

MOOO 1/87<sup>24</sup>  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

# THÈSE



Présentée par : Farid CHIGARA

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER  
EN ELECTRONIQUE APPLIQUÉE

OPTION : ACQUISITION ET TRAITEMENT

## SIMULATION SUR ORDINATEUR D'UNE UNITÉ DE MONTAGE DU POINT DE VUE DU CONTROLE OPTIMAL DU STOCK DE COMPOSANTS

Soutenue le 24 Mars 1987 devant la commission d'examen :

M.M :	A. CHEKIMA .....	Président
	D. BERKANI .....	Rapporteur
	R. PUVVADA .....	} Examineurs
	E. KARAKHANIAN .....	
	M. HADADI .....	
	AMAZIT .....	Invité

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

# THÈSE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

Présentée par : Farid CHIGARA

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER  
EN ELECTRONIQUE APPLIQUÉE

OPTION : ACQUISITION ET TRAITEMENT

## SIMULATION SUR ORDINATEUR D'UNE UNITÉ DE MONTAGE DU POINT DE VUE DU CONTROLE OPTIMAL DU STOCK DE COMPOSANTS

Soutenue le 24 Mars 1987 devant la commission d'examen :

M.M :	A. CHEKIMA . . . . .	Président
	D. BERKANI . . . . .	Rapporteur
	R. PUVVADA . . . . .	} Examineurs
	E. KARAKHANIAN . . . . .	
	M. HADADI . . . . .	
	AMAZIT . . . . .	Invité



REMERCIEMENTS

000-----000

J'exprime mes plus vifs remerciements à Monsieur A. CHEKIMA, Maître de Conférence à l'Ecole Nationale Polytechnique, pour l'honneur qu'il me fait de présider ce jury et, pour toutes les suggestions qu'il a bien voulu me prodiguer dans la rédaction de cette thèse.

Je tiens à remercier Monsieur le Professeur B. KACPRZYNSKI, qui m'a proposé le sujet et m'a fait profiter de sa compétence en me guidant dans mes recherches.

C'est tout particulièrement que je remercie Monsieur D. BERKANI, chargé de cours et chef du Département d'Electronique à l'E.N.P., pour l'aide et les conseils pratiques qu'il m'a prodigué et pour avoir accepté de faire partie de la commission d'Examen.

Que Monsieur le Professeur KARAKHIAN, qui a porté un grand intérêt à ce travail, trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Mes remerciements vont également à Monsieur le Professeur R. POVADA et à Monsieur M. HADADI, qui ont eu la gentillesse d'accepter d'être membre du Jury.

Je tiens à dire à Monsieur AMAZIT, Directeur de l'Unité de recherche de la S.N.V.I. - CVI ROUBA, combien je suis honoré de sa présence dans le Jury.

Que toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de cette Thèse soient remerciées et plus particulièrement Monsieur SOUFI, Ingénieur à l'ENIE de Sidi-Bel-Abbès.

S O M M A I R E  
ooo-----ooo

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

	<u>PAGE</u>
* <u>PROBLEME TRAITÉ.</u>	
* <u>INTRODUCTION.</u>	1
* <u>CHAPITRE I :</u>	5
- <u>NOTION DE SYSTEME</u>	
1.1. . Notion de système	
1.2. . Notion de grand système.	
* <u>CHAPITRE II :</u>	9
- <u>METHODE D'ANALYSE DE</u>	
<u>GRAND SYSTEME</u>	
2.1. . AGREGATION	
2.1. a) - Généralités	
2.1. b) - Agrégation du système	
2.1. c) - Structure du modèle agrégé.	
2.2. - <u>METHODE DE DECOMPOSITION</u> -	
- <u>COORDINATION</u>	
2.2. a) - Généralités	
2.2. b) - Décomposition statique de grand système	
2.2. b.1) - Méthode de coordination du modèle.	
2.2. b.2) - Méthode de coordination du critère.	
2.2. c) - Décomposition dynamique de grand système.	

* <u>CHAPITRE III :</u>	- <u>ANALYSE DE GRAND-SYSTEMES</u> <u>STOECHIMETRIQUES</u>	26
3.1.	. Introduction	
3.2.	. Principe de la méthode	
3.3.	. Crédibilité des décisions	
3.4.	. Simulation du fonctionnement du système stoechiométrique	
3.5.	. Décomposition - Coordination.	
* <u>CHAPITRE IV :</u>	- <u>ANALYSE DE SOUS-SYSTEME</u> <u>STOECHIMETRIQUE</u>	37
	. GENERALITES	
4.1.	. Modèle mathématique des stocks	
4.2.	. Filtre stoechiométrique	
4.3.	. Filtre stoechiométrique avec saturation.	
4.4.	. Rebut technologique	
4.5.	. Filtre stoechiométrique avec rebut technologique	
4.6.	. Sous-système non linéaire.	
* <u>CHAPITRE V :</u>	- <u>ETUDE EXPERIMENTALE DANS</u> <u>L'INDUSTRIE ELECTRONIQUE</u>	54
5.1.	. Décomposition du système	
5.2.	. Stocks	
5.3.	. Rebut ( Fiabilité )	
* <u>CHAPITRE VI :</u>	- <u>CONTROLE OPTIMAL</u>	60
6.1.	. Généralités	
6.2.	. Contrôle en temps différé	
	6.2. 1) - Structure optimale d'un sous-système stoechiométrique	

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
 BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
 Ecole Nationale Polytechnique

- Système à deux entrées.
- Cas général
- Algorithme de calcul
- Simulation numérique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

- 6.2. 2) - Système avec sous-système non linéaire.

### 6.3.

#### . Contrôle en temps réel

- 6.3.1 ) - Généralités
- 6.3.2 ) - Maximisation de la sortie
- 6.3.3 ) - Minimisation du surplus
- 6.3.4 ) - Détermination de la valeur moyenne.

\* CHAPITRE VII : - CONCLUSIONS 118

\* CHAPITRE VIII : - BIBLIOGRAPHIE 119

\* ANNEXE :

A.1. — Détermination de  $T$ ,  $V_0$ ,  $V_{max}$

B.1. — Détermination de la période d'échantillonnage

C.1. — Programmes.

PROBLEME      TRAITE

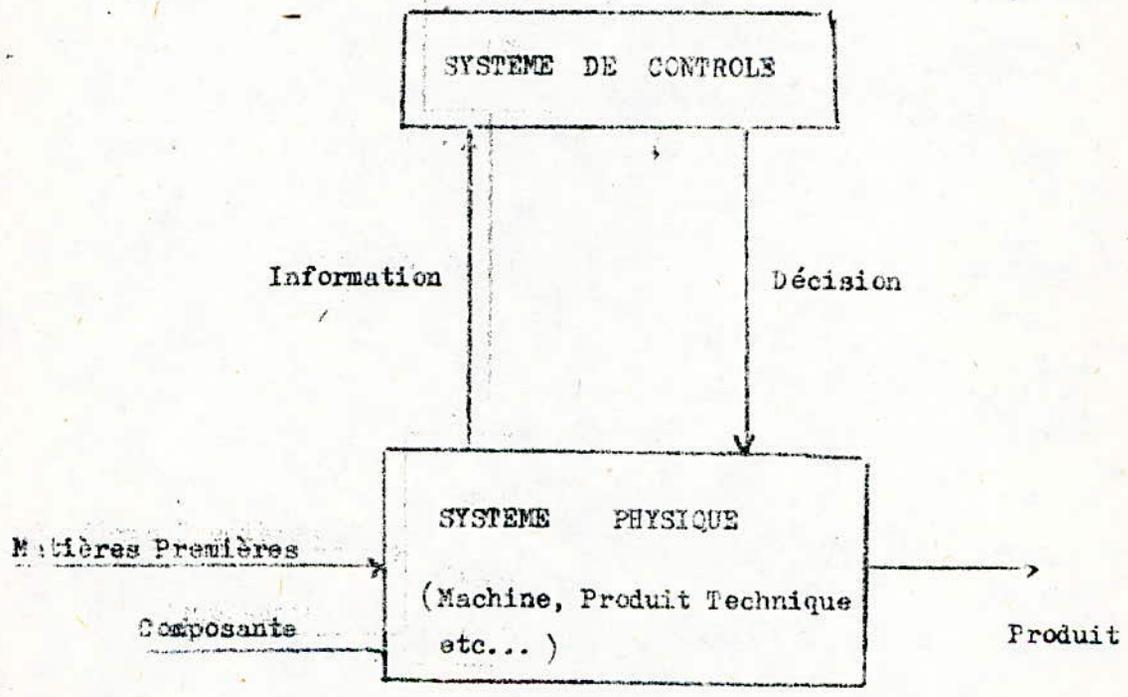
La commande caractérisée, proprement dite des systèmes complexes répond principalement aux problèmes d'ordre dimensionnel : nombreux sous-ensembles interactifs et coordination. Et généralement chaque sous-ensemble est considéré comme homogène et linéaire

Mais il apparaît très souvent que la matrice des sous-systèmes n'est pas homogène et que l'on peut distinguer différentes situations nécessitant chacune une technique d'automatisation appropriée. La résonance physique de ces situations ( que nous appellerons régime de fonctionnement ) est souvent très forte. Le comportement du système est très valablement décrit par un model, auquel est associé un ensemble cohérent et performant d'outil et de technique d'identification et de commande.

Le but de ce travail est alors d'étendre le domaine de maîtrise du procédé, de façon à ce que soient mieux respectés les objectifs déterminés à chaque niveau par une structure de commande décentralisée.

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

Un interet grandissant se developpe pour assurer une meilleure performance dans le fonctionnement des systemes de production. Cette performance depend d'un large nombre de decisions et , pour parvenir a une maitrise optimale des processus d'activite dans ces systemes , le probleme pose se trouve dans le choix des meilleurs decisions ou des meilleurs structures de commande.



L'analyse et le controle optimal d'un grand systeme stoechiometrique qui font l'objet de cette etude se resument a trouver l'ensemble des decisions qui maximise l'intensité de production du produit final en utilisant un modele fonctionnel du systeme reel .

Notre travail sera limité au cas d'un systeme avec une structure d'arbre des la fonction objective est non differentiable dans le sens ordinaire. Ce cas est particulierement interessant vu le nombre important d'applications pratiques .

Dans le système étudié, illustré par l'exemple d'une unité de montage d'un système électronique, nous verrons que la construction du modèle et les phases d'optimisation nécessitent un grand nombre de calculations et, que ces calculations augmentent rapidement avec la dimension du problème. Pour palier à cette difficulté, la solution d'un grand système, tel que le notre, est approchée par décomposition. Celle-ci résulte en un nombre de sous-systèmes, ayant chacun ses objectifs et ses contraintes. L'interconnection des sous-systèmes peut prendre plusieurs formes. Mais une des plus communes est la forme hiérarchique, dans laquelle un sous-système d'un niveau donné contrôle et coordonne les sous-systèmes du niveau inférieur et est à son tour contrôlé par un sous-système du niveau supérieur. (1)

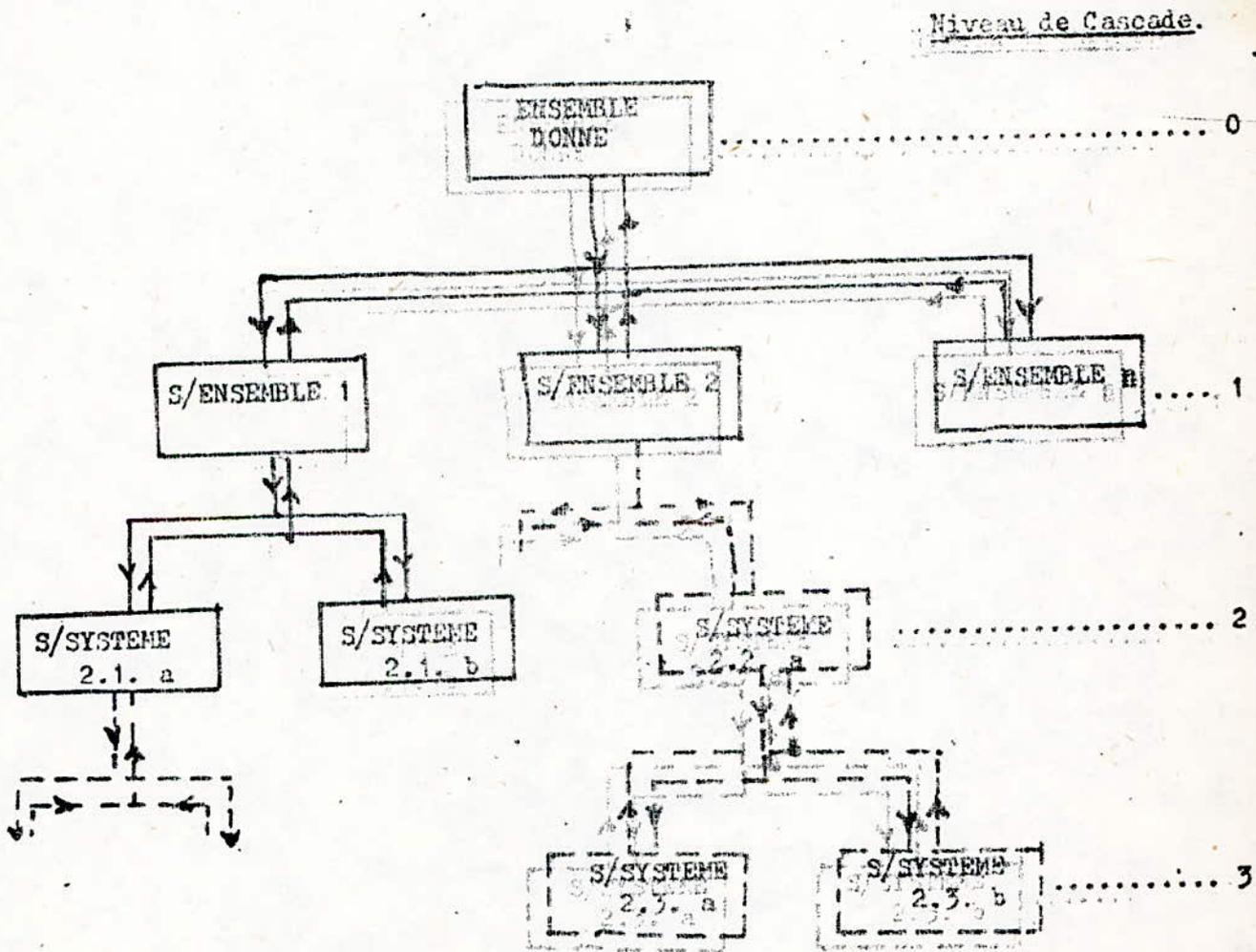


Fig. 2. STRUCTURE CASCADEE

Une fois que les fonctions de performance et les contraintes du système sont réparties en composantes, s'appliquent à chaque sous-système, la solution optimale peut être trouvée en deux étapes :

- Solution du problème posé au sous-système.
- Coordination des solutions pour trouver la solution dans son ensemble.

Il est nécessaire, par ailleurs, de représenter l'évolution du processus réel par un ensemble de relations mathématiques qui constituent le modèle mathématique du processus. La construction du modèle mathématique d'un système est appelée Identification, dont la précision peut être mesurée par la différence entre la sortie du système réel et celle du modèle. En général, l'identification peut être divisée en deux phases distinctes :

- Détermination de la structure du modèle
- Estimation des paramètres.

La structure du modèle est déterminée à partir de la connaissance physique du système et l'estimation des paramètres par des données expérimentales [ 8, 15, 29 ]

Les modèles mathématiques peuvent consister en :

- Des équations algébriques ( pour des processus statiques )
- Des équations intégrales différentielles ( pour des systèmes dynamiques )
- Des équations aux dérivés partiels ( pour des systèmes à paramètres distribués ).
- Des équations aux différences ( pour des systèmes à temps discret ).

Les méthodes usuelles classiques [ 7, 25, 28, 32 ] ne peuvent s'appliquer au système étudié dont les paramètres ne sont pas différenciables dans le sens ordinaire. Le système appelé stochiométrique se définit et se caractérise par :

- L'existence d'un ou plusieurs filtres stochiométriques ( F.S )
- Plusieurs variables d'entrée:  $x_i(t)$   $i = 1, 2, \dots, n$

qui sont des processus aléatoires stationnaires ergotiques.

- Plusieurs variables de commande appelés " Stocks " notés  $s_i(t)$   $i = 1, 2, \dots, n$  associés respectivement au volume de stocks notés  $v_i(t)$ .
- Des coefficients stochiométriques  $\alpha_i$   $i = 1, 2, \dots, n$
- Une seule variable de sortie  $y(t)$  définie par :  

$$y(t) \in ( 0, \min ( \frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1}, \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2}, \dots, \frac{x_n(t) + s_n(t)}{\alpha_n} ) )$$
- L'existence éventuelle de stock à la sortie notée  $r(t)$  associée au volume de stock noté  $v_r(t)$
- L'existence de surplus noté  $s_p(t)$
- Des rebus technologiques notés  $w_1(t)$
- Une sortie optimale caractérisée par :  

$$\text{Max } y(t) = \text{Min} ( \frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1}, \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2}, \dots, \frac{x_n(t) + s_n(t)}{\alpha_n} )$$

En ayant un objectif que l'on veut atteindre avec le système réel, notre travail consiste à proposer un modèle fonctionnel, auquel on applique des méthodes d'analyse de simulation programmée sur ordinateur. Ces méthodes nous permettraient d'analyser et de contrôler d'une manière optimale les systèmes stochiométriques.

