

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

30/88

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

SIMULATION ET IDENTIFICATION
DES CARACTERISTIQUES
DYNAMIQUES DES MACHINES
ELECTRIQUES A COURANT CONTINU

Proposé par :

A. PODGORSKI

Z. BARSKI

Etudié par :

DJEDRA Med Mehdi

MOULAY Mohamed

Dirigé par :

A. PODGORSKI

Z. BARSKI

PROMOTION

JUIN 1988



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

SIMULATION ET IDENTIFICATION
DES CARACTERISTIQUES
DYNAMIQUES DES MACHINES
ELECTRIQUES A COURANT CONTINU

Proposé par :

A. PODGORSKI

Z. BARSKI

Etudié par :

DJEDRA Med Mehdi

MOULAY Mohamed

Dirigé par :

A. PODGORSKI

Z. BARSKI

PROMOTION

JUIN 1988

DEDICACES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Je dédie ce modeste travail:

A la mémoire de mon père
A ma mère
A mes frères et soeur et sa fille
A mon oncle Abdelhafid et ses enfants
A toute ma grande famille
A tous mes amis

Mehdi Aedm

Je dédie ce modeste travail à:

Mon père et ma mère
Mes frères et soeur
Mon oncle Abdelhamid pour son soutien moral et matériel
Hamma tahar
Mes amis intimes

م. مولاي

REMERCIEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Nous profitons de cette importante occasion pour adresser nos remerciements à monsieur A.PODGORSKI qui n'a pas cessé de nous aider et prodiguer de précieux conseils durant le déroulement de ce travail, ainsi que monsieur CHEKIREB et madame BENHAMZA pour leur correction, et tous les professeurs qui ont contribué à notre formation.

Nous tenons à remercier également tous ceux qui de loin ou de près ont collaboré pour l'élaboration de notre travail et particulièrement A.E.K KAFI.

INTRODUCTION

Chapitre 1: Etablissement des équations de la dynamique du moteur.

1.1) Introduction

1.2) Caractéristiques dynamiques

Chapitre 2: Simulation du système

2.1) Introduction

2.2) Simulateur de convolution

2.3) Simulateur pour une entrée en impulsions rectangulaires.

2.4) Application des simulateurs pour un moteur à courant continu

Chapitre 3: Identification

3.1) Introduction

3.2) Etapes d'identification

3.3) Méthodes d'identification

3.4) Calcul des erreurs

3.5) Exploitation de la méthode d'intégration de STREJC

3.6) Influence de l'introduction du générateur de nombres aléatoires

CONCLUSION

ANNEXE

BIBLIOGRAPHIE

L'identification est la détermination basée sur la connaissance des entrées et des sorties d'un procédé d'un modèle mathématique, appartenant à une classe spécifiée, équivalente au procédé.

Cette connaissance d'un modèle, nécessaire à l'établissement des systèmes de commande performants, a été la préoccupation essentielle de nombreux automaticiens. Ces recherches ont aboutis à un nombre important d'algorithmes d'identification des systèmes mono entrée_mono sortie et l'on peut dire qu'à l'heure actuelle, pour ce type de système, on dispose d'un ensemble d'outils puissants pour réaliser l'identification.

Pour les systèmes multivariables, qui sont très répandus, malheureusement, on ne dispose pas de moyens d'identification équivalents. C'est pourquoi les chercheurs s'intéressent à étudier les méthodes d'identification relatives

Pour notre travail, on a commencé par donner toutes les équations (mécaniques et électriques) d'un moteur à courant continu qui nous permettent de savoir simuler le moteur. Pour formuler ces équations on était obligé de respecter quelques hypothèses simplificatrices.

Dans le deuxième chapitre on a présenté des simulateurs dans l'identification du moteur et on a tracé quelques caractéristiques exemplaires du système.

Dans le troisième chapitre, on a étudié l'identification et ses étapes ainsi que quelques méthodes d'identification. Ensuite on a identifié un moteur à courant continu, on a aussi calculé les erreurs d'identification, en fin on a discuté l'influence de l'introduction du générateur de nombres aléatoires sur la précision de l'identification.

Enfin, après cette étude sur l'identification, on a pu trouver une méthode adéquate et applicable au niveau des laboratoires, pour cela on peut citer un exemple auquel on peut lui appliquer cet algorithme d'identification : Feed back, 8085 d'INTEL.

CHAPITRE 1

Etablissement des equations de
la dynamique du moteur.

1.1) Introduction:

Pour l'étude du comportement statique et dynamique des moteurs à courant continu, on admettra les hypothèses suivantes:

- La réaction d'induit n'est pas prise en considération, car elle diminue le flux traversant l'induit et par là la force électromotrice.

Les pertes dans le fer, et par effet pelliculaire sont négligés; elle diminuent le rendement du moteur, et le couple sur l'ordre.

-Les résistances et les inductances restent constantes (indépendante de la température), pour que les constantes de temps restent invariantes.

-Les ondulations provoquées par le convertisseur du courant sont prises en considération: les ondulations causent la perturbation du couple

-On se limite à l'étude de la conduction continue du courant d'induit (on néglige la conduction intermittente).

1.2) Caractéristiques dynamiques

On peut obtenir les caractéristiques de base du moteur à courant continu à partir des schémas blocs simplifiés. La précision de ces caractéristiques est différente et dépend des hypothèses simplificatrices à appliquer

La machine choisie est présentée sur la fig.1.1 On fixe comme élément:

- U_1, i_1, R_{11}, L_{11} : paramètres du circuit inducteur
- U_2, i_2, R_{22}, L_{22} : paramètres du circuit induit
- ψ_1 : flux d'excitation
- ψ_2 : flux d'induit
- M_s : moment résistant (statique)
- φ : angle de rotation
- ω : vitesse de rotation
- J : moment d'inertie de la partie en rotation
- $L_{21} = L_{12}$: inductance mutuelle entre induit et inducteur

Pour le fonctionnement de la machine en moteur l'équation matricielle du moteur se présente comme suit :

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & 0 \\ 0 & R_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{11} \cdot di_1/dt \\ \omega \cdot L_{21} \cdot i_1 + L_{22} \cdot di_2/dt \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

où $L_{21} \cdot i_1 = C_e \cdot \phi = K_e$

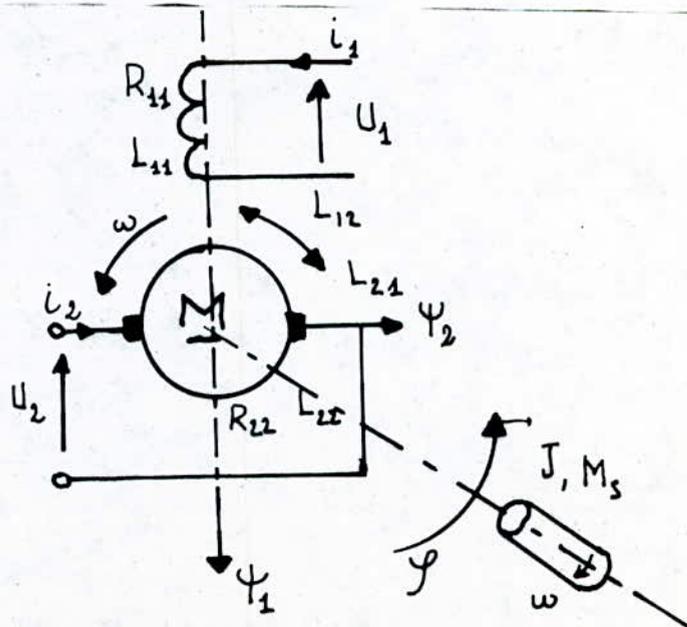


Fig.1.1: Schéma du système.

En prenant comme constante de temps :

$$\left. \begin{aligned} T_{em} &= \frac{J \cdot R_{22}}{K_m \cdot K_e} \\ T_a &= \frac{L_{22}}{R_{22}} \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

T_{em} : Constante de temps électromécanique du système

T_a : constante de temps électrique du circuit inducteur

Supposant que le courant d'excitation $i_1 = Cte$, alors $L_{11} \cdot di_1/dt = 0$

On obtient l'équation générale décrivant le système :

$$\begin{bmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\omega} \\ \frac{di_2}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{L_{21} C_1}{J} \\ 0 & -\frac{L_{21} C_1}{L_{22}} & -\frac{R_{22}}{L_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi \\ \omega \\ i_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -\frac{1}{J} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_{22}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_s \\ U_2 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Avec $C_1 = U_1/R_{11} = Cte$

Le moment électromagnétique s'exprime par :

$$M_e = L_{21} \cdot i_1 \cdot i_2 = C_m \cdot \phi \cdot i_2 = K_m \cdot i_2$$

Dans le système S.I., les coefficients K_m et K_e sont égaux, sous la forme opérationnelle, pour $M_s = 0$ on obtient :

$$\left. \begin{aligned} U_2(s) &= R_2 I_2(s) = C_e \phi(s) \Omega(s) + L_{22} s I_2(s) \\ J \cdot s \Omega(s) &= M_e(s) \\ M_e(s) &= K_m I_2(s) \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

D'après l'équation (1.4), la transmittance s'exprime par :

$$G(s) = \frac{1}{U_2(s)} = \frac{1}{K_e[1+S.T_{em}(1+S.T_a)]} \quad (1.5)$$

Donc, en partant de l'équation (1.5), on peut construire le schéma structurel (Fig.1.2).

La transmittance du moteur du point de vue des perturbations (Fig 1.3 a), s'exprime par la relation suivante:

$$G_2(s) = \frac{\Omega(s)}{M_s(s)} = \frac{R_{g2}(1 + ST_a)}{k_m k_e [1 + ST_{em} (1 + ST_a)]} \quad (1.6)$$

La transmittance du point de vue courant d'induit, selon la fig.1.3b s'exprime par :

$$G_{m_i}(s) = \frac{I_2(s)}{U_2(s)} = \frac{T_{em} \cdot S}{R_{22} (1 + T_{em} S (1 + S T_a))} \quad (1.7)$$

D'après la relation (1.6), on peut constater que le moteur peut être considéré comme un élément inertiel du 2^{ème} ordre. L'équation de ce moteur peut être exprimée sous la forme suivante:

$$S^2 T_a T_{em} + S T_{em} + 1 = 0 \quad (1.8)$$

d'où les racines de l'équation :

$$S_{1,2} = -\frac{1}{2T_a} \pm \frac{1}{2T_a} \sqrt{\frac{T_{em} - 4T_a}{T_{em}}} \quad (1.9)$$

Pour $T_{em} > 4.T_a$, le moteur représente un élément non oscillatoire, c'est le cas réel dans l'exploitation.

Dans ce cas l'équation (1.8) s'exprime par:

$$(T_3 S + 1)(T_4 S + 1) = 0 \quad (1.10)$$

où les constantes de temps peuvent être exprimées:

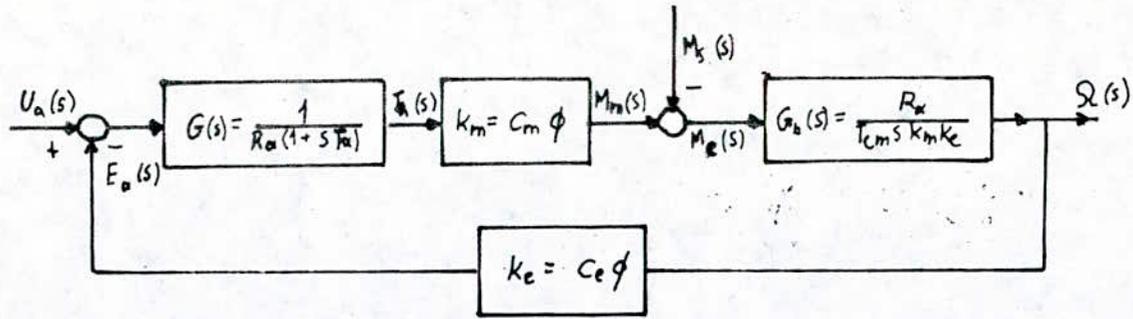


FIG:1.2: Schéma structural du moteur.

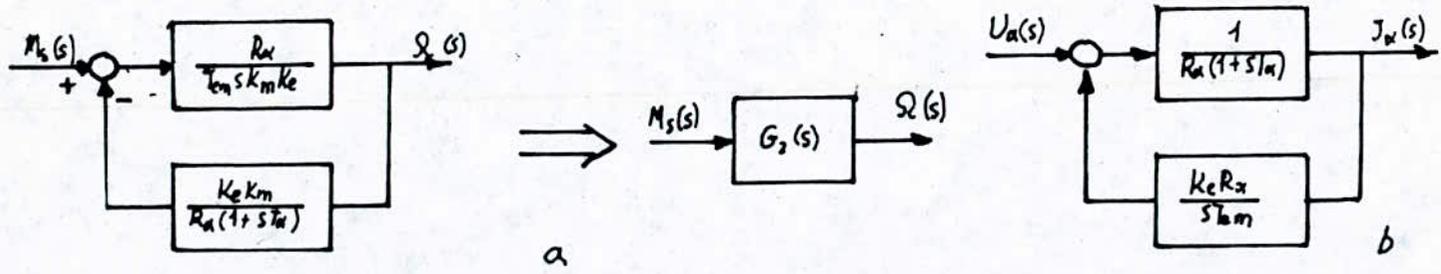


FIG:1.3: Transmittances du moteur.

$$T_{3,4} = \frac{2 \cdot T_a}{1 + \left[\frac{T_{em} - T_a}{T_{em}} \right]^{1/2}} \quad (1.11)$$

Pour la représentation fréquentielle on suppose que :
 $S = j\omega = p$, l'équation (1.8) s'écrit :

$$p^2 T_{em} T_a + p T_{em} + 1 = 0 \quad (1.12)$$

Pour $T_a \ll T_{em}$, l'équation (1.12) peut être présentée comme suit :

$$p^2 T_{em} T_a + p T_{em} + 1 = (1 + p T_{em}) \cdot (1 + p T_a) \quad (1.13)$$

car on a $(1 + p T_{em}) \cdot (1 + p T_a) = p^2 T_{em} T_a + p(T_{em} + T_a) + 1$ et on néglige T_a

D'où en comparant les équations (1.10) et (1.13) on obtient :

$$T_3 = T_{em}, \quad T_4 = T_a.$$

Dans ce cas on peut écrire:

$$G_w(p) = \frac{1/K_e}{(1 + p T_a)(1 + p T_{em})} \quad (1.14)$$

La caractéristique logarithmique peut être exprimée par :

$$L(\omega) = 20 \log(1/K_e) - 20 \log \sqrt{(1 + \omega^2 T_a^2)} - 20 \log \sqrt{(1 + \omega^2 T_{em}^2)}$$

Les deux pulsations caractéristiques équivalentes sont :

$$\omega_1 = 1/T_{em}, \quad \omega_2 = 1/T_a \quad (1.16)$$

Comme écart de la tension on traite la différence entre la tension aux bornes de l'induit U_2 et la force électromotrice du moteur E_a , si la grandeur proportionnelle à la chute de la vitesse angulaire.

Dans ce cas l'écart s'exprime de la façon suivante:

$$\begin{aligned} \Delta(s) &= U_2(s) - E_a(s) = \Delta_1(s) - \Delta_2(s) \\ &= \frac{U_2(s)}{1 + K_e K_m G_a(s) G_b(s)} + \frac{K_e G_b(s) \cdot M_s(s)}{1 + K_e K_m G_a(s) G_b(s)} \quad (1.17) \end{aligned}$$

La première composante :

$$\Delta_1(s) = \frac{U_2(s)}{1 + K_e K_m G_a(s) G_b(s)}$$

La deuxième composante :

$$\Delta_2(s) = \frac{K_e G_b(s) M_s(s)}{1 + K_e K_m G_a(s) G_b(s)}$$

} (1.18)

En appliquant pour Δ_1 et Δ_2 les formules exactes à partir de la fig 1.2, on obtient :

$$\Delta_1(s) = \frac{U_2(s) \cdot T_{em} s (1 + s T_a)}{1 + s T_{em} (1 + s T_a)}$$

$$\Delta_2(s) = \frac{[R_{22} / K_{em}] (1 + s T_a) M_s(s)}{1 + s T_{em} (1 + s T_a)}$$

Pour la stabilité: en prenant $U_2 = \text{constante}$, et $M_s = \text{constante}$.
on aura :

$$\Delta(t \longrightarrow \infty) = - R_a \cdot M_s / K_m$$

$$\text{Chute de vitesse : } w(t \longrightarrow \infty) = - R_a \cdot M_s / (K_e \cdot K_m).$$

CHAPITRE 2

Simulation du systeme

2.1) Introduction:

Pour pouvoir déterminer les propriétés d'une méthode d'identification, il faut d'abord simuler le système à identifier, ce qui consiste à déterminer la sortie (réponse) du système pour une entrée donnée.

