

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE

المكنة

PROJET DE FIN D'ETUDES

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

S U J E T

ETUDE DE LA

STABILITE

EXPERIENCE DE JANET

Proposé par : M.
KOURCLI

Etudié par :
HAMZA

Dirigé par : M.
KOURCLI

PROMOTION : JUIN 1985

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE
PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE DE LA
STABILITE
EXPERIENCE DE JANET

Proposé par : M.
KOURGLI

Etudié par :
HAMZA

Dirigé par : M.
KOURGLI

PROMOTION : JUIN 1935

E.N.P. 10, Avenue Hacen, Badl - EL-HARRACH - ALGER

REMERCIEMENTS

Que tous les enseignants qui ont contribué à ma formation trouvent en ce modeste travail, toute ma gratitude et ma profonde reconnaissance.

Je remercie M^r KOURGLI pour ses précieuses conseils.

Je remercie aussi M^r MAHMOUDI et M^r HAMICI pour l'aide qu'ils m'ont fournie.

Flamza.

DEDICACES

Je dedie ce travail à toute ma famille
et surtout à mes parents.

Ahmed.

TABLE DES MATIERES

I	Introdu	Page 1
II	Mise en équations - rappels théoriques	3
	1. établissement des équations de fonctionnement	
	2. équation régissant le système.	
	3. choix de la méthode d'intégration	
	4. présentation de la méthode	
	5. autre méthode	
III	Partie expérimentale	13
	1. mesures des résistances	
	2. mesures des inductances	
	3. mesure du moment d'inertie	
	4. caractéristique à vide $E_G(I)$	
	5. " " " $E_m(J)$	
	6. " " $F(I) = E_G - R \cdot I$	
IV	Essai de la trajectoire	22
	1. étude de la stabilité	
	2. tracé de la trajectoire	
	2.1. pratique	
	2.2. théorique	
V	Conclusions	33

Figures:

fig 1 :	caractéristique $E_a(I)$	page 18
fig 2 :	" $E_m(I)$	" 19
fig 3 :	courbe $I(t)$	" 27
fig 4 :	" $\omega(t)$	" 27
fig 5 :	caractéristique $F(I) = E_a - R \cdot I$	" 20
fig 6 :	courbe de ralentissement à vide (moteur)	" 21
fig 7 :	courbe $\alpha(I)$ expérimentale	" 28
fig 8 :	" " "	" 29
fig 9 :	courbe $\alpha(I)$ théorique	" 32

INTRODUCTION

On dit qu'un système est stable lorsque, écarté de sa position d'équilibre, il tend à y revenir; instable lorsqu'il tend à s'en éloigner davantage. Dans le cas intermédiaire d'un système qui ne revient pas à son équilibre, mais ne s'en éloigne pas, on dit que le système est "à la limite de stabilité".

Le système que présente l'expérience de Janek, pour l'étude de la stabilité, est constitué de deux machines à courant continu:

• une dynamo à excitation série, entraînée à vitesse constante, alimente un moteur à excitation indépendante.

On a constaté, que le système présente un phénomène de pompage; la vitesse du moteur et le courant débité par la génératrice, oscillent périodiquement entre deux limites égales et opposées. Les oscillations des deux grandeurs sont dans le même sens.

Notre étude comporte:

1. l'identification du groupe
2. l'étude théorique de la stabilité, en présentant plusieurs méthodes.
3. Le tracé pratique et théorique de la caracté-

ristique $\alpha(I)$ qui détermine la limite de stabilité

H. la comparaison des résultats théoriques et expérimentaux.

MISE EN EQUATION RAPPELS THEORIQUES

1. Établissement des équations de fonctionnement

Aux bornes de la génératrice on a :

$$E_G = (R_a + R_s).I + (L_a + L_s) \cdot \frac{dI}{dt} + V \quad (1)$$

R_a et R_s : résistances respectivement de l'induit et l'inducteur

L_a et L_s : inductances " " " "

Aux bornes du moteur on a :

$$E_m = V - R'.I + L' \cdot \frac{dI}{dt}$$

→

$$V = E_m + R'.I + L' \frac{dI}{dt}$$

Remplaçons V dans l'équation (1) :

$$E_G - E_m = (R_a + R_s + R').I + (L_a + L_s + L') \cdot \frac{dI}{dt}$$

$$\text{d'où } E_G - E_m = R.I + L \cdot \frac{dI}{dt} \quad (2)$$

où :

R : résistance totale du circuit

L : inductance " " "

L'Equation mécanique du groupe s'écrit :

$$C_{em} = J \frac{d\omega}{dt} + C_{ch} + C_0 \quad (3)$$

avec : $C_{em} \equiv$ couple électromagnétique

$C_{ch} \equiv$ " en charge

$C_0 \equiv$ " dû aux pertes à vide.

comme le moteur fonctionne à vide l'équation (3) devient :

$$C_{em} = J \frac{d\omega}{dt} + C_0 \quad (4)$$

on suppose que C_0 est constant

Sachant que :

$$E_m = K \omega$$

$$C_{em} = K I$$

les équations (2) et (4) s'écrivent :

$$\begin{cases} E_g - K \omega = R I + L \frac{dI}{dt} \\ K I = J \frac{d\omega}{dt} + C_0 \end{cases}$$

ou bien :

$$\begin{cases} L \frac{dI}{dt} = F(I) - K \omega \\ J \frac{d\omega}{dt} = K I - C_0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{avec } F(I) = E_g - R I$$

2. Equation différentielle régissant le système

Vue les équations qu'on a obtenues, il est préférable d'intégrer dans le plan (I, ω)

En faisant le rapport des équations du système (5) on a :

$$\frac{d\omega}{dI} = \frac{KI - C_0}{F(I) - KI} \cdot \frac{L}{J} \quad (6)$$

C'est une équation non linéaire, dont on se propose de déterminer la courbe intégrale.

On remarque que la pente, en chaque point de la courbe intégrale dépend du rapport L/J .

Les courbures de la courbe intégrale peuvent donc être différentes, si on modifie la valeur du rapport L/J , ce qu'on peut faire à volonté, en changeant soit le moment d'inertie du moteur, soit l'inductance totale du circuit.

3. Choix de la méthode d'intégration

La méthode la plus indiquée, pour l'intégration de l'équation différentielle du système, est la méthode du plan de phase

En effet, cette méthode présente plusieurs avantages; elle permet :

- de connaître l'allure de la courbe intégrale d'une manière rapide et simple
- de connaître tous les points d'équilibre du système
- l'étude de la stabilité autour des points d'équilibre; la stabilité est ramenée à l'étude des tangentes autour des points d'équilibre.

4. Présentation de la méthode du plan de phase.

Elle est aussi appelée méthode "pas à pas"
Considérons un système régi par deux équations différentielles pouvant se mettre sous la forme :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = H(x, y) \\ \frac{dy}{dt} = G(x, y) \end{cases}$$

En faisant leur rapport on a :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{G(x, y)}{H(x, y)}$$

En se plaçant dans le plan (x, y) , en tout point $M(x, y)$ de ce plan, on connaît la pente de

la courbe intégrale qui passe par ce point.

On peut donc intégrer graphiquement à partir d'un état initial $M_0(x_0, y_0)$ donné, et avoir ainsi toute la courbe intégrale.

En général, on peut tracer les courbes correspondantes à

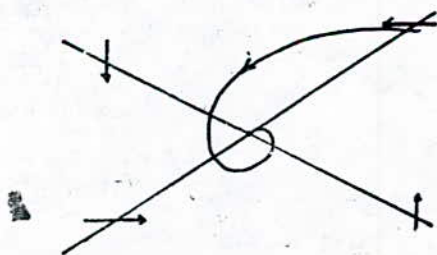
$$H(x, y) = 0 \quad \text{et} \quad G(x, y) = 0$$

La première étant le lieu des points de la courbe intégrale où la tangente est verticale; la seconde étant le lieu des points où la tangente est horizontale.