CHAPITRE I

NOTION DE GRAND SYSTEME

I.1. - NOTION DE SYSTEME :

La notion de système s'est imposée dans le domaine économique et technologique, elle est relative et donc difficile à définir avec exactitude et précision. Toutefois, on peut la définir comme étant un ensemble bien délimité d'éléments liés entre eux par des relations physiques ou économiques connues. L'environnement, à définir avec soin, impose des contraintes sur cet ensemble d'éléments. Des critères définissent les performances souhaitées de cet ensemble. Il s'agit alors de trouver le meilleur réglage des paramètres constituant la commande. L'étude des critères et leur mise sous forme mathématique sont importantes pour l'optimisation du système.

De cette définition générale, il ressort tout d'abord que plusieurs conditions doivent être réalisées pour avoir un système bien déterminé :

- La connaissance des composants ;
- La connaissance des lois propres de chacun
- La connaissance des lois d'interaction qui déterminera son but.

La juxtaposition d'élément dont on ignore les relations, ne pourrait donc constituer un système dans notre cas.

Les facteurs temps et contraintes affectent le système. Les contraintes sont imposées sous forme de limitation, en raison des définitions des sorties et des spécifications de l'équipement. Elles agissent directement et impérativement sur la conduite de l'opération.

La description et la classification des systèmes montrent qu'un système peut être divisé en sous-systèmes. Mais que le système soit complexe ou simple, son fonctionnement est le même | 4, 14, 30 | . Il s'agit d'atteindre un but, un objectif, à partir de données qui sont estimées et calculées, puis converties par une opération qui se déroule suivant un plan. Ainsi se présente le système le plus élémentaire avec ses entrées, son opération planifiée et sa sortie.

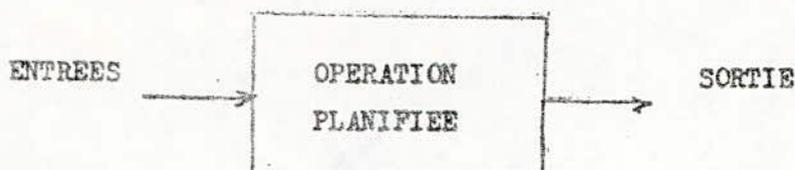


Fig ( 1.1 ) SYSTEME ELEMENTAIRE

## I.2. - NOTION DE GRAND SYSTEME :

Les problèmes de systèmes complexes ( système d'ordre élevé comprenant des sous-systèmes interconnectés ) posent des difficultés énormes du point de vue analyse ( décomposition, agrégation ) et contrôle [ 4 , 23 , 27 , 31 ]. De tels systèmes sont rencontrés non seulement dans l'industrie ( système de production, etc... ), mais aussi dans le domaine socio-économique ( transport et distribution, système d'énergie, etc... ).

Bien qu'il soit possible d'entamer directement la phase d'analyse des systèmes d'ordre réduit ( définition des entrées - sortie, contrôle, construction du modèle, estimation des paramètres, définition du critère, etc... ), ainsi que la phase de contrôle ( synthèse et implementation de l'algorithme de contrôle ), ceci n'est en général pas possible pour les systèmes d'ordre élevé. Les difficultés peuvent être théoriques ( mauvaise convergence et divergence même de l'algorithme de contrôle des grands systèmes ) ou de considérations économiques.

Il n'existe pas une méthode générale d'identification et d'optimisation. Chaque système doit être considéré d'une manière spécifique. De plus, le traitement complexe exige :

- a) . De nouvelles méthodes analytiques étant donné que la dimensionnabilité est élevée.

b) - La nécessité d'obtenir un état intermédiaire avant le contrôle, cet état doit consister en :

- Soit une réduction de la dimension du problème par une procédure d'agrégation et alors appliquer une technique standard, telle que la programmation mathématique, programmation dynamique, etc... au problème d'ordre réduit.

- Soit la décomposition du système, en définissant des sous-systèmes adéquats, dans le but d'utiliser les méthodes de décomposition - coordination et une structure de contrôle à plusieurs niveaux.

c) - La synthèse des algorithmes de contrôle utilisant les principes de décomposition - coordination.

CHAPITRE II

METHODS D'ANALYSE DE GRAND - SYSTEME

GENERALITES :

Nous presentons dans ce chapitre une breve description de deux methodes utilisees dans la resolution des problemes de controle dans les grands systemes " classiques " .

Ces idees ne sont pas applicables aux grands systemes stoechiometriques qui sont caracterises par des fonctions objectives non differentiables , toutefois elles presentent un cadre convenable pour mettre en relief la specificite du controle dans les cas etudies .

## II.1. - AGREGATION

### II.1.a) - GENERALITES :

La description précise de nombreux systèmes physiques conduit à un nombre important d'équations différentielles ( ou aux différences ). De ce fait, l'analyse de ces systèmes et l'application de résultats classiques de la théorie de la commande optimale sont difficiles, voire impossibles. Pour éviter les difficultés liées à la commande, des stratégies sous-optimales peuvent être définies, en particulier par l'intermédiaire de modèles de dimension réduite.

On trouve ainsi dans la littérature de nombreuses méthodes permettant de définir un modèle réduit  $\{ 9, 20, 22, 24 \}$ . Mais l'utilisation de ces méthodes, pour réaliser la commande du système reste mal aisée. En général, ceci tient au fait que la relation existant entre les vecteurs d'état du système réel et du modèle réduit n'est pas toujours explicite.

Une synthèse d'un grand nombre de modèles réduits classiques est obtenue au moyen de la technique d'agrégation due à M. AOKI

### II.1.b) - AGREGATION D'UN SYSTEME LINEAIRE :

Pour un système physique décrit par un grand nombre d'équations différentielles linéaires, stationnaires

$$\dot{X}(t) = A X(t) + B U(t) \quad (2.1)$$

où  $X$  et  $U$  sont des vecteurs de dimension respective  $n$  et  $r$

de nombreux auteurs ont proposé une représentation approchée par un modèle de dimension réduite

$$\dot{Z}(t) = F Z(t) + G U(t) \quad (2.2)$$

où  $Z$  est un vecteur de dimension  $m$  ( $r \leq m \ll n$ ).

Ces modèles réduits fournissent en général une approximation satisfaisante, pour une classe d'entrée donnée.

Le modèle réduit décrit par (2.2) est un modèle agrégé, si les états  $Z(t)$  et  $X(t)$  vérifient les relations linéaires d'agrégation

$$Z(t) = C X(t) \quad (2.3)$$

Où  $C$  est une matrice de dimension ( $m \times n$ ).

En prémultipliant par  $C$  l'équation (2.1) et en reportant (2.3) dans (2.2), il est bien clair que l'existence d'une telle matrice d'agrégation est assurée si, et seulement si, les conditions suivantes sont vérifiées :

$$F C = C A \quad (2.4)$$

$$G = C B \quad (2.5)$$

$$Z(0) = C X(0) \quad (2.6)$$

### c) - STRUCTURE DU MODELE AGREGÉ :

Bien que la technique particulière ait été introduite en 1968, par M. AOKI, [1], aucune formulation générale de la matrice d'agrégation n'a été proposée à ce jour, et par suite les liens existants entre divers modèles réduits n'ont pu être mis en évidence.

Pour établir l'expression générale de la matrice d'agrégation, l'équation (2.1) est mise par le changement de base

$$X(t) = T Y(t) \quad (2.7)$$

sous la forme canonique

$$Y'(t) = J Y(t) + K U(t) \quad (2.8)$$

avec

$$J = T^{-1} A T = \text{diag} ( J_1 , J_2 ) \quad K = T^{-1} B = \begin{bmatrix} K_1^T & K_2^T \end{bmatrix}^T$$

Les valeurs propres de F devant appartenir au spectre de A.

Nous supposons dans la suite que F est semblable au bloc  $J_1$

La représentation correspondante à ce changement de base est :

$$\dot{Y}_1(t) = J_1 Y_1(t) + K_1 U(t) \quad (2.9)$$

$$\text{où } Y_1(t) = \begin{bmatrix} \text{Im} & 0 \end{bmatrix} Y(t) = \text{Co} X(t) \quad (2.9 a)$$

$$\text{avec d'après (2.1) } \text{Co} = \begin{bmatrix} \text{Im} & 0 \end{bmatrix} T^{-1}$$

La classe des modèles réduits, représentée par (2.2) est donc définie par la transformation

$$Z(t) = M Y_1(t)$$

où M est une matrice régulière quelconque, de dimension 'm', par suite d'après (2.7) la forme générale de la matrice d'agrégation est donnée par :

$$C = M \begin{bmatrix} \text{Im} & 0 \end{bmatrix} T^{-1} \quad (2.10)$$

Ceci conduit par le modèle agrégé aux matrices F et G suivantes :

$$F = M J_1 M^{-1} \quad G = M \text{Co} B.$$

a) - CHOIX PARTICULIER DE LA MATRICE D'AGREGATION :

Quelques uns des modèles réduits, les plus connus, retiennent les modes dominants du système réel. Parmi ceux-ci, on peut citer les modèles proposés par: NICHOLSON, DAVIDSON, MARSHAL, CHIDANBARA, MITRA | 4 |

## II.2. METHODES DE DECOMPOSITION - COORDINATION

### II.2.a) - GENERALITES :

Ces méthodes consistent à décomposer le grand système en sous-systèmes invariants, coordonnés ensemble pour donner le système initial. Une première méthode consiste à partir du modèle de processus invariant dans le temps, et le subdiviser en plusieurs sous processus. Dans ce cas, on parle de la décomposition statique du grand système. | 16 , 24 , 28 , 31 |

Une autre méthode pourra se faire en partant des observations du changement d'état du grand système. Celle-ci se caractérise par la décomposition du système en sous-système représentés par les vecteurs d'état et les matrices d'états auxquels leurs équations d'état convergent à la solution globale du système initial. Dans ce cas, on parle de la décomposition dynamique du grand système. | 7 , 21 , 32 |

### II.2.b) - DECOMPOSITION STATIQUE DU GRAND SYSTEME :

La décentralisation du problème d'optimisation est développée en deux étapes :

- . En premier lieu, le problème dans son ensemble ( fonction objective et contraintes ) est transformée en une forme de deux ou plusieurs niveaux, avec des objectifs séparés et distincts pour chaque niveau.
- .. En second lieu, les parties de l'objectif du premier niveau ou problèmes qui n'ont pas de relation avec d'autres parties sont mis à part, formant une décomposition du problème du premier niveau.

Quoi qu'il existe un grand nombre de méthodes pour transformer un problème d'optimisation avec contraintes, en système multidimensionnel, ce sont toutes des combinaisons de deux différentes approches, qui sont appelées Méthode de Coordination du Modèle et Méthode de Coordination du Critère.

II.2.b.1) - METHODE DE COORDINATION DU MODELE :

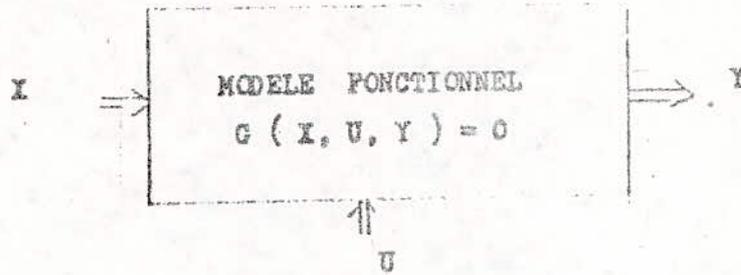


Fig (II.1) Modele fonctionnel

- X : Vecteur des variables d'entrées
- U : Vecteur des variables de commande
- Y : Vecteur de sortie.

Ce système est supposé statiquement invariant dans le temps et est caractérisé par le modèle mathématique.

- Processus :  $G_1 ( X_1 , U_1 , Y_1 ) = 0$  ( 2.11 )

- Critère :  $F_1 ( X_1 , U_1 , Y_1 ) \rightarrow \min$  ( 2.11' )

Dans la décomposition, on suppose que le système soit formé de plusieurs sous-systèmes à plusieurs niveaux de commande, qu'il y ait une interaction entre les entrées et les sorties intermédiaires de ces sous-systèmes et que l'objectif fixé soit assuré par la réunion des objectifs imposés par les sous-systèmes.

On a: Sous-Système N° 1

Sous-Système N° 2

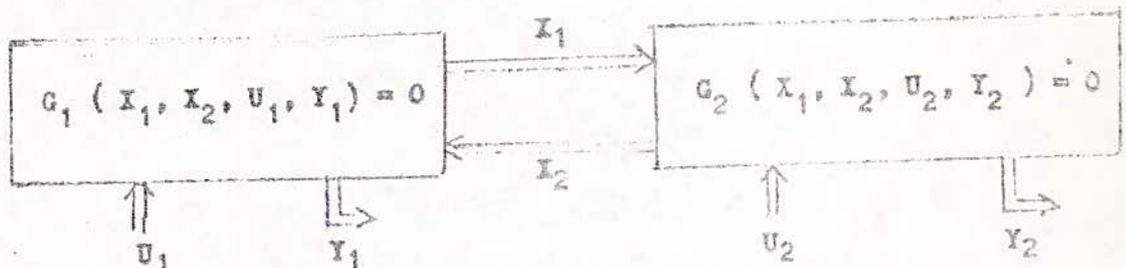


FIG ( II.2 ) SYSTEME COUPLE.

- $X_1$  - Vecteur d'interaction du sous-système N° 1 au sous-système N° 2  
 $X_2$  - Vecteur d'interaction du sous-système N° 2 au sous-système N° 1  
 $U_1$  - Vecteur de commande locale du sous-système N° 1  
 $U_2$  - Vecteur de commande locale du sous-système N° 2  
 $Y_1$  - Vecteur de sortie du système global et du sous-système N° 1  
 $Y_2$  - Vecteur de sortie du système global et du sous-système N° 2

Les équations ( 2.11 ) et ( 2.11' ) deviennent :

$$\text{-Processus: } G_1 ( U_1, Y_1, X_1, X_2 ) = 0 \text{ et } G_2 ( U_2, Y_2, X_1, X_2 ) = 0 \quad (2.12)$$

$$\text{-Critère : } P_1 ( U_1, X_1, Y_1 ) = P_1 ( U_1, X_1, Y_1 ) + P_2 ( U_2, X_2, Y_2 ) \rightarrow \min \quad (2.12')$$

L'équation ( 2.12' ) représente la façon dont on optimise le système global. L'optimisation se fait en plusieurs niveaux. Dans notre cas (  $n = 2$  ) on convertit le problème intégral d'optimisation en un problème à deux niveaux, c'est-à-dire, en fixant les vecteurs d'interaction entre les deux systèmes à une certaine valeur,

$$\text{soit : } X = Z = \text{constant} \quad (2.13)$$

Sous ces conditions, le problème intégral peut être séparé en un problème de premier niveau et un problème de deuxième niveau.

. Problème de premier niveau :

$$\text{déterminer } H ( Z ) = \min_{U, Y} P ( U, Y, Z ) \quad (2.14)$$

$$\text{avec } G ( U, Z, Y ) = 0 \quad (2.14')$$

. Le deuxième niveau du problème consiste à chercher le minimum  $H ( Z )$

$$\text{soit } \min_Z H ( Z ) \quad (2.15)$$

En conséquence, si  $X$  est considéré être un  $Z$  constant, le premier niveau optimise la fonction objective en choisissant les variables  $U$  et  $Y$  de telle sorte que  $P$  soit minimisé et les équations du système sont satisfaites pour le  $Z$  donné.

$$\text{Si } S_1 = \left\{ (U, Y) \mid G(U, Y, Z) = 0 \right\} \quad (2.16)$$

Alors la minimisation de  $P$  est dans l'ensemble  $S_1$ .

Remarquons que cet ensemble peut être vide dans certains problèmes, pour certains choix de  $Z$ .

$$\text{Définition } S_2 = \left\{ Z \mid H(Z) \text{ existe} \right\} \quad (2.17)$$

C'est-à-dire,  $S_2$  est l'ensemble de tous les  $Z$  tel que les équations du système sont satisfaites pour cette valeur de  $Z$  et le minimum de la fonction objective existe (est finie).

Si le problème d'optimisation original a une solution, alors  $S_2$  n'est pas vide, car il contient au moins le point  $Z = X_{\text{opt}}$ , c'est-à-dire les valeurs optimales des variables d'interaction.

L'implémentation de cette solution à deux niveaux n'est pas faite simultanément, mais plutôt par séquence. Elle est représentée par le diagramme de la Fig ( II.3 ).