Dans notre cas on a utilisé deux simulateurs, décrits ci-dessous. Comme point de départ, on suppose que la transmittance du système à simuler est de la forme suivante :

$$G(s) = \sum_{r=1}^R \frac{W_{Kr}}{Tr \cdot s + 1} = \frac{\sum_{r=0}^P \frac{Bp \cdot s^r}{Ar \cdot s^r}}{\quad} \quad (2.1)$$

où Tr et Te : constantes de temps du système pour :

$$r, e = 1, \dots, R$$

et les W_{Kr} sont donnés par :

$$W_{Kr} = \prod_{\substack{e=1 \\ e \neq r}}^R \frac{Tr}{Tr - Te}$$

De plus Bp et Ar sont des coefficients équivalents à W_{Kr} et Tr comme exemple :

soit l'équation différentielle suivante :

$$A \ddot{Y} + A \dot{Y} + A \dot{Y} + A Y = X$$

avec les conditions initiales suivantes $y(0) = \dot{y}(0) = 0$

En appliquant la transformée de Laplace on aura :

$$\begin{aligned} (A_3 s^3 + A_2 s^2 + A_1 s + A_0) \cdot Y(s) &= X(s) \\ \implies G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} &= \frac{1}{A_3 s^3 + A_2 s^2 + A_1 s + A_0} \\ &= \frac{1}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)} \end{aligned}$$

$$G(s) = \frac{WK_1}{T s + 1} + \frac{WK_2}{T s + 1} + \frac{WK_3}{T s + 1}$$

où $A_3 = T_1 T_2 T_3$, $A_2 = T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3$, $A_1 = T_1 + T_2 + T_3$,
 $A_0 = 1$

et les WKr seront données par :

$$WK_1 = \frac{T_1^2}{(T_1 - T_2)(T_1 - T_3)}, \quad WK_2 = \frac{T_2^2}{(T_2 - T_1)(T_2 - T_3)}$$

et $WK_3 = \frac{T_3^2}{(T_3 - T_1)(T_3 - T_2)}$

2.2) Simulateur de convolution :

On suppose que le signal d'entrée est donnée par :

$$X(t) = \sum_{m=0}^M \Psi_m t^m \quad (2.2)$$

La transformation de Laplace est : $X(s) = \sum \Psi_m \frac{m!}{s^{m+1}} \quad (2.3)$

La réponse temporelle est donnée par la transformée inverse de Laplace qui est comme suit :

$$Y(t) = \mathcal{L}^{-1} [Y(s)]$$

Or on a : $Y(s) = X(s).G(s) \implies Y(t) = \mathcal{L}^{-1} [X(s).G(s)]$

$$Y(t) = \mathcal{L}^{-1} \left[\left(\sum_{r=0}^R \frac{WK_r}{T_r s + 1} \right) \left(\sum_{m=0}^M \Psi_m \frac{m!}{s^{m+1}} \right) \right]$$

On sait que le produit dans le domaine de l'opérateur S, peut être remplacé par le produit de convolution dans le domaine du temps, cette convolution est exprimée par :

$$\frac{WK_r \cdot \Psi_m}{T_r} \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_r}\right) * t^m = \frac{WK_r \cdot \Psi_m}{T_r} \exp\left(-\frac{t}{T_r}\right) \cdot \int_0^t \tau^m \exp\left(\frac{\tau}{T_r}\right) d\tau$$

$$\implies \frac{WK_r \cdot \Psi_m}{T_r} \exp\left(-\frac{t}{T_r}\right) * t^m = WK_r \left[\Psi_m t^m - m \Psi_m \exp\left(-\frac{t}{T_r}\right) \int_0^t \tau^{m-1} \exp\left(\frac{\tau}{T_r}\right) d\tau \right]$$

D'ou on aura :

$$\frac{1}{T_r} \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_r}\right) * t^m = \begin{cases} t^m - \exp\left(-\frac{t}{T_r}\right) * t^{m-1} & \text{si } m > 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{t}{T_r}\right) & \text{si } m = 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

L'organigramme permettant de calculer la convolution de n'importe quelle fonction polynomiale et exponentielle est donnée dans l'annexe A. (Fig A.1).

Les limites imposées pour le signal d'entrée sont :

$$X(t) > 0 \text{ pour } t \in [0, t_s], X(t) = 0 \text{ ailleurs.}$$

(t_s : temps à partir du quel le signal s'annule)

pour la réponse: $Y(t) \geq 0$ $Y(0) = Y(\infty) = 0$

On peut simuler aussi le système en introduisant pour $t=t_s$ un signal supplémentaire à l'entrée, pour que la somme des deux signaux à l'entrée soit égale à zéro.

Pour $t > 0$, le signal d'entrée est donnée par l'équation (2.2), dans ce cas les coefficients supplémentaires qui sont valables pour $t=t_s$ sont comme suit :

$$X_d(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t \leq t_s \\ \sum_{m=0}^M \Psi N_m (t-t_s)^m & \text{si } t > t_s \end{cases}$$

Ils sont calculés en utilisant la condition suivante :

$$X(t) + X_d(t) = 0 \text{ pour } t > t_s$$

alors:
$$\sum_{m=0}^M \Psi_m t^m + \sum_{m=0}^M \Psi N_m (t-t_s)^m = 0 \text{ pour } t > t_s \quad (2.5)$$

Le premier terme de cette équation peut être transformé, en utilisant la formule de Newton, (changement d'ordre et d'indice de l'addition) soit donc:

$$\begin{aligned} \sum_{m=0}^M \Psi_m (t+t_s)^m &= \sum_{m=0}^M \Psi_m \left[\sum_{\mu=0}^m \binom{m}{\mu} t^\mu t_s^{m-\mu} \right] \\ &= \sum_{\mu=0}^M \left[\sum_{m=\mu}^M \Psi_m \binom{m}{\mu} t_s^{m-\mu} \right] t^\mu \end{aligned}$$

D'après l'équation (2.5), on aura:

$$\Psi_{N_m} = - \sum_{\mu=m}^M \Psi_{\mu} \binom{\mu}{m} t_s^{\mu-m} \text{ avec } m=0, \dots, M \quad (2.6)$$

connaissant Ψ_m et Ψ_{N_m} , on peut calculer la réponse pour $t \in [0, t_s]$ et $t > t_s$. Dans l'annexe A, on a présenté les organigrammes pour le calcul de la réponse approximée par un polynôme (Fig.A.2) et l'algorithme pour le calcul des coefficients de l'approximation du signal d'entrée, on a appliqué la méthode d'interpolation de Lagrange.

$$\tilde{x}(t) = \sum_{m=0}^M x(t_m) \cdot \prod_{\substack{\mu=0 \\ \mu \neq m}}^M \frac{t - t_{\mu}}{t_m - t_{\mu}}$$

Les coefficients du polynôme sont calculés d'après (A.4)

2.3) Simulation pour une entrée en impulsions rectangulaires:

Pour trouver l'algorithme d'identification, le signal d'entrée est constitué par des impulsions rectangulaires (Fig.2.1).

$$x(t) = \sum_{m=1}^M \Psi_m \left[\mathbb{1}(t - t_{s, 2m-1}) - \mathbb{1}(t - t_{s, 2m}) \right]$$

$$\text{avec } \mathbb{1}(t - t_{s, \mu}) = \begin{cases} 0 & \text{quand } t < t_{s, \mu} \\ 1 & \text{quand } t > t_{s, \mu} \end{cases}$$

$\mu = 1, \dots, 2M$

On peut tracer le signal d'entrée comme la combinaison des échelons unitaires qui se diffèrent par un retard (Fig 2.1).

La réponse de notre système pour un échelon est comme suit:

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1} \left[\sum_{r=1}^R \frac{W_k r}{T_r s + 1} \right] = \sum_{r=1}^R W_k r \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_r}\right) \right] \quad (2.7)$$

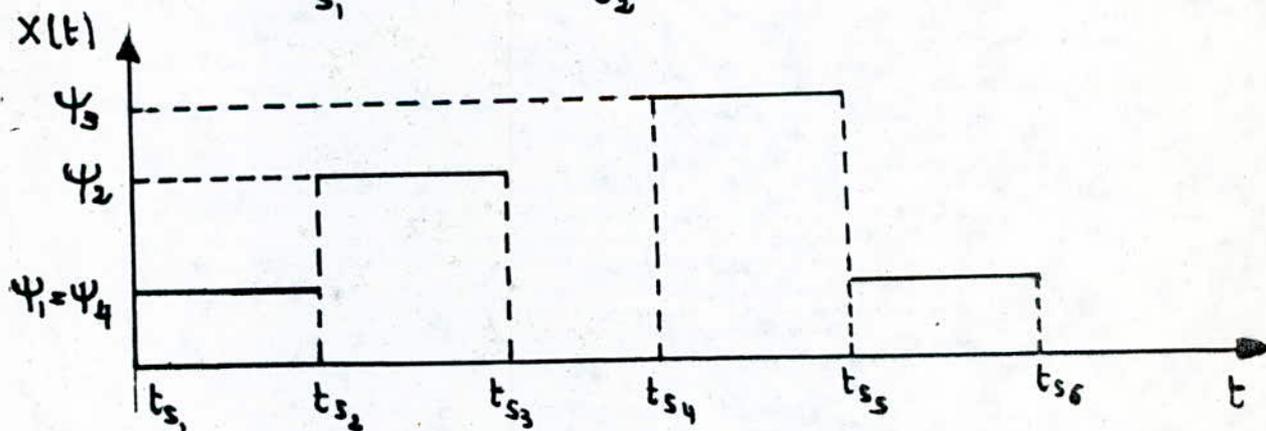
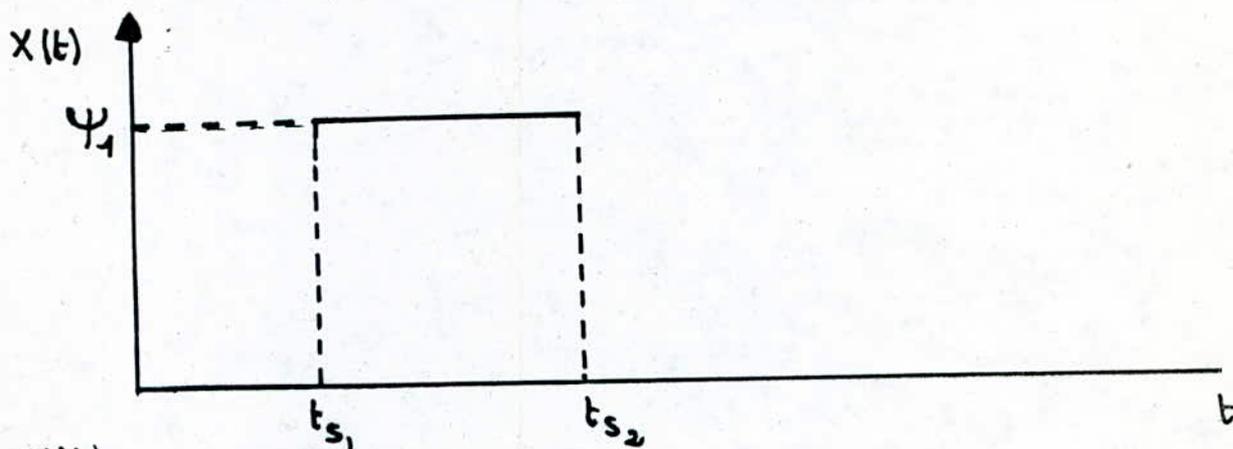
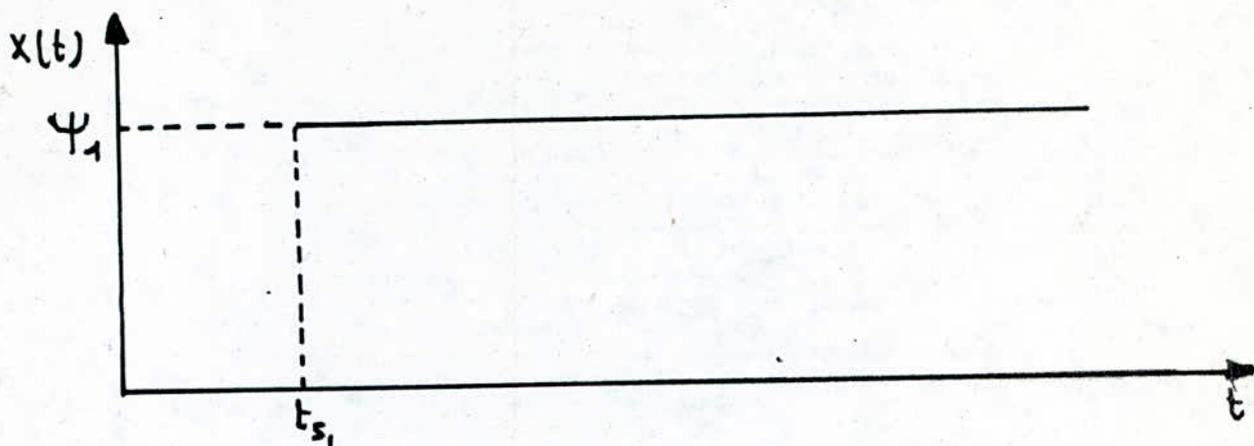


Fig 2.1: Signal d'entrée pour des échelons unitaires

On trouve que pour une chaîne d'impulsion, la réponse est une combinaison des réponses du type (2.7), qui se différencient par un retard $t_{s,u}$.

L'organigramme permettant de calculer la réponse pour les combinaisons de ces échelons qui se différencient par un retard, est présenté dans l'annexe A (Fig A.5). Aussi l'organigramme pour calculer la convolution d'échelon unitaire avec une combinaison des fonctions exponentielles et polynomiales, est présenté dans l'annexe A (Fig.A.6).

2.4) Application des simulateurs pour un moteur à courant continu

Dans le chapitre 1, on a présenté les transmittances d'un moteur à courant continu (eq 1.5).

$$G_1(s) = \frac{\mathcal{R}(s)}{U_2(s)} = \frac{1}{K_e (1 + s T_{em} (1 + s T_a))}$$

avec :

$\mathcal{R}(s)$: vitesse de rotation du moteur [tr/mn]

$U_2(s)$: tension d'induit [V]

T_a : constante de temps électrique [S]

T_{em} : constante de temps électromécanique [S]

comme $(T_{em} \cdot s + 1) (T_a + 1) \approx (1 + T_a \cdot s) \cdot (T_{em} s + 1)$.

donc :

$$G_1(s) = \frac{1/K_e}{(1 + s T_a) (1 + s T_{em})}$$

Par analogie aux transmittances étudiées, on peut simuler notre système (le moteur) pour n'importe quelle entrée (tension d'induit) et on aura la caractéristique de sortie (vitesse de rotation $\mathcal{R}(t)$).

De même la vitesse en fonction du couple $M_s(s)$, on a :

$$\begin{aligned} G_2(s) = \frac{\mathcal{R}(s)}{M_s(s)} &= \frac{-R_{22} (1 + s T_a)}{K_e K_m (1 + s T_a) (1 + s T_{em})} \\ &= \frac{-R_{22} / K_e \cdot K_m}{1 + s T_{em}} \end{aligned}$$

Donc en appliquant les simulateurs cités auparavant, on peut trouver la caractéristique pour différentes entrées (variation du couple). ainsi la fonction de transfert du courant d'induit $I_a(s)$ par rapport à la tension d'induit $U_a(s)$ devient:

$$G_3(s) = \frac{I_a(s)}{U_a(s)} = \frac{T_{em} \cdot s}{(1 + s T_a)(1 + s T_{em})}$$

De même que pour les autres transmittances, mais avec une légère modification pour les entrées à cause de l'opérateur "s" trouvé au numérateur. On peut donc déterminer la caractéristique $I_a(t)$ pour plusieurs formes d'excitation (tension d'induit).