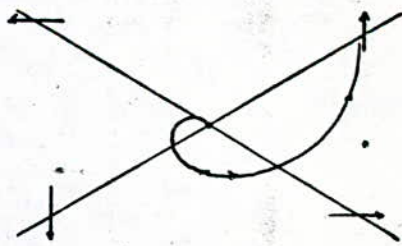
Les points d'intersection des deux courbes sont dits singuliers; et ce sont des points d'équilibre qui peut être stable ou instable.

Il existe plusieurs cas de comportement des courbes intégrales autour des points d'équilibre;

par exemple:



a. stable

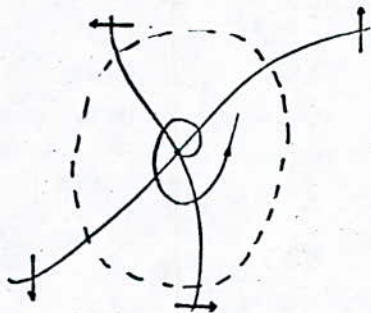


b. instable

Dans l'exemple (b), la courbe intégrale évolue en s'éloignant du point d'équilibre (ce système est donc instable)

par, contre dans l'exemple (a), la courbe s'en rapproche (ce système est stable).

Il existe un autre cas de figure ; où le point singulier est en équilibre localement instable, mais il est entouré d'une courbe stable, dite "séparatrice" ; la trajectoire du point d'équilibre reste asymptotique à la séparatrice, et il est impossible de passer d'un point extérieur à un point intérieur :



Le caractère peut être dû :

- soit à la courbure des fonctions $H(x, y) = 0$ et $G(x, y) = 0$
- soit à des discontinuités dans l'une ou l'autre courbe

5. Autre méthode d'étude de la stabilité

L'intersection des courbes $H(x, y) = 0$ et $G(x, y) = 0$ définies dans la méthode précédente donne le point d'équilibre d'un système ; soit $M(x_0, y_0)$ ce point. On veut étudier la stabilité du système autour de M_0 .

on considère un point M très proche de M_0 , et défini par:

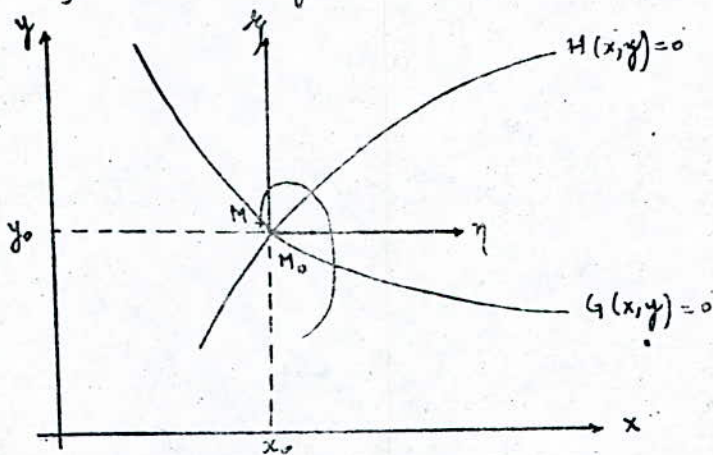
$$x = x_0 + \eta$$

$$y = y_0 + \xi$$

on suppose en outre que la trajectoire de M passe par M_0 .

La stabilité du système est assurée si la trajectoire de M s'arrête en M_0 ; et il y a instabilité si elle s'en éloigne.

On fait un changement de repère: (M_0, η, ξ)



comme M_0 est stable on a:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{d\eta}{dt} \quad \text{et} \quad \frac{dy}{dt} = \frac{d\xi}{dt}$$

M , étant très proche de M_0 , on peut considérer que la portion de courbe M_0M est linéaire, et par suite on peut linéariser au second ordre; on a alors:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = a\eta + b\xi = H \\ \frac{dy}{dt} = c\eta + d\xi = G \end{cases}$$

avec : $a = \frac{\partial H}{\partial x}$ en posant $\xi = \text{constante}$

$b = \frac{\partial H}{\partial y}$ " $\eta = \text{constante}$.

et de la même manière $c = \frac{\partial G}{\partial x}$ et $d = \frac{\partial G}{\partial y}$

et cela n'est valable qu'au point M_0 .

On obtient donc le système suivant :

$$\begin{cases} \frac{d\eta}{dt} = a\eta + b\xi \\ \frac{d\xi}{dt} = c\eta + d\xi \end{cases} \quad \text{qu'on résout à l'aide de la transformée de Laplace dénotée : } \mathcal{L}$$

on pose $x = \mathcal{L}(\eta)$ et $y = \mathcal{L}(\xi)$.

appliquons la transformée de Laplace au système :

$$\begin{cases} (a-p)x + by = A \\ cx + (d-p)y = B \end{cases}$$

A et B étant les valeurs à l'origine de η et ξ
le déterminant principal est égal à Δ :

$$\Delta = (a-p)(d-p) - bc = (p-p_1)(p-p_2)$$

$$\text{d'où : } X = \frac{A(d-p) - bB}{\Delta} = \frac{\alpha}{p-p_1} + \frac{\beta}{p-p_2}$$

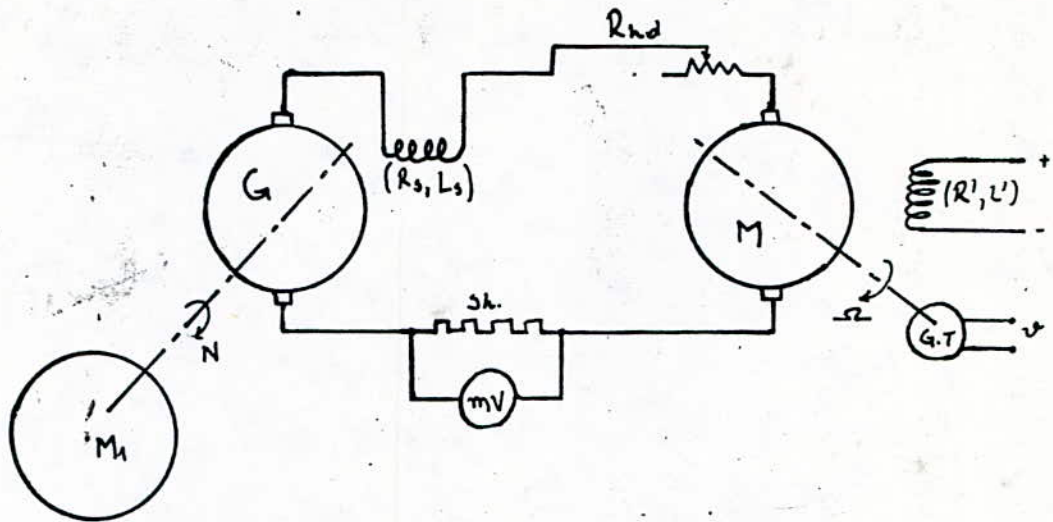
$$Y = \frac{B(a-p) - Ac}{\Delta} = \frac{\gamma}{p-p_1} + \frac{\delta}{p-p_2}$$

et en appliquant la transformée inverse on tire :

$$\begin{cases} \eta = \mathcal{L}^{-1}(X) = \alpha e^{p_1 t} + \beta e^{p_2 t} \\ \xi = \mathcal{L}^{-1}(Y) = \gamma e^{p_1 t} + \delta e^{p_2 t} \end{cases}$$

et suivant le signe des racines p_1 et p_2 , le système peut être stable ou instable (exemple : si p_1 et p_2 sont négatives, pour $t \rightarrow \infty$, η et ξ tendent vers zéro, d'où on a stabilité)

MONTAGE EXPERIMENTAL



M_h = moteur d'entraînement de la génératrice.

