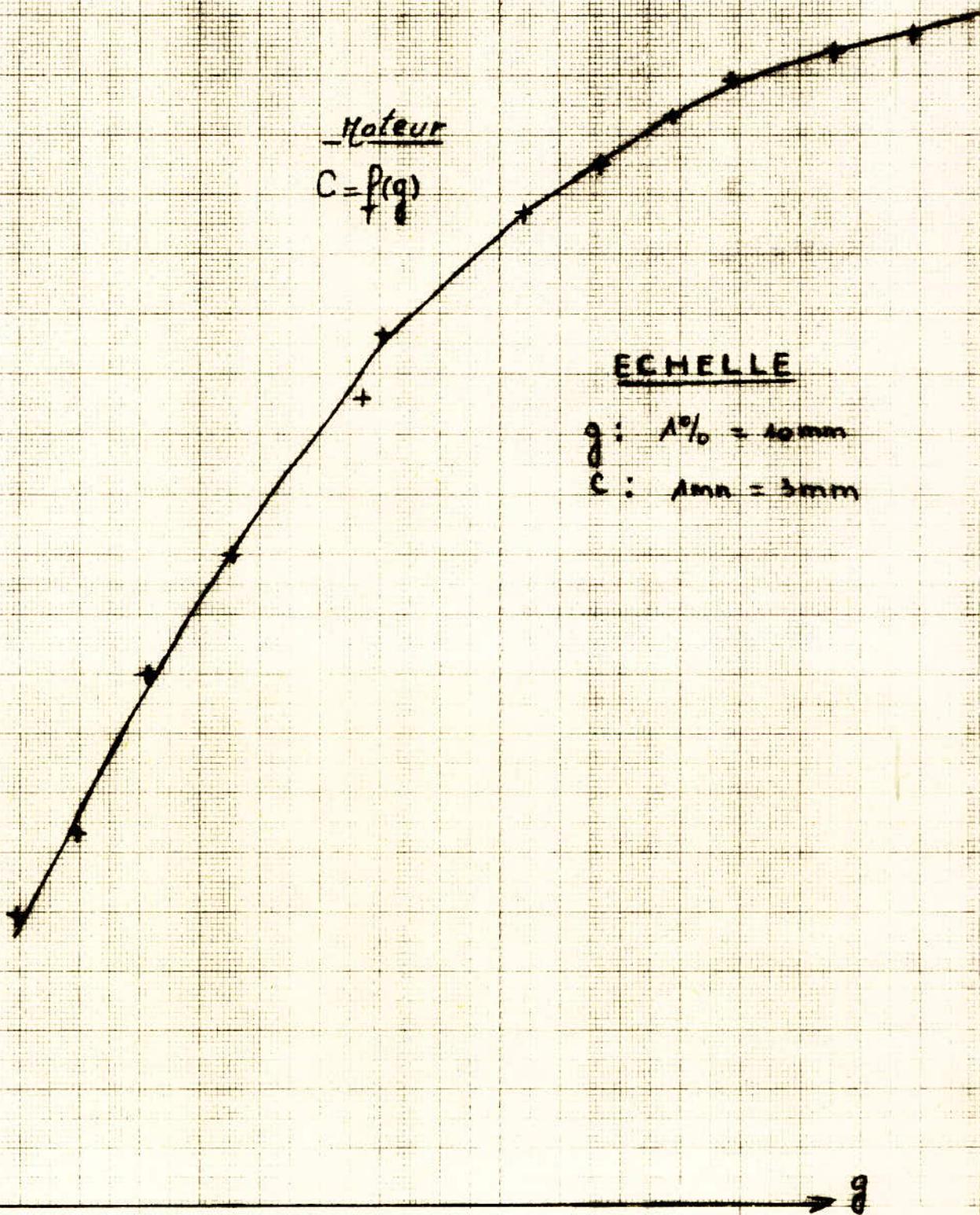
AC

Moteur  
 $C = f(q)$

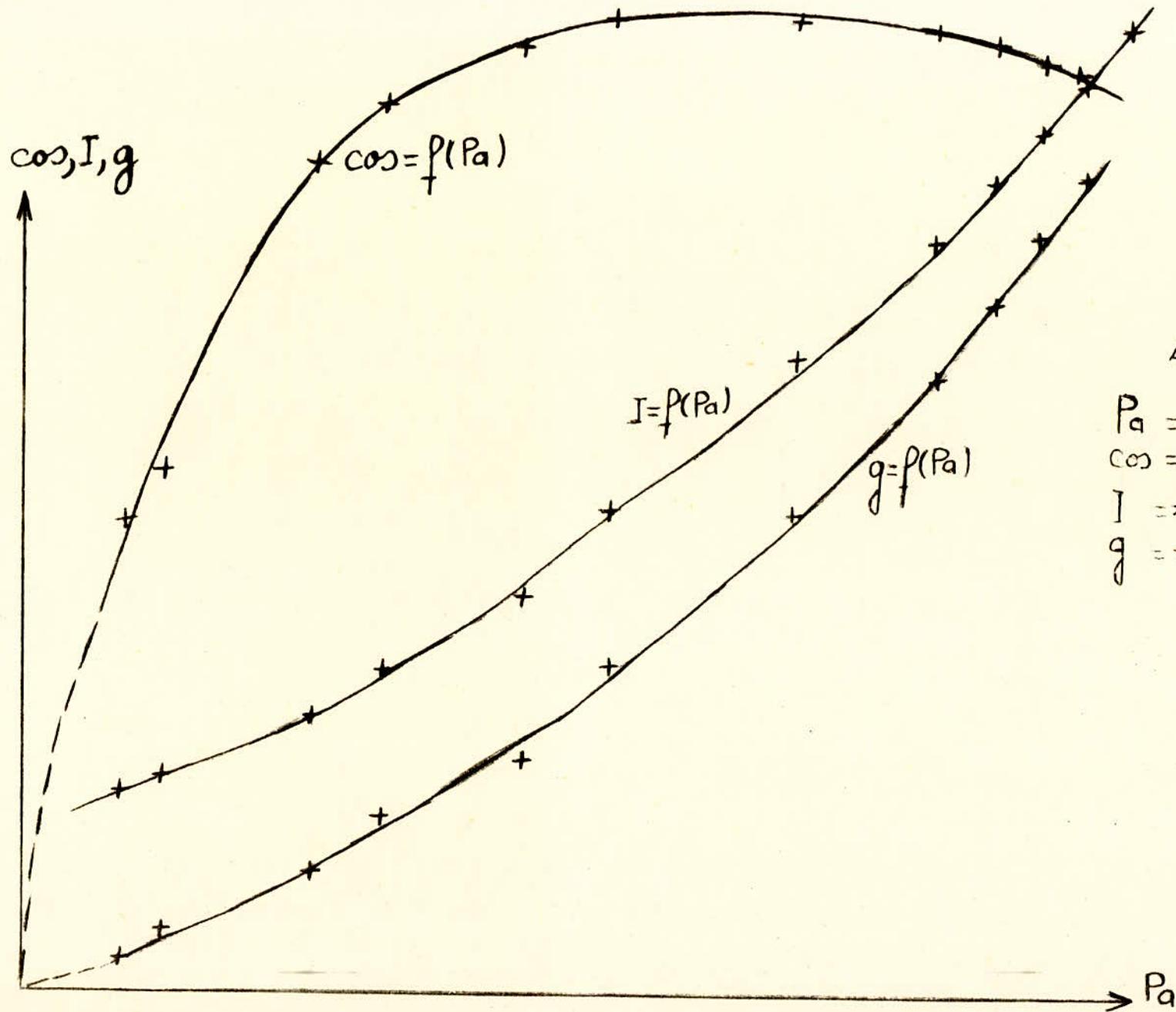
ECHELLE

q : 1% = 10mm

C : 1mm = 3mm



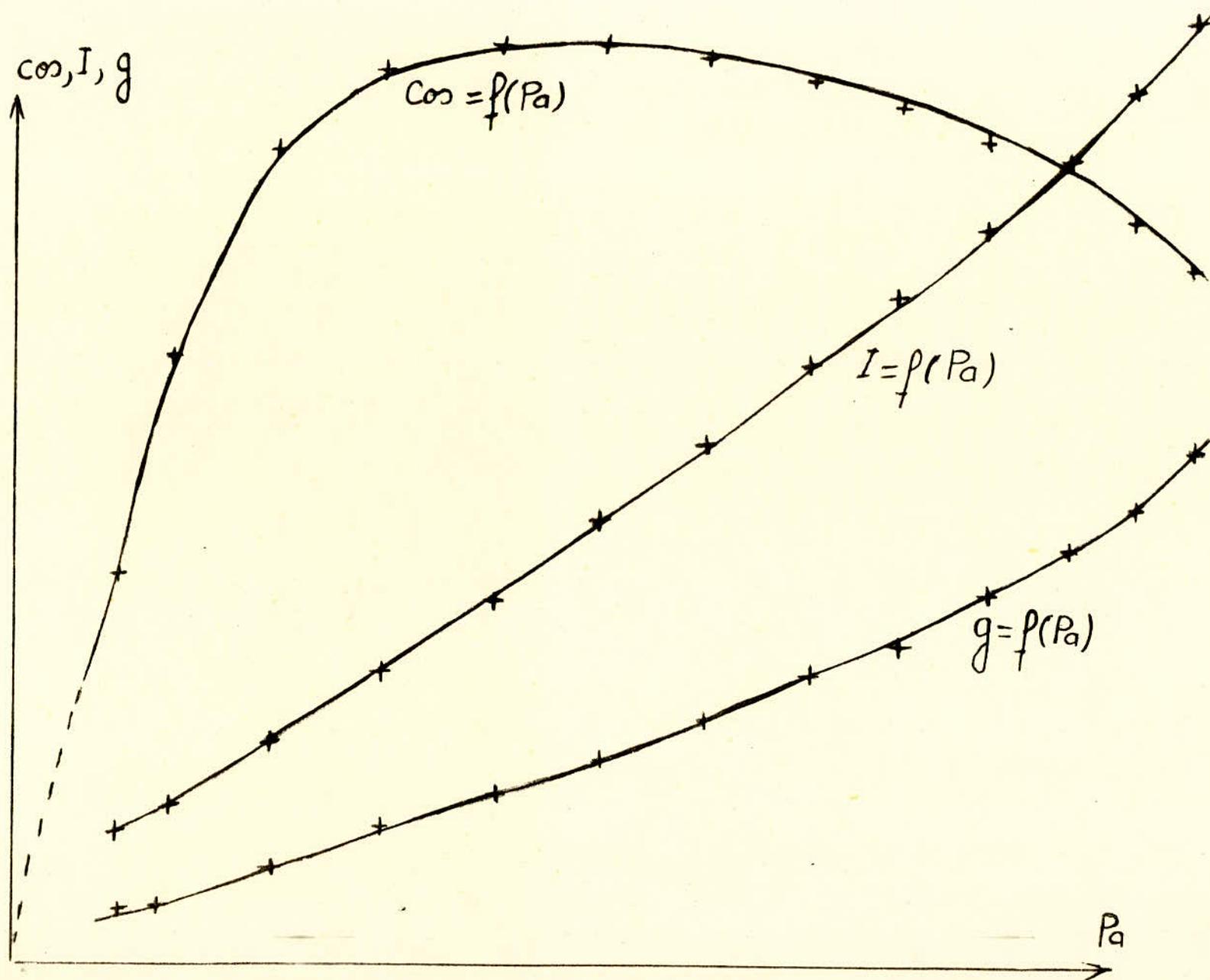
Moteur



Echelle

- $P_a \Rightarrow 1W \rightarrow 15 \cdot 10^3 \text{ mm}$
- $\cos \Rightarrow 1 \rightarrow 200 \text{ mm}$
- $I \Rightarrow 1A \rightarrow 4 \text{ mm}$
- $g \Rightarrow 1\% \rightarrow 10 \text{ mm}$

# Génératrice



## Echelle

$P_a$  : 1mm = 100W  
 $\cos \varphi$  : 2mm = 0,01  
 $I$  : 3mm = 1A  
 $g$  : 5mm = 1%