Le moteur que nous avons utilisé a les caractéristiques suivantes :

- $K_e = K_m = 0,53$
- Inductance: $L_f + L_a = 100 \text{ mH}$
- Résistance d'induit $R_a = 2,4$
- Moment d'inertie $J = 0,0577 \text{ m}^2 \cdot \text{Kg}$

Nous déterminons la constante de temps électrique :

$$T_a = \frac{L_a}{R_a} = \frac{100 \cdot 10^{-3}}{2,4} = 0,04 \text{ s}$$

De même, la constante de temps mécanique :

$$T_m = \frac{J \cdot R_a}{K} = \frac{0,0577 \cdot 2,4}{(0,53)} = 0,493 \text{ s}$$

2.4.1) Simulation de convolution:

On applique au système une entrée en échelon, la valeur de sortie (réponse) tend vers l'échelon, et lorsque le signal d'entrée s'annule pour $t = t_s$, la réponse tend vers zéro. En

pratique, si on donne au moteur un échelon de tension pendant le temps t_s la vitesse augmente, une fois la tension devient nulle la vitesse décroît et tend vers zéro (Fig 2.2).

Dans le cas où l'entrée est une rampe la sortie varie dans le même sens que l'entrée, dès que cette dernière devient nulle, la réponse diminue et tend vers zéro ce qui concorde avec la pratique, lorsque la tension appliquée au moteur augmente, la vitesse de rotation augmente, à $t = t_s$, où la tension est nulle, la vitesse décroît et tend vers zéro (Fig. 2.3).

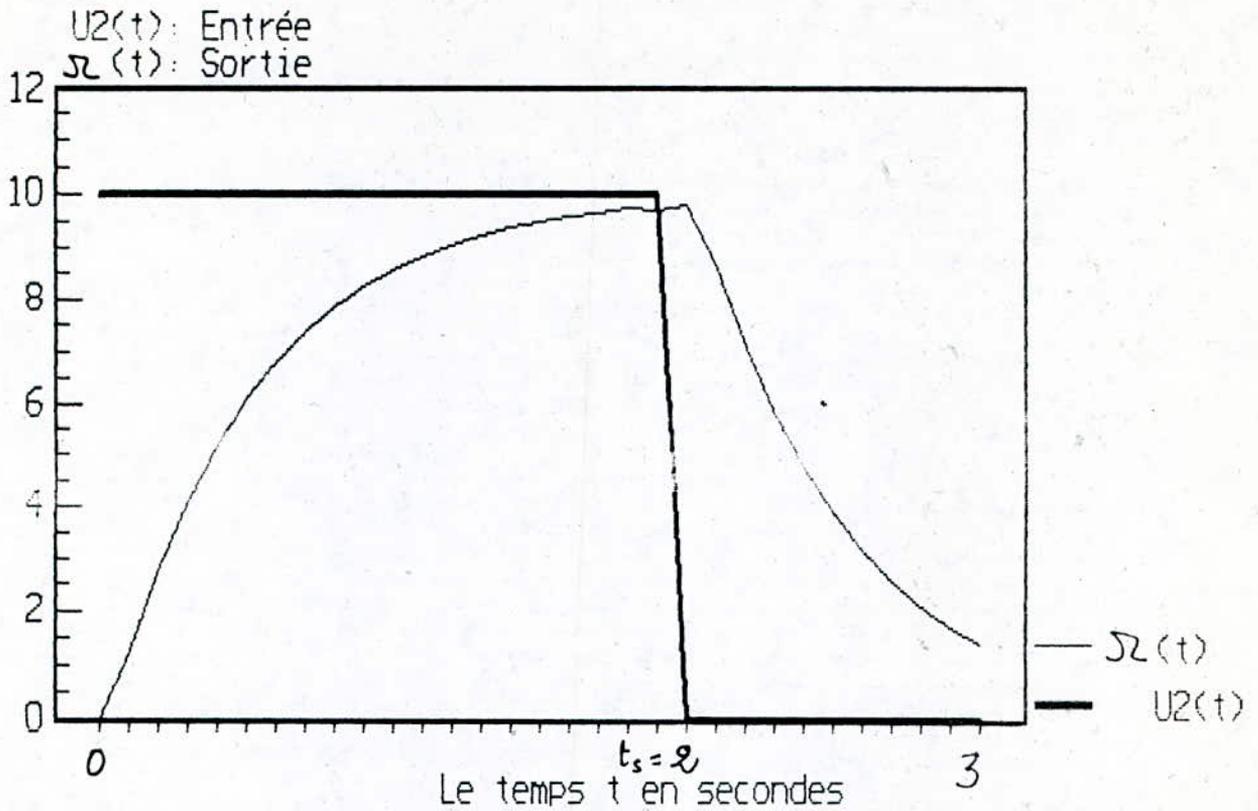
De même pour une entrée parabolique (Fig.2.4).

En voyant, le signal de sortie, on peut conclure qu'il est possible de générer la sortie pour une entrée polynomiale (pour une forme quelconque, on l'interpole à un polynôme (interpolation de LAGRANGE)).

2.4.2) Simulation pour une entrée en impulsions rectangulaires:

Le signal d'entrée est une combinaison des échelons qui se diffèrent par un retard, dans ce cas la sortie varie suivant l'impulsion appliquée (Fig 2.5).

FIG. 2.2: Simulation pour une entrée en échelon



T_L : (le temps limite) = 3 s

DT : (le pas) = 0.1 s

T_s : (le temps à partir duquel le signal d'entrée s'annule)

$T_s = 2$ s .

R : nombre de constantes de temps

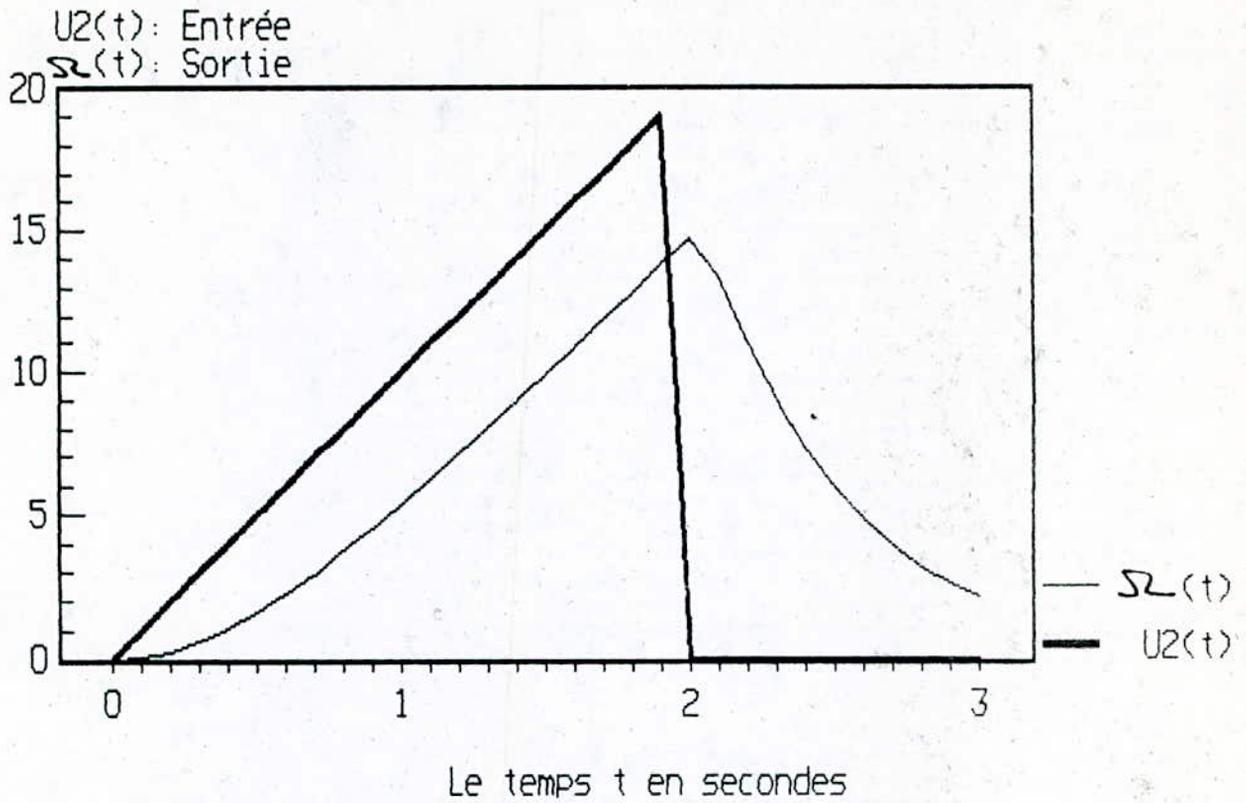
$R = 2$.

$TR(1) = 0.04$, $TR(2) = 0.493$.

le signal d'entrée : $U_2(t) = 10$.

$PSI(1) = 10$ $KS(1) = -10$.

FIG. 2.3: Simulation pour une entrée en rampe



$$T_L = 3 \text{ s} \quad DT = 0.1 \text{ s} \quad T_s = 2 \text{ s}$$

$$R = 2 \quad TR(1) = 0.04, \quad TR(2) = 0.493 \text{ s}$$

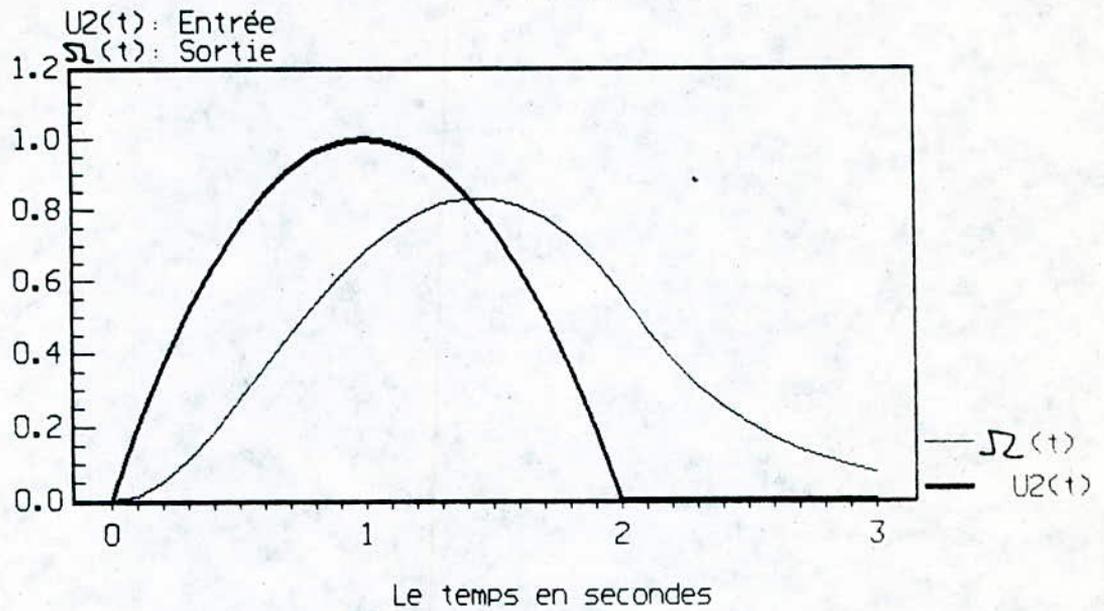
Le signal d'entrée :

$$U_2(t) = 10t$$

$$PSI(1) = 0 \quad KS(1) = -20$$

$$PSI(2) = 10 \quad KS(2) = 10$$

FIG. 2.4: Simulation pour une entrée parabolique



$$T_L = 3 \text{ s} , \quad DT = 1 \text{ s} \quad \text{et} \quad T_s = 2 \text{ s}$$

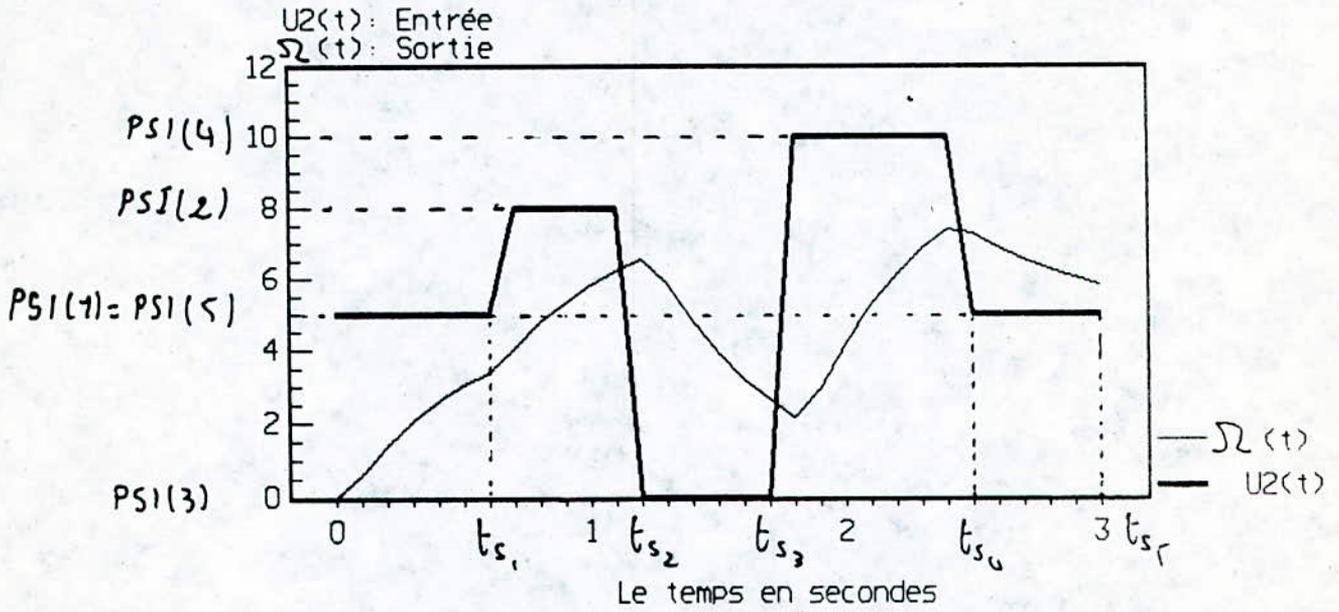
$$R = 2 \Rightarrow TR(1) = 0.04 , \quad TR(2) = 0.493$$

Le signal d'entrée : $U_2(t) = -t(t-2)$

$$= -t^2 + 2t + 0.$$

$PSI(1) = 0$	$KS_1 = 0$
$PSI(2) = 2$	$KS_2 = 2$
$PSI(3) = -1$	$KS_3 = 1$

FIG. 2.5: Simulation pour une entrée en impulsions rectangulaires



$$T_L = 3 \text{ s}$$

$$DT = 0.1 \text{ s}$$

$$R = 2$$

$$TR(1) = 0.04 \text{ s}$$

$$TR(2) = 0.493 \text{ s}$$

CHAPITRE 3

Identification

3.1) Introduction:

L'identification consiste à déterminer un ensemble d'équation (un modèle) décrivant le mieux possible le procédé. Il y'a deux étapes dans le travail: [B.3].

- La première consiste à fixer la forme des équations, c'est l'étape qualitative, ou caractérisation.

- La seconde consiste à trouver les valeurs numériques des coefficients qui interviennent dans ces équations, c'est l'étape quantitative, ou estimation des paramètres. Ces valeurs numériques sont déterminées pour que le comportement du modèle soit le plus proche de celui du système, cette "proximité" se mesure à l'aide d'un critère choisi, il suffit de faire appel aux mathématiques pour réduire la différence système-modèle.

3.2) Les étapes d'identification:

3.2.1) Etape qualitative:

Pour définir la structure du modèle on peut s'aider des lois de la physique (mécanique, thermodynamique, électricité,...). Remarquons au passage que ces "lois" sont en fait des modèles essayant de décrire mathématiquement la nature. L'ensemble des équations ainsi établies constitue ce qu'on appelle un modèle de connaissance [B.3].

Si on restreint la classe de modèle à celle des modèles linéaires on a donc le choix de diverses représentations. Notons au passage que la détermination du modèle se fait par l'intermédiaire de mesure des entrées-sorties, donc on décrit uniquement la partie observable du système, cette dernière est commandable si les conditions initiales sont nulles.