G = génératrice série.

M = moteur à excitation indépendante.

$sh.$ = shunt ; R_{hd} = rhéostat de démarrage.

(R_s, L_s) = enroulement série de la génératrice.

(R', L') = " " inducteur au moteur.

Pour les relevés des caractéristiques $\omega(t)$, $I(t)$ et $\alpha(t)$ on a utilisé la table traçante.

Le courant est pris aux bornes du shunt ; la vitesse est donnée par la génératrice tachymétrique (G.T.).

PARTIE EXPERIMENTALE

Dans, cette partie, on se propose de déterminer les paramètres électriques et mécaniques du groupe, à savoir faire la mesure :

- des résistances
- des inductances
- du moment d'inertie (moteur)
- de relever les caractéristiques du groupe
- et enfin tracer la caractéristique $\omega(I)$.

1. Mesures des résistances

on utilise la méthode aval ; et à chaud on a mesuré :

$$R_a = 0,3 \Omega$$

$$R_s = 0,05 \Omega$$

$$R' = 0,42 \Omega$$

2. Mesures d'inductances

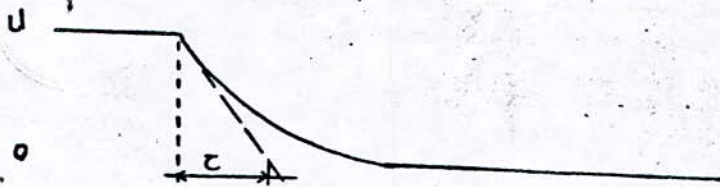
Il existe plusieurs méthodes pour la mesure d'inductances

- méthode de résonance
- méthode de comparaison
- méthode de Joubert

- et la plus précise, qu'on a utilisée, consiste à

appliquer une tension aux bornes de la self, puis de la court-circuiter brusquement et relever la courbe de variation de cette tension sur l'oscilloscope à mémoire; à partir de cette courbe on tire la constante de temps et connaissant la résistance on peut calculer L ; la constante de temps d'un circuit (R, L) est:

$$\tau = L/R \quad \text{d'où} \quad L = R \cdot \tau$$



loi de variation de la tension lors du C.C.

on a relevé les valeurs suivantes:

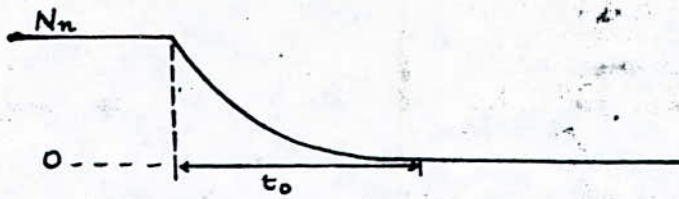
$$L_a = 9,6 \text{ mH} \quad \text{avec} \quad \tau = 32 \text{ ms}$$

$$L_s = 14,2 \text{ mH} \quad \text{avec} \quad \tau = 0,285 \text{ s}$$

$$L' = 9,8 \text{ mH} \quad \text{avec} \quad \tau = 23,4 \text{ ms}$$

3. Mesure du moment d'inertie

On utilise la méthode du ralentissement à vide, qui consiste à faire tourner le moteur à vide, puis de couper le courant d'induit; la vitesse tend donc à s'annuler; on relève, à l'aide de la table traçante, la courbe de ralentissement de vitesse, dont l'allure est:



Le moteur tournant à vide on a :

$$\frac{P_0}{N_n} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (a)$$

où : P_0 représente les pertes à vide du moteur et N_n la vitesse nominale à laquelle il est entraîné. lorsque l'alimentation est coupée, les pertes à vide sont dues uniquement aux pertes mécaniques P_m et on a :

$$\frac{P_m}{N_n} = -J \frac{d\omega}{dt} \Rightarrow \frac{P_m}{N_n} dt = -J d\omega \quad (b)$$

en intégrant les 2 membres de l'équation (b) on a :

$$J = \frac{-P_m \cdot \Delta t}{N_n \cdot \Delta N}$$

avec $\Delta t = t_0 - 0 = t_0$

$\Delta N = 0 - N_n = -N_n$

$$\Rightarrow J = \frac{P_m \cdot t_0}{N_n^2}$$

En supposant que les pertes mécaniques sont égales aux pertes fer P_f , on a :

$$P_m = \frac{P_0}{2}$$

Les pertes à vide sont mesurées, en utilisant la méthode classique du moteur à vide :

on a alors

$$P_0 = 271,2 \text{ W}$$

$$\rightarrow P_m = 135,6 \text{ W}$$

en outre, d'après le relevé on a: $t_0 = 6,65 \text{ s}$.

$$N_n = 1425 \text{ tr/min} = 74,6 \text{ rad.s}^{-1}$$

d'où :

$$J = 0,162 \text{ kg.m}^2$$

4. Caractéristique à vide de la génératrice

La courbe moyenne relevée, a donné :

$J = I \text{ (A)}$	0	4	10	14	16,5	20	22	25	26	29	30	32	34	36
$E_G \text{ (V)}$	8	13,5	26	41	54	67,5	76	87,5	90	98	100	102,5	104	105

5. Caractéristique à vide du moteur

La courbe moyenne est :

$J \text{ (A)}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3
$E_m \text{ (V)}$	8	23	36,5	53	67	81	92,75	102,5	111	117,75	123,75	128,25	132	135

J (A)	1,4	1,5	1,6	1,7
E_m (V)	138,25	141	143	145

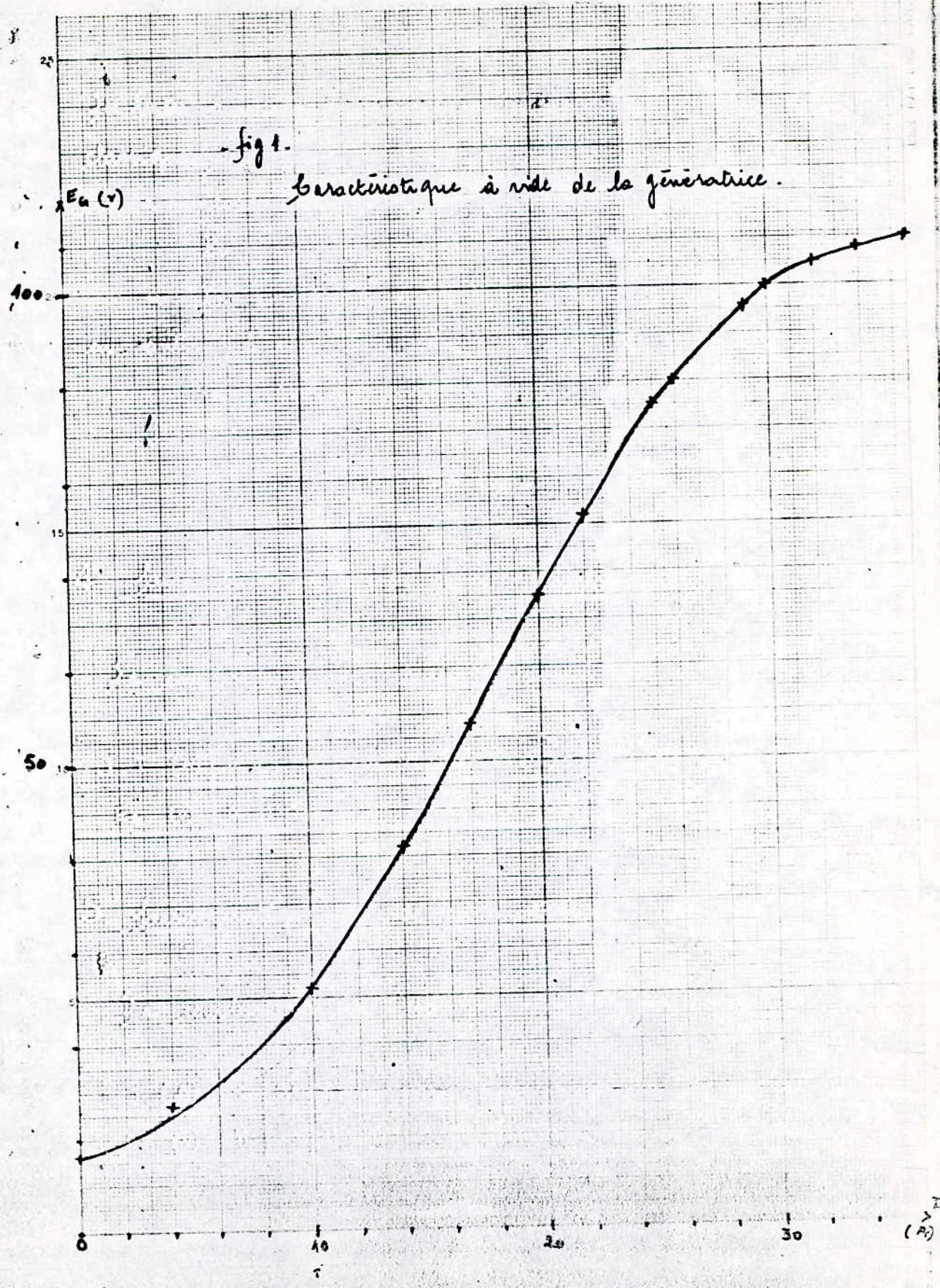
6. Caractéristique $F(I) = E_c(I) - R \cdot I$