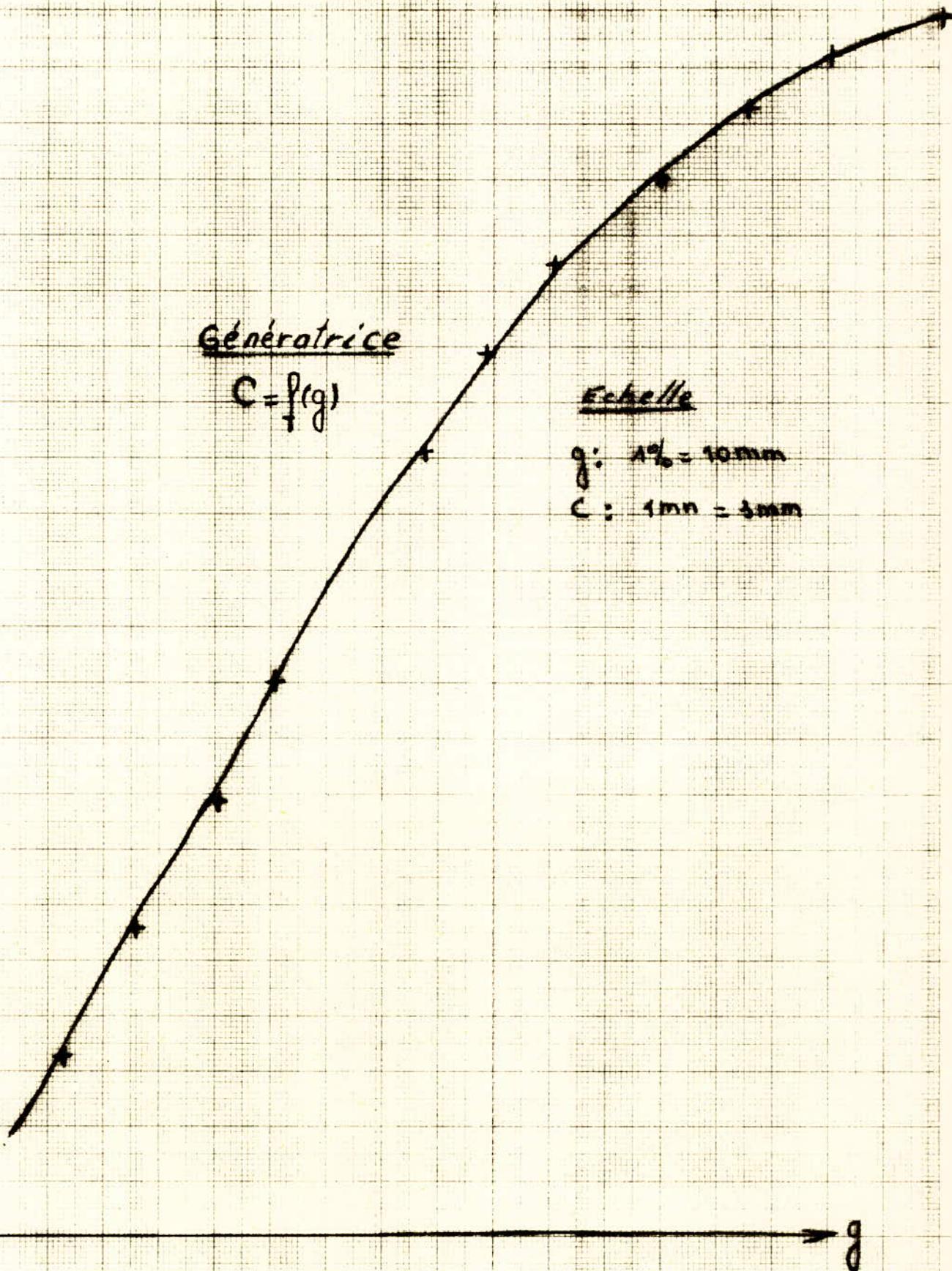
AC

Génératrice  
 $C = f(g)$

Echelle

g: 1° = 10mm

C: 1mn = 3mm



-- FEN 217 --  
=====

PREPARATION DES PERTES  
=====

PAR LA  
=====

METHODE DE FOURMARIER  
=====

SEPARATION DES PERTES FER STATORIQUES

METHODE DE FOURMARIER

MATERIEL A EMPLOYER

- 1 interrupteur triphasé simple à fusible
- 1 interrupteur monophasé simple à fusible
- 1 inverseur de tension
- 1 commutateur de wattmètre
- 1 transformateur d'intensité , calibre 50-20-10A
- 1 ampèremètre alternatif , calibre 5A
- 2 voltmètre alternatif , calibre 500-150-50V
- 1 wattmètre calibre 5-10A ; 125-250V
- 1 voltmètre continu , calibre 150V
- 1 ampèremètre continu , calibre 2A
- 1 millivoltmètre (shunt 5A)

## INTRODUCTION

Dans toutes les machines électriques, il est nécessaire de connaître les pertes et de pouvoir les évaluer.

Il est d'autant plus intéressant de les connaître qu'elle nous permettent de déterminer le rendement de la machine, lequel est une des caractéristiques essentielles et aussi l'échauffement, qui limite la puissance d'une machine électrique.

D'une façon générale dans une machine électrique, on distingue trois sortes de pertes :

### 1°) Pertes mécaniques

Elles sont dues à la rotation de certaines pièces et aux divers frottements (frottement et ventilation)

### 2°) Pertes joules

Elles sont dues à la circulation d'un courant dans les enroulements

### 3°) Pertes fer

Elles sont dues à la variation du flux dans le circuit magnétique.

Nous insisterons plus spécialement sur ces pertes fer. La variation du flux dans le fer provoque les pertes fer qu'on séparera en pertes par Hystérésis et pertes par courants de Foucault.

#### a) Pertes par hystérésis

Le phénomène d'hystérésis donne naissance à des pertes proportionnelles à la surface du cycle. Le tracé de ces cycles varie suivant la composition des toles utilisées.

Pour les toles actuellement employées on admet que les pertes par hystérésis sont proportionnelles à la fréquence  $f$  de variation de l'induction, donc à la vitesse ( $f=pN$ )

## b) Pertes par courants de Foucault

Les pertes par courants de Foucault sont aussi dues à la variation de l'induction. Dans le circuit magnétique, elles existent donc en même temps que les pertes par hystérésis. Elles sont provoquées par la circulation de courants à l'intérieur des toles. Elles sont proportionnelles au carré de la fréquence de variation du flux donc aussi de la vitesse puisque  $f = pN$ .

### I.- METHODE DE FOURMARIER

La méthode de Fourmarier permet de séparer les pertes fer par hystérésis des pertes fer par courants de Foucault.

On sait que dans une machine asynchrone, les pertes fer rotoriques sont négligeables en fonctionnement normal.

Il ne s'agit donc que des pertes fer dans le stator.

La séparation des pertes fer par cette méthode, n'est possible que pour les machines asynchrones à rotor bobiné, mais elle ne nécessite qu'une alimentation à 50Hz.

#### 1°) PRINCIPE

Les pertes par hystérésis  $P_H$  sont proportionnelles à la vitesse de variation de flux.

$$P_H = K w_1 \quad \text{où } w_1 \text{ est la vitesse de variation de flux.}$$

Cette puissance  $P_H$  correspond à un couple d'hystérésis suivant la relation :

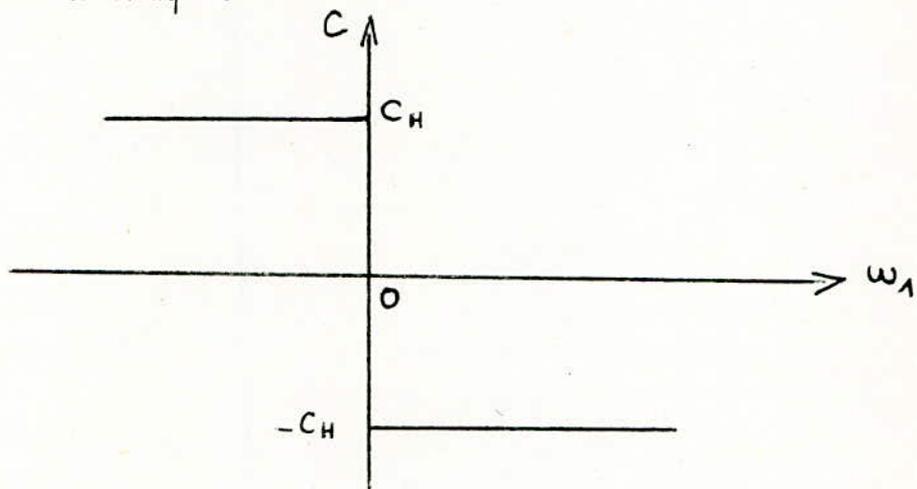
$$P = C w \quad \text{donc } P_H = C_H w_1 .$$

$$\text{Or } P_H = K w_1 \quad \text{donc } C_H w_1 = K w_1 \quad \text{d'où } C_H = K$$

$C_H$  est un couple constant ~~opposé~~  $P_H$  étant des pertes, donc une puissance consommée par la machine,  $P_H > 0$ .

Alors si  $\omega_1$  change de sens,  $C_H$  doit obligatoirement changer de sens, et il passe brusquement de la valeur  $+C_H$  à la valeur  $-C_H$  (ou inversement).

Le sens de ce couple est donné par la loi de Lenz, il tend toujours à s'opposer à la cause qui lui donne naissance, donc à ramener le système à la pulsation  $\omega_1 = 0$ .



Les pertes par courants de Foucault sont proportionnelles au carré de la fréquence de variation de flux dans le fer.