3.2.2) Etape quantitative:

Lorsque la structure du modèle est choisie, il faut déterminer les valeurs numériques des coefficients qui interviennent dans les équations, ce sont des paramètres du modèle. Ils sont reliés aux retard, gains, pôles et zéros du système. Pour juger des valeurs et les attribuer, on définit le critère qui exprime quantitativement l'écart entre le système et modèle, ce critère devra être minimisé.

3.3) Méthodes d'identification :

3.3.1) Méthode des moindres carrés:

La méthode des moindres carrés permet d'identifier directement un modèle paramétrique discret. Ces paramètres seront améliorés après chaque observation (L-1). Soit l'équation aux différences approximée, discrète qui modélise la dynamique d'un moteur [B.2]

$$y(n) = \alpha_1 y(n-1) + \alpha_2 y(n-2) + \dots + \alpha_I y(n-I) + B_0 x(n) + B_1 x(n-1) + \dots + B_J x(n-J) \quad (3.3.1)$$

où : $X[v]$, $v=1, \dots, N$: valeurs échantillonnées d'entrée

$Y[v]$, $v=1, \dots, N$: valeurs échantillonnées de sortie

on définit, $y[n] \triangleq Y$.

$$a \triangleq [\alpha_1 | \alpha_2 | \dots | \alpha_I | B_0 | B_1 | \dots | B_J]^T$$

$$\text{et } X \triangleq \begin{bmatrix} y[n-1] & y[n-2] & \dots & y[n-I] & x[n] & x[n-1] & \dots & x[n-J] \end{bmatrix}^T$$

donc l'équation s'écrit : $y = a^T X$

Le but de l'identification est de trouver les coefficients du vecteur a , en utilisant la méthode des moindres carrés. Le vecteur a peut être trouvé à partir de l'expression suivante:

$$a^{(L)} = \left[[X X^{(L)}]^T [X X^{(L)}] \right]^{-1} [X X^{(L)}]^T y^{(L)} = P^{(L)} [X X^{(L)}]^T y^{(L)} \quad (3.3.2)$$

avec :

$$X X^{(L)} \triangleq \begin{bmatrix} X^{(1)}_{(0)} & X^{(1)}_{(1)} & \dots & X^{(1)}_{(I+J+1)} \\ X^{(2)}_{(0)} & X^{(2)}_{(1)} & \dots & X^{(2)}_{(I+J+1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X^{(L)}_{(0)} & X^{(L)}_{(1)} & \dots & X^{(L)}_{(I+J+1)} \end{bmatrix} \quad (3.3.3)$$

$$P^{(L)} \triangleq \left[[X X^{(L)}]^T [X X^{(L)}] \right]^{-1} ; \quad y \triangleq [y^{(1)} \ y^{(2)} \ \dots \ y^{(L)}]^T \quad (3.3.4)$$

L: nombre de lignes de la matrice

$X^{(l)}$: les composantes du vecteur X^T pendant le cycle l De même pour Y.

L'inconvénient de cet algorithme c'est la nécessité d'inverser la matrice, car l'inversion d'une matrice est toujours très compliquée et très souvent mal conditionnée numériquement.

La version séquentielle de cette méthode est basée sur le calcul de $P^{(L+1)}$ à partir de $P^{(L)}$ sans passer par l'inversion de la matrice.

$$\text{On a : } P^{(L+1)} = P^{(L)} - GAM^{(L)} \cdot P^{(L)} X^{(L+1)} [X^{(L+1)}]^T P^{(L)} \quad (3.3.5)$$

$$a^{(L+1)} = a^{(L)} + GAM^{(L)} P^{(L)} X^{(L+1)} [Y^{(L+1)} - [X^{(L+1)}]^T a^{(L)}] \quad (3.3.6)$$

$$\text{Ou bien : } a^{(L+1)} = a^{(L)} + P^{(L+1)} X^{(L+1)} [Y^{(L+1)} - [X^{(L+1)}]^T a^{(L)}] \quad (3.3.7)$$

Avec l'expression :

$$GAM^{(L)} = [[X^{(L+1)}]^T P^{(L)} X^{(L+1)} + 1]^{-1}$$

La deuxième composante de l'équation (3.3.6 ou 3.3.7) représente la correction obtenue après (L+1) observations. On peut montrer que la matrice P est proportionnelle à la matrice de covariance de l'estimation l du vecteur des paramètres a. De plus, pour beaucoup de type signal d'entrée, cette matrice est positivement déterminée, et :

$$\lim_{L \rightarrow \infty} P^{(L)} = \delta I$$

On peut commencer l'algorithme d'estimation des paramètres du modèle dans différentes manières. La plus simple, c'est de prendre $P^{(0)} = \delta I$, où δ est un très grand nombre.

$$\text{Après l'itération, on aura : } [P^{(l)}]^{-1} = [P^{(0)}]^{-1} + [XX^{(l)}]^T XX^{(l)}$$

$$\text{et } a^{(l)} = P^{(l)} [XX^{(l)}] Y^{(l)} + [P^{(0)}]^{-1} a^{(0)}$$

$$\text{car : } [P^{(0)}]^{-1} = \frac{1}{\delta} \cdot I \quad ; \quad [P^{(l)}]^{-1} \rightarrow [XX^{(l)}] XX^{(l)}$$

$$\text{donc : } a^{(l)} \xrightarrow{\delta \rightarrow \infty} P^{(l)} [XX^{(l)}]^T Y^{(l)}$$

Les expressions à droite correspondent à celles qui sont obtenues par la méthode d'estimation classique (équations 3.3.3 et 3.3.4). L'organigramme de l'identification par la méthode

séquentielle est présenté dans l'annexe A (Fig. A.7).

3.3.2 - Méthode d'approximation aléatoire (A.A) :

Comme dans la méthode précédente, les résultats obtenus à l'observation L sont améliorés après L+1 observations [B.2].

On suppose que le modèle est donné par :

$$y[L] = [a^{(L)}] x^{(L)} \triangleq \phi [a^{(L)}, x^{(L)}] \quad (3.3.8)$$

On suppose que les résultats de mesures sont donnés avec une erreur aléatoire modalisée avec le bruit additif V[L] :

$$Y[L] = y[L] + V[L]$$

Dans l'algorithme d'approximation aléatoire on a des iterations pour améliorer l'estimation des paramètres. Ces iterations sont calculées par la formule suivante:

$$a^{(L+1)} = a^{(L)} - \beta_L \psi(L), \quad L = 1, 2, \dots \quad (3.3.9)$$

avec $\{\beta_L\}$: les paramètres qui vérifient les conditions suivantes:

$$\lim_{L \rightarrow \infty} \beta_L = 0, \quad \lim_{L \rightarrow \infty} \sum_{l=1}^L \beta_l = \infty$$

(3.3.10)

$$\text{et } \lim_{L \rightarrow \infty} \sum_{l=1}^L \beta_l^2 < \infty$$

$\psi^{(L)}$: fonction d'approximation au cours de l'iteration des résultats de mesures $\tilde{y}[L]$ et des estimations des paramètres. L'esperance de $\psi^{(L)}$ tend vers zéro quand les estimations des paramètres tendent vers les valeurs propres. La fonction $\psi^{(L)}$ est définie normalement comme la valeur du gradient d'indice d'identification $E_L(a)$. Pour les valeurs moyennes quadratiques l'indice d'identification est :

$$E_L(a) = \frac{1}{2} [\tilde{y}[L] - \phi(a^{(L)}, x^{(L)})]^2 \quad (3.3.11)$$

la fonction $\psi^{(L)}$ est représentée sous la forme :

$$\psi^{(L)} = \frac{\partial E_L}{\partial a} \Big|_{a^{(L)}} = \left[\phi(a^{(L)}, x^{(L)}) - \tilde{y}[L] \right] \cdot \frac{\partial \phi}{\partial a} \Big|_{(a^{(L)}, x^{(L)})} \quad (3.3.12)$$

Les conditions présentées dans (3.3.10) sont valables pour :

$$f_L = \frac{f_1}{L^\alpha}, \quad L = 2, 3, \dots \text{ avec } \alpha \in \left[\frac{1}{2}, 1 \right] \quad (3.3.13)$$

on peut prendre comme valeur initiale :

$$a^{(1)} = 0, \quad f_1 = \left\| \frac{\partial \Phi}{\partial a} \Big|_{(a, x^{(1)})} \right\|^{-2} \quad (3.3.14)$$

dans le cas linéaire en tenons compte de $Y = a^T X$.

$$\text{on aura: } \Psi^{(L)} = \left\{ [a^{(L)}]^T \cdot X^{(L)} - \tilde{y}[L] \right\} X^{(L)} \quad (3.3.15)$$

$$f_1 = \|X^{(1)}\|^{-2} ; \quad f_L = \frac{f_1}{L}, \quad L = 2, 3, \dots$$

En introduisant les équations (3.3.15 et 3.3.8) d'où la formule récursive d'estimation :

$$a^{(L+1)} = a^{(L)} + \frac{\tilde{y}[L] - [a^{(L)}]^T \cdot X^{(L)}}{L \|X^{(1)}\|^2} \cdot X^{(L)} \quad (3.3.16)$$

En comparant les formules (3.3.9) et (3.3.15) on peut dire que dans la première équation (3.3.9) on a la même matrice $P^{(L+1)}$ et dans la deuxième (3.3.15) on a L . L'algorithme (A.A) est plus simple que l'algorithme (M.C) car il n'exige pas le calcul de la matrice P. d'autre part s'il n'y'a pas la matrice P, la méthode (A.A) ne donne pas la précision avec laquelle on détermine les coefficients cherchés.

L'organigramme d'identification par la méthode (A.A) est présenté dans l'annexe A (Fig A.8). Dans l'algorithme on a pris en considération la possibilité de calculer et d'autre part la possibilité de réactiver le procédé d'iteration avec les valeurs approchées du vecteur a qui sont égaux aux valeurs approchées finales.

3.3.3) Méthode d'intégration de STREJC [B.2]:

On suppose que :

$$y^{(r)}(0) = y^{(r)}(\infty) = 0 \quad \text{avec } r = 0, 1, \dots, R-1$$

Si les conditions sont remplies, les coefficients A_r de l'équation :

$$\sum_{r=0}^R A_r y^{(r)}(t) = \sum_{p=0}^P B_p x^{(p)}(t) \quad (3.3.17)$$

peuvent être calculés précisément à partir des formules suivantes:

$$A_r = \begin{cases} \tilde{S}X_1 / \tilde{S}Y_1 & \text{pour } r=0 \\ \left(\sum_{j=0}^{p-1} (-1)^{j-1} \cdot A_{r-j} \cdot \tilde{S}Y_{j+1} + (-1)^r \tilde{S}X_{r+1} \right) / \tilde{S}Y_1 & \text{pour } r=1, \dots, R. \end{cases} \quad (3.3.18)$$

où $\tilde{S}Y_p$ sont définies comme intégrales multiples selon :

$$\tilde{S}Y_p = \begin{cases} \int_0^\infty y(t) \cdot dt & \\ \int_0^\infty \int_{t_1}^\infty \dots \int_{t_{p-1}}^\infty y(t) \cdot dt \cdot dt_1 \dots dt_{p-1} & \text{pour } p=2, 3, \dots, R+1 \end{cases} \quad (3.3.19)$$

De même pour $\tilde{S}X_p$ (par analogie).

Dans les cas examinés, les données qui sont prises pour les calculs sont des valeurs discrètes de la réponse $Y(t)$ mesurée en fonction du temps qui sont distribuées d'une façon régulière et dans ce cas selon l'hypothèse de l'équation (3.3.16) $Y[0] = Y[N]$. L'application de la méthode des trapezes pour les calculs des intégrals (eq. 3.3.19) permet d'obtenir les sommes suivantes:

$$\left. \begin{aligned} SY'_1 &= \sum_{n=0}^N y[n] \cdot h \\ SY'_2 &= \sum_{n_1=0}^N \sum_{n=n_1}^N y[n] \cdot h^2 \\ SY'_3 &= \sum_{n_2=0}^N \sum_{n_1=n_2}^N \sum_{n=n_1}^N y[n] \cdot h^3 \end{aligned} \right\} \quad (3.3.20)$$

Le symbole (\sum') signifie la somme dont laquelle le premier élément est pris avec le coefficient 1/2. Les sommes $S.Y'$ peuvent être normalisées et cela en les divisant par h^p , et dans ce sens on va utiliser le symbole $S.Y$.

L'ordre de calcul selon (eq. 3.3.20) ne permet pas de déterminer l'algorithme permettant de calculer cette somme en ligne. Pour avoir cette possibilité il faut que la formule concernant la somme soit mise en ordre par rapport aux échantillons $Y[n]$. Dans ce cas on peut utiliser les relations suivantes:

$$SY'_p = \sum_{i=1}^p (-2)^{i-p} \binom{p}{i} \sum_{j=1}^i \bar{SY}_j \quad (3.3.21)$$

Où :

$$\bar{SY}_j = \sum_{n_{j-1}=1}^N \sum_{n_{j-2}=n_{j-1}} \dots \sum_{n=n_1}^N Y[n]$$

Finalement pour déterminer les sommes S.Y, on doit prendre en considération le calcul de S.Y en ligne en fonction des données Y[n], ensuite le calcul de la somme S.Y qui est la combinaison linéaire de la somme S.Y selon l'équation (3.3.21), ainsi le produit par la grandeur h, selon les puissances, correspond à (eq 3.3.20).

Les quatres premières coefficients en tenant compte des relations (eq.3.3.21) et (eq.3.3.18) peuvent être calculés selon:

$$A_0 = S.X'_1 / S.Y'_1$$

$$A_1 = (A_0 S.Y'_2 - S.X'_2) / S.Y'_1$$

$$A_2 = (A_0 S.Y'_2 - A_0 S.Y'_3 + S.X'_3) / S.Y'_1$$

$$A_3 = (A_2 S.Y'_2 - A_1 S.Y'_3 + A_0 S.Y'_4) / S.Y'_1$$

L'organigramme permettant d'identifier ces paramètres par cette méthode (I.S) est présenté dans l'annexe A (Fig A.9, Fig.A.10).

3.4.) Calcul des erreurs :

Pour un meilleur calibrage on peut ajouter la recherche de sensibilité des erreurs aléatoires et systématiques du modèle du moteur, on outre on doit examiner également la dépendance de la qualité de l'identification en fonction de l'ordre du modèle, les paramètres d'exitation, le nombre d'echelon en largeur du pas d'échantillonnage.

On suppose que les indices de base de qualité sont exprimés par les formules (3.4.2) et (3.4.2) pour le cas continu. Ces formules peuvent être présentées sous formes d'équations (3.4.3) et (3.4.4) pour le cas discret.

$$E_1 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [\tilde{Y}_R(t_n) - Y_R(t_n)]^2} \quad (3.4.1)$$

$$E_2 = \sqrt{\sum_{n=1}^N [\tilde{Y}_R(t_n) - Y_R(t_n)]^2 / \sum_{n=1}^N Y_R^2(t_n)} \quad (3.4.2)$$

$$E_1' = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [\tilde{Y}_R[n] - Y_R[n]]^2} \quad (3.4.3)$$

$$E_2' = \sqrt{\sum_{n=1}^N [Y[n] - Y_R[n]]^2 / \sum_{n=1}^N Y_R^2[n]} \quad (3.4.4)$$

où $Y[n]$ $n=1, \dots, N$ signifie la série d'échelon de la réponse sur un échelon unitaire obtenu par application des coefficients identifiés du modèle.

$Y_R[n]$ $n=1, \dots, N$: la série de la réponse calculée analytiquement.

^B3.5) Exploitation de la méthode de STREJC: ^B

Le but de cette méthode, est de chercher les paramètres qui nous permettent de trouver les bons résultats d'identification. Ces résultats sont choisis d'après les erreurs trouvées.

Dans le cas où on a deux constantes de temps la transmittance est donnée par:

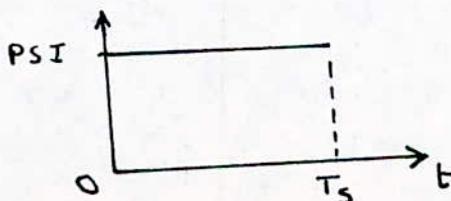
$$G(s) = \frac{1}{(T_1.S+1)(T_2.S+1)} = \frac{1}{A_2.S^2 + A_1.S + A_0}$$

Avec $A_2 = T_1.T_2$, $A_1 = T_1 + T_2$ et $A_0 = 1$

$$\text{d'où } T_2 = \frac{A_1 + \sqrt{A_1^2 - 4.A_2}}{2}$$

$$T_1 = A_1 - T_2$$

Le signal d'entrée choisi est un échelon unitaire



PSI = 1 et TS = 1

R: nombre de constante de temps

H: le pas et N: nombres de points.