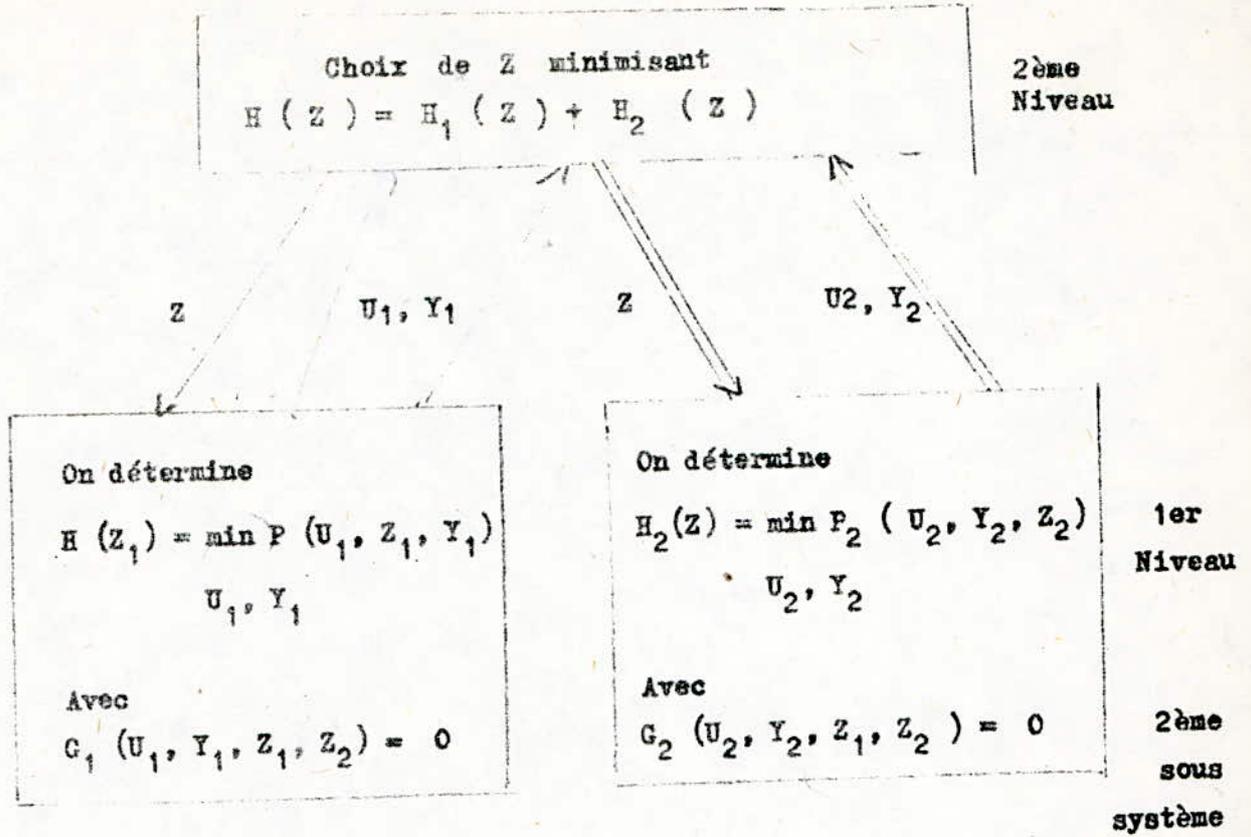


Fig ( II.3 ) SOLUTION MULTINIVEAUX AVEC LA METHODE DE COORDINATION DU MODELE.

II.2.b.2) - METHODE DE COORDINATION DU CRITERE :

Considérons de nouveau les deux sous-systèmes couples et le problème d'optimisation défini au § II.2.b.1.

Selon la méthode de coordination du critère, un couple ne peut pas être séparé en deux parties et résolu séparément si c'est l'optimisation globale qui doit être obtenue. En conséquence il est nécessaire de rompre les relations entre les sous-systèmes. Fig ( II.4 ).

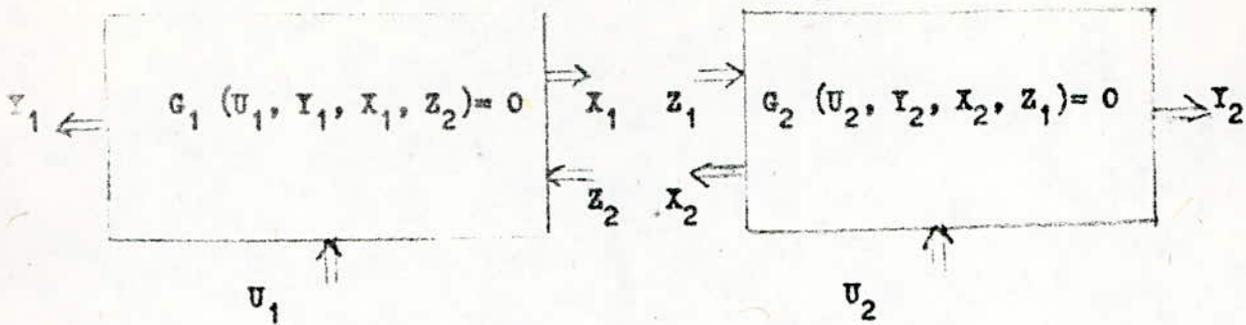


Fig ( II.4) SYSTEME DECOUPLE

- $X_1$  : Vecteur des sorties intermédiaires du sous-système N° 1
- $Z_2$  : Vecteur des entrées intermédiaires sous sous-système N° 1  
fourni par le sous-système N° 2.
- $U_1$  : Vecteur de commande locale du sous-système N° 1.
- $Y_1$  : Vecteur de sortie observable du système globale et du  
sous-système N° 1.
- $X_2$  : Vecteur des sorties intermédiaires du sous-système N° 2.
- $Z_1$  : Vecteur des entrées intermédiaires du sous-système N° 2  
fourni par le sous-système N° 1.
- $U_2$  : Vecteur de commande locale du sous-système N° 2.
- $Y_2$  : Vecteur des sorties observables du système globale et du  
sous-système N° 2.

En général, les entrées et les sorties  $Z_1$  et  $X_1$  ne sont pas égales.

L'optimisation consiste à déterminer un vecteur de coefficients, de pénalisation  $\lambda$  ( ou paramètres de coordination ) de façon qu'il y ait une égalité entre  $X$  et  $Z$ .

soit  $X = Z$ .

On exprime cette pénalité par le critère suivant :

$$P ( U, X, Y, Z, \lambda ) = P_1 ( U_1, X_1, Y_1 ) + P_2 ( U_2, X_2, Y_2 ) + \lambda ( X - Z )$$

Avec  $G_1 ( U_1, X_1, Y_1, Z_2 ) = 0$  ( 2.19 )

$$G_2 ( U_2, X_2, Y_2, Z_1 ) = 0 \quad ( 2.19' )$$

Définissons l'ensemble  $S_1$  comme l'ensemble de valeur des variables  $U, X, Y, Z$  qui satisfont les contraintes ( 2.19 ) et ( 2.19' )

$$S_1 = \left\{ ( U, X, Y, Z ) \mid G_1 = G_2 = 0 \right\} \quad ( 2.20 )$$

Minimiser la fonction objective ( avec coefficient de pénalisation ) sur l'ensemble des variables admises du système résulte en une fonction de :

$$H ( \lambda ) = \min_{( U, X, Y, Z ) \in S_1} P ( U, X, Y, Z, \lambda ) \quad ( 2.21 )$$

Définissons  $S_2$  comme domaine de  $H ( \lambda )$

$$S_2 = \left\{ \lambda \mid H ( \lambda ) \text{ existe} \right\} \quad ( 2.22 )$$

C'est-à-dire  $S_2$  est l'ensemble de tous les  $\lambda$ , tel que le minimum de  $P$  existe. Supposons qu'il existe un vecteur tel que résoudre le problème d'optimisation ci-dessus, avec le coefficient de pénalisation résulte en des interactions équilibrées, l'ensemble  $S_2$  n'est pas vide. Premièrement, développons le terme de pénalisation en :

$$\lambda ( X - Z ) = \lambda_1 ( X_1 - Z_1 ) + \lambda_2 ( X_2 - Z_2 ) \quad ( 2.23 )$$

Alors le problème du premier niveau se sépare en :

--- Sous-Système 1.

$$\min_{U_1, X_1, Y_1, Z_1} P_1 ( U_1, Y_1, X_1, Z_2 ) + \lambda_1 X_1 - \lambda_2 Z_2 \quad ( 2.24 )$$

$U_1, X_1, Y_1, Z_1$

Avec  $G_1 ( U_1, Y_1, X_1, Z_2 ) = 0 \quad ( 2.24' )$

— Sous-Systeme 2.

$$\min P_2 ( U_2, Y_2, X_2, Z_1 ) - \lambda_1' Z_1 + \lambda_2' X_2 \quad ( 2.25 )$$

$$U_2, Y_2, X_2, Z_1 = 0$$

$$\text{Avec } G_2 ( U_2, Y_2, X_2, Z_1 ) = 0 \quad ( 2.25' )$$

Remarquons que l'objectif de chaque sous-système a été modifié du fait que la variable de coordination X et Z entre dans l'objectif de chaque sous-système.

Comme l'objectif de l'unité du deuxième niveau et de coordination on peut choisir H ( ), il est clair que la coordination des solutions indépendantes du premier niveau se fait en manipulant  $\lambda_1'$  et  $\lambda_2'$ , c'est-à-dire par les objectifs des problèmes du premier niveau.

-  $\lambda$  s'appelle aussi multiplicateur de Lagrange.

ORGANIGRAMME DES DECISIONS DANS LA METHODE DE COORDINATION  
CRITERE.

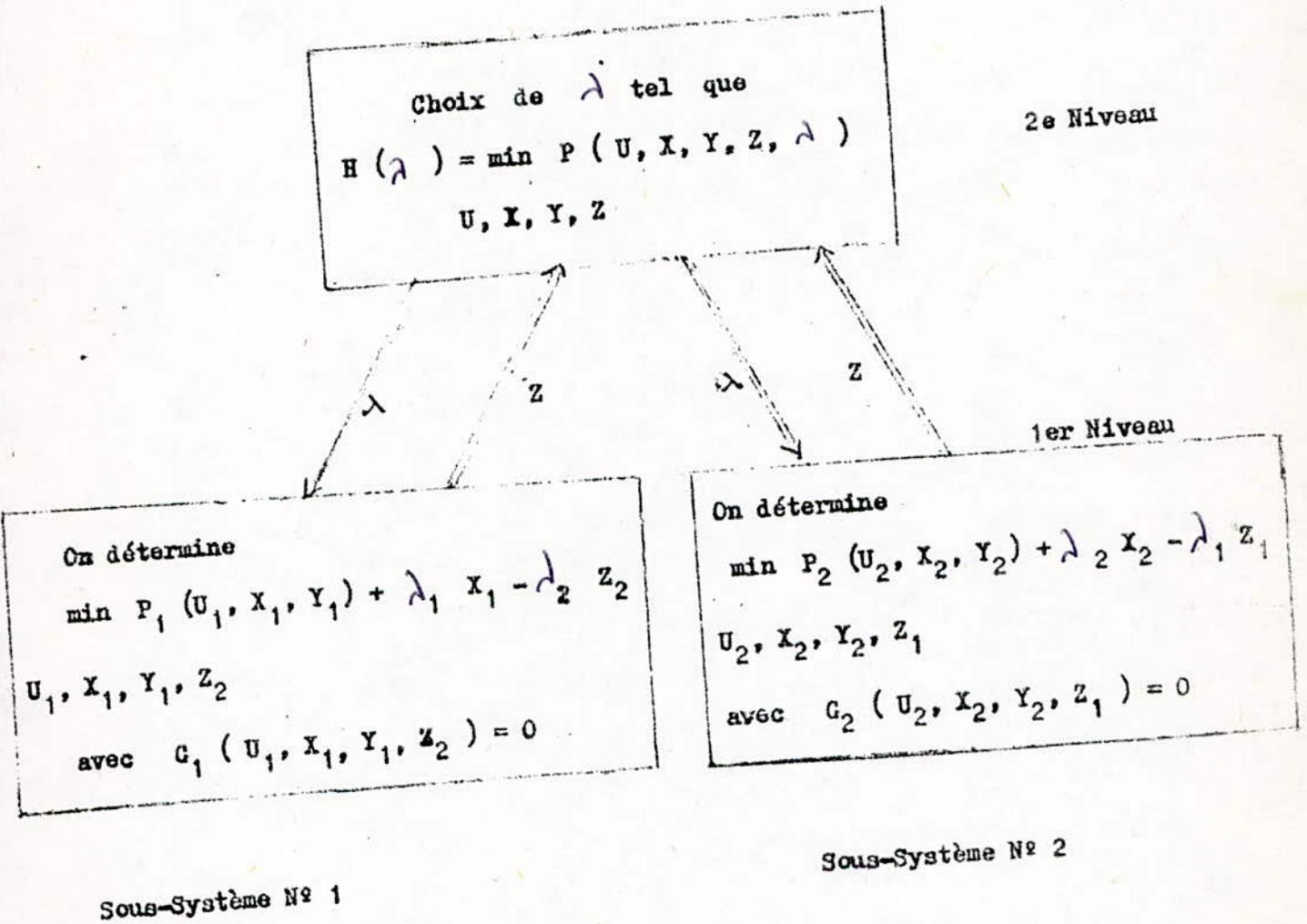


Fig (II.4) Methode de coordination du critere

Le choix des paramètres de coordination est fait sur la base de la décomposition du premier niveau du problème. Leur siège doit être sélectionné de telle sorte, que le résultat du premier niveau puisse être décomposé en sous problème dont les solutions doivent être indépendantes les unes des autres, afin qu'elles puissent converger vers une solution optimale dans le deuxième niveau.

DECOMPOSITION DYNAMIQUE DE GRAND SYSTEME :

En dynamique, on ne peut plus considérer le grand système comme invariant, car son état change au cours de l'observation dans le temps.

L'analyse dynamique consiste à décomposer le système en plusieurs sous-systèmes couplés entre eux et ayant chacun des performances fonctionnelles et des contraintes.

La solution s'obtient en deux étapes :

- 1) Solution du sous-problème posé à chaque sous-système.
- 2) Coordination des solutions pour trouver la solution globale.

Hypothèse :

- Soit l'instant d'observation  $t \in [t_0, t_1]$
- Soit  $S$  une hyper-surface quelconque définie par :  

$$h(x_i, t) = 0 \text{ pour } t \in [t_0, t_1]$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$
- $x_i(t)$  variable d'état continue par morceau pour que la commande soit admissible.

On définit les variables suivantes : pour  $i = 1, 2, \dots, n$

- $u_i(t)$  : variable de commande.
- $z_i(t)$  : variable d'entrée
- $y_i(t)$  : variable de sortie observable.

Chaque sous-système est caractérisé par les points suivants :

1) - Les équations d'état  $\dot{x}_i(t) = F_i(x_i, u_i, z_i, t)$  (2.26)

avec  $t \in [t_0, t_1]$   $i = 1, 2, \dots, n$

2) - Les conditions initiales  $x_{i0}(t_0) = x_{i0}$  (2.27)

3) - Les contraintes d'inégalité  $R_i(x_i, u_i, z_i, t) \geq 0$  (2.28)

4) - Couplage entre les sous-systèmes  $x_i(t) - \sum_{j=1}^n L_{ij} y_j$  (2.29)

$L_{ij}$  : Matrices de couplage ou de permutation entre les sous-systèmes.

$$Y_j = G_j (x_j, u_j, z_j, t) \quad \text{sortie observable ou non} \quad (2.30)$$

- CRITERE DU SYSTEME :

En addition aux contraintes énoncées dans les points 1, 2, 3, 4 on peut ajouter le critère principal du système qui est une fonction objective, tel que :

$$J_1 (u_1, z) = \sum_{i=1}^n \xi_i (x_i, t) + \int_{t_0}^{t_1} f_i (x_i, u_i, z_i, t) dt \quad (2.31)$$

L'optimisation de chaque critère  $J_1 (u_i, z_i)$  relatif au sous-système n°  $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  doit aboutir à un compromis qui permet d'optimiser le système global.

L'admissibilité de la commande de chaque sous-système nous permet d'écrire pour le système tout entier :

$$\dot{X} (t) = F (X, U, Z, t) \quad \text{avec } F = (F_1, F_2, \dots, F_n) \quad (2.32)$$

$$R (X, U, Z, t) \geq 0 \quad " \quad R = (R_1, R_2, \dots, R_n) \quad (2.33)$$

$$Z = L_Y \quad \text{et } Y = G (X, U, Z, t) \quad L = L_{ij} \quad (2.34)$$

$$G = (G_1, G_2, \dots, G_n)$$

$$S \text{ sera définie par } h (x, t) = 0 \quad \text{pour } t \in [t_0, t_1]$$

$$h = (h_1, \dots, h_n)$$

La fonction objective est la même :

$$J_1 (U, Z) = g (x_1, t_1) + \int_{t_0}^{t_1} f (X, U, Z, t) dt \quad (2.35)$$

$$\text{avec } g (X, t) = \sum_{i=1}^n \xi_i (x_i, t)$$

$$\text{et } f (X, U, Z, t) = \sum_{i=1}^n f_i (x_i, u_i, z_i, t) dt$$

Les méthodes d'optimisation des critères  $J. (U, Z)$  sont nombreuses. Parmi celles-ci, on peut citer :

- La méthode variationnelle, suivant que les équations intégrales différentielles soient de LAGRANGE, d'HAMILTON, d'EULER, de KOLOMOGOROV, de STERLING,.....
- La méthode duale
- La méthode de sauts et de points singuliers.
- Il existe aussi des méthodes modernes d'analyse des systèmes linéaires, dites méthodes de transition d'état. i. e avec des équations d'état (en continu) de la forme

$$\dot{X}(t) = F X(t) + H U(t)$$

$$Y(t) = V X(t)$$

$$X(t_0) = X_0$$

On peut passer à :

- L'espace de phase par la transformée de Laplace et faire l'analyse de la fonction ou de la matrice de transfert noté  $F(p)$
- L'état discret par la transformée en  $z$  ou par la matrice de transition d'état discret et faire l'analyse de  $F(z)$  ou de  $A(\gamma)$ ,  $B(\gamma)$
- Dans ces dernières méthodes, l'optimisation du critère devient un problème de stabilité de la solution au sens de Routh, Hurwitz, de Liapunov 1 et 2

CHAPITRE III.

ANALYSE DES GRANDS SYSTEMES STOCHIOMETRIQUES

III.1. - INTRODUCTION: Bien que les grands systèmes stoechiométriques fassent partie des grands systèmes multidimensionnels, les méthodes évoquées dans le chapitre précédent ne leur sont pas applicables. Les raisons de cette non application sont :

- L'existence des filtres stoechiométriques.- Sous-systèmes décrits par des opérations non linéaires, non différentiables.
- La nature physique des variables d'entrées ( il n'existe pas de possibilité de substitution des éléments par d'autres ).
- L'existence des sous-systèmes appelés " stocks ", avec la description grossière  $\rho(\text{entrée}(t), \text{sortie}(t)) = \text{Sup} \int_0^T \text{entrée}(t) - \text{sortie}(t) dt$   
 $t \in [0, T]$
- L'existence des sous-systèmes " rebut technologique ", avec la description mathématique  
 $\text{sortie}(t) = (1 - w(t)) \text{entrée}(t)$   
où  $w(t)$  est une variable aléatoire.