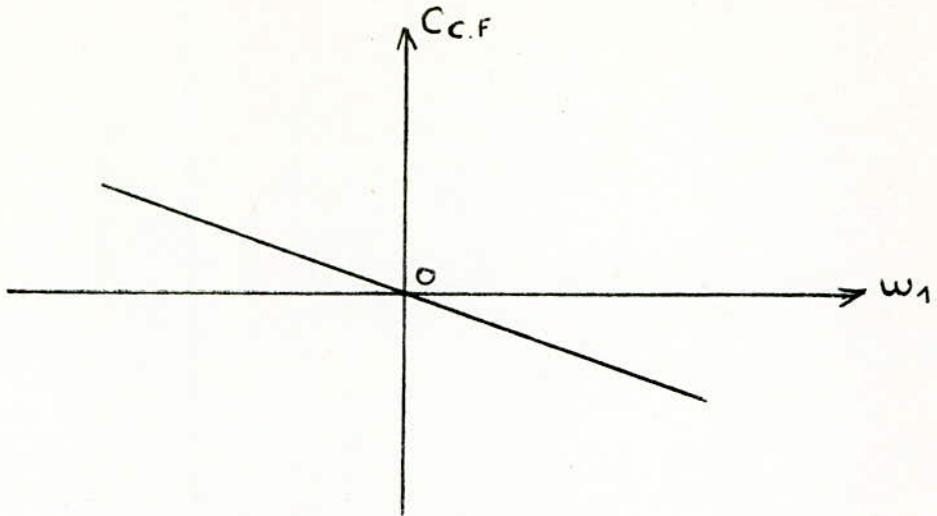
$$P_{c.F} = k_1 f^2$$

Ces pertes correspondent à un couple  $C_{c.F} = P_{c.F}/\omega_1$  avec  $\omega_1 = k_2 f$

$$\text{d'où } C_{c.F} = \frac{k_1 f^2}{k_2 f} = Kf = K_1 \omega_1$$

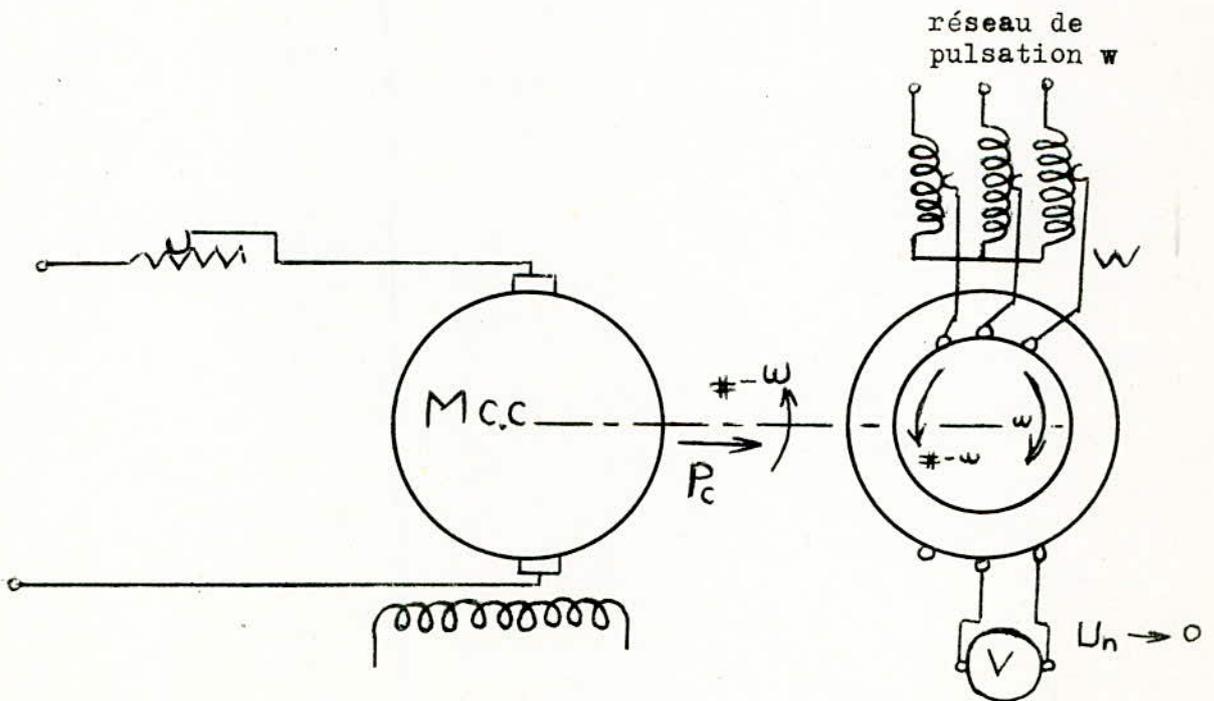
$C_{c.F} = K_1 \omega_1$  est une droite de pente  $K_1$ .

Le sens de ce couple est donné également par la loi de Lenz. Il s'oppose donc à la cause qui lui donne naissance. Il s'annule pour  $\omega_1 = 0$ .



Les deux couples  $C_H$  (couple d'hystérésis) et  $C_{c.F}$  (couple de courants de Foucault) ayant même sens, ils s'ajoutent. Comme au voisinage de  $w_1=0$   $C_{c.F}$  est négligeable par rapport à  $C_H$ , donc seul  $C_H$  existe au voisinage de  $w_1 = 0$ .

2°) APPLICATION DE CETTE METHODE POUR LA SEPARATION DES PERTES FER D'UNE MACHINE ASYNCHRONE



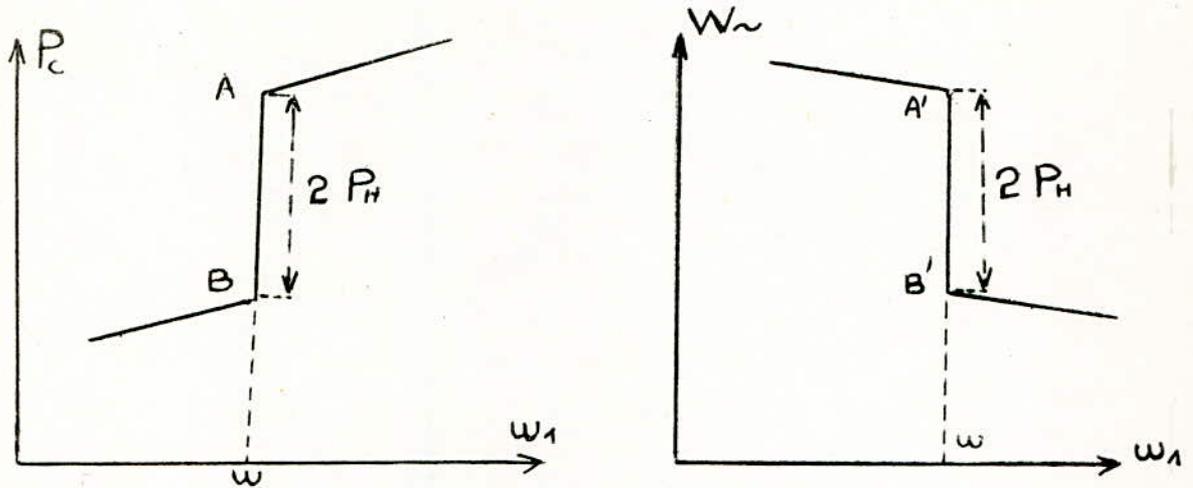
On alimente le rotor par le réseau de pulsation  $w$ , et on l'entraîne (par une machine auxiliaire) en sens inverse de celui du champ tournant pour avoir une fréquence variable au voisinage de la fréquence nulle (fréquence de la variation du flux dans le stator).