Les resultats trouvés:

Pour R = 1 et TR(1) = 0,493 s

N	H	A ₀	A ₁	TR'(1)	E1	E2
100	0,1	1	0,54	0,54	5,33E-2	9,35E-3
100	0,05	1,0001	0,517	0,517	2,81E-2	4,86E-3
200	0,05	0,999	0,518	0,518	2,81E-2	4,864E-3
50	0,1	0,999	0,544	0,544	5,75E-2	1,01E-2

Pour R=2 , TR(1) = 0,04 et TR(2) = 0,493

N	H	A ₀	A1	A2	TR'(1)	TR'(2)	E1	E2
100	0,01	1,875	0,255	-0,016				
200	0,01	1,076	0,47	0,0161	0,0373	0,432	8,38E-2	1,4E-2
	0,02	1,02	0,54	0,0182	0,0362	0,503	1,2E-2	2,2E-3
	0,03	1,02	0,548	0,0185	0,0362	0,515	2,2E-2	4,0E-3
300	0,01	1,01	0,522	0,0177	0,036	0,485	1 E-2	1,8E-3
	0,02	1,02	0,54	0,0182	0,0362	0,503	1,2E-2	2,2E-3
	0,03	1,02	0,548	0,0185	0,0362	0,511	2,2E-2	4,0E-3
500	0,01	1,01	0,537	0,0182	0,0364	0,5	8,8E-3	1,5E-3
	0,02	1,019	0,543	0,0183	0,0362	0,506	8,8E-3	1,6E-3
	0,03	1,02	0,548	0,185	0,0362	0,511	1,6E-2	2,9E-3

1000	0,01	1,009	0,538	0,0183	0,0362	0,506	1,6E-2	2,9E-3
0,02	1,019	0,543	0,0183	0,0362	0,506	1,6E-2	2,9E-3	
0,03	1,02	0,548	0,0185	0,0362	0,511	2,2E-2	4,0E-3	

Le resultat optimal d'identification, correspond à de faibles erreurs E1 et E2.

Les erreurs les plus faibles : $E1 = 8,8E-3$ et $E2 = 1,5E-3$

On a donc, $N = 500$ et $H = 0,01$

$A_0 = 1,01$, $A_1 = 0,537$ et $A_2 = 0,0182$

$TR'(1) = 0,0364$ et $TR'(2) = 0,5$

En tracant les courbes pour les TR et les TR', on constate que ces dernières sont confondues (Fig 3.1) vue que les constantes de temps sont proches.

On voit bien pour $N = 100$ le coefficient A_2 est négatif, par conséquent on ne peut déterminer les TR', alors pour avoir les bons resultats il faut que N soit grand et bien déterminé. De plus le pas doit être petit et le temps d'identification est précis.

Si on veut appliquer cette méthode dans un poste d'identification, on introduit les paramètres optimales dans les calculateurs et on peut obtenir (Fig 3.2):

- Enregistrement des réponses indicielles et fréquentielles
- Détermination automatique sur l'imprimante ou la table traçante de la transmittance et de la caractéristique en fréquence.

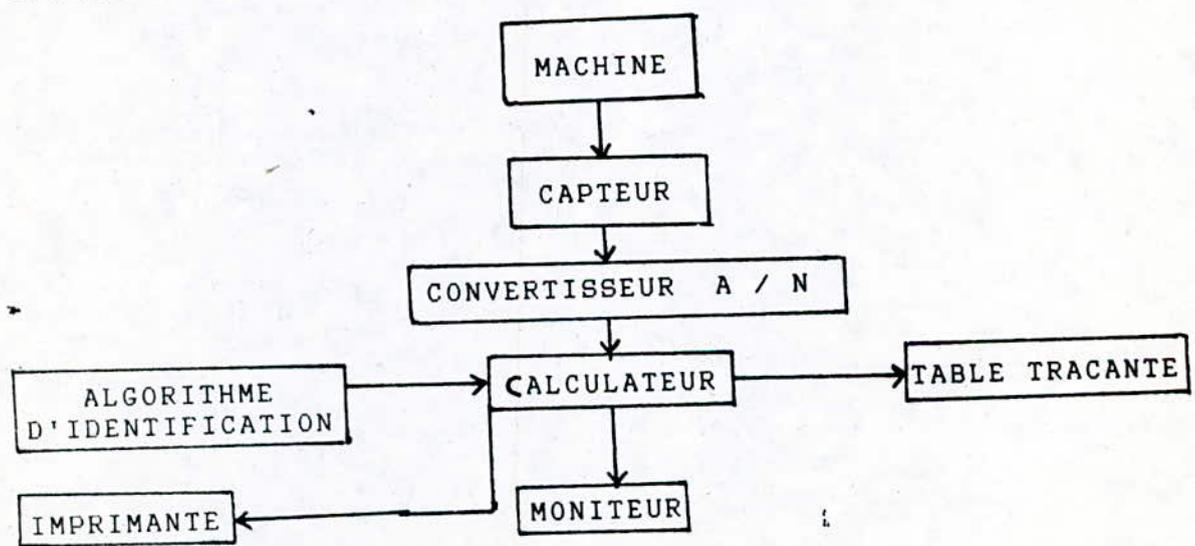


Fig 3.2 : Schéma d'identification expérimentale.

3.6) Influence de l'introduction du générateur du nombre aléatoire

Pour simuler les perturbations existant, on a utilisé un générateur de nombre aléatoire donné par le Texas Instrument (TI'77)[B.2]:

Pour un bruit non Gaussien, dans un intervalle [B,C] on a:

$$X[n+1] = (24298 \cdot X[n] + 99991 / \text{mod}.199017)$$

le générateur est : $GL1 = X \frac{[n+1]}{199017} (C-B) + B$

avec $X[n]$: valeur de X a l'instant n
 $X[n+1]$: valeur de X a l'instant n+1

Le tableau de valeurs ci-dessous explicite l'influence du bruit sur le système.

Pour la même entrée d'identification et avec les paramètres suivants :

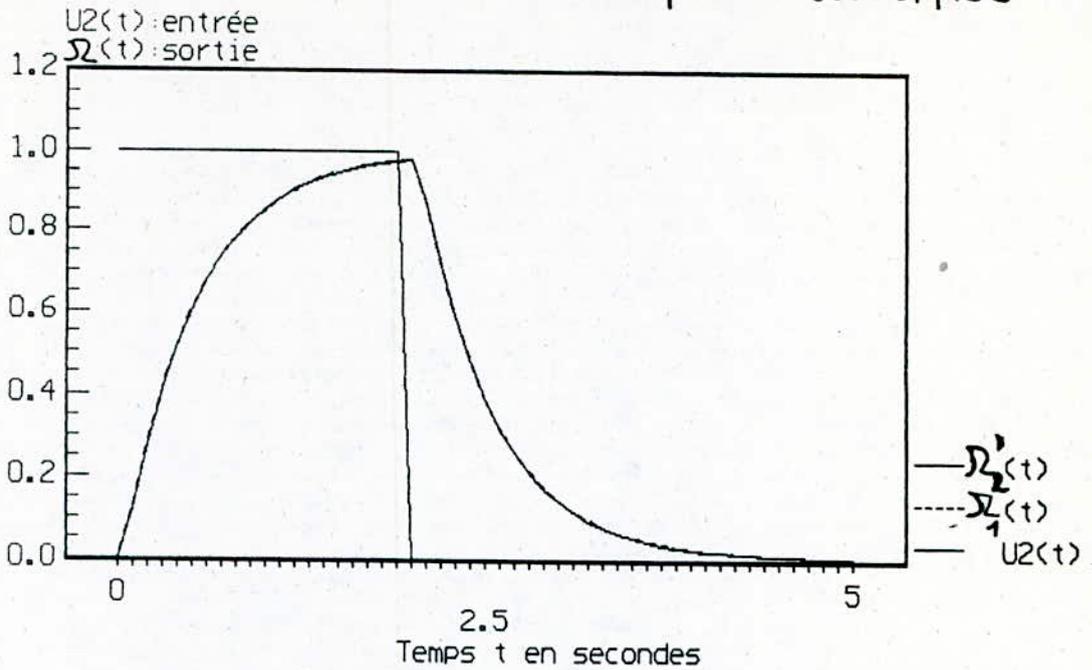
$$H = 0,01, N = 500, R = 2, TR(1) = 0,04 \text{ et } TR(2) = 0,493$$

[B,C]: intervalle du bruit

B	C	A	A	A	TR'(1)	TR'(2)	E1	E2
0,98	1,02	1,007	0,535	0,0182	0,0365	0,498	6,3E-3	1,15E-3
0,99	1,01	1,008	0,537	0,0182	0,0363	0,5	8,8E-3	1,6E-3
0,9	1,1	0,996	0,525	0,0181	0,037	0,487	7,5E-3	1,3E-3
0,8	1,2	0,982	0,513	0,0179	0,0776	0,475	8,3E-2	4,0E-3
0,6	1,4	0,956	0,49	0,0176	0,039	0,45	5,7E-2	9,9E-3
0,5	1,5	1,241	0,639	0,0186	0,0305	0,608	0,122	2,36-3

En introduisant le générateur de nombres aléatoires, les valeurs changent et les erreurs d'identification augmentent avec la largeur du bruit, malgré cela les erreurs restent toujours faibles ce qui veut dire que pour cette méthode le système est résistant au bruit jusqu'à un niveau précis.

Fig 3.1: Comparaison entre la réponse théorique et la réponse identifiée



$$T_L = 10. \text{ s} \quad DT = 0.1 \quad , \quad R = 2.$$

Signal d'entrée échelon : $PSI(1) = 1$, $TS(1) = 1$.

$\mathcal{R}_1(t)$: réponse déterminée par les constantes de temps calculées : $TR(1) = 0,0364$
 $TR(2) = 0,5$.

$\mathcal{R}_2(t)$ = réponse déterminée par les constantes de temps données : $TR(1) = 0,04$.
 $TR(2) = 0,493$.

CONCLUSION

Ce travail porté sur l'identification des systèmes a fait sortir l'intérêt de l'identification dans le domaine de la commande automatique des machines électriques et nous a permis de tirer les conclusions suivantes:

- Les propriétés d'un moteur à courant continu peuvent être présentés par les transmittances obtenues à partir des équations théoriques, à condition de prendre en considération certaines hypothèses simplificatrices.

- On a constaté que deux simulateurs peuvent être utilisés: simulateur pour une entrée de forme quelconque avec lequel on peut générer la sortie pour n'importe quel type de signal d'entrée, le deuxième simulateur est pour une entrée en impulsions.

- On a constaté également que la méthode d'intégrale de STREDJS donne de bons résultats d'identification. Donc, on propose que cette méthode soit appliquée pour une identification expérimentale, et cela en utilisant un convertisseur analogique-numérique, et le calculateur Feed-Back (8085 d'INTEL), au niveau du laboratoire du département, de même, on peut mesurer la caractéristique entrée-sortie (en fonction de temps, et on l'introduit dans l'ordinateur pour avoir les résultats d'identification, mais avec une erreur de mesure dans ce cas.

- Selon l'analyse du système d'identification, on a trouvé que l'introduction du bruit sous forme de signaux du générateur de nombre aléatoire permet de savoir jusqu'à quel niveau le système peut supporter le bruit.

ANNEXE

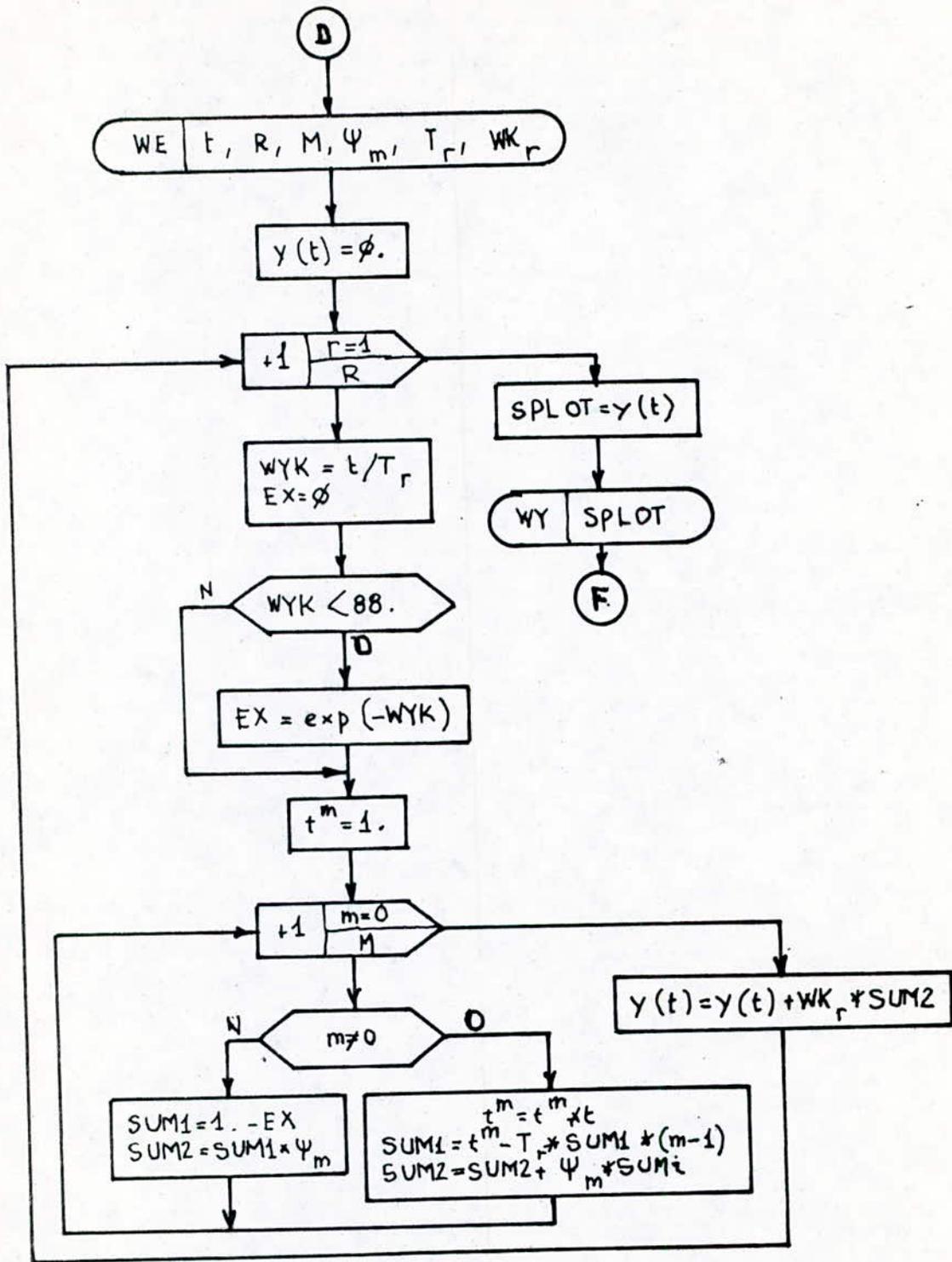


FIG.A1. Organigramme de la détermination analytique de la convolution de deux fonctions exponentielle et polynomiale