L'analyse et le contrôle optimale de ce type de système est traité par un modèle fonctionnel, que nous proposons, et auquel on applique la méthode d'analyse de simulation programmée sur ordinateur.

### III.2. - PRINCIPE DE LA METHODE :

L'analyse des fondements théoriques des méthodes de commandes, précédemment décrites, ne suffit pas pour évaluer la qualité des lois de commande obtenues. La simulation est donc nécessaire pour concrétiser les performances et cela d'autant plus que plusieurs méthodes comportent des approximations dont il est important de fixer les limites.

De plus, les études de simulation ont l'avantage d'une souplesse qui n'a pas d'application réelle. En particulier, elles permettent de dissocier facilement des phénomènes, qui dans la réalité se mêlent souvent : erreurs d'identification et qualité de la commande proprement dite, perturbation inconnue, etc...

Il faut remarquer, qu'étant donné, que les systèmes à commandes appartiennent à une classe de système particulier. L'interprétation des résultats de simulation ( et même d'application ) restera spécifique à cette classe. Et que même au sens de celle-ci, sa portée pourra être limitée à un procédé particulier.

Nous sommes donc loin de la généralisation des méthodes et des résultats des systèmes linéaires.

L'état du système est décrit par un certain nombre de paramètres nécessaires pour simuler son évolution future. Par exemple les entrées, l'état du stock, etc... ce qui servira à l'évaluation des règles étudiées et la construction du modèle. Le modèle est une représentation simplifiée du système, mais ses principes de fonctionnement doivent être analogues à ceux du système réel.

III. . - CREDIBILITE DES DECISIONS :

Dans le domaine de l'expérimentation mathématique on est grandement aidé par l'utilisation des techniques statistiques. L'utilisation effective de celle-ci peut contribuer à minimiser le volume de l'information requise et à réduire ainsi les efforts nécessaires à l'élaboration du modèle. Ces mêmes techniques permettent d'accroître la précision des résultats et d'améliorer le contrôle des conditions, dans lesquelles sont obtenues les données expérimentales.

III. . - SIMULATION DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME STOECHEMETRIQUE :

Elle consiste à construire un modèle fonctionnel du système tout entier.

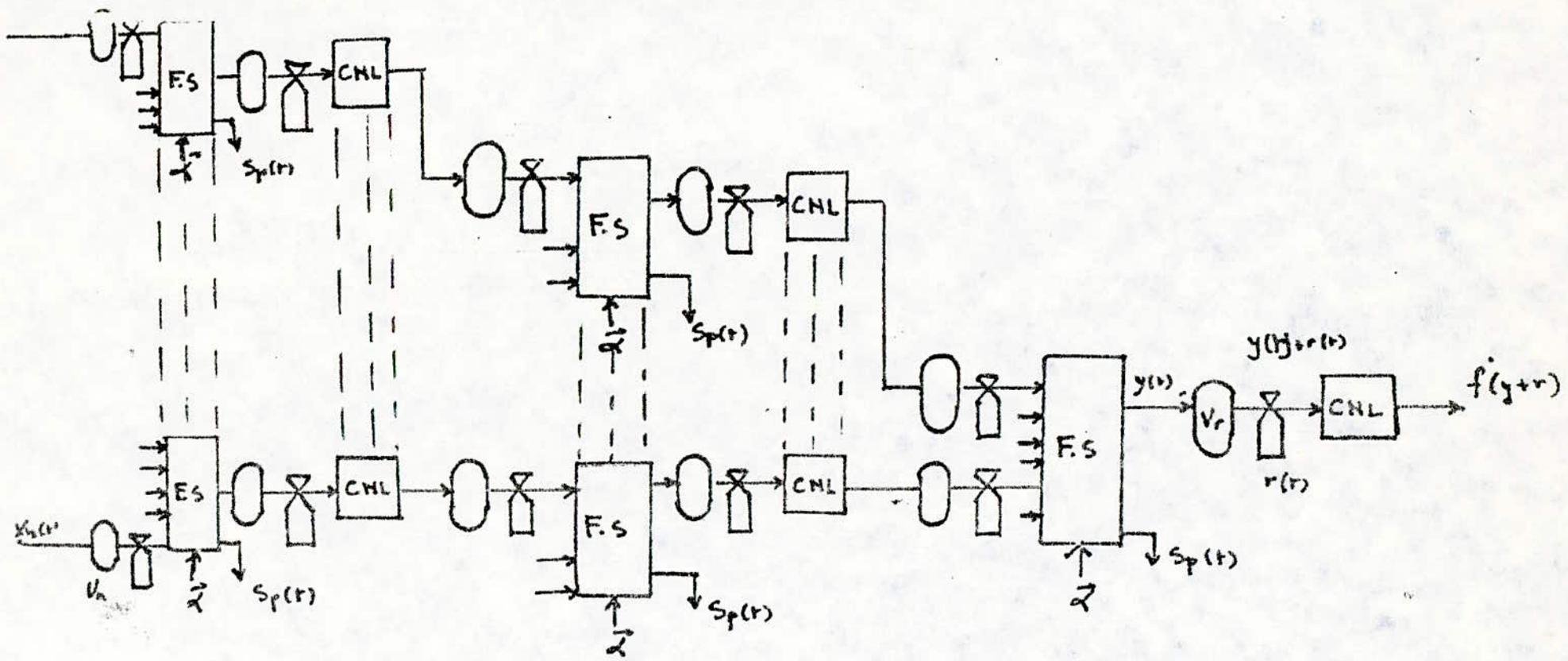


Figure 3.1 : GRAND SYSTEME STOCHIOMETRIQUE.

L'identification se caractérise aussi par :

- Les variables d'entrées  $x_i(t)$   $i, i = 1, 2, \dots, n$ .
- des coefficients stoechiométriques  $i; V_i \quad i \quad 0, i = 1, 2, \dots, n$
- des volumes de stock
- des conditions initiales ( volumes initiaux de stocks )

Elle peut être réalisée dans le but d'analyse, de simulation.  
On fixe les valeurs des coefficients qui peuvent être intéressants  
à priori, et on identifiera le reste par la suite.

DECOMPOSITION ET COORDINATION

HYPOTHESES :

Ayant les données de l'entrée  $x_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$   
 La valeur maximale de la variable de sortie peut être  

$$y_{opt}(t) = \max y(t) = \min \left( \frac{x_1(t) + S_1(t)}{\alpha_1}, \dots, \frac{x_n(t) + S_n(t)}{\alpha_n} \right)$$

$$t \in [0, T]$$

Pour atteindre cet objectif, nous devons choisir les variables du "stock"  $S_i(t)$  de façon qu'on puisse obtenir le :

$$\max \left( \min \left( \frac{x_1(t) + S_1(t)}{\alpha_1}, \dots, \frac{x_n(t) + S_n(t)}{\alpha_n} \right) \right)$$

Cela étant, l'analyse de ce système revient à décomposer son modèle de processus en plusieurs sous processus coordonnés entre eux à une manière bien déterminée. De plus, chaque sous-système doit répondre aux critères du contrôle optimal du filtre stochiométrique. La fig ( 3.3 ) illustre la décomposition et la coordination dans un grand système stochiométrique. La présence du circuit non linéaire caractérisé par  $f(y_i + r_i)$  sert à modéliser le phénomène d'échelle de fonctionnement d'unité de production, comme vu précédemment. Cette fonction  $f$  peut être dans la plupart des cas en pratique, localement convexe ou localement concave. La convexité ou la concavité locales de la fonction  $f$  influent sur le contrôle du système stochiométrique

MODELE MATHEMATIQUE DE COORDINATION :

La sortie 
$$\max y(t) = \min \left( \frac{x_1(t) + S_1(t)}{\alpha_1}, \dots, \frac{x_n(t) + S_n(t)}{\alpha_n} \right)$$

est imposée par le sous système non linéaire (C.N.L.) qui est caractérisé par la fonction but  $\int_0^T f(y+r) dt \quad \max$

Avec :

$x_i(t)$  variables d'entrée du sous-système;  $i = 1, 2, \dots, n$

tel que  $\frac{1}{T} \int_0^T x_i(t) dt = \bar{x}_i \quad \forall i$

$s_i(t)$  variables de commande " stock " à l'entrée

tel que  $\int_0^T s_i(t) dt = 0, \quad \forall i$

$r_i(t)$  variable de commande " stock " à la sortie du F.S

tel que  $\int_0^T r_i(t) dt = 0$

Conclusion :

Dans chaque sous-système, on a deux niveaux de problèmes I et II. La solution du problème I caractérise le fonctionnement du niveau II, et la solution du problème II détermine enfin le but du niveau I. ( fig 3.3 ).

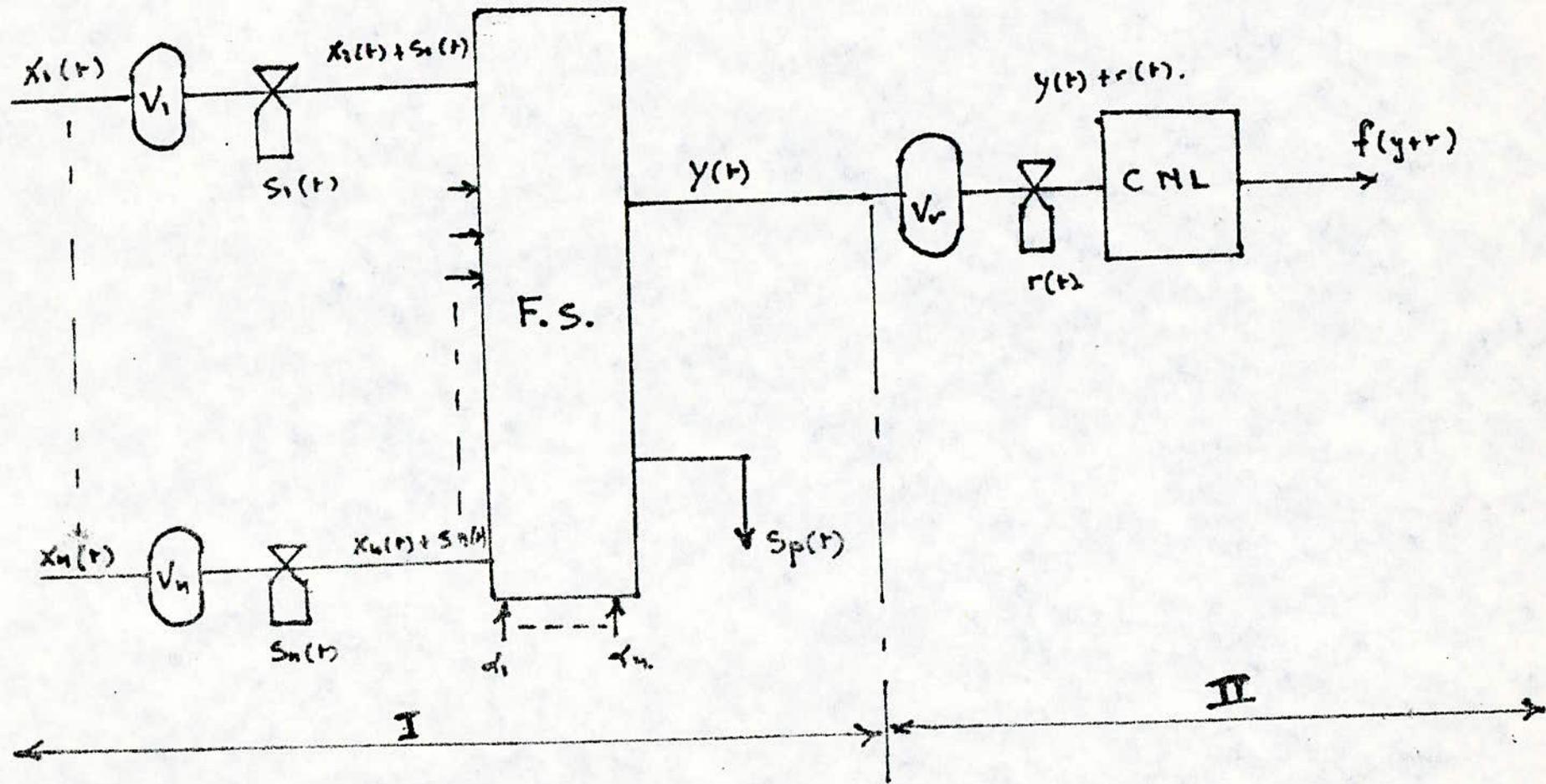


Figure 3.3 : COORDINATION S/SYSTEME STOICHIOMETRIQUE.

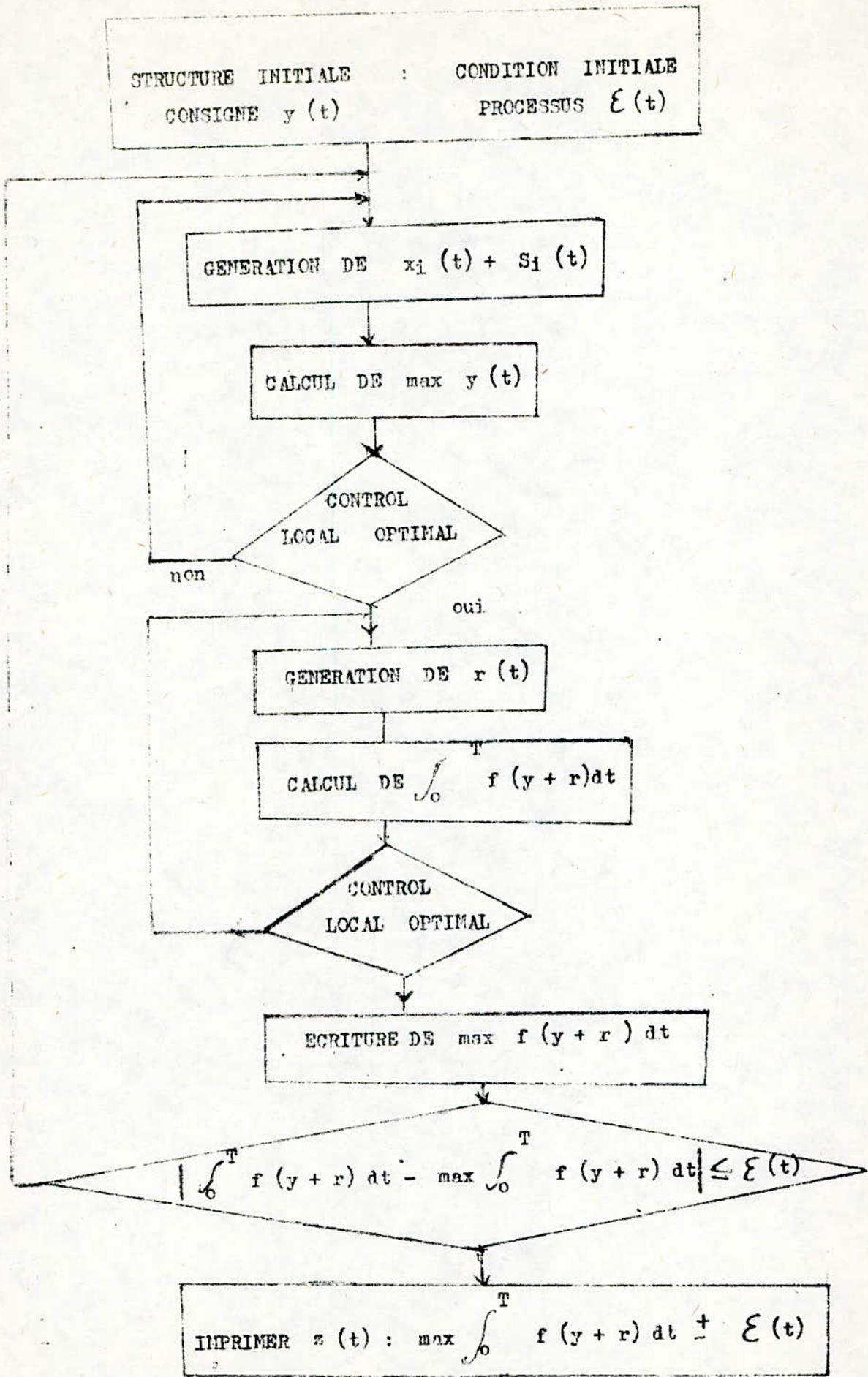


Fig. 3.2 : Organigramme des decisions des systemes stoechiometriques

DECOMPOSITION ET COORDINATION: (plusieurs points de bifurcation)

Dans le cas ou nous avons une partie du systeme avec plusieurs points de bifurcation c'est à dire plusieurs filtres stoechiometriques (fig.3.4) le probleme de controle optimal du systeme exige une decomposition de celui-ci en plusieurs sous-problemes " F.S. + C.N.L avec des variables locales  $s_1(t)$  ,  $s_2(t)$  , ... ,  $s_n(t)$  "

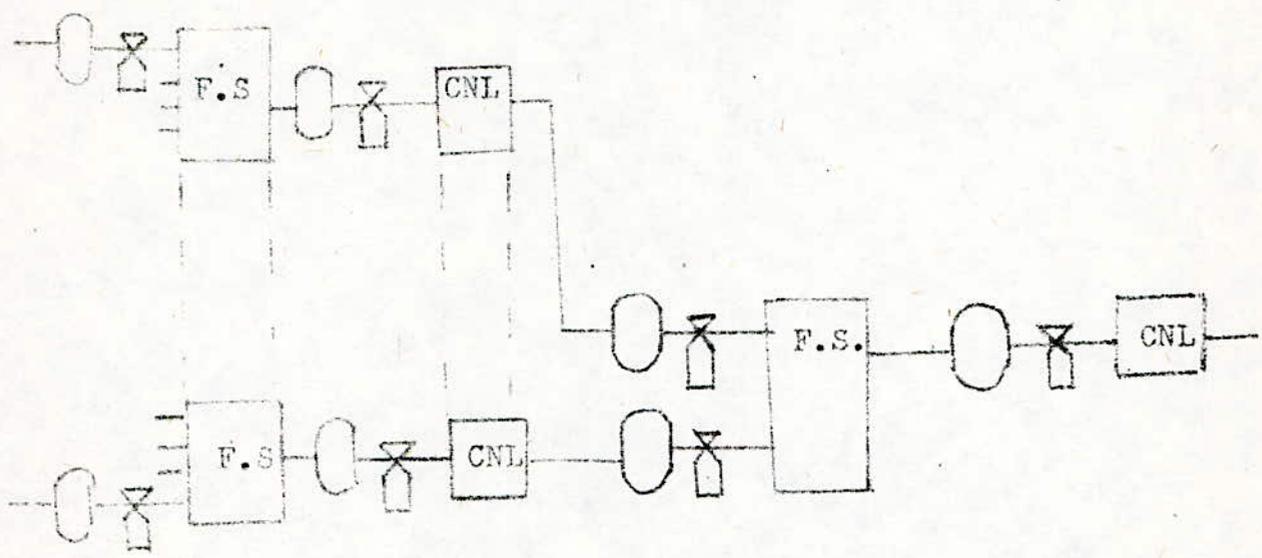


Fig.3.4 : Systeme avec plusieurs points de bifurcation

Dans un premier temps nous trouvons des solutions optimales locales puis nous realisons la coordination de ces solutions pour que la fonction but globale prenne sa valeur maximale .