Sachant que : $R = R_a + R_s + R'$

$$R = 0,77 \Omega$$

on a calculé les valeurs suivantes :

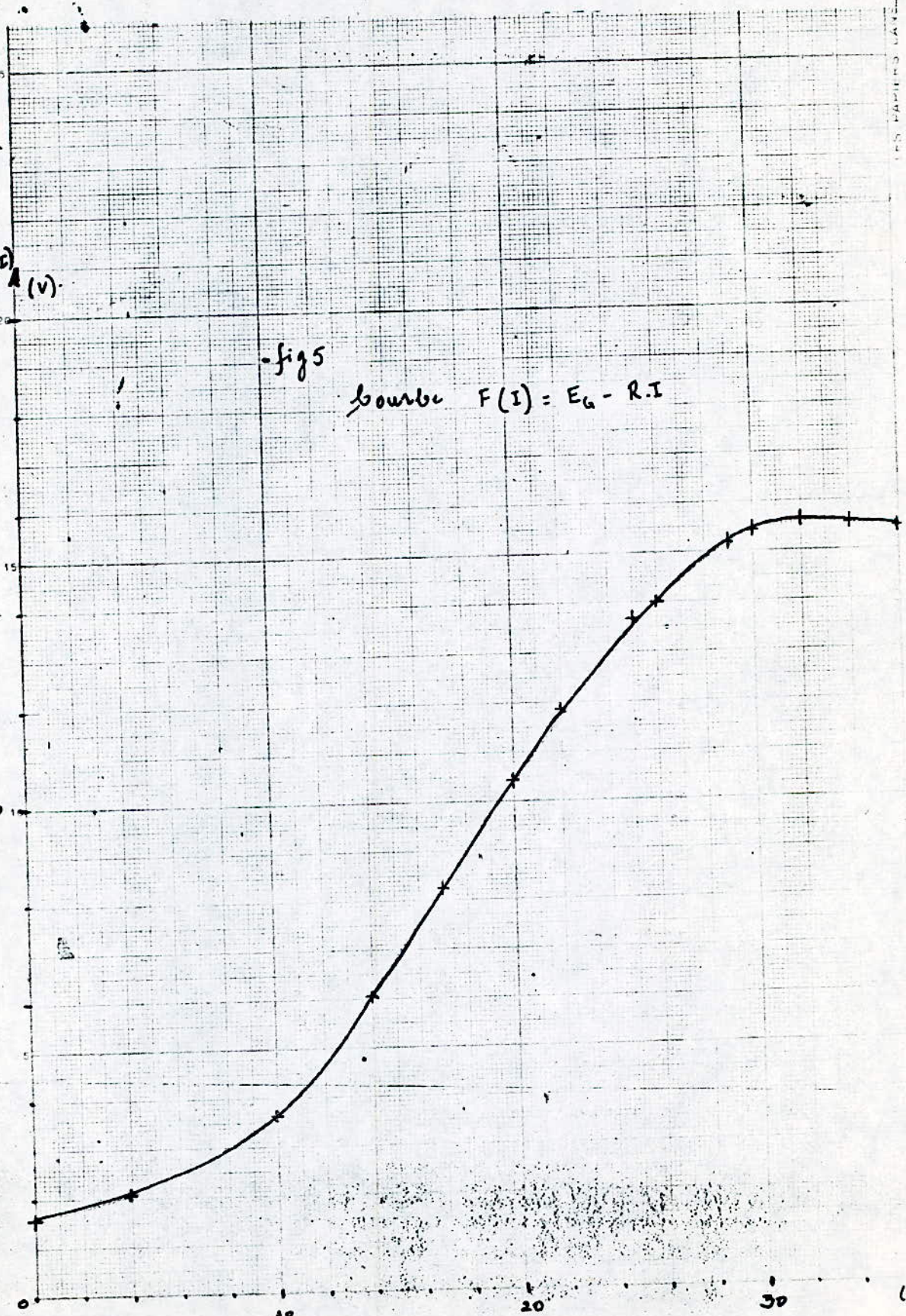
I (A)	0	8	10	14	16,5	20	22	25	26	29	30	32	34	36
$F(I)$ (V)	8	10,4	11,3	30,2	41,3	52,1	59,1	68,3	70	75,7	76,9	77,9	77,9	77,3



F(I)
(V)