Si le rotor était immobile, la vitesse du champ tournant dans le stator serait  $w$ ; mais puisque le rotor est entraîné en sens inverse de celui de ce champ sa vitesse est  $w_1 = w - w'$  ( $w'$  vitesse de rotation du rotor).

Ainsi, à la vitesse du synchronisme, la pulsation du flux dans le fer du stator est voisine de zéro, en passant d'un sens à l'autre lorsque la vitesse d'entraînement varie autour de celle du synchronisme. Les pertes fer étant évaluées pour un fonctionnement normal à la tension nominale  $U_n$  du stator, on règle la tension d'alimentation du rotor de façon qu'à l'arrêt, la tension aux bornes du stator soit  $U_n$ . EN faisant tourner le rotor en sens inverse de celui du champ tournant, la tension aux bornes du stator diminue et tend vers zéro au synchronisme. Quand la vitesse du rotor est inférieure au synchronisme le couple est positif et tend à ramener le système à la pulsation  $w_1 = 0$ , c'est-à-dire à la vitesse de synchronisme. Il a même sens que le couple d'entraînement, donc la machine d'entraînement fournit une puissance moindre. C'est donc le réseau alternatif qui fournit la puissance  $W$  correspondante.

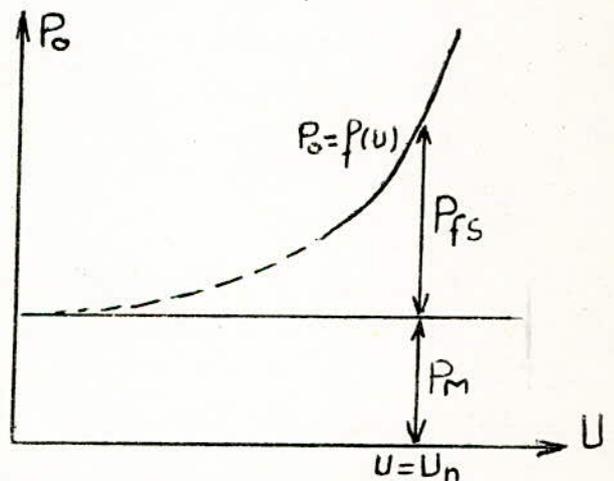
Par contre au delà du synchronisme, le couple d'hystérésis s'inverse (il tend toujours vers le synchronisme), c'est un couple résistant à la machine d'entraînement. Donc celle-ci doit fournir une puissance  $P_c$  plus grande; et le réseau alternatif fournit une puissance plus faible.

La subite différence des puissances au voisinage de la vitesse de synchronisme mesure les pertes par hystérésis dans le stator.



Théoriquement on devrait trouver  $AB = A'B'$ . En pratique cette méthode est imprécise pour les machines de petites puissances. Dans ce cas on fait la moyenne arithmétique entre ces deux grandeurs.

\* Un essai à vide en fonctionnement normal, le stator étant alimenté à tension variable, permet de séparer les pertes fer des pertes mécaniques en traçant la courbe  $P_0 = f(U)$ .



Les pertes par hystérésis étant déterminées par la méthode de FOURMARIER, les pertes par courants de Foucault sont données par:

$$P_{c.F} = P_{fs} - P_H$$

M E S U R E S

La vitesse étant une des caractéristiques essentielles pour les essais à effectuer, il est nécessaire de pouvoir l'évaluer. Pour cela on utilisera les deux méthodes classiques.

1°) Méthode stroboscopique

On peint un repère sur l'arbre du rotor, que l'on éclaire à l'aide d'une lampe sans inertie (stroboscope). On compte le nombre de tours  $N_1$  du repère en une minute et le glissement étant défini par :

$$g = \frac{w_s - w}{w} \cdot 100 = \frac{N_1}{N_s} \cdot 100$$

$w_s$  : vitesse de synchronisme  
 $w$  : vitesse du rotor  
 $N_s$  : vitesse de synchronisme  
en tours/minute.

Connaissant  $g$  on peut déterminer la vitesse de rotation du rotor correspondante

Remarque: On utilisera cette méthode uniquement pour déterminer la vitesse de synchronisme.

2°) Méthode tachymétrique

lorsque le glissement devient grand, on ne peut plus suivre la rotation du repère, on utilise la méthode du tachymètre. Pour cela il est nécessaire de l'étalonner. Ayant admis qu'à vide on a la vitesse de synchronisme, on mesure cette vitesse à l'aide du tachymètre. On observe une certaine erreur absolue, qu'on considérera constante par la suite, étant donné que les vitesses mesurées sont assez voisines.

## I.- MESURES DES PERTES FER STATORIQUES

Réaliser le montage de la figure 1.

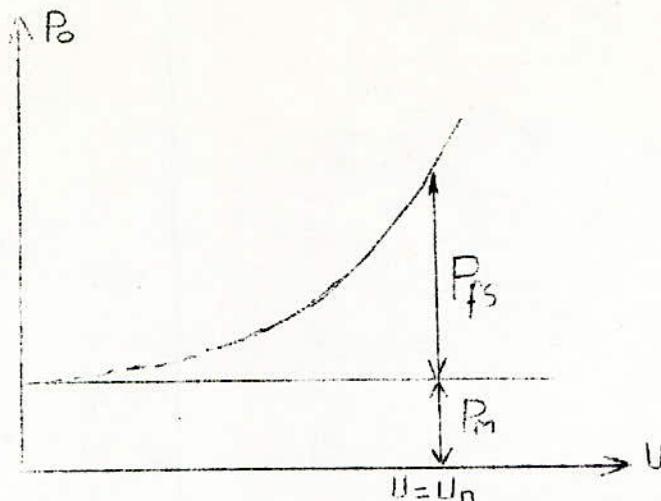
### a) Méthode de mesure

- T.I calibre 10A.
- Wattmètre -circuit intensité , calibre 5A
- circuit tension calibre 250V.
- Ampèremètre calibre 5A.
- $K_2$  ouvert , brancher le stator sur le réseau "alternatif variable".
- Vérifier que le rhéostat de démarrage est sur le plot mort (circuit du rotor ouvert).
- Brancher le stoboscope sur 220V alternatif.
- Fermer  $K_2$  et démarrer le moteur à l'aide du rhéostat de démarrage. (la tension d'alimentation étant réglée préalablement à la tension nominale)

Régler la fréquence du stroboscope jusqu'à obtenir la stabilisation du repère marqué sur la machine. (stabilisation d'un seul repère)  
On considèrera que pour ce fonctionnement le glissement est nul , c'est-à-dire que le rotor tourne à la vitesse de synchronisme.

On admet que le stroboscope n'a pas de précision absolue quant à l'indication qu'il donne mais que réglé sur une certaine fréquence au début de la séance il ne dérivera pas et donnera une fréquence d'éclairs fixe.