Du point de vue mathematique , chaque sous systeme c.a.d chaque sous probleme doit etre identique à l'autre . Par ailleurs , entre ces sous systeme doit etre inseré des sous systeme "stock" ; elements indispensables pour la solution du probleme de coordination globale 16

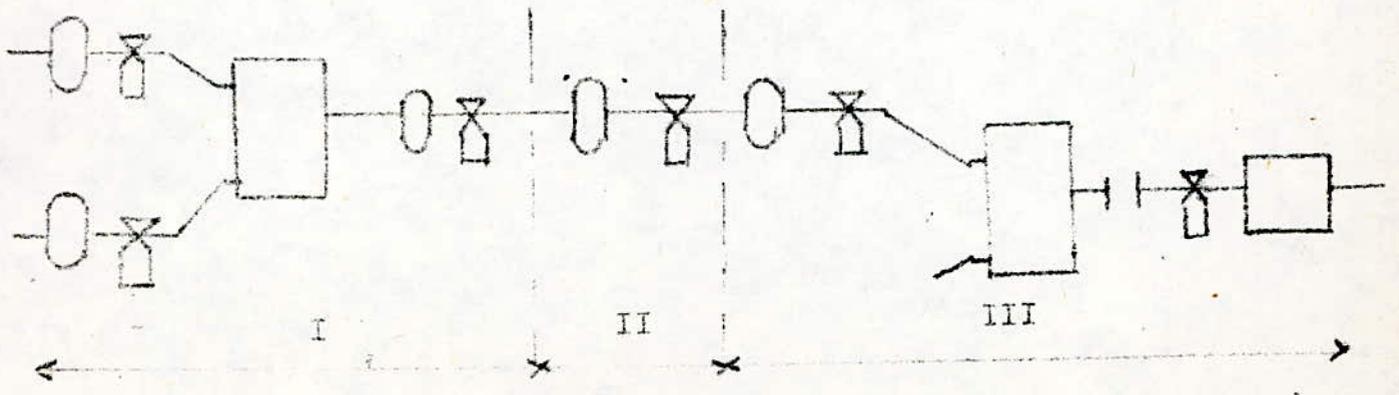


Fig.3.5 : Decomposition du systeme

I , III sont des sous systemes stoechiometriques

II , est la realisation physique de l'element de coordination sous la forme de stock controlé. Cet element represente le coefficient de penalisation multiplié par une distance entre la sortie d'un sous systeme en amont et l'entrée du sous-systeme en aval.

La solution de ce probleme est typique , mais les systemes reels n'ont pas toujours l'ensemble des sous-systemes en particulier les sous-systemes C.N.L. Dans ces cas le probleme est nettement simplifié.

CHAPITRE IV.

ANALYSE DE SOUS - SYSTEME

**GENERALITES :**

Comme il a été mentionné au chapitre II, un grand système stoechiométrique peut avoir une structure d'arbre avec des éléments - sous-systèmes dont :

- a) - Des sous-systèmes linéaires statiques
- b) - Des sous-systèmes linéaires dynamiques
- c) - Des sous-systèmes non linéaires statiques
- d) - Des filtres stoechiométriques
- e) - Des stocks
- f) - Des rebus technologiques.

Dans ce chapitre, nous présentons la description d'éléments types caractérisant les filtres stoechiométriques. Ces éléments sont définis par les filtres stoechiométriques, les stocks, les rebus technologiques.

IV.1. - MODELE MATHEMATIQUE DU STOCK :

On dit qu'un ensemble E a une structure d'espace métrique. Si on définit une notion de distance entre deux éléments de E, c'est-à-dire une application  $\rho$

$$\begin{aligned} \rho : E \times E &\longrightarrow \mathbb{R}^+ \\ \text{soit : } f, g &\longrightarrow \rho(f, g) \text{ distance de } f \text{ à } g. \end{aligned} \quad (4.1)$$

\* On note  $B(S)$  l'espace des fonctions bornées sur S. On peut définir sur  $B(S)$  une distance (appelée distance de la convergence uniforme) par :

$$\rho(f, g) = \sup_{t \in \Delta} |f(t) - g(t)| \quad (4.2)$$

où  $\Delta$  est un intervalle fermé et borné

$$\Delta = [a, b]$$

$$\text{On peut prendre } f(t) = \int_a^t x_1(\tau) d\tau \quad (4.3)$$

$$g(t) = \int_a^t x_2(\tau) d\tau \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} \rho(f, g) &= \sup_{t \in \Delta} \left| \int_a^t (x_1(\tau) - x_2(\tau)) d\tau \right| = \\ &= d(x_1(\tau), x_2(\tau)) \end{aligned} \quad (4.5)$$

$d(x_1(\tau), x_2(\tau))$  est un modèle de stock que nous utiliserons dans l'analyse des systèmes stoechiométriques.

En effet si  $x_1(t)$  est un élément quelconque de  $E_1$  avec :

$$\int_0^t x_1(\tau) d\tau = f(t) \quad (4.6)$$

et si  $x_2(t)$  est un élément quelconque de  $E_2$  avec :

$$\int_0^t x_2(\tau) d\tau = g(t) \quad (4.7)$$

On a une distance entre  $f(t)$  et  $g(t)$

$$\rho(f, g) = \sup_{t \in [0, T]} |f(t) - g(t)| \quad (4.8)$$

Prenons  $[a, b] = [0, T]$  c'est-à-dire qu'on peut introduire la notion de distance  $d(x_2(t), x_1(t))$  directement entre  $x_1(t)$  et  $x_2(t)$

$$d(x_1(t), x_2(t)) = \sup_{t \in [0, T]} \left| \int_0^t (x_1(\tau) - x_2(\tau)) d\tau \right| \quad (4.9)$$

Remarque :

$$\text{La distance } d(x_1(t), x_2(t)) = \sup_{t \in [0, T]} \left| \int_0^t (x_1(\tau) - x_2(\tau)) d\tau \right|$$

n'est pas régulièrement équivalente avec les distances de la convergence uniforme, en moyenne et en moyenne quadratique.

#### - ANALYSE DE STOCK :

Pour pouvoir déterminer la variation de commande "stocks"  $s_1(t)$  on fera tout d'abord l'analyse du volume de "stock" nécessaire au sens de contrôlabilité du filtre stoechiométrique.

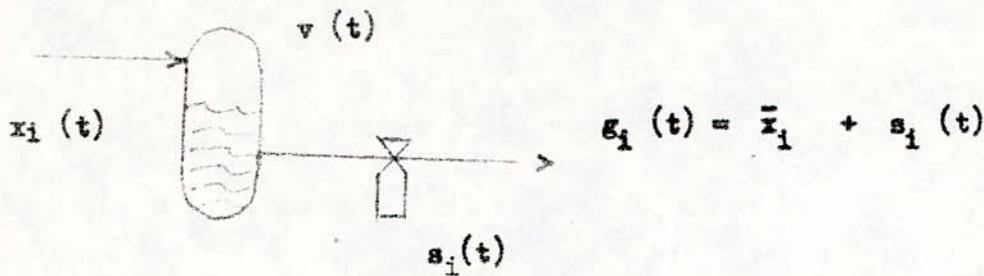


Fig ( 4.1 ) : ANALYSE DE STOCK

Soit les deux fonctions  $x_1(t)$  et  $g_1(t)$  ( Fig 4.1 )

$$[0, T] \quad \exists t \longrightarrow x_1(t) \text{ tel que } \frac{1}{T} \int_0^T x_1(t) dt = \bar{x}$$

$$[0, T] \quad \exists t \longrightarrow g_1(t) = \bar{x}_1 + s_1(t)$$

$$\text{tel que } \frac{1}{T} \int_0^T g_1(t) dt = \bar{x}_1$$

c'est-à-dire  $\int_0^T s_1(t) dt = 0$

On définit le volume de stock instantané à l'entrée par :

$$v_1(t) = v_0 + \int_0^t (x_1(\tau) - g_1(\tau)) d\tau.$$

Avec l'hypothèse qu'on ait  $0 \leq v_1(t) \leq v_{im}$  borné ( fig 4.2 )

c'est-à-dire  $0 \leq v_0 + \int_0^t (x_1(\tau) - g_1(\tau)) d\tau \leq v_{im}$  (4.10)

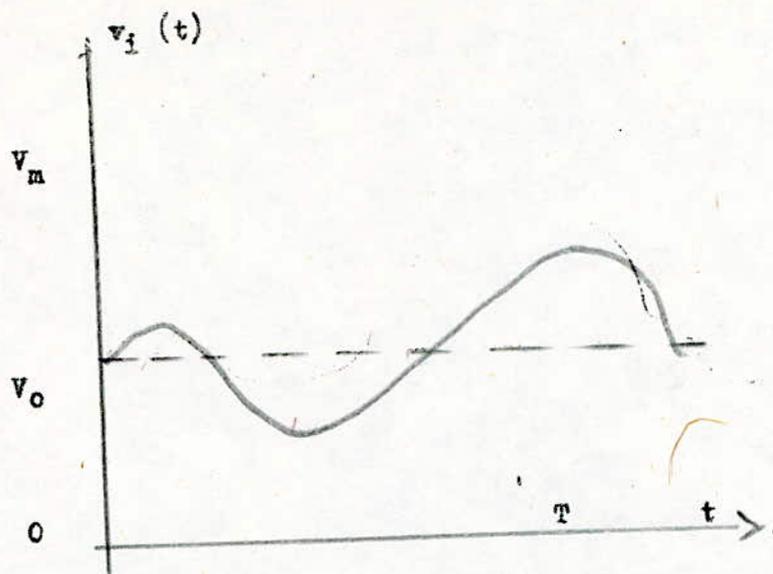


Fig ( 4.2 ) : VARIATION DU STOCK.

$$\max_{t \in (0, T)} \left| \int_0^t [x_i(\tau) - g_i(\tau)] d\tau \right| \leq V_m - V_0 \quad (4.11)$$

Pour assurer le fonctionnement continu du système, on propose de prendre  $V_0 = 0,5 V_m$

Conclusion :

Après avoir fixé  $x_i(t)$  et  $g_i(t)$  pour  $t \in (0, T)$

$$\text{on peut calculer } \max_{t \in [0, T]} \left| \int_0^t (x_i(\tau) - g_i(\tau)) d\tau \right|$$

Ce qui détermine  $V_0$  et  $V_m$  donnée indispensable au système stoechiométrique avec " stock "

$$\text{soit } \max_{t \in [0; T]} \left| \int_0^t x_i(\tau) - g_i(\tau) d\tau \right| \leq 0,5 V_m = V_0 \quad (4.12)$$

## IV.2. FILTRE STOICHIOMETRIQUE

Le filtre stoechiométrique est caractérisé par plusieurs variables d'entrée et une seule variable de sortie  $y(t)$ . Il représente l'opération d'assemblage de plusieurs sous-ensembles (entrées), dont le produit final représenté par la sortie du filtre  $y(t)$ , a pour modèle mathématique :

$$y(t) = \left[ 0, \min \left( \frac{x_1(t)}{\alpha_1(t)}, \frac{x_2(t)}{\alpha_2(t)}, \dots, \frac{x_n(t)}{\alpha_n(t)} \right) \right] \quad (4.1)$$



Fig. 4.3 : Filtre stoechiometrique

Afin de ne pas surcharger inutilement les calculs, il convient d'effectuer des simplifications, sans entrainer une trop grande approximation sur les résultats.

- $\alpha_i(t)$  les coefficients stoechiométriques sont supposés constants, c'est à dire :

$$\alpha_i(t) = \alpha_i \text{ et } y(t) \in \left[ 0, \min \left( \frac{x_1(t)}{\alpha_1}, \dots, \frac{x_n(t)}{\alpha_n} \right) \right] \quad (4.14)$$

- $S_p(t)$  le surplus obtenu est considéré sans valeur économique
- Notre objectif est d'obtenir le max de  $y(t)$  quel que soit  $x_1(t), \dots, x_n(t)$  et  $\alpha_i$  fixés.

Il est évident que  $\max y(t)$  dépend des  $x_i(t)$ , donc pour

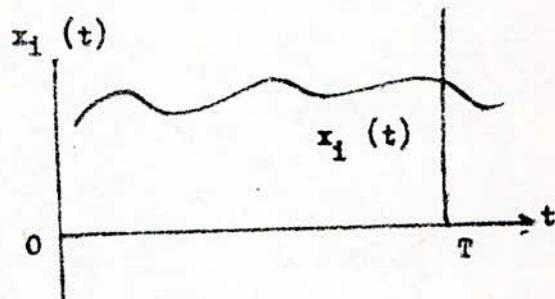
$i = 1, 2, \dots, n$  il faut déterminer :

- les variations de  $x_i(t)$   $i = 1, 2, \dots, n$
- le nombre des entrées  $x_i(t)$
- la corrélation entre les  $x_i(t)$

Dans notre analyse, les entrées ont été considérées avec les hypothèses suivantes :

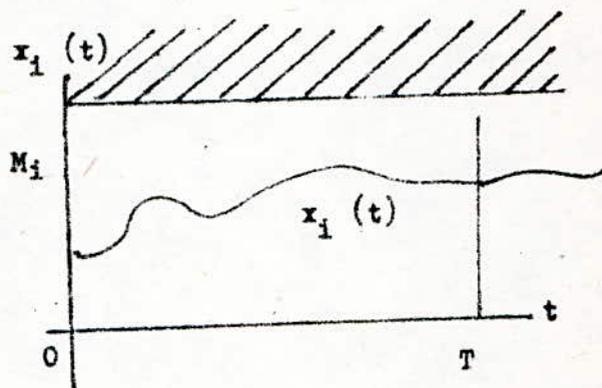
$$1) - \forall i \quad [0, T] \quad x_i(t) \geq 0$$

$x_i(t)$  représentant des quantités physiques ne peut être que positif ou nul.



$$2) - \forall i \quad x_i(t) \leq M_i$$

Les entrées sont bornées, étant donné que dans les systèmes réels ces données peuvent représenter des sorties d'un autre sous-système dont la capacité maximale de production peut être limitée par une valeur maximale (saturation).



$$3) - \forall i \quad \int_0^T x_i(t) dt = X_i$$

Sur la période  $T$  la somme est fixée (production d'un élément ou d'un sous-système fixée au préalable).

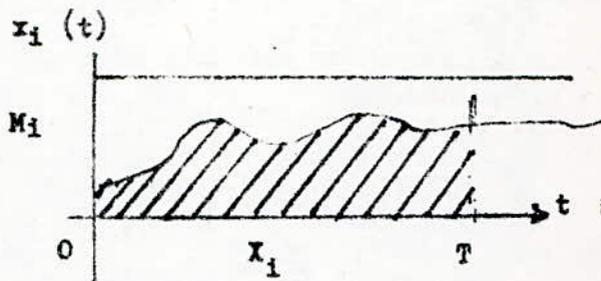


FIG (4.4): ENTREES DU F.S.

4) - Il peut par ailleurs exister une corrélation entre les fonctions

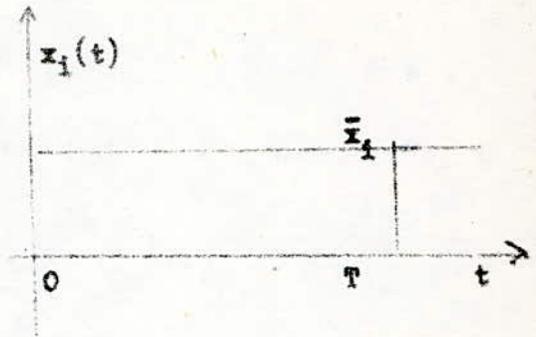
$$x_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Modèle des entrées :

Processus générateur de  $x_1(t)$

- a) - La valeur moyenne des entrées est définie par :

$$\frac{1}{T} \int_0^T x_1(t) dt = \frac{X_1}{T} = \bar{x}_1$$



- b) - Pour pouvoir réguler les variables d'entrée  $x_1(t)$ , on introduit la variable "stock"  $s_1(t)$ , telle que:  $\int_0^T s_1(t) dt = 0$ , cette variable est choisie de telle façon que  $\bar{x}_1 + s_1(t)$  est identique pour tout  $t$ .