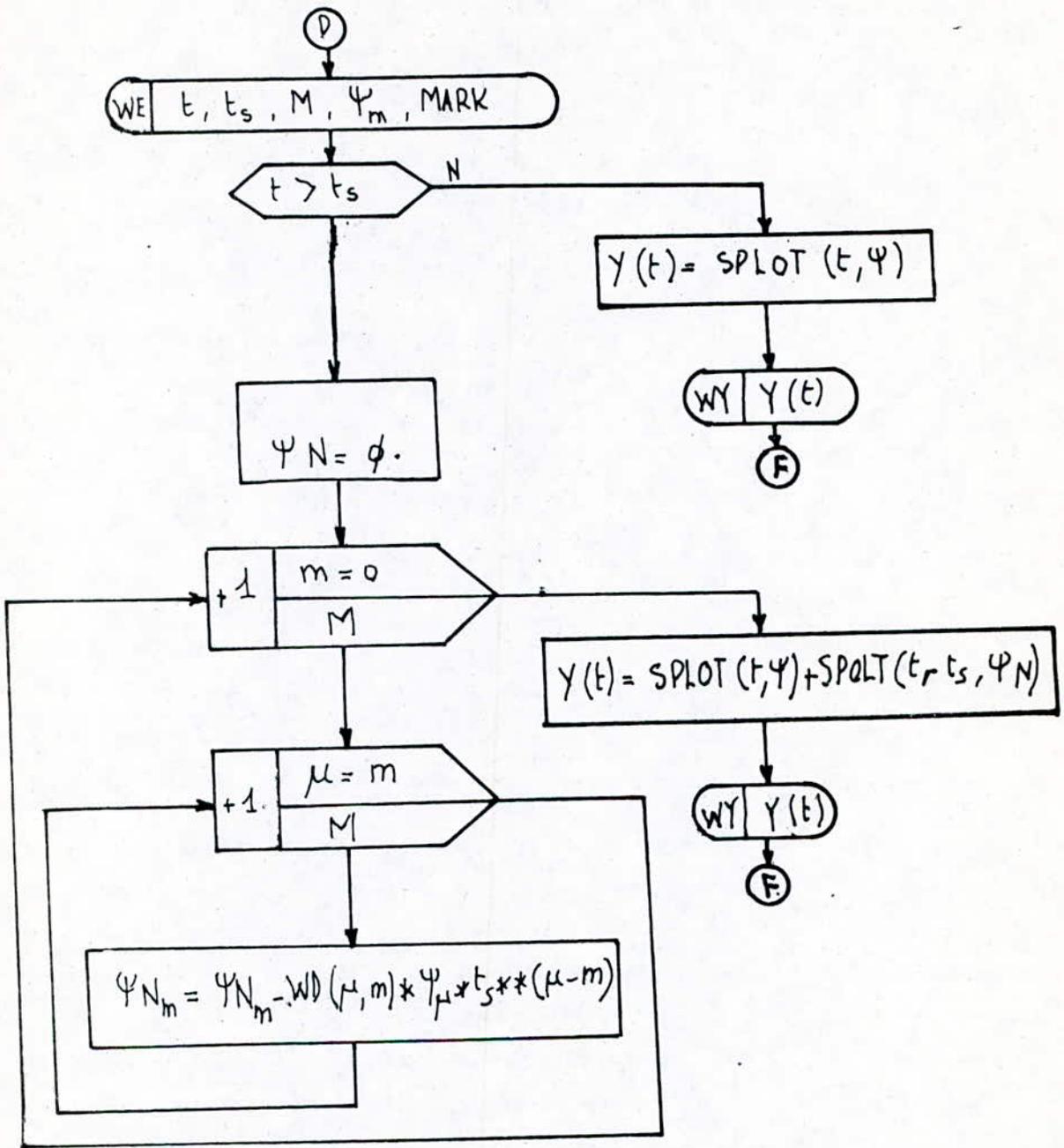


FIG.A2.

Organigramme de la détermination de la réponse sur l'excitation approximée par un polynôme.

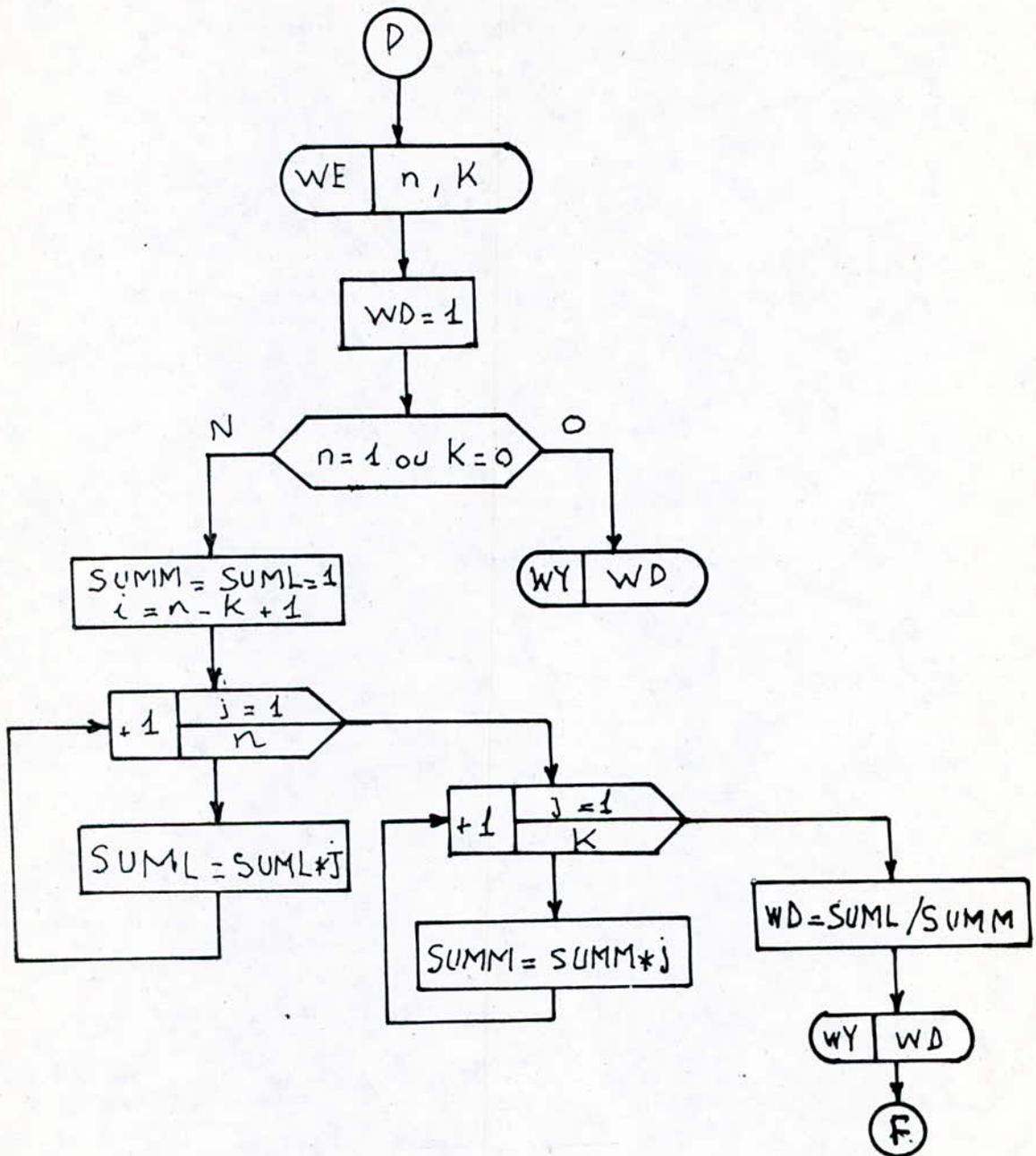


FIG.A3. Organigramme de calcul de coefficient de binome de Newton.

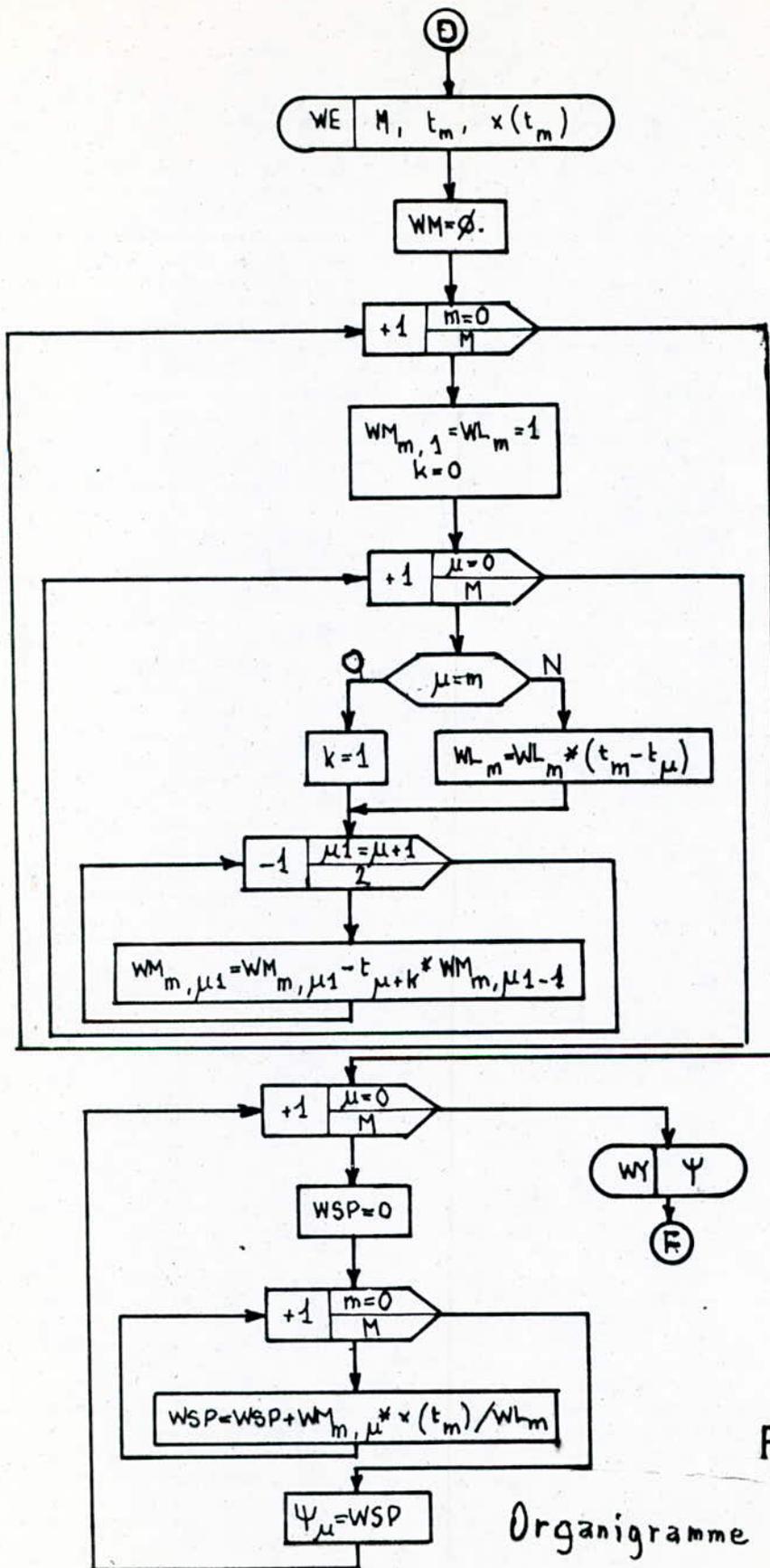


FIG.A4.

Organigramme de la détermination de l'interpolation du polynôme de Lagrange.

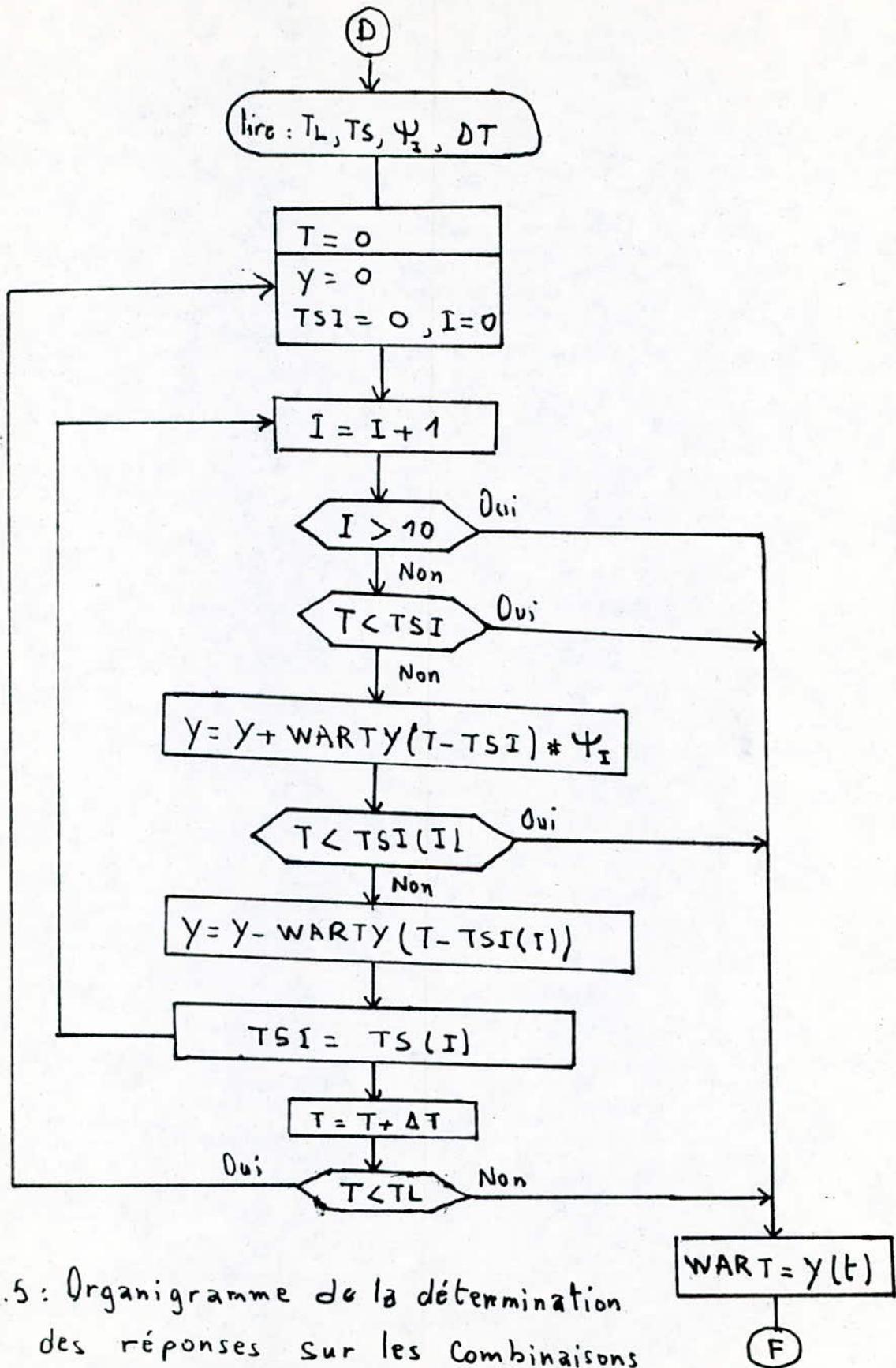


Fig A.5: Organigramme de la détermination des réponses sur les combinaisons linéaires des échelons unitaires.