Lessai à vide le stator étant alimenté à tension variable permet de séparer les pertes fer des pertse mécaniques en réduisant la tension d'alimentation  $U_1$  (tout en gardant une valeur suffisante pour que le glissement reste assez faible). Sachant que  $P_0 = P_{fs} + P_m$  , on trace la courbe  $P_0 = f(U_1)$ . L'extrapolation de cette courbe jusqu'à  $U_1 = 0$  nous donne les pertes mécaniques.



REMARQUE : Le moteur asynchrone ne fonctionne pas exactement à vide puisqu'il entraîne une machine à courant continu qui lui présente un couple mécanique supplémentaire.  $P_m$  représente donc les pertes mécaniques des deux machines qu'on considèrera égales et ayant pour valeur  $P_m/2$ .

## II- MESURE DES PERTES PAR HYSTERESIS

Utiliser le montage de la figure 2.

- T.I calibre 20A
- Wattmètre:            -circuit tension, calibre 120V
- circuit intensité, calibre 5A
- ampèremètre -calibre 5A
- Voltmètre continu -calibre 150V
- Millivoltmètre avec shunt -calibre 5A

### a) Méthode de mesure

- Vérifier que  $K_1$  et  $K_2$  sont ouverts.
- Brancher le rotor sur le réseau "alternatif variable" et régler la tension à zéro.
- Fermer  $K_2$  ET augmenter progressivement la tension d'alimentation du rotor jusqu'à obtenir la tension nominale aux bornes du stator.
- Régler la tension d'alimentation "continu variable" à zéro.

- Régler l'excitation de la machine à courant continu à une valeur voisine de 1A.

- Fermer  $K_1$  et augmenter légèrement la tension. Vérifier que le rotor tourne en sens inverse de celui du champ tournant (la tension du stator décroît), sinon inverser deux phases du rotor.

- Augmenter progressivement la tension jusqu'à la valeur nominale.

- Agir sur l'excitation de façon à faire varier la vitesse de  $\pm 10\%$  autour de la vitesse de synchronisme.

REMARQUE : Au voisinage du synchronisme le voltmètre aux bornes du stator indique une certaine tension, mais l'aiguille n'est pas stable et oscille entre deux valeurs avec une certaine fréquence. La fréquence dans le stator devant être nulle quand le rotor tourne à la vitesse de synchronisme, on appréciera donc en plus de la stabilisation du repère sur l'arbre du rotor que la machine tourne à la vitesse la plus proche de celle-ci lorsque la fréquence des battements de l'aiguille du voltmètre est la plus faible (oscillations les plus lentes).

#### b) Relevé

- Relever U et I de la machine à courant continu

- Relever W puissance absorbée par le rotor de la machine à courant continu. (méthode des deux machines)

- La vitesse (méthode tachymétrique)

On fera varier l'excitation de la machine d'entraînement pour modifier la vitesse de  $-10\%$  à  $+10\%$  de la vitesse de synchronisme.

### III- MESURE DES PERTES A VIDE DE LA MACHINE A COURANT CONTINU

Utiliser le montage de la figure 2

a) Méthode de mesure

- Vérifier que  $K_2$  est ouvert (machine asynchrone non alimentée)
- Régler l'excitation de la machine à courant continu à une valeur voisine de 1A
- Vérifier que  $K_1$  est ouvert et régler la tension du réseau "continu variable" est à zéro.
- Demarrer le moteur en fermant  $K_1$  et en augmentant progressivement la tension jusqu'à sa valeur nominale.
- Agir sur l'excitation de façon à obtenir la vitesse de synchronisme qu'on vérifiera à l'aide du stroboscope (un repère stable sur l'arbre).

b) Relevé

- relever U et I pour ce point de fonctionnement.

IV- MESURE DE LA RESISTANCE D'INDUIT

Utiliser la méthode voltampèremétrique (voir figure 3)

a) Méthode de mesure

- Maintenir l'arbre du moteur à la main pour l'empêcher de tourner (le rémanent tendant à cet effet).
- Partir d'une tension nulle et l'augmenter progressivement jusqu'à obtenir un courant voisin du courant nominal.
- Faire tourner très lentement l'arbre du moteur à la main et observer la légère variation des appareils autour de leur valeur moyenne.

b) Relevé

- Noter V et I pour trois valeurs de I comprises entre  $I_n$  et  $I_n/2$ .
- Calculer la valeur moyenne de  $V/I$  soit  $R_a$ .

REMARQUE : La machine à courant continu ne fonctionne pas exactement à vide , car elle entraîne la machine asynchrone  
Les pertes à vide de cette machine seront donc égales à la puissance absorbée à vide à laquelle on retranchera les pertes mécaniques de la machine asynchrone. On admet que les pertes mécaniques des deux machines sont égales; on peut les déterminer à l'aide de la courbe  $P_0 = f(U)$  de la machine asynchrone qui nous donne la somme de ces deux pertes.

### TRAVAIL A EFFECTUER

1°) Tracer la courbe  $P_0 = f(U_1)$  et déterminer les pertes fer , ainsi que les pertes mécaniques de la machine asynchrone (on peut remarquer cependant que les pertes mécaniques sont celles des deux machines).

2°) Tracer les courbes:

$$a) P_c = f(w)$$

Pour chaque point entre -10% et +10% de la vitesse de synchronisme , on a noté I le courant absorbé par la machine , la tension U d'alimentation étant constante.

On suppose que les pertes à vide sont constantes dans la plage de vitesse.

$$P_c = P_u = P. \text{ absorbée} - P_0 (\text{pertes à vide}) - \text{pertes joules}$$

$$P_u = UI - P_0 - RI^2$$

$P_0$  et R ayant été mesurées , pour chaque valeur de I on calcule  $P_u$  qui représente bien la puissance mécanique  $P_c$  transmise au rotor.

b)  $W = f(w)$  avec W puissance électrique absorbée par le rotor.

3°) Déterminer  $P_H$  : les pertes par hystérésis

- En déduire  $P_{c.F}$  : les pertes par courants de Foucaults.