100

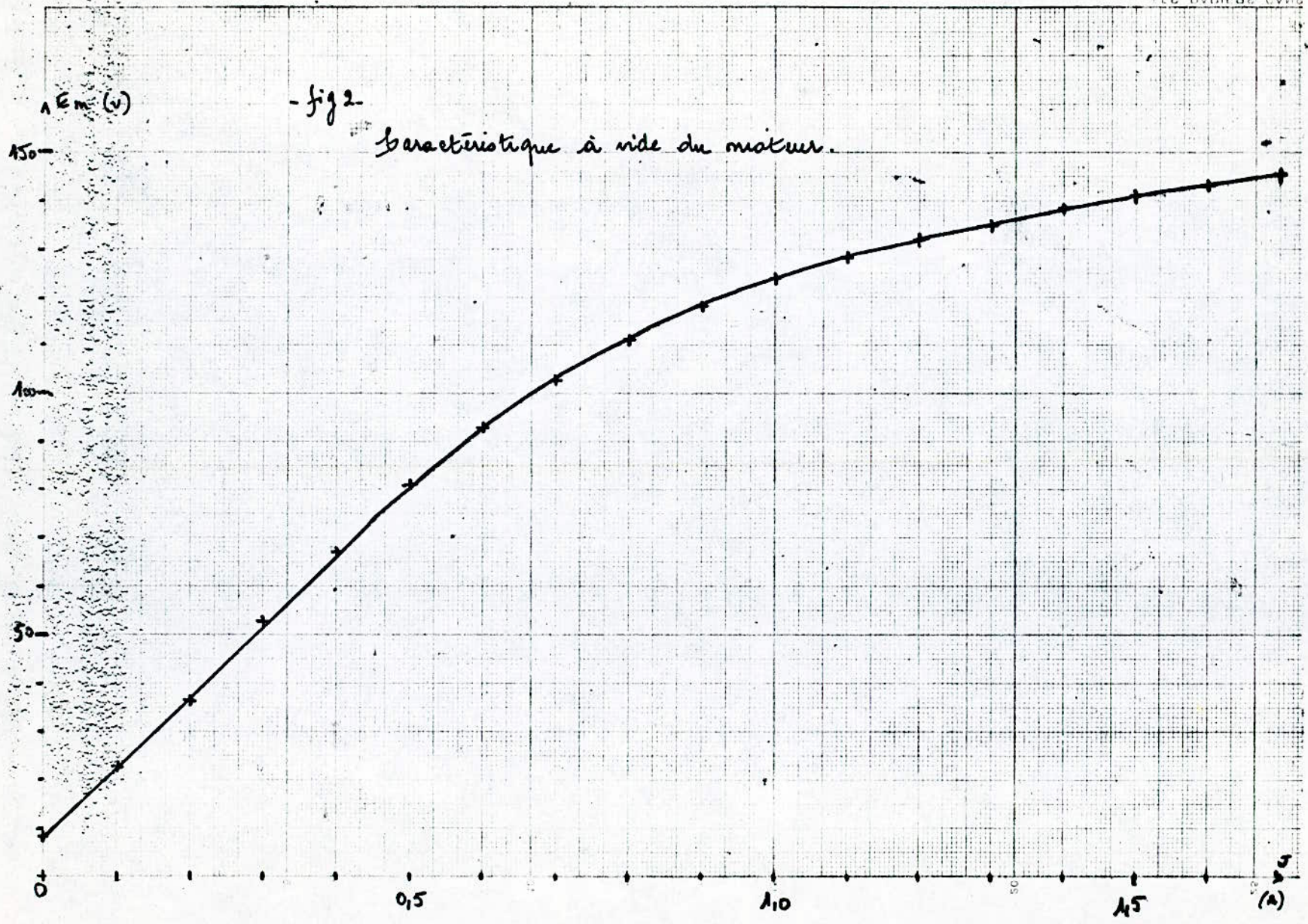
50



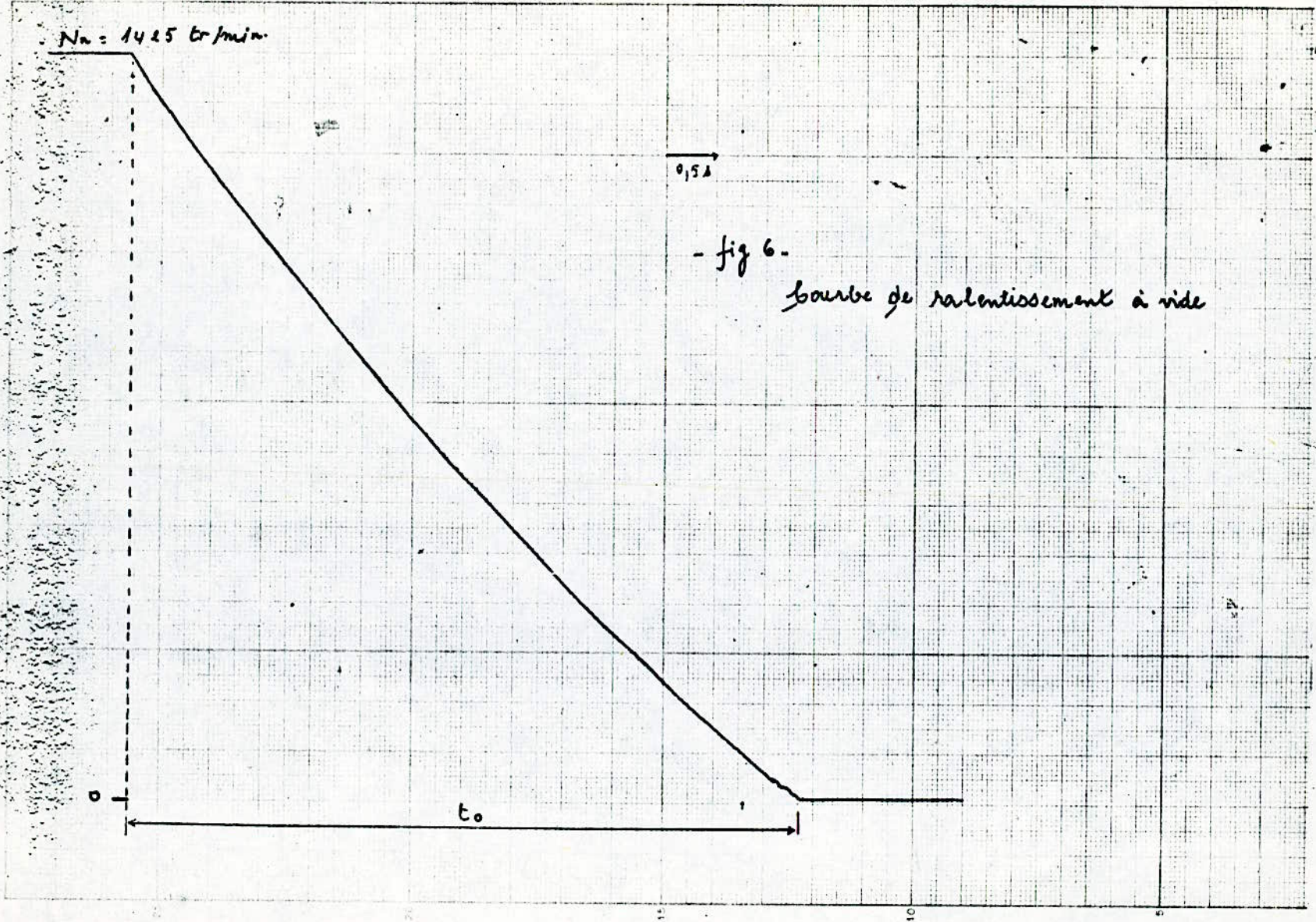
-fig 5

Source $F(I) = E_0 - R \cdot I$

I
(A)



$N_0 = 1425 \text{ tr/min}$



- fig 6 -

courbe de ralentissement à vide

TRACE DE LA TRAJECTOIRE

Dans cette partie on se propose d'étudier la stabilité, et de présenter le tracé théorique, et pratique (réel) de la caractéristique $\alpha(I)$.

1. Étude de la stabilité

Les équations régissant le système sont :

$$\begin{cases} L \frac{dI}{dt} = F(I) - K\alpha \\ J \frac{d\alpha}{dt} = KI - C_0 \end{cases}$$

Supposons que la génératrice fonctionne dans sa partie linéaire ; donc $E_G(I) = aI$

d'où : $F(I) = E_G(I) - R \cdot I = aI - RI = A \cdot I$

avec $A = a - R$

Notons la transformée de Laplace par : \mathcal{L}

Soit $X = \mathcal{L}(I)$ et $Y = \mathcal{L}(\alpha)$;

en appliquant la transformée de Laplace au système on a :

$$\begin{cases} (Lp - A)X + KY = C_1 \\ KX - JpY = C_2 \end{cases}$$

où c_1 est la valeur de i à l'origine ; et c_2 la somme de c_0 et de la valeur de u à l'origine.