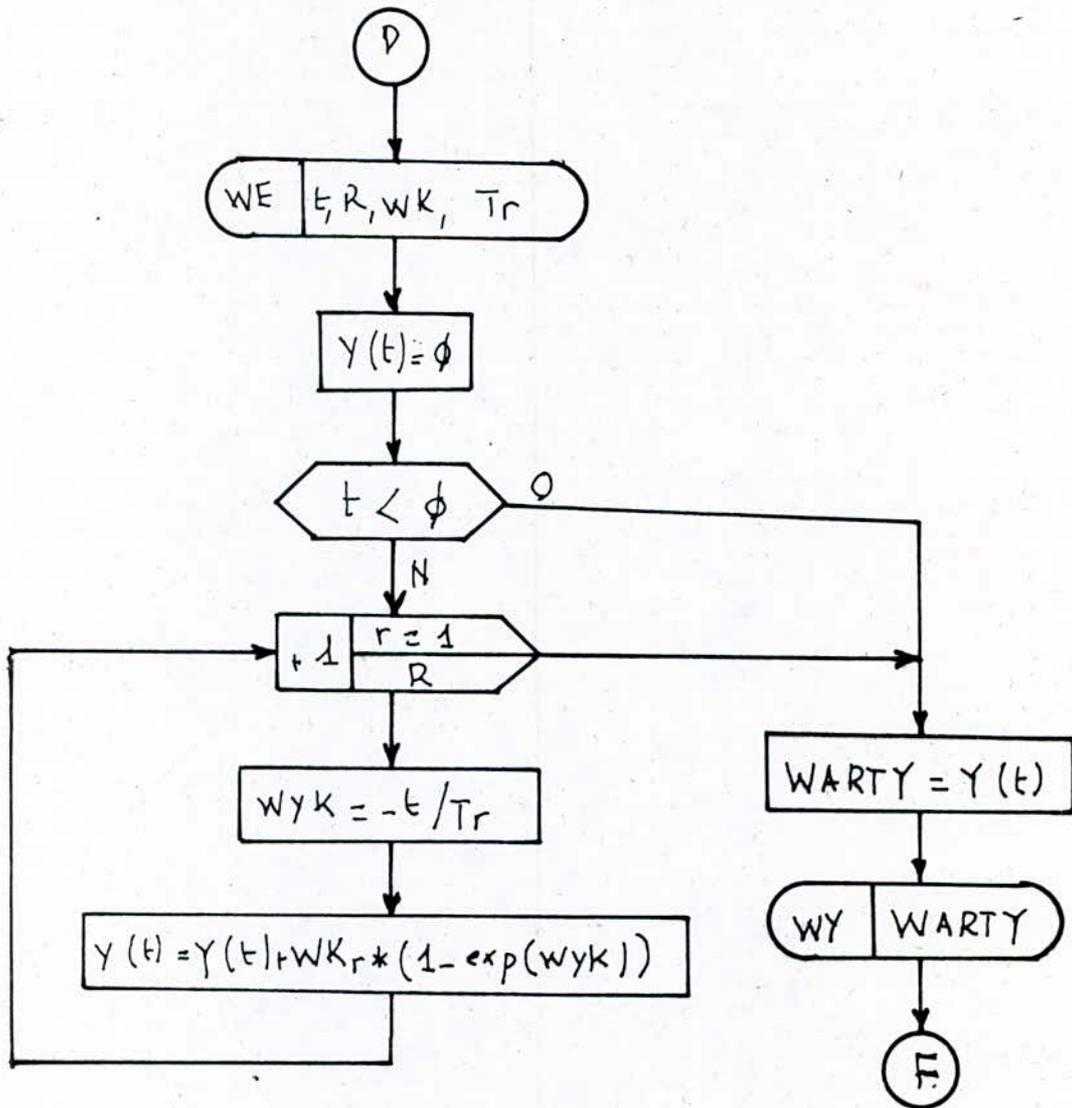


FIG.A6. Organigramme : de la détermination de Convolution d'un échelon unitaire avec les Combinaisons Linéaires des fonctions exponentielle.

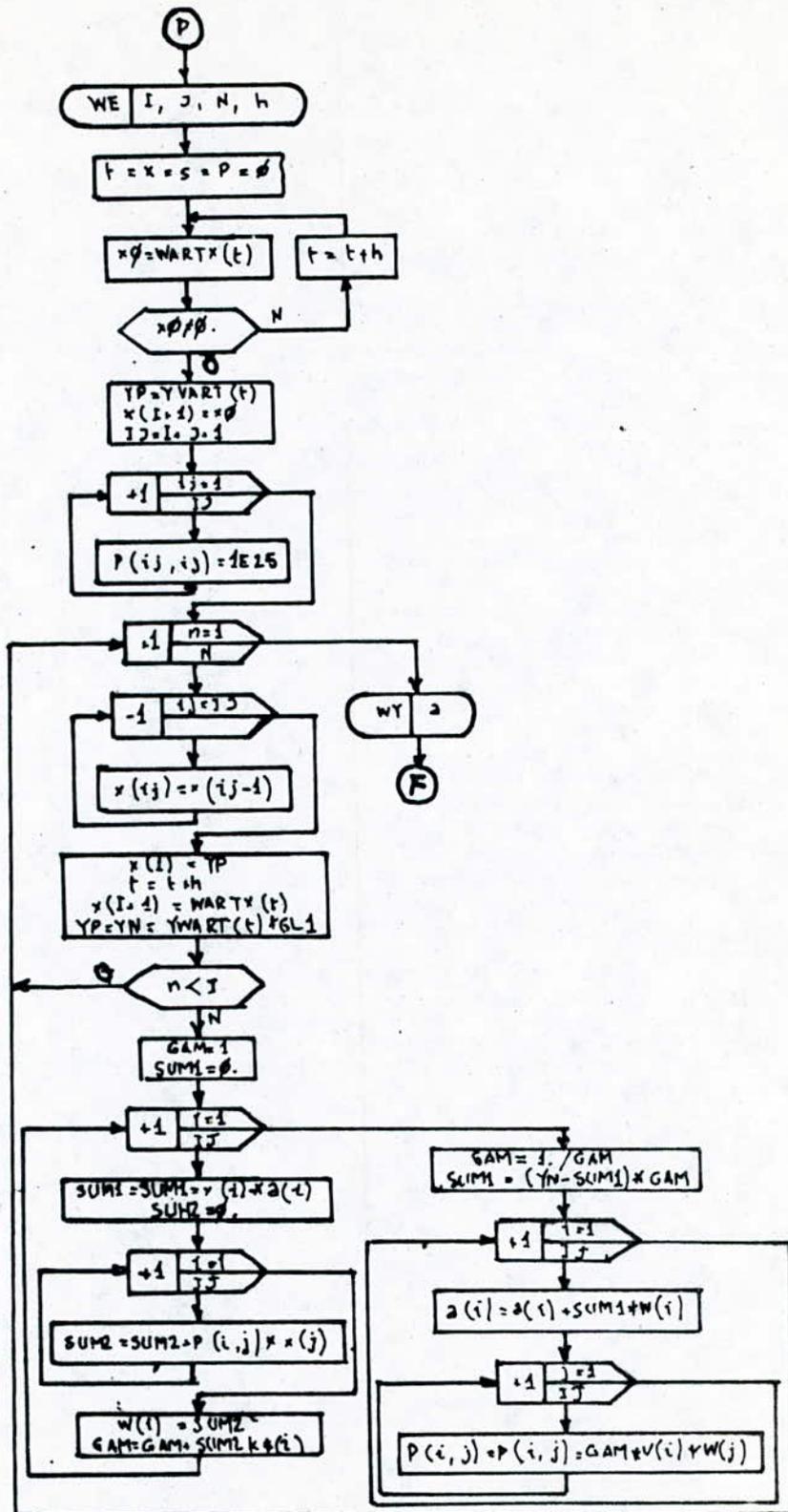


FIG.A7. Organigramme de la méthode
des moindres Carrés

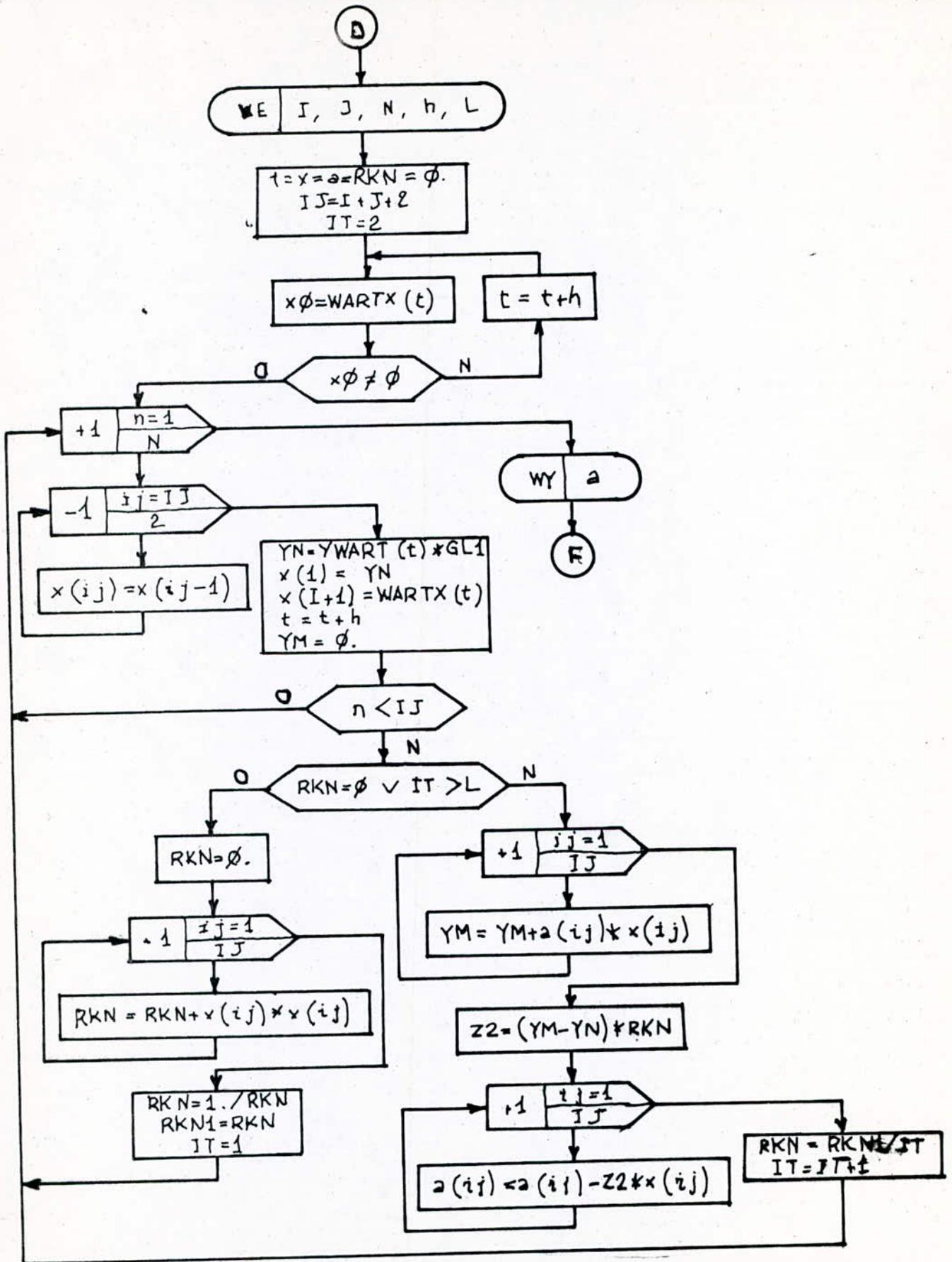


FIG.A3. Organigramme de la méthode des approximations aléatoires.

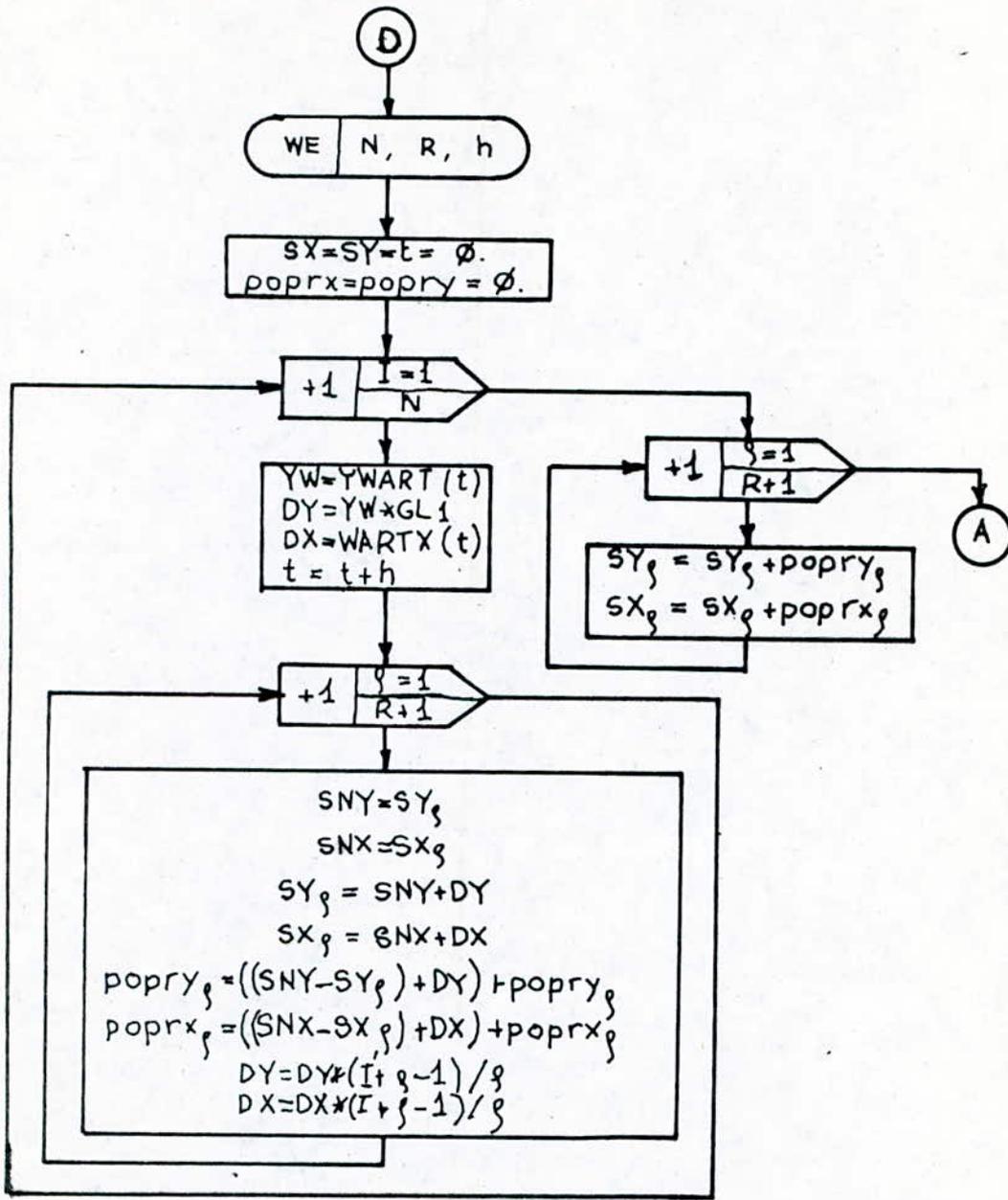
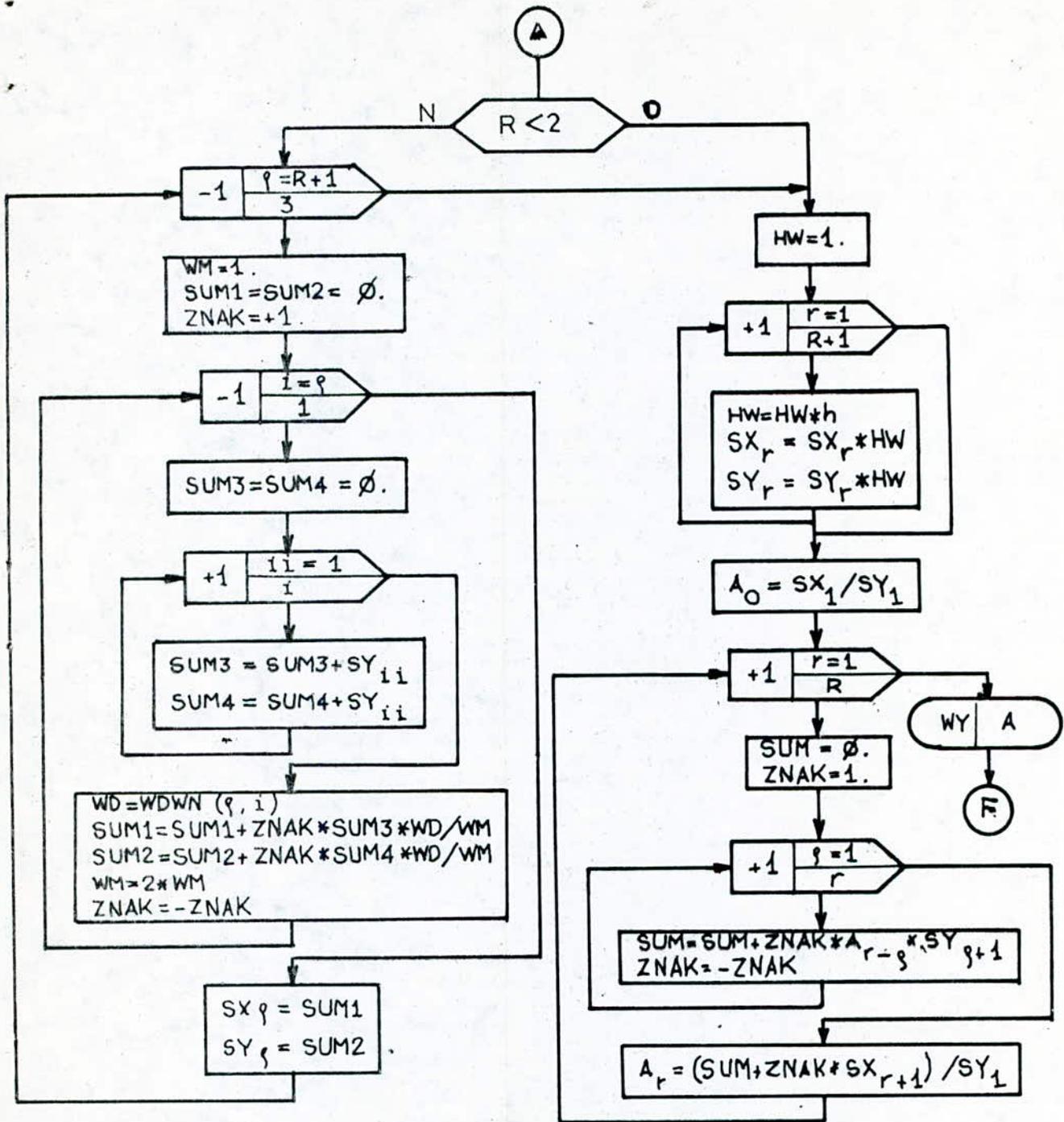


FIG.A9.