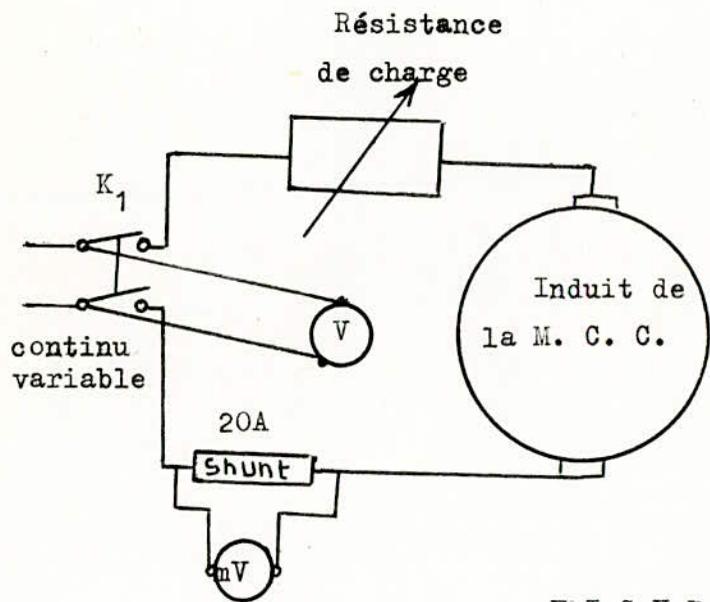


FIGURE 3

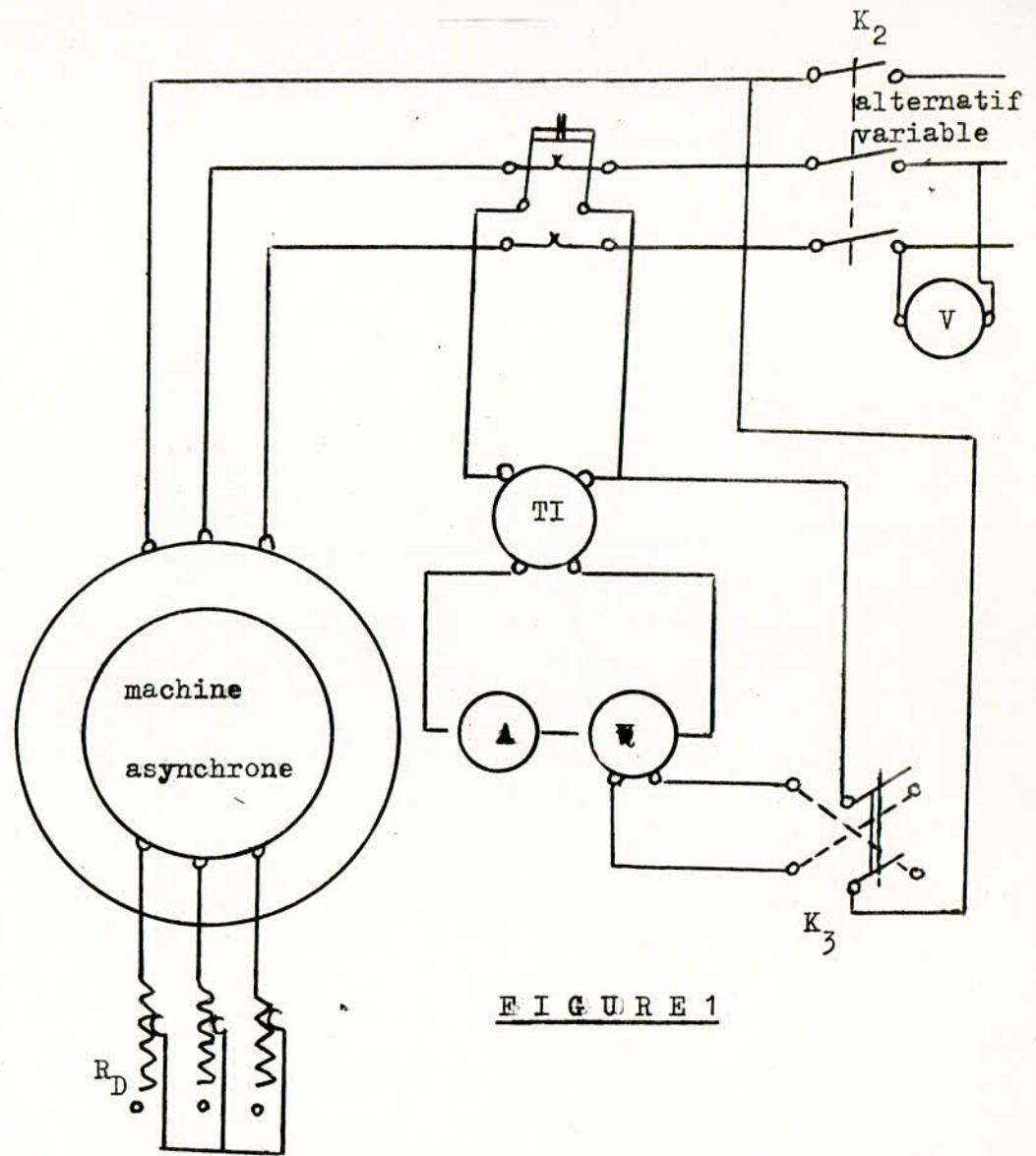
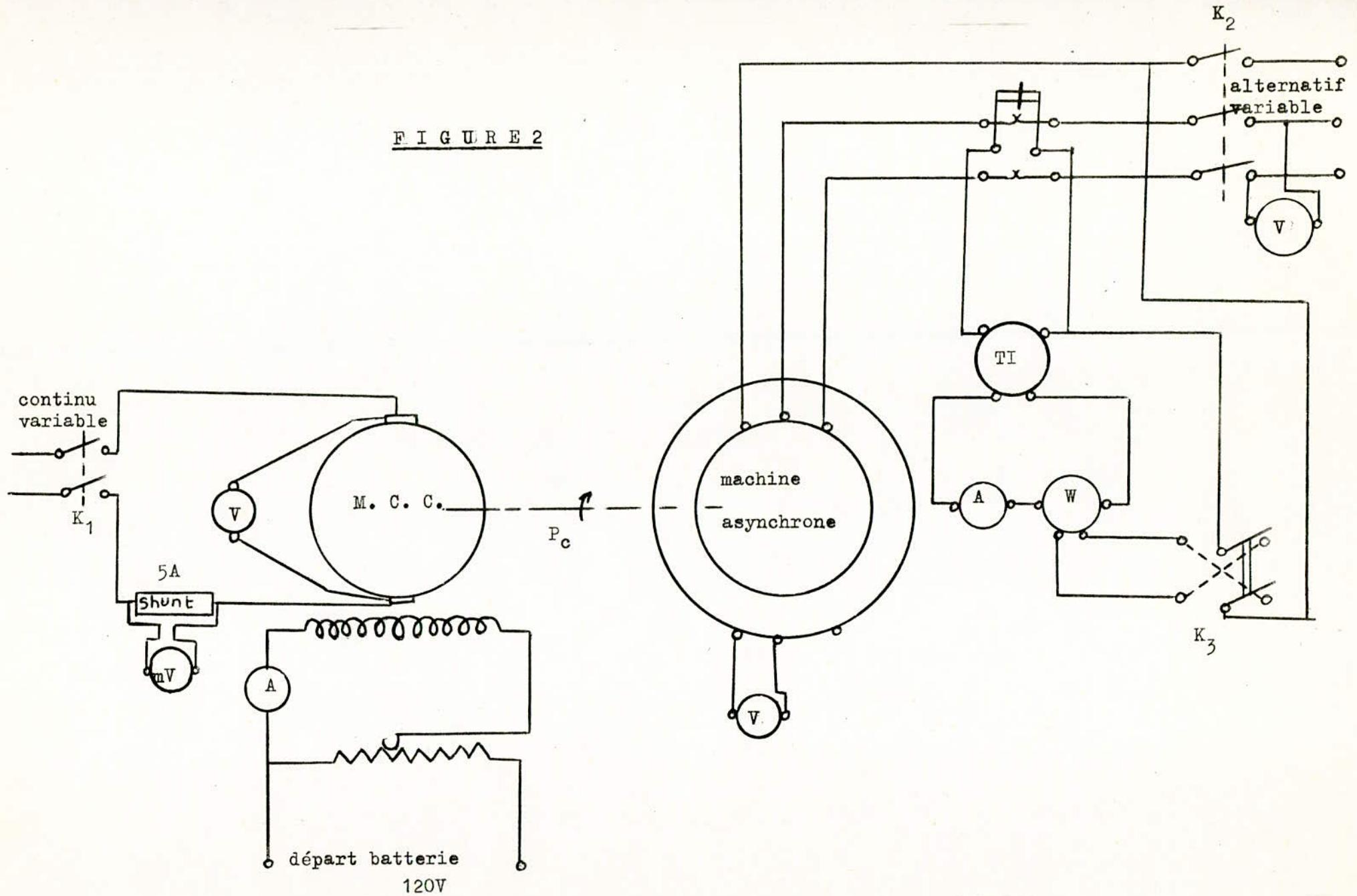