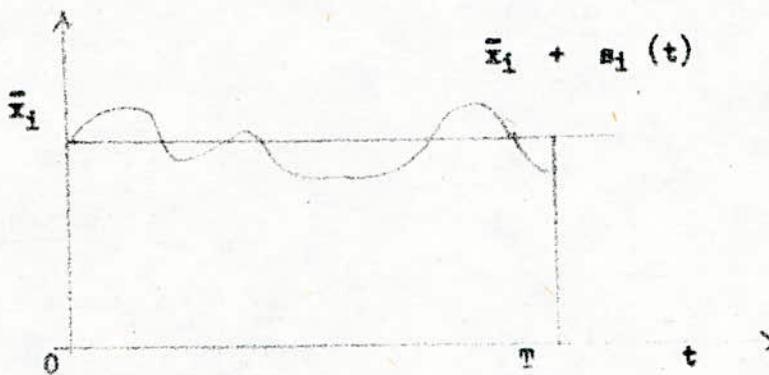


Fig. 4.5 : Modèle des entrées

Remarque :

On a un degré de liberté dans le choix de la fonction  $s_1(t)$ ; à la condition que :

- La moyenne de celle-ci soit nulle sur la période  $T$ .
- $\bar{x}_1 + s_1(t) \in$  à l'intérieur d'une boule de rayon égal à  $V_{10}$  et de centre  $x_1(t)$ .

Le choix judicieux de la variable  $s_1(t)$   $i = 1, 2, \dots, n$  permet de calculer  $\max y(t)$  qui a pour expression :

$$\max y(t) = \frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1} = \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2} = \dots = \frac{x_n(t) + s_n(t)}{\alpha_n}$$

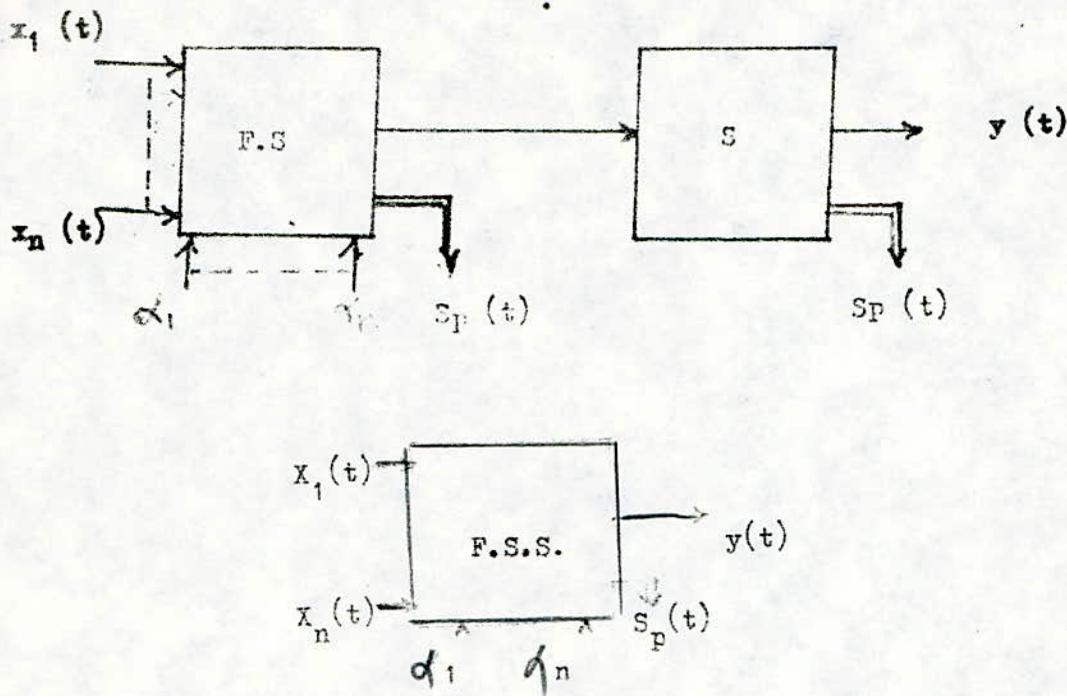


Fig. 4.6 : Representation d'un filtre stoechoimetricque avec saturation

Le volume de saturation noté  $S$  est une limite maximale de la sortie  $y(t)$ . Dans les systèmes réels, elle peut représenter la valeur maximale de la production qui est intimement liée aux caractéristiques de l'unité de montage. Lorsque la valeur de sortie  $y(t)$  atteint cette valeur  $S$  un surplus se dégage au niveau du filtre stoechimétrique. Ce surplus n'est pas pris en considération, car il est supposé sans valeur économique.

La sortie max  $y(t)$  est obtenue donc selon le modèle mathématique du filtre stoechimétrique avec saturation par :

$$\max y(t) = \min \left( \min \left( \frac{x_1(t)}{\alpha_1}, \frac{x_2(t)}{\alpha_2}, \dots, \frac{x_n(t)}{\alpha_n} \right), S \right) \quad (4.16)$$

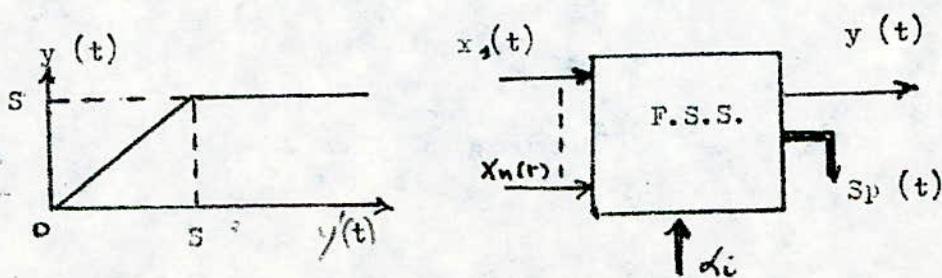


FIG.4.7 : Saturation

IV.4.

REBUT TECHNOLOGIQUE

Sous-Système Rebut :

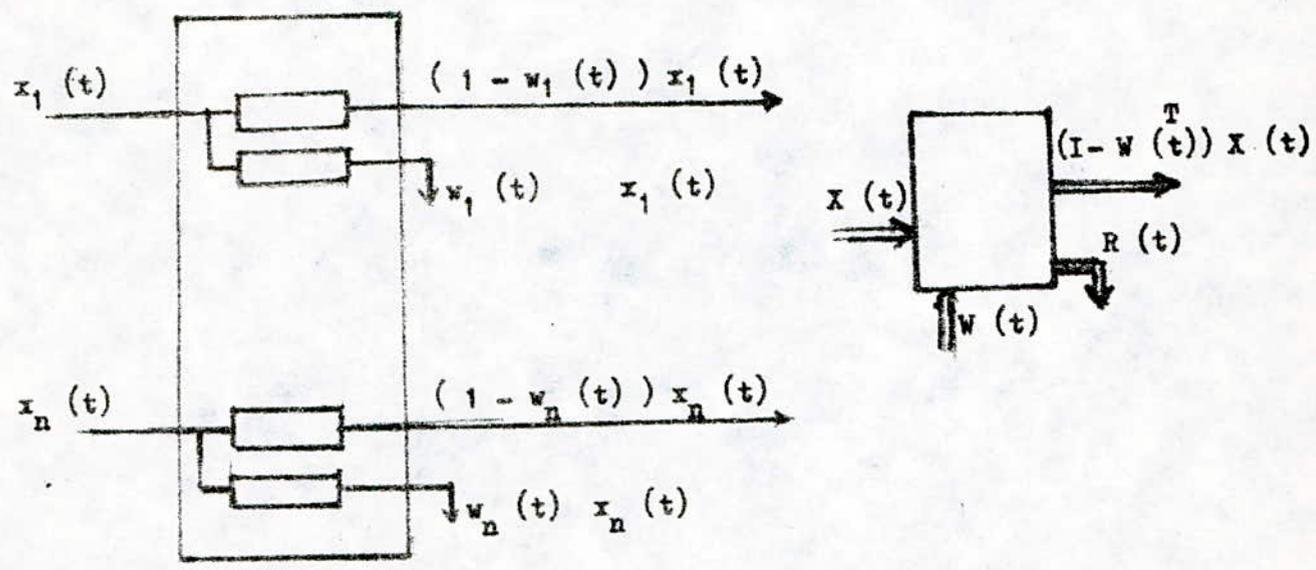


Fig ( 4.6 ) : REBUTS TECHNOLOGIQUES

$w_i(t)$  désigne le rebut correspondant à  $x_i(t)$ , il est exprimé en valeur relative, telle que :

$$0 \leq w_i(t) \leq 1$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Il représente les pièces défectueuses, n'ayant pas les références nécessaires pour pouvoir être assemblés au niveau du filtre stoechiométrique. La connaissance du pourcentage de ce rebut permet de prendre ultérieurement des décisions quand aux choix de la valeur moyenne des  $x_i(t)$ .

Dans les systèmes nécessaires réels, le pourcentage est calculé en testant des échantillons prélevés à divers niveaux.

à l'entrée  $i$ , le taux de rebut est :  $w_i(t) x_i(t)$  ( Fig 4.6 )

ce qui donne une valeur moyenne nécessaire de :  $\bar{x}_i^*$  égale à

$$\bar{X}^* = (I - \bar{W}^T)^{-1} \bar{X} \tag{4.17}$$

$$\underline{R}(t) = \underline{W}^T(t) X^*(t)$$

$$E [ w_i(t) ] = \bar{w}_i$$

FILTRE STOECHEOMETRIQUE AVEC REBUT TECHNOLOGIQUE

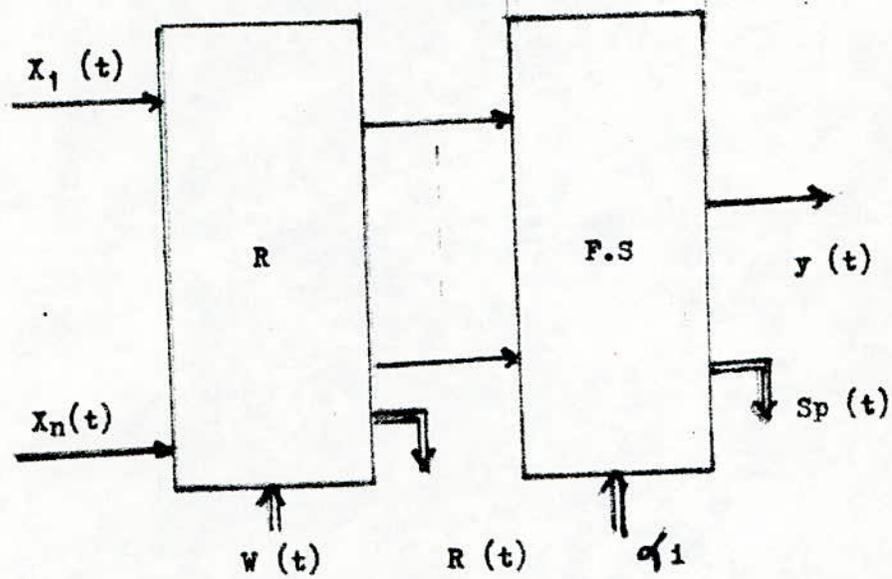


Fig ( 4.8 ) : FILTRE STOECHEOMETRIQUE AVEC REBUT

Son modèle mathématique est donné par :

$$\max y(t) = \min \left[ \frac{(1 - w_1(t)) x_1(t), \dots, (1 - w_n(t)) x_n(t)}{\alpha_1 \quad \alpha_n} \right]$$

(4.18)

IV.5. FILTRE STOECHEIOMETRIQUE AVEC REBUT ET SATURATION

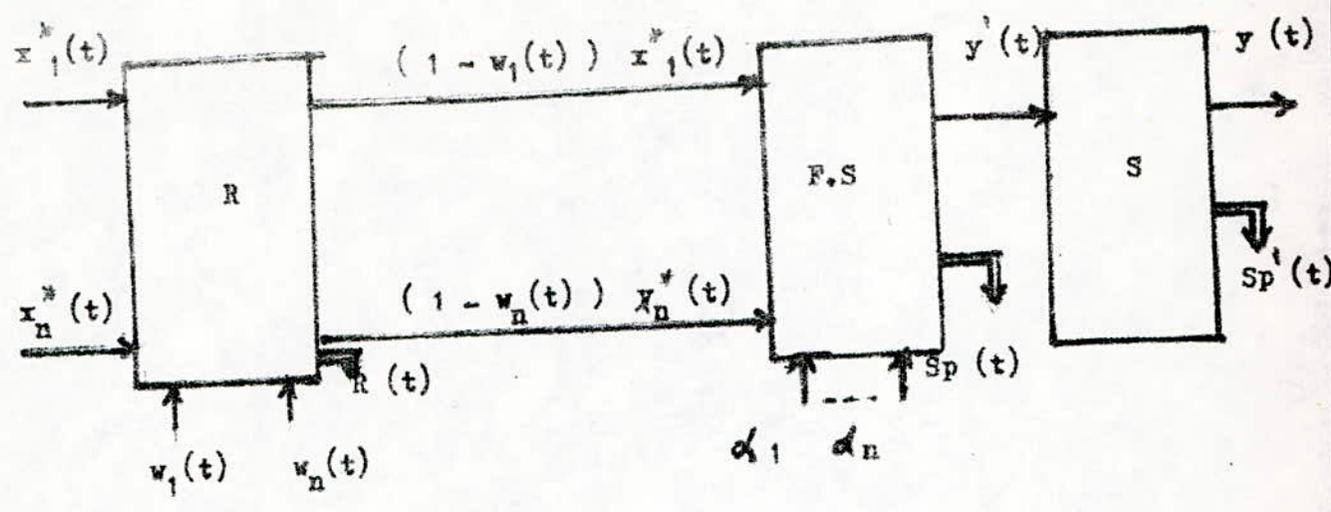
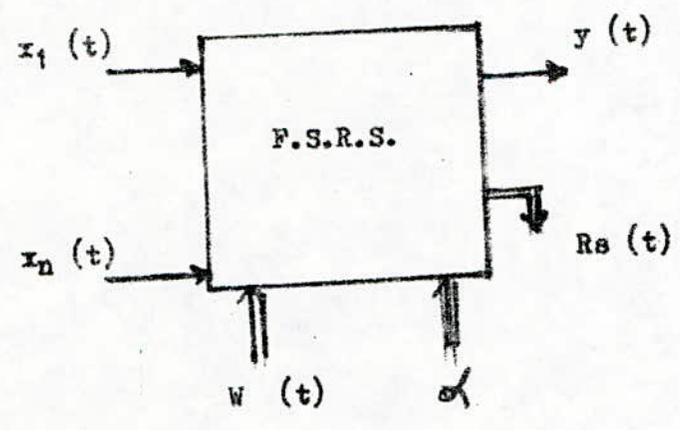


Fig ( 4.8 ): FILTRE STOECHEIOMETRIQUE AVEC REBUTS ET SATURATION.

En tenant compte du rebut et de la saturation dans une unité de montage, le schéma fonctionnel peut être représenté par le dispositif ci-dessus. Il sera noté F.S.R.S.



$R_s(t)$  représente l'ensemble des éléments n'ayant pu être assemblés soit dû au surplus dégagé par le F.S, soit dû à la saturation.  
Modèle mathématique du F.S.R.S.

$$\max y(t) = \min \left( \frac{(1 - w_1(t)) x_1^*(t)}{\alpha_1}, \dots, \frac{(1 - w_n(t)) x_n^*(t) S}{\alpha_n} \right)$$

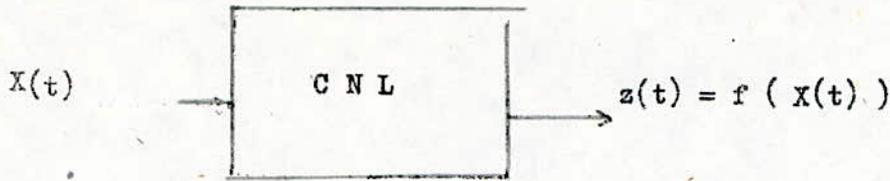


Fig. ( 4. ) : Sous systeme non lineaire

La presence du sous-systeme non lineaire caracterisé par son operateur  $f$  sert à modeliser le phenomene " d'echelle de fonctionnement d'unité de production . " Cette fonction  $f$  peut etre dans la plupart des cas en pratique localement convexe ou localement concave .

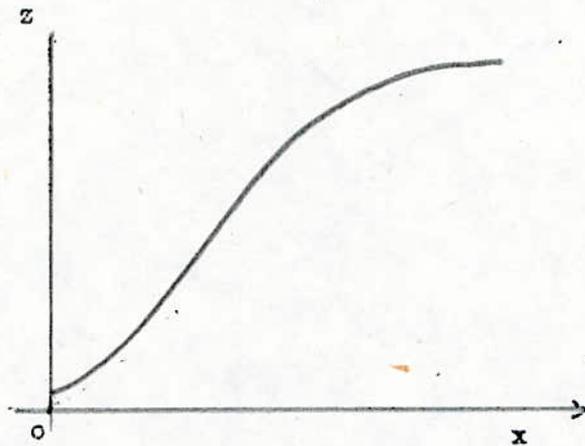


Fig. ( 4. ) : Echelle de foctionnement

Le developpement en serie de Taylor d'une fonction  $f(x)$  donne

$$f(x_0 + \Delta x) \approx f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} \Delta x + \frac{f''(x_0)}{2!} \Delta x^2 + \dots$$

- Si  $f(x)$  est localement convexe au point  $x = x_0$  on a

$$f''(x_0) > 0$$

- Si  $f(x)$  est localement concave au point  $x = x_0$  on a

$$f''(x_0) < 0$$

La présence du sous-système non linéaire dans le système stoechiométrique nous contraint d'analyser un problème d'optimisation auxiliaire vu que le flux de composants varie avec le temps.