Le déterminant principal du système est :

$$\Delta = - (Lp - A) \cdot Jp - K^2 = - JLp^2 - JA p - K^2$$

La condition de stabilité est que les racines de l'équation caractéristique soient négatives ;

soient S et P respectivement la somme et le produit des racines ; donc les conditions sont :

$$S < 0 \quad \text{et} \quad P > 0$$

Soit :

$$S = \frac{-JA}{JL} = \frac{-A}{L} < 0 \quad \text{ou} \quad \frac{A}{L} > 0 \quad (1)$$

$$P = \frac{K^2}{JL} > 0 \quad (2)$$

Sachant que J et L sont positifs, les conditions peuvent s'écrire :

$$A > 0 \quad (1)$$

$$K^2 > 0 \quad (2)$$

La condition (2) est vérifiée quelque soit K ;

Sachant que la pente moyenne de la caractéristique à vide de la génératrice est supérieure à R , car $F(I)$ est positive dans ce domaine, la condition (2) est aussi vérifiée.

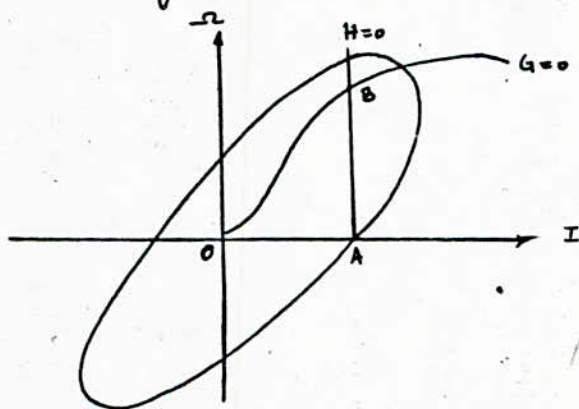
Donc, tant que la génératrice n'est pas saturée, le système est stable.

2. Trace de la trajectoire (méthode pas à pas)

Comme il a été remarqué précédemment, la tangente en chaque point de la courbe intégrale dépend du rapport (L/J) ; selon la valeur prise pour ce rapport, il existe plusieurs cas d'évolution de la courbe intégrale.

1^{er} cas:

La courbe intégrale décrivant le fonctionnement admet un centre de symétrie

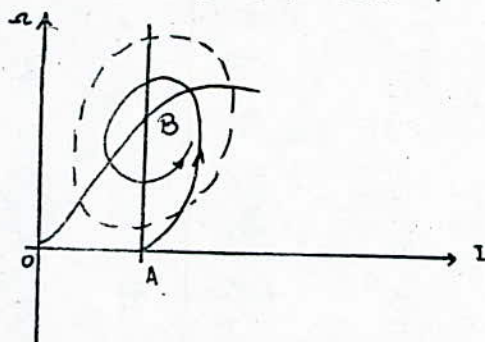


elle passe par A , en partant de O , et s'enroule autour de B qui est stable

2^{ème} cas:

Le point B peut être instable, mais par suite de l'action des courbes des fonctions $G=0$ et $H=0$, il peut exister une séparatrice, correspondant à un régime

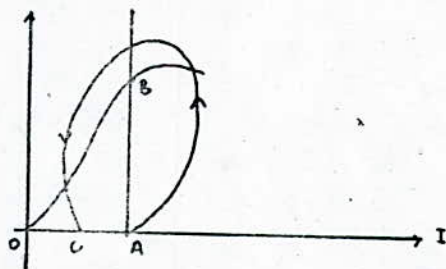
permanente, et qui enveloppe le point B, la courbe intégrale $\omega(I)$ peut s'enrouler autour de B venant de l'extérieur de la séparatrice; elle peut tendre à s'y poser venant de l'intérieur.



La courbe intégrale atteint asymptotiquement la séparatrice

3ème cas :

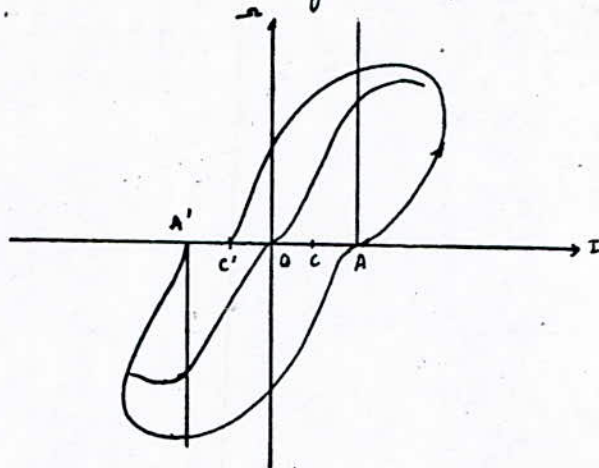
En augmentant encore la valeur de (L/S) , on augmente la dimension de la séparatrice (qui s'élargit).



Le phénomène est le même que précédemment. La courbe coupe l'axe des I au point C. La vitesse est nulle pendant un temps très court, sans que I s'annule.

2ème cas:

le rapport (L/S) est très grand.



Le point C peut venir en C' entre O et A' . Étant donné le sens du rémanent, la courbe intégrale repart en sens inverse après avoir rejoint A' .

La vitesse reste nulle entre C' et A' , pendant un temps fini à chaque inversion; le moteur part en sens inverse; le régime permanent est atteint immédiatement.

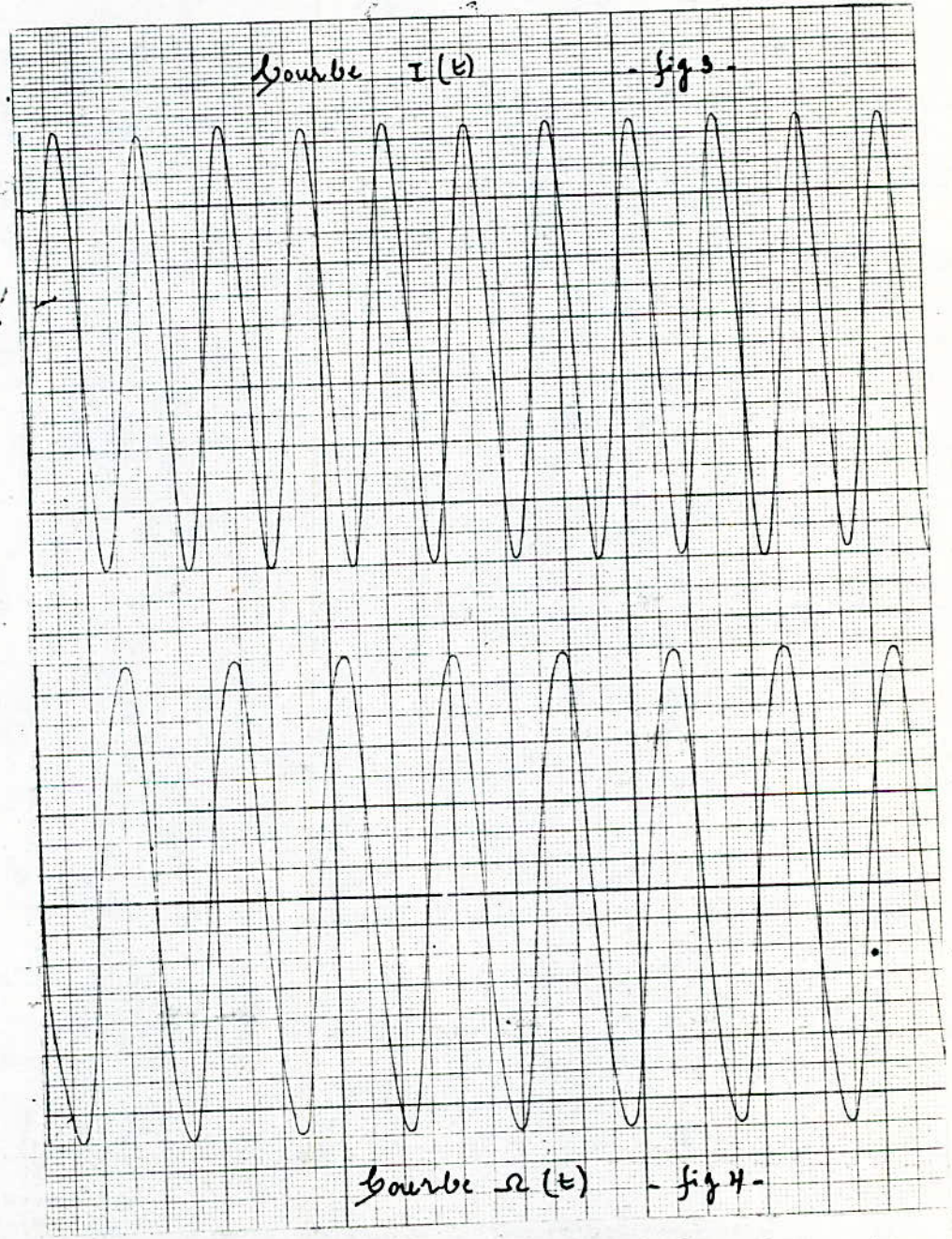
1°. Tracé pratique de $\omega(I)$:

en utilisant le montage expérimental, et à l'aide de la table tracante, on a pu relever deux courbes; elles sont données par les figures 7 et 8 et correspondent à deux valeurs différentes du rapport (L/S) .

On a tracé également les courbes $\omega(t)$ et $I(t)$.

Courbe $I(t)$

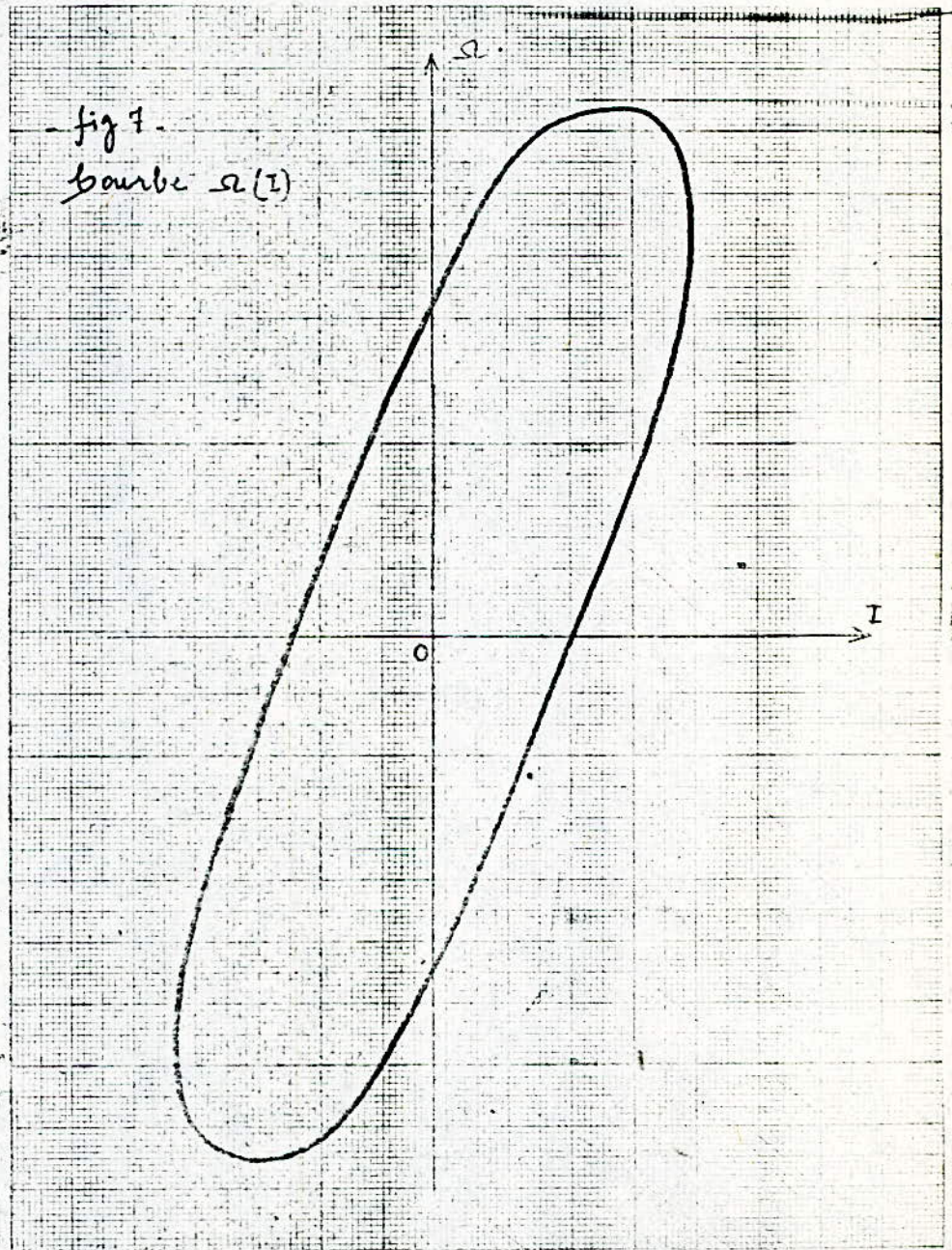
- fig 3 -



Courbe $\Omega(t)$

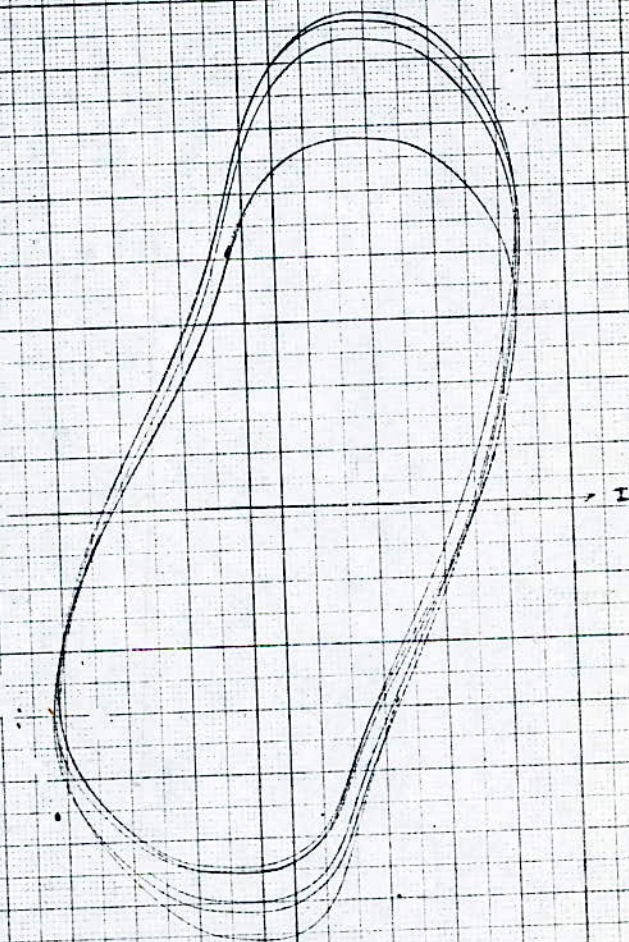
- fig 4 -

fig 1.
courbe $\Omega(I)$



figs.
courbe $\alpha(I)$.

r



2. Exercice théorique de la trajectoire

connaissant les différentes caractéristiques des machines et leurs paramètres, on applique au système la méthode "pas à pas", et selon les étapes suivantes :

a. connaissant un état $M_0 (I_0, \omega_0)$ initial, on peut calculer la pente $\frac{d\omega}{dI}$ en ce point ; dans les

calculs les différentielles sont ramenées à des Δ ;
ainsi $\frac{d\omega}{dI}$ correspond à $\frac{\Delta\omega}{\Delta I}$