FIGURE 1

FIGURE 2



METHODE DE FOURMARIER  
RESULTATS OBTENUS  
LORS DES ESSAIS

COURBE  $P_o = f(U)$

Tableau de mesures

U(V)	240	234	225	215	201	190	175	160	146	130	110	90	70	50
W <sub>o</sub> (W)	760	700	620	580	520	500	440	400	400	370	360	340	340	340

MESURE DE LA RESISTANCE D'INDUIT

Tableau de mesures

U(V)	10,4	10	7
I(A)	18,4	16	11,2
U/I	0,565	0,625	0,625

$$R_a = 0,6 \text{ ohm}$$

La résistance d'induit n'étant pas mesurée exactement à chaud , on la valeur trouvée en utilisant la relation:

$$R_t = R_{t_0}(1 + a(t-t_0)) \quad t = 75^\circ\text{C}$$

$$t_0 = 25^\circ\text{C}$$

$$a = 0,004/^\circ\text{C}$$

d'où  $R_a = 0,72 \text{ ohm}$

MESURE DES PERTES A VIDE DE LA MACHINE A COURANT CONTINU

Ces pertes étant considérées constantes , on les mesure à la vitesse de synchronisme (1500 tr/mn ).

L'essai à vide nous donne :  $U = 120V$

$$I = 3,4A$$

$$P_c = UI - RI^2 = 120 \times 3,4 - 0,72 \times (3,4)^2 = \underline{400 W}$$

Mais il faut déduire les pertes mécaniques de la machine asynchrone soit  $P_o = 400 - 170 = \underline{230 W}$

MESURE DES PERTES PAR HYTERESIS

La tension aux bornes de l'induit est constante :  $U = 120V$

La tension aux bornes du rotor est  $U_r = 105V$ .

L'erreur absolue du tachymètre est de +50 tr/mn; on la considère constante , donc à chaque mesure on retranche 50 tr/mn à la valeur lue correspondant

Tableau de mesures

W (W)	290	280	280	270	140	120	120	120
I <sub>a</sub> (A)	2,7	2,85	2,9	2,95	3,65	4,2	4,3	4,4
RI <sup>2</sup> (W)	5,25	5,85	6,05	6,26	9,59	12,7	13,5	13,9
P <sub>c</sub> (W)	88,75	106	112	117,7	198,4	261	272,5	284
N tr/mn	1350	1400	1450	1480	1500	1550	1600	1650

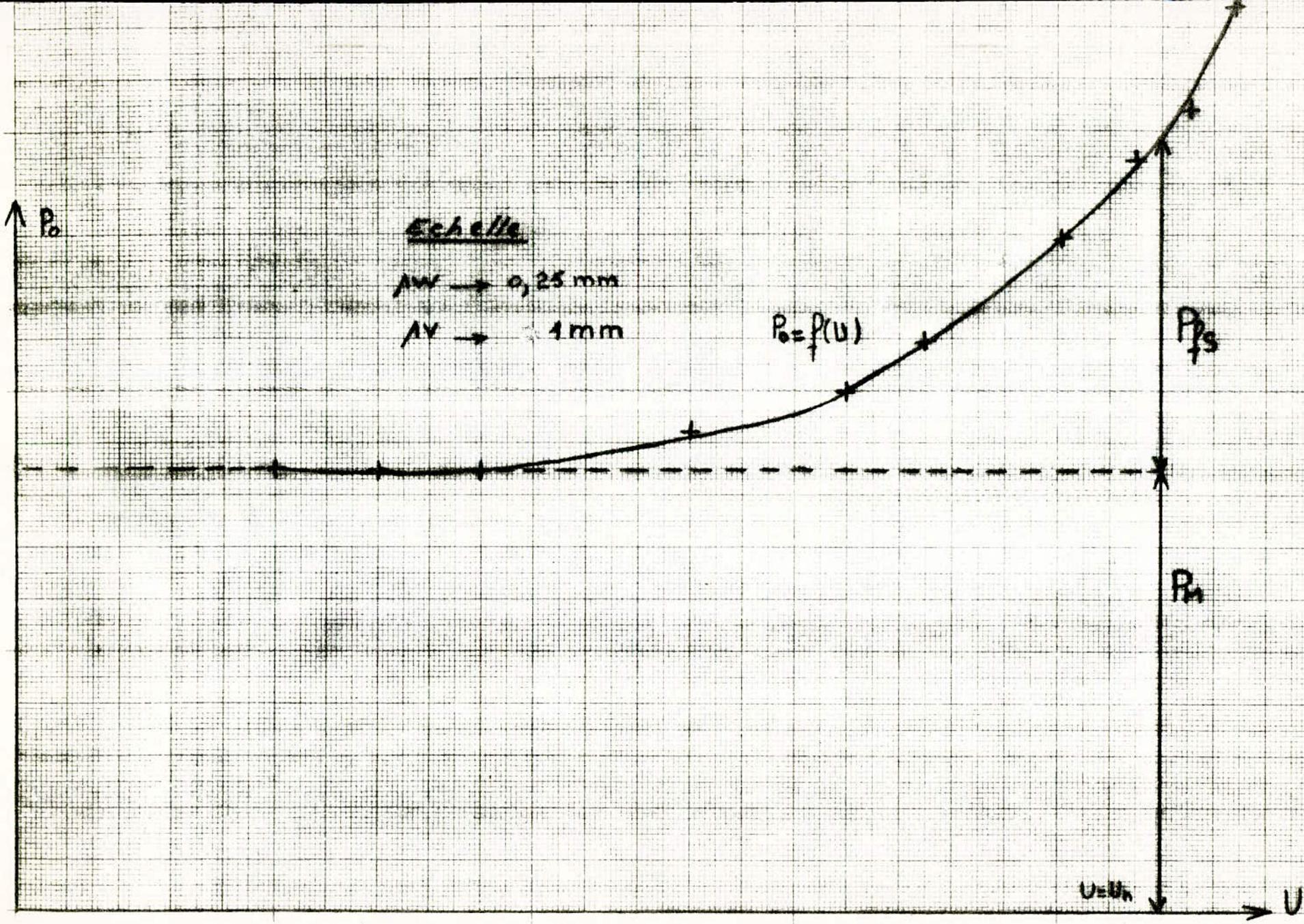
$$W = f(w) \text{ nous donne } \underline{P_H = 82 W}$$

d'où la valeur moyenne  $\underline{P_H = 73 W}$

$$P_c = f(w) \text{ nous donne } \underline{P_H = 64 W}$$

Les pertes fer statoriques données par  $P_o = f(U)$  sont égales à 260 W donc les pertes par courants de Foucault sont :

$$\underline{P_{c.F} = P_{fs} - P_H = 260 - 73 = 187 W}$$





$P_c$

Echelle  
 $\lambda_{air/mn} \rightarrow 4\text{mm}$   
 $\Delta w \rightarrow 0,5\text{mm}$

$P_c = f(w)$

$2P_H$

$w$