Problème d'optimisation posé :

Pour le système de la Fig. ( 4. )

avec  $x(t)$  tel que

$$\begin{aligned} & - x(t) \geq 0 \\ & - \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = \bar{x} \\ & - x(t) \leq x_m \end{aligned}$$

Il faut trouver  $x(t)$  tel que

$$z = \int_0^T z(t) dt = \int_0^T f(x(t)) dt \longrightarrow \max$$

Dans le cas où la fonction  $f$  est continue, le développement en série de Taylor au point  $\bar{x}$  donne

$$\int_0^T f(\bar{x} + \Delta x) dt = \int_0^T f(\bar{x}) dt + \int_0^T f'(\bar{x}) \Delta x(t) dt + \int_0^T \frac{1}{2} f''(\bar{x}) \Delta x^2(t) dt + \dots$$

$$= f(\bar{x}) T + \int_0^T f'(\bar{x}) (x(t) - \bar{x}) dt + 0,5 f''(\bar{x}) \int_0^T (x(t) - \bar{x})^2 dt + \dots$$

$$= f(\bar{x}) T + 0,5 f''(\bar{x}) w^2$$

$w^2$  a le sens de distance dans l'espace  $L^2(0, T)$  ou de la variance si  $\Delta x(t)$  est un processus aléatoire.

On peut conclure que dans le cas où  $x(t) = \bar{x} + \Delta x(t)$

$$\Delta x(t) \text{ est une fonction avec } \frac{1}{T} \int_0^T \Delta x(t) dt = 0 \text{ et } \rho(x(t), \bar{x}) = w^2$$

$L^2(0, T)$

ou

-  $x(t)$  est un processus aléatoire avec la valeur moyenne égale à  $\bar{x}$  et une variance égale à  $w^2$

Quand la fonction  $f$  est convexe au point  $X$   $z$  augmente quand  $w^2$  augmente  
(  $f''(X) > 0$  )

Quand la fonction  $f$  est concave, c'est à dire lorsque  $f''(X) < 0$ ,  $z$  augmente  
quand  $w^2$  diminue

Remarque :

L'existence de plusieurs stock donne la possibilité d'obtenir la fluctuation  
( variation ) de la variable  $X(t)$  de tel sorte que  $z$  soit maximale

CONCLUSION

Dans le grand système stoechiométrique, l'existence de stocks avec des  
volumes convenables nous donne la possibilité de générer des fonctions  $X(t) + r(t)$   
et  $y(t) + r(t)$  de telle façon que nous puissions atteindre le maximum à la  
sortie de chaque Filtr Stoechiométrique et à la sortie de chaque sous système  
non linéaire.

Dans le cas de volumes de stock trop petits, la qualité de contrôle diminue  
nettement.

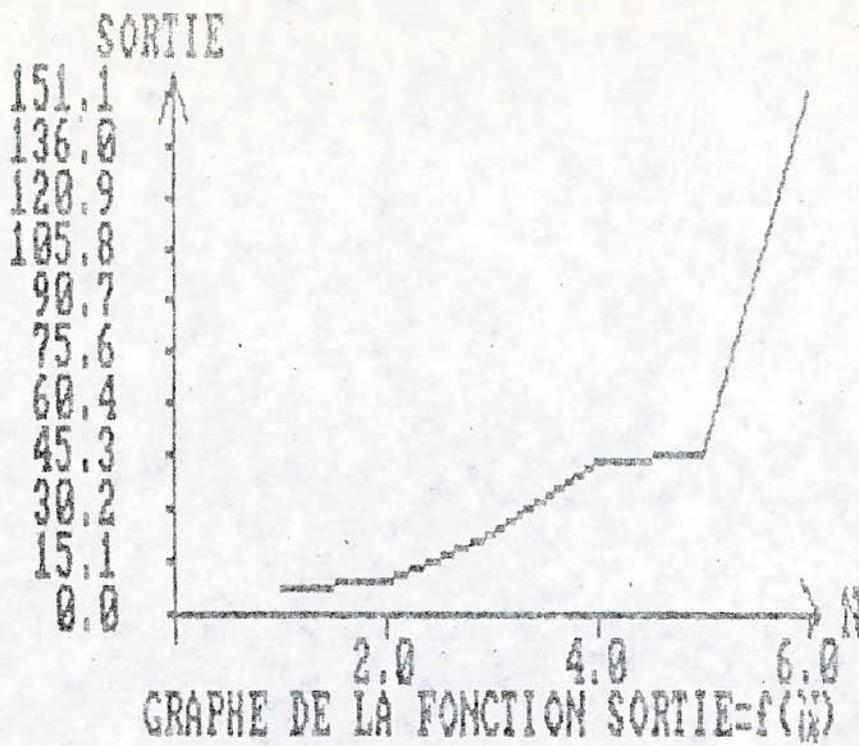


Fig.(4.I3): CONTROLE DE LA SORTIE : PARTIE NON LINEAIRE CONVEXE

---

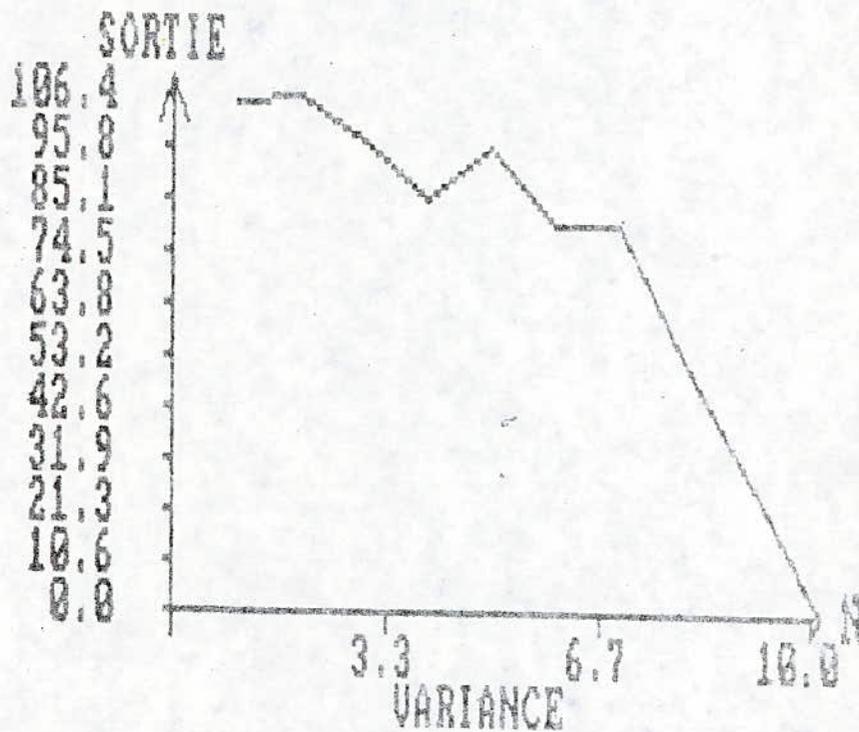


Fig.(4.I4): CONTROLE DE LA SORTIE : PARTIE NON LINEAIRE CONCAVE

---

CHAPITRE V

---

ETUDE EXPERIMENTALE : T.V.C.

---

ETUDES EXPERIMENTALE DANS L'INDUSTRIE ELECTRONIQUE

Les études en simulation, présentes dans cette étude, illustrent bien la possibilité offerte pour la commande des systèmes stoechiométriques.

Le but final demeure toujours l'application des méthodes développées à des systèmes réels. Très utile pour une meilleure compréhension des phénomènes, les études en simulation ne sauraient constituer à elles seules une justification parfaite de la validité de la solution proposée. C'est pourquoi, il nous semble intéressant de présenter ici un exemple de décomposition d'un système électronique en l'occurrence le T.V.C. de S.B.A. Nous développons surtout la décomposition de l'appareil en tant que grand système stoechiométrique.

Cette unité de montage, considérée comme un système entier, a l'avantage d'être décomposable en plusieurs sous-systèmes. Vu le progrès rapide de la technologie, la modernisation de certains sous-systèmes se fera aisément, sans avoir recours à modifier le système global.

Le produit comprend au niveau du montage un certain nombre de sous-ensembles réalisés auparavant, ainsi que des pièces élémentaires. Le tévéiseur ( Niveau 0 ) est constitué au montage de plusieurs sous-ensembles du niveau ( 1 ) se décompose en des sous-ensembles et des pièces élémentaires ( Niveau 2 ), et ainsi de suite.

Il existe pour chaque ensemble et sous-ensemble une nomenclature qui répertorie les éléments nécessaires à cet assemblage.

Le système entier comporte six (6) niveaux. Il est représenté par le modèle fonctionnel de la figure 5.1.

Une liste multiniveau a été établie ( voire annexe B.1 ), elle présente pour chaque composante : sa position dans la structure hiérarchique de référence, son taux de rebut et les quantités par ( coefficient stoechiométrique ) composante nécessaire.

De cette décomposition, il sera beaucoup plus aisé d'établir une bonne commande hiérarchique et de localiser les éventuels aléas qui pourraient exister dans la chaîne de montage.

Le calcul des besoins consiste donc à " parcourir les branches de l'arbre " pour déterminer les quantités nécessaires à la réalisation du produit. Cette opération ne présente aucune difficulté, sauf dans le cas de la détermination des besoins nets lorsqu'il existe des stocks de produits intermédiaires à différents niveaux. Ce calcul se complique du fait qu'au moment où on l'exécute, on doit tenir compte des en-cours de fabrication, donc se baser sur des stocks prévisionnels. On conçoit que ce calcul, à priori simple, puisse être en réalité très compliqué, puisqu'en plus de ces prévisions basées sur le réel, il faut tenir compte des aléas de fabrication et des quantités économiques.

.I.2. STOCKS :

Le rôle des stocks est d'assurer à la production des T.V.C. la fourniture des produits dont elle a besoin, quand elle a besoin. Pour assurer ce rôle, un stock est mis en place, dont le premier objectif est de permettre la régulation de la production. Ce rôle d'amortisseur peut intervenir à n'importe quel stade de la production avant, entre deux opérations, ou après. Grâce à la création de stock on peut :

- Maintenir l'indépendance entre opération et par conséquent permettre une certaine souplesse dans l'ordonnancement.
- Faire face à la variation des délais d'approvisionnement soumis à des aléas indépendants de l'unité ( stock en amont de la production ) : ( réf  $V_1$  ).
- Assurer un taux de service élevé vis à vis des clients, tout en répondant à des délais de livraisons beaucoup plus courts que les délais de fabrication ( stock en aval de la production ) : ( réf  $V_T$  ).

Il est évident que ces possibilités sont limitées car on ne peut, pour des raisons économiques, stocker n'importe quelle quantité de n'importe quel produit.

Aussi il est nécessaire de contrôler d'une manière optimale les stocks des composantes.

VI.3. LES REBUTS :

Les rebuts sont occasionnés par des défauts physiques ou de procédé. Les éléments sont généralement défectueux en raison des difficultés rencontrées pendant la production. Les problèmes peuvent être engendrés par contamination, microfissure, manque de précision dans le traitement, défaut de masquage ou d'ajustage, alignement insuffisant, etc... Si l'une, quelconque, de ces conditions existe, quelques éléments peuvent finir par être défectueux.

La liste multi-niveaux nous donne les différents coefficients de rebut occasionné dans le processus de fabrication du téléviseur. Celui-ci se résume à une valeur de 1,5 % pour le système entier.

LEGENDE DES FILTRES FREQUENCIOMETRIQUES : Fig. 5.1

Niveau 0 :

- F S 0 : produit final - poste T V C.

Niveau 1 :

- F S 1 : . Protection emballage haut
- F S 1.2 : . Protection emballage bas
- F S 1.3 : . Montage carton
- F S 1.4 : . Déviateur
- F S 1.5 : . Bloc de commande
- F S 1.6 : . Chassis
- F S 1.7 : . Cosse.

Niveau 2 :

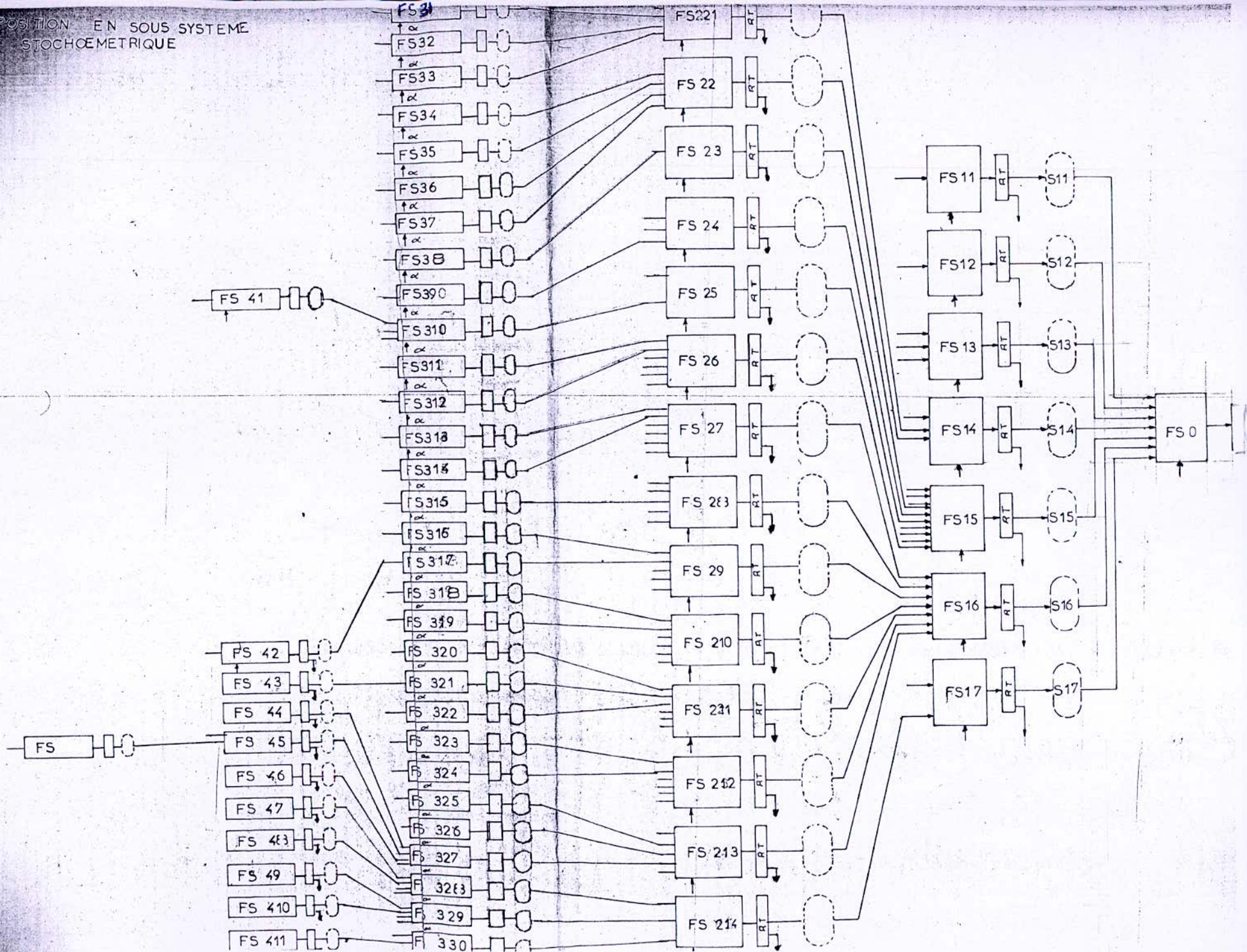
- F S 2.1 : . Montage fil connecteur
- F S 2.2 : . Montage fil connecteur
- F S 2.3 : . Montage fil connecteur
- F S 2.4 : . Montage fil connecteur
- F S 2.5 : . Montage fil connecteur
- F S 2.6 : . Bloc synthoniseur
- F S 2.7 : . Oscillateur
- F S 2.8 : . C I vertical
- F S 2.9 : . C I vidéo
- F S 2.10 : . Décodeur PAL.
- F S 2.11 : . C I prise tube
- F S 2.12 : . C I Audio.

Niveau 3 :

- F S 3.9 : . Cable blindé
- F S 3.20 : . Fil connecteur
- F S 3.21 : . Cable
- F S 3.24 : . C I T D A 201
- F S 3.26 : . Montage fil toisent
- F S 3.27 : . Cadre chassis
- F S 3.28 : . Sortie verticale
- F S 3.29 : . Montage T R 104
- F S 3.30 : . Filtre F I.

Les autres filtres sont des filtres élémentaires.

DECOMPOSITION EN SOUS SYSTEME  
STOCHOMETRIQUE





CHAPITRE VI:

CONTROLE OPTIMAL



VI.1. - GENERALITES :

Les processus physiques qui trouvent leur application en technique sont en règle générale commandés. Dès lors, il s'agira de rechercher la commande optimale du processus, selon tel ou tel critère.

Mathématiquement formulé, les problèmes mentionnés relèvent du calcul des variations, mais les méthodes variationnelles traditionnelles s'avèrent néanmoins inaptes à résoudre d'innombrables problèmes importants pour les techniques actuelles, en particulier le problème de contrôle du grand système stœchiométrique.

POSITION DU PROBLEME :

En reprenant le modèle fonctionnel du système tout entier (Fig on peut formuler plusieurs types de problèmes de contrôle optimal.

1)- Pour les entrées  $x_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  et pour tout volume de stock, il faut trouver les variables de contrôle  $s_i(t)$  et  $r(t)$  de façon à obtenir  $\max \int_0^T f(y) dt$ , c'est-à-dire le maximum du produit final sur la période T.

2)- Pour les entrées  $x_i(t)$  données  $i = 1, 2, \dots, n$  et pour les contraintes d'inégalités relatives au volume total de stock noté  $\sum W \leq \bar{W}$  on devra trouver la répartition du volume  $W_{adm}$  admissible de stock pour obtenir le  $\int_0^T f(y)(t) dt$  i.e. Le maximum du produit final, mais cette fois avec l'hypothèse que toutes les variables de contrôle  $s_i(t)$  et  $r(t)$  soient optimales.