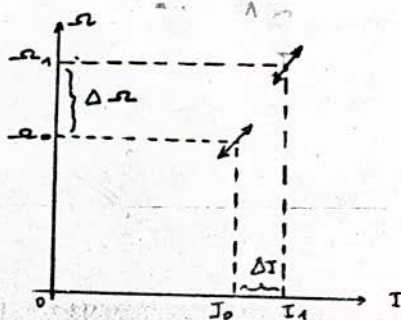
b. de la valeur I_0 on part à I_1 tel que $I_1 - I_0 = \Delta I$
l'équation $L \frac{dI}{dt} = F(I) - K\omega$ se ramène à :

$$L \frac{\Delta I}{\Delta t} = F(I) - K\omega$$

en se fixant Δt et en remplaçant ΔI par sa valeur, on peut connaître aisément la nouvelle valeur de $\omega = \omega_1$
d'où on tire $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_0$

c. on calcule $\frac{\Delta\omega}{\Delta I}$

dans les calculs on fixe Δt
ainsi que ΔI .



Soit $\Delta t = 1 s$ et $\Delta I = 2 A$

d'où $L \frac{\Delta I}{\Delta t} = 33,63 \cdot \frac{2}{1} = 67,26$

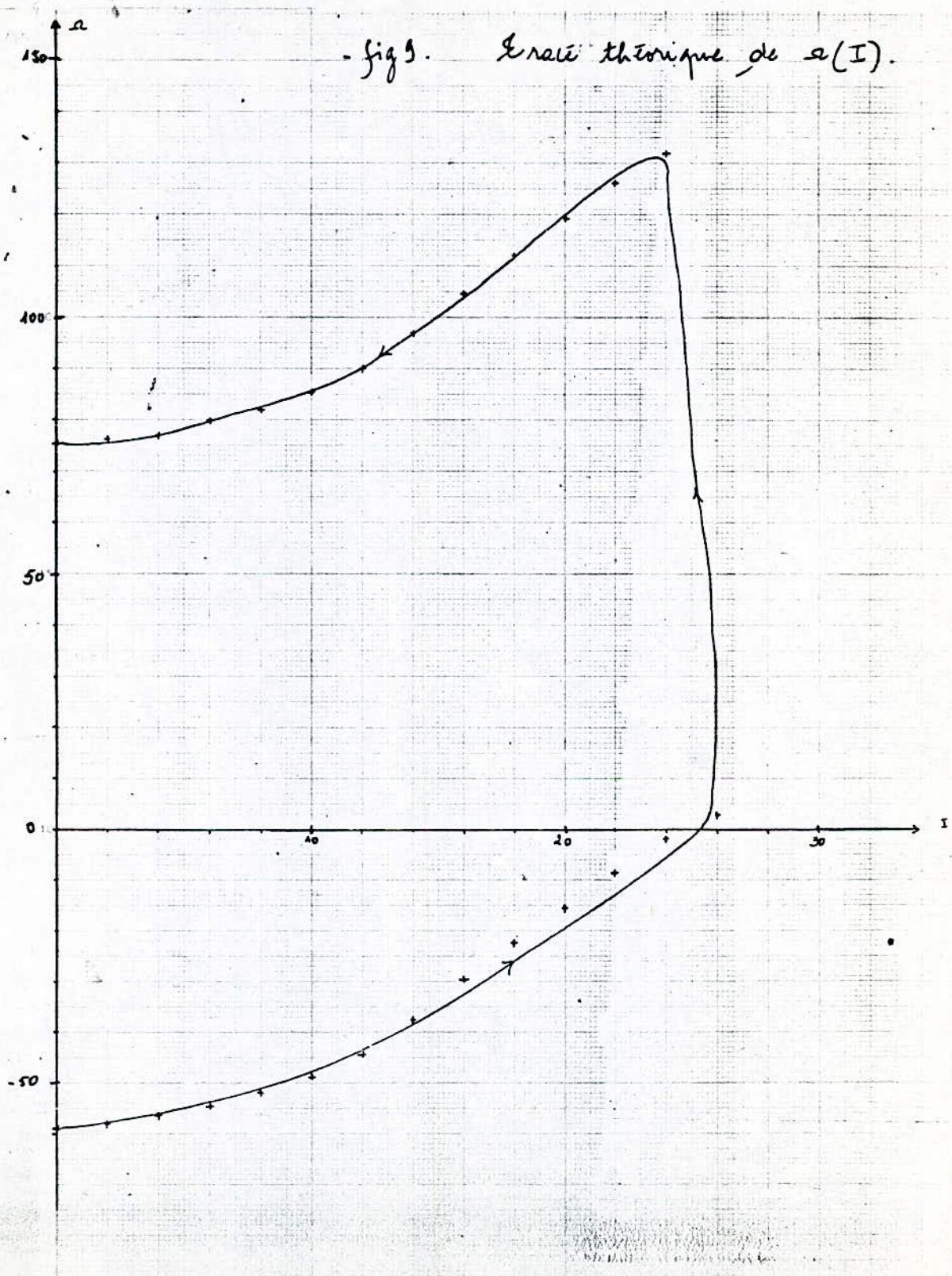
comme le courant oscille et ne dépasse pas 26 A, on fera augmenter I jusqu'à la valeur 26 A puis on le fera décroître jusqu'à 0 A, avec $\Delta I = -2 A \Rightarrow L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -67,26$

(Vu qu'il y a un rémanent, pour I=0 la vitesse n'est pas nulle).

I (A)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
F(I) (V)	8	9	10,4	12,5	15	18,3	23	30,2	37,5	45	52,1	59,1	65	70
Ω	$59,26$	$58,26$	$56,86$	$54,70$	$52,26$	$48,96$	$44,26$	$37,06$	$29,76$	$22,26$	$15,16$	$8,16$	$2,26$	$2,74$
$\Delta \Omega$	$59,26$	4	1,4	2,1	2,5	3,3	4,7	7,2	7,3	7,5	7,1	7,0	5,9	5
$\Delta \Omega / \Delta I$	∞	0,5	0,7	1,05	1,25	1,65	2,35	3,6	3,65	3,75	3,55	3,5	2,95	2,5

I (A)	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	0
F(I) (V)	70	65	59,1	52,1	45	37,5	30,2	23	18,3	15	12,5	10,4	9	8
Ω	$2,74$	$132,26$	$126,36$	$119,36$	$112,26$	$104,70$	$97,46$	$90,26$	$85,56$	$82,26$	$79,76$	$77,66$	$76,26$	$75,26$
$\Delta \Omega$	5	$129,52$	-5,9	-7	-7,1	-7,5	-7,3	-7,2	-4,7	-3,3	-2,5	-2,1	-1,4	-1
$\Delta \Omega / \Delta I$	2,5	$64,76$	2,95	3,5	3,55	3,75	3,65	3,6	2,35	1,65	1,25	1,05	0,7	0,5

- fig 5. Erreur théorique de $\alpha(I)$.



CONCLUSIONS

La stabilité globale de notre système est toujours assurée, vu les résultats théoriques et pratiques obtenus ; en effet le tracé théorique de la trajectoire, qui concorde avec le tracé expérimentale, s'enveloppe autour du point d'équilibre, en définissant le cycle limite (séparatrice).

La stabilité locale, peut être assurée, sous certaines conditions.

La méthode théorique choisie pour le tracé de la trajectoire a donné de bons résultats.

BIBLIOGRAPHIE

1. Cours manuscrits du module FEN 218 de M^r KOURGLI.