Organigramme de la méthode d'intégrale de STREJC.



TL= 10.00 DT= 0.10
 R=2.0 MTS= 1
 TR(1)=0.04000
 TR(2)=0.49300
 PSI(1)= 1.00000 TS(1)= 2.00000

TEMPS	ENTREE	SORTIE
0.000000	1.000000	0.00000
0.100000	1.000000	0.11875
0.200000	1.000000	0.27522
0.300000	1.000000	0.40784
0.400000	1.000000	0.51652
0.500000	1.000000	0.60528
0.600000	1.000000	0.67775
0.700000	1.000000	0.73691
0.800000	1.000000	0.78521
0.900000	1.000000	0.82464
1.000000	1.000000	0.85684
1.100000	1.000000	0.88312
1.200000	1.000000	0.90458
1.300000	1.000000	0.92210
1.400000	1.000000	0.93640
1.500000	1.000000	0.94808
1.600000	1.000000	0.95761
1.700000	1.000000	0.96539
1.800000	1.000000	0.97175
1.900000	1.000000	0.97693
2.000000	0.000000	0.98117
2.100000	0.000000	0.86587
2.200000	0.000000	0.71223
2.300000	0.000000	0.58191
2.400000	0.000000	0.47511
2.500000	0.000000	0.38789
2.600000	0.000000	0.31668
2.700000	0.000000	0.25854
2.799999	0.000000	0.21107
2.899999	0.000000	0.17232
2.999999	0.000000	0.14068
3.099999	0.000000	0.11486
3.199999	0.000000	0.09377
3.299999	0.000000	0.07655
3.399999	0.000000	0.06250
3.499999	0.000000	0.05103
3.599999	0.000000	0.04166
3.699999	0.000000	0.03401
3.799999	0.000000	0.02777
3.899998	0.000000	0.02267
3.999998	0.000000	0.01851
4.099998	0.000000	0.01511
4.199998	0.000000	0.01234
4.299998	0.000000	0.01007
4.399998	0.000000	0.00822
4.499998	0.000000	0.00671
4.599998	0.000000	0.00548
4.699998	0.000000	0.00447

4.799998	0.000000	0.00392
4.899998	0.000000	0.00321
+4.999998	0.000000	0.00262
5.099998	0.000000	0.00215
5.199997	0.000000	0.00176
5.299997	0.000000	0.00144
5.399997	0.000000	0.00118
5.499997	0.000000	0.00097
5.599997	0.000000	0.00079
5.699997	0.000000	0.00065
5.799997	0.000000	0.00053
5.899997	0.000000	0.00043
5.999997	0.000000	0.00036
6.099997	0.000000	0.00029
6.199996	0.000000	0.00024
6.299996	0.000000	0.00019
6.399996	0.000000	0.00016
6.499996	0.000000	0.00013
6.599996	0.000000	0.00011
6.699996	0.000000	0.00009
6.799996	0.000000	0.00007
6.899996	0.000000	0.00006
6.999996	0.000000	0.00005
7.099996	0.000000	0.00004
7.199996	0.000000	0.00003
7.299995	0.000000	0.00003
7.399995	0.000000	0.00002
7.499995	0.000000	0.00002
7.599995	0.000000	0.00001
7.699995	0.000000	0.00001
7.799995	0.000000	0.00001
7.899995	0.000000	0.00001
7.999995	0.000000	0.00001
8.099995	0.000000	0.00001
8.199995	0.000000	0.00000
8.299995	0.000000	0.00000
8.399996	0.000000	0.00000
8.499996	0.000000	0.00000
8.599997	0.000000	0.00000
8.699997	0.000000	0.00000
8.799997	0.000000	0.00000
8.899998	0.000000	0.00000
8.999998	0.000000	0.00000
9.099998	0.000000	0.00000
9.199999	0.000000	0.00000
9.299999	0.000000	0.00000
9.400000	0.000000	0.00000
9.500000	0.000000	0.00000
9.600000	0.000000	0.00000
9.700001	0.000000	0.00000
9.800001	0.000000	0.00000
9.900002	0.000000	0.00000

TL= 10.00 DT= 0.10
 R=2.0 MTS= 1
 TR(1)=0.03640
 TR(2)=0.50000
 PSI(1)= 1.00000 TS(1)= 2.00000

TEMPS	ENTREE	SORTIE
0.000000	1.000000	0.000000
0.100000	1.000000	0.12202
0.200000	1.000000	0.27737
0.300000	1.000000	0.40812
0.400000	1.000000	0.51539
0.500000	1.000000	0.60324
0.600000	1.000000	0.67516
0.700000	1.000000	0.73404
0.800000	1.000000	0.78225
0.900000	1.000000	0.82172
1.000000	1.000000	0.85404
1.100000	1.000000	0.88050
1.200000	1.000000	0.90216
1.300000	1.000000	0.91989
1.400000	1.000000	0.93442
1.500000	1.000000	0.94630
1.600000	1.000000	0.95604
1.700000	1.000000	0.96401
1.800000	1.000000	0.97053
1.900000	1.000000	0.97587
2.000000	0.000000	0.98025
2.100000	0.000000	0.86181
2.200000	0.000000	0.70939
2.300000	0.000000	0.58104
2.400000	0.000000	0.47573
2.500000	0.000000	0.38950
2.600000	0.000000	0.31889
2.700000	0.000000	0.26109
2.799999	0.000000	0.21376
2.899999	0.000000	0.17501
2.999999	0.000000	0.14329
3.099999	0.000000	0.11731
3.199999	0.000000	0.09605
3.299999	0.000000	0.07864
3.399999	0.000000	0.06438
3.499999	0.000000	0.05271
3.599999	0.000000	0.04316
3.699999	0.000000	0.03533
3.799999	0.000000	0.02893
3.899998	0.000000	0.02369
3.999998	0.000000	0.01939
4.099998	0.000000	0.01588
4.199998	0.000000	0.01300
4.299998	0.000000	0.01064
4.399998	0.000000	0.00871
4.499998	0.000000	0.00713
4.599998	0.000000	0.00584
4.699998	0.000000	0.00478

4.799998	0.000000	0.00365
4.899998	0.000000	0.00298
4.999998	0.000000	0.00243
5.099998	0.000000	0.00199
5.199997	0.000000	0.00162
5.299997	0.000000	0.00132
5.399997	0.000000	0.00108
5.499997	0.000000	0.00088
5.599997	0.000000	0.00072
5.699997	0.000000	0.00059
5.799997	0.000000	0.00048
5.899997	0.000000	0.00039
5.999997	0.000000	0.00032
6.099997	0.000000	0.00026
6.199996	0.000000	0.00021
6.299996	0.000000	0.00017
6.399996	0.000000	0.00014
6.499996	0.000000	0.00012
6.599996	0.000000	0.00009
6.699996	0.000000	0.00008
6.799996	0.000000	0.00006
6.899996	0.000000	0.00005
6.999996	0.000000	0.00004
7.099996	0.000000	0.00003
7.199996	0.000000	0.00003
7.299995	0.000000	0.00002
7.399995	0.000000	0.00002
7.499995	0.000000	0.00002
7.599995	0.000000	0.00001
7.699995	0.000000	0.00001
7.799995	0.000000	0.00001
7.899995	0.000000	0.00001
7.999995	0.000000	0.00001
8.099995	0.000000	0.00000
8.199995	0.000000	0.00000
8.299995	0.000000	0.00000
8.399996	0.000000	0.00000
8.499996	0.000000	0.00000
8.599997	0.000000	0.00000
8.699997	0.000000	0.00000
8.799997	0.000000	0.00000
8.899998	0.000000	0.00000
8.999998	0.000000	0.00000
9.099998	0.000000	0.00000
9.199999	0.000000	0.00000
9.299999	0.000000	0.00000
9.400000	0.000000	0.00000
9.500000	0.000000	0.00000
9.600000	0.000000	0.00000
9.700001	0.000000	0.00000
9.800001	0.000000	0.00000
9.900002	0.000000	0.00000

*

TL= 3.00 DT= 0.10
 R=2.0 MTS= 5
 TR(1)=0.04000
 TR(2)=0.49300
 PSI(1)= 5.00000 TS(1)= 0.60000
 PSI(2)= 8.00000 TS(2)= 1.20000
 PSI(3)= 0.00000 TS(3)= 1.80000
 PSI(4)= 10.00000 TS(4)= 2.40000
 PSI(5)= 5.00000 TS(5)= 3.00000

TEMPS	ENTREE	SORTIE
0.000000	5.000000	0.000000
0.100000	5.000000	0.59375
0.200000	5.000000	1.37609
0.300000	5.000000	2.03922
0.400000	5.000000	2.58261
0.500000	5.000000	3.02641
0.600000	5.000000	3.38874
0.700000	8.000000	4.04080
0.800000	8.000000	4.75171
0.900000	8.000000	5.34676
1.000000	8.000000	5.83376
1.100000	8.000000	6.23145
1.200000	0.000000	6.55614
1.300000	0.000000	5.87122
1.400000	0.000000	4.83590
1.500000	0.000000	3.95156
1.600000	0.000000	3.22635
1.700000	0.000000	2.63407
1.800000	10.000000	2.15048
1.900000	10.000000	2.94318
2.000000	10.000000	4.18552
2.100000	10.000000	5.24864
2.200000	10.000000	6.12058
2.300000	10.000000	6.83278
2.400000	10.000000	7.41425
2.500000	5.000000	7.29522
2.600000	5.000000	6.90045
2.700000	5.000000	6.55373
2.799999	5.000000	6.26866
2.899999	5.000000	6.03576
2.999999	5.000000	5.84561

TL= 3.00 DT= 0.10 TS= 2.00
 M= 2 R= 2.
 TM(1)= 0.500 X(1)= 0.750
 TM(2)= 1.000 X(2)= 1.000
 TM(3)= 1.500 X(3)= 0.750
 TR(1)= .040
 TR(2)= .493
 KS(3)= 1.00 PSI(3)= -1.000
 KS(2)= 2.00 PSI(2)= 2.000
 KS(1)= 0.00 PSI(1)= 0.000

TEMPS

ENTREE

REPNSE

0.000000	0.0000	0.0000
0.100000	0.1900	0.0092
0.200000	0.3600	0.0462
0.300000	0.5100	0.1068
0.400000	0.6400	0.1834
0.500000	0.7500	0.2693
0.600000	0.8400	0.3592
0.700000	0.9100	0.4488
0.800000	0.9600	0.5343
0.900000	0.9900	0.6128
1.000000	1.0000	0.6820
1.100000	0.9900	0.7399
1.200000	0.9600	0.7849
1.300000	0.9100	0.8157
1.400000	0.8400	0.8313
1.500000	0.7500	0.8307
1.600000	0.6400	0.8133
1.700000	0.5100	0.7784
1.800000	0.3600	0.7257
1.900000	0.1900	0.6546
2.000000	0.0000	0.5650
2.100000	0.0000	0.4662
2.200000	0.0000	0.3811
2.300000	0.0000	0.3111
2.400000	0.0000	0.2540
2.500000	0.0000	0.2074
2.600000	0.0000	0.1693
2.700000	0.0000	0.1382
2.799999	0.0000	0.1128
2.899999	0.0000	0.0921
2.999999	0.0000	0.0752

QUA2:USER.MOULAYEORS.DAT:21

TL= 3.00 DT= 0.10 TS= 2.00
 M= 0 K= 2.
 TM(1)= 2.000 X(1)= 10.000
 TR(1)= .040
 TR(2)= .493
 KS(1)= -10.00 PSI(1)= 10.000

TEMPS	ENTREE	REPOSE
0.000000	10.0000	0.0000
0.100000	10.0000	1.1875
0.200000	10.0000	2.7522
0.300000	10.0000	4.0784
0.400000	10.0000	5.1652
0.500000	10.0000	6.0528
0.600000	10.0000	6.7775
0.700000	10.0000	7.3691
0.800000	10.0000	7.8521
0.900000	10.0000	8.2464
1.000000	10.0000	8.5684
1.100000	10.0000	8.8312
1.200000	10.0000	9.0458
1.300000	10.0000	9.2210
1.400000	10.0000	9.3640
1.500000	10.0000	9.4808
1.600000	10.0000	9.5761
1.700000	10.0000	9.6539
1.800000	10.0000	9.7175
1.900000	10.0000	9.7693
2.000000	0.0000	9.8117
2.100000	0.0000	8.6587
2.200000	0.0000	7.1223
2.300000	0.0000	5.8191
2.400000	0.0000	4.7511
2.500000	0.0000	3.8789
2.600000	0.0000	3.1668
2.700000	0.0000	2.5854
2.799999	0.0000	2.1107
2.899999	0.0000	1.7232
2.999999	0.0000	1.4068

TL= 3.00 DT= 0.10 TS= 2.00
 M= 1 R= 2.
 TM(1)= 0.500 X(1)= 5.000
 TM(2)= 1.500 X(2)= 15.000
 TR(1)= .040
 TR(2)= .493
 KS(2)= -10.00 PSI(2)= 10.000
 KS(1)= -20.00 PSI(1)= 0.000

TEMPS	ENTREE	REPONSE
0.000000	0.0000	0.0000
0.100000	1.0000	0.0474
0.200000	2.0000	0.2459
0.300000	3.0000	0.5896
0.400000	4.0000	1.0536
0.500000	5.0000	1.6160
0.600000	6.0000	2.2587
0.700000	7.0000	2.9670
0.800000	8.0000	3.7289
0.900000	9.0000	4.5345
1.000000	10.0000	5.3758
1.100000	11.0000	6.2462
1.200000	12.0000	7.1404
1.300000	13.0000	8.0541
1.400000	14.0000	8.9836
1.500000	15.0000	9.9260
1.600000	16.0000	10.8790
1.700000	17.0000	11.8406
1.800000	18.0000	12.8093
1.900000	19.0000	13.7837
2.000000	0.0000	14.7628
2.100000	0.0000	13.3234
2.200000	0.0000	10.9817
2.300000	0.0000	8.9741
2.400000	0.0000	7.3272
2.500000	0.0000	5.9821
2.600000	0.0000	4.8838
2.700000	0.0000	3.9872
2.799999	0.0000	3.2552
2.899999	0.0000	2.6576
2.999999	0.0000	2.1697

BIBLIOGRAPHIE

[B.1]: L. SZKLARSKI.

"Dynamique et commande des machines électriques pour les mines", AGH.KRAKON, 1979

[B.2]: A.PODGORSKI (docteur és- science)

"Application d'un processus pour les mesures mécaniques". VARSOVIE. 1983

[B.3]: C. FOULARD, S. GENTIL et JEAN-PAUL-SANDRAZ.

"Commande et regulation par calculateur numérique", EYROLLES (1984).

[B.4]: H.BULHER.

"Électronique de réglage et commande", DUNOD (ed 1979).

[B.5]: ALAIN GAUTHIER.

"Identification récurrente des systèmes multi-entrées multi-sorties", Thèse de doctorat du 3ieme cycle, Mars 1977.