3)- Pour tout le volume de stock fixé préalablement, on déterminera les commandes  $s_i(t)$  et  $r(t)$  en temps réel, de façon à obtenir: - le max  $\int_0^T y_i(t) dt$   
- le min  $\| Sp(t) \|\|$

Dans les points mentionnés , le probleme de controle optimale de ce systeme se caracterise par le choix :

- des variables de commande  $s_i(t)$  et  $r(t)$
- du volume total de stocks et de la façon dont il est reparti . Les contraintes d'inégalité en temps reel sont prise en consideration de façon à ce que le comportement de la variable de sortie observable  $f ( y+ r )$  soit le plus vraisemblable : i.e. de façon à atteindre le maximum du produit final , c.a.d.  $\max \int_0^T f ( y(t) + r(t) ) dt$

Dans ce cas , les variables de commande déterminées sont dites optimales ;  $s_{i \text{ opt}}(t)$  ,  $v_{\text{opt}}(t)$

Cependant, en temps reel , ce n'est pas toujours evident de trouver la solution optimale du probleme de controle auquel la notion d'optimalité presente un seuil  $w_0$  defini par le  $\max \int_0^T y(t)$  . Ce seuil  $w_0$  est la solution auxiliaire du probleme de controle du systeme tout entier en temps differé

VI.2. CONTROLE EN TEMPS DIFFERE

VI.2.1. STRUCTURE OPTIMALE D'UN SOUS-SYSTEME STOECHIMETRIQUE :

Le contrôle d'un sous-système pose certaines contraintes dont la solution n'est pas toujours évidente. En effet, réaliser une commande optimale ne signifie pas toujours avoir une sortie maximale, mais obtenir une commande qui corresponde au meilleur fonctionnement du système, c'est-à-dire, la valeur maximale possible de la fonction objective.

Le choix de la structure optimale revient à introduire des stocks et, déterminer les volumes indispensables à ces stocks pour résoudre les problèmes de contrôle posés.

Dans la modélisation de stock, nous avons introduit la notion de distance dans l'espace métrique, nous pouvons ainsi définir un stock par une boule (fermée) de centre  $X_i(t)$  et de rayon  $V_{io}$  :  $B_{if}(X_i(t), V_{io})$ . C'est ainsi que, pour une entrée donnée  $X_i(t)$ , nous disposons d'un ensemble de variables de commande  $S_i(t)$ , tel que :

$$d(X_i(t), X_i(t) + s_i(t)) < V_{io}$$

$$V_{im} = 2 V_{io}$$

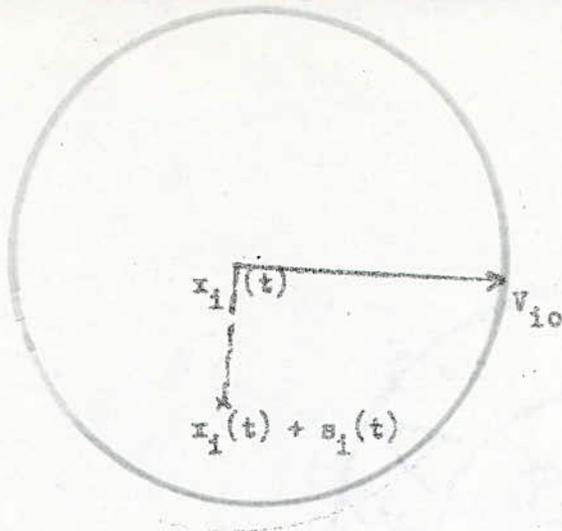


Fig : 6.1 : Modele de stock

Les fonctions  $s_1(t)$ , régulatrices des entrées du filtre stoechiométrique, représenteront les quantités à ajouter ou à déduire aux entrées pour optimiser la sortie. En conséquence, ces quantités ne pourront dépasser les valeurs des volumes initiaux des pertes aux entrées respectives.

Nous allons examiner différentes approches possibles dans l'obtention d'une commande de stock.

Considérons, tout d'abord, un système à deux entrées.

VI 2.1. - SYSTEME A 2 ENTREES :

$$\begin{aligned} \text{avec : } x_1(t) : & \int_0^T x_1(t) dt = x_1 \\ x_2(t) : & \int_0^T x_2(t) dt = x_2 \\ s_1(t) : & \int_0^T s_1(t) dt = 0 \\ s_2(t) : & \int_0^T s_2(t) dt = 0 \end{aligned}$$

Nous avons :

$$\max y(t) = \min \left( \frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1}, \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2} \right) \quad (5.1)$$

On peut faire l'hypothèse que :

$$\frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1} = \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2} \quad (5.2)$$

Dans ce cas :

$$\max y(t) = \frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1} = \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2}$$

Différents cas peuvent se présenter :

1er Cas :  $V_{10} = 0$        $V_{20} = 0$

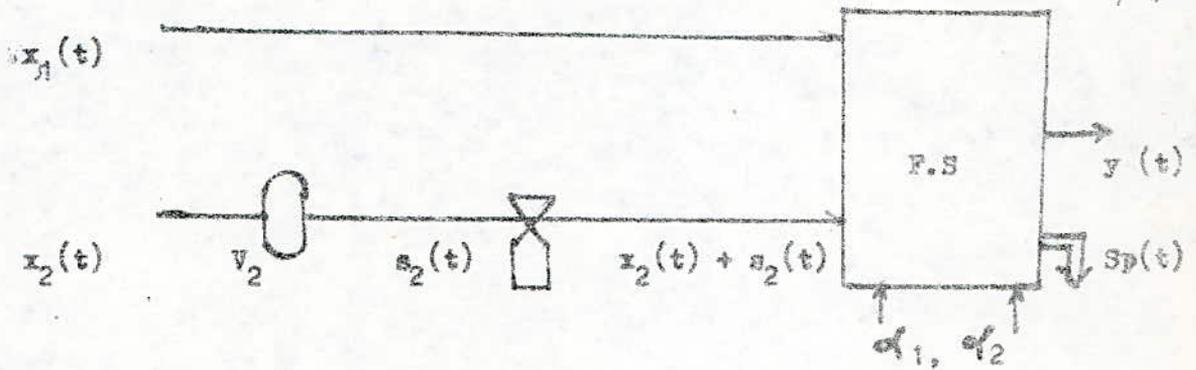


Fig : 6.2 : Systeme à 2 entrées avec un seul volume

Cette solution est optimale si :  $\frac{x_1(t)}{\alpha_1} = \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2}$

C'est-à-dire:  $\max y(t) = \frac{x_1(t)}{\alpha_1} = \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2}$  (6.3)

On peut déterminer le stock ( volume nominale )  $V_{nom}$

$$V_{nom} = d \left( \frac{x_1(t)}{\alpha_1} - \frac{x_2(t)}{\alpha_2} \right) \quad (6.4)$$

Avec  $V_{nom} = V_{10} + V_{20}$       comme  $V_{10} = 0$ ,  $V_{nom} = V_{20}$

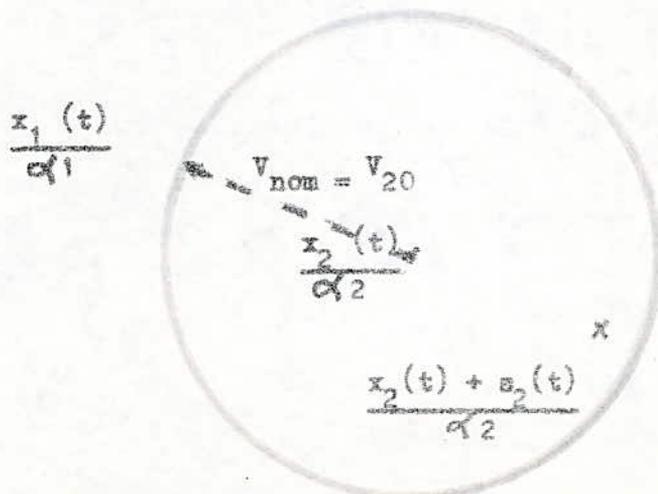


Fig : 6.3 : Modele de Stock

Le contrôle optimal sera obtenu en générant  $s_2(t)$  tel que :

$$s_{2 \text{ opt}}(t) = \frac{\alpha_2 x_1(t) - \alpha_1 x_2(t)}{\alpha_1} \quad (6.5)$$

$$\text{et } \sup_{t \in [0, T]} \left| \int_0^t s_1(\tau) d\tau \right| = V_{10} = V_{\text{non}} \quad (6.6)$$

Si on considère l'autre alternative,

$$\text{c'est-à-dire : } d \left( \frac{x_1(t)}{\alpha_1}, \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2} \right) > V_{20}$$

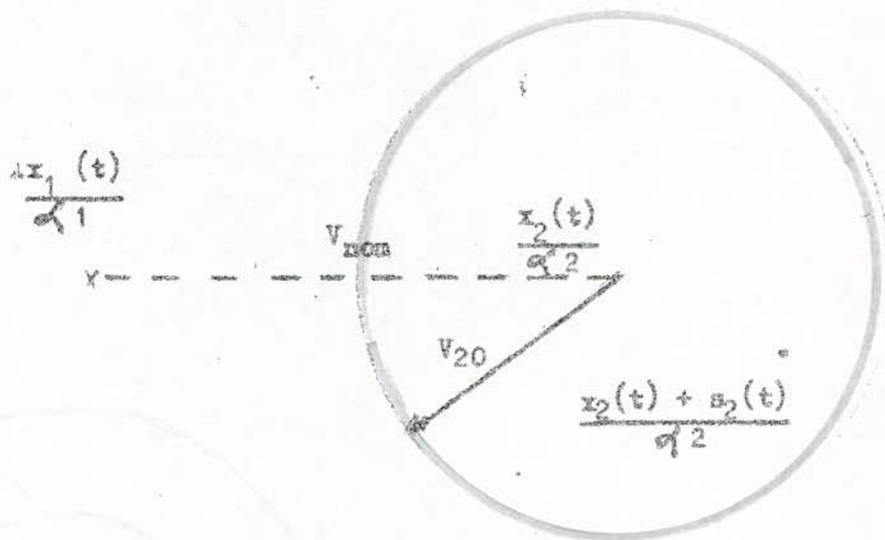


Fig. 6.4 : Representation du deuxième cas

Le contrôle optimal ne peut être obtenu, car il n'existe pas de  $s_2(t)$  qui puisse respecter notre hypothèse  $\left( \frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1} = \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2} \right)$  et

donner  $\max y(t)$

Il faut déterminer donc,  $s_2(t)$  en fonction de  $x_2(t)$  et  $V_{20}$ .

2 cas CAS :

$$V_{10} \neq 0, V_{20} \neq 0, V_{10} + V_{20} = V_{nom}, V_{nom} = d \left( \frac{x_1(t)}{\alpha_1}, \frac{x_2(t)}{\alpha_2} \right)$$

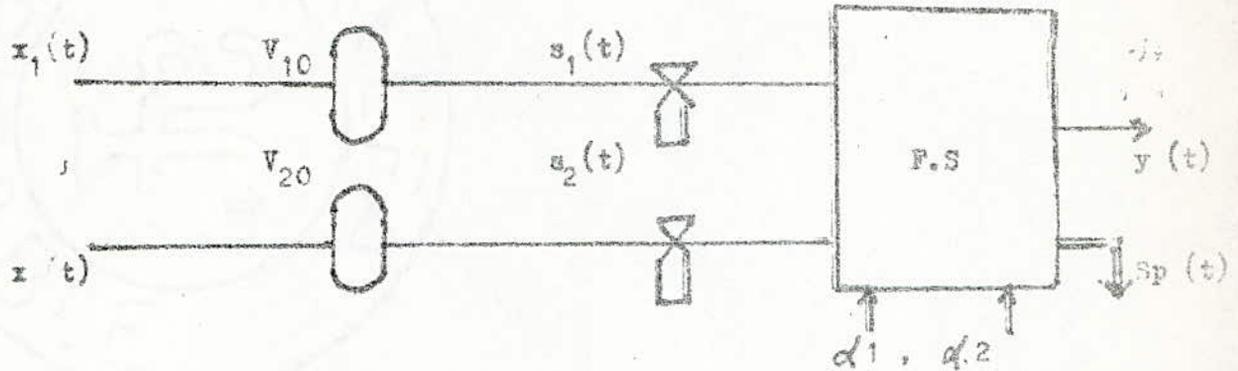


Fig : 6.5 : Systeme à 2 entrées , 2 volumes de stock

$$\begin{aligned} x_1(t) &: \int_0^T x_1(t) dt = x_1 \\ x_2(t) &: \int_0^T x_2(t) dt = x_2 \\ s_1(t) &: \int_0^T s_1(t) dt = 0 \\ s_2(t) &: \int_0^T s_2(t) dt = 0 \end{aligned}$$

Plusieurs hypothèses sont possibles, dans un premier cas on peut nommer une solution optimale au point d'intersection des deux boules fermées respectivement.

$$B_{1f} \left( \frac{x_1(t)}{\alpha_1}, V_{10} \right) \text{ et } B_{2f} \left( \frac{x_2(t)}{\alpha_2}, V_{20} \right)$$

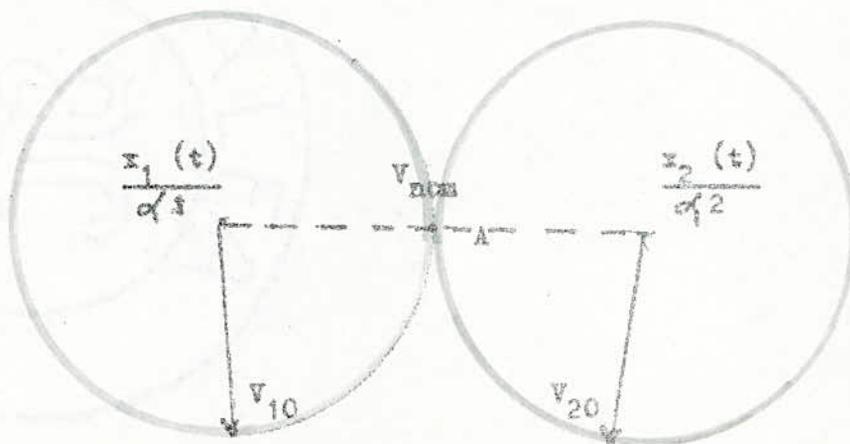


Fig 6.6 : Modèle

Ainsi, le contrôle optimal au point A est caractérisé par :

$$d \left( \frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1}, \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2} \right) = 0$$

$$\Rightarrow \frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1} = \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2} \quad (6.8)$$

$s_1(t)$  est une fonction de  $x_1(t)$  et de  $V_{10}$ , et étant fixée, elle détermine  $s_2(t)$ , pour satisfaire notre hypothèse :

$$\frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1} = \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2}, \quad \forall t \in [0, T]$$

On peut prendre  $V_{10} \in [0, V_{nom}]$  c'est-à-dire qu'on a un degré de liberté dans le choix de  $s_1(t)$

REMARQUE:

Les  $x_1(t) + s_1(t)$  et  $x_2(t) + s_2(t)$  sont parfaitement corrélées pour cette solution optimale.

Dans le cas où  $V_{10} + V_{20} > V_{nom}$

On peut trouver une solution optimale dans le domaine d'intersection des deux boules fermées.

$$B_{1f} \left( \frac{x_1(t)}{\alpha_1}, V_{10} \right), \quad B_{2f} \left( \frac{x_2(t)}{\alpha_2}, V_{20} \right) \quad (6.9)$$

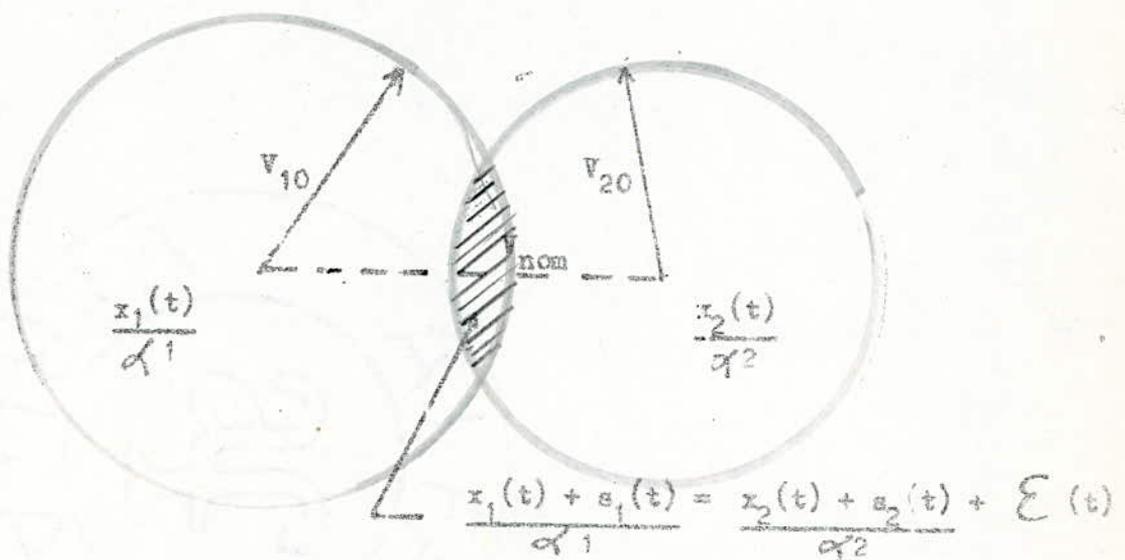


Fig : 6.7 : Modele de stock

Ainsi, le contrôle optimal, dans ce domaine, est caractérisé par :

$$d \left( \frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1}, \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2} \right) = \epsilon(t) \quad (6.10)$$

$$\frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1} = \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2} + \epsilon(t) \quad (6.11)$$

$$\text{et } \max y(t) = \min \left( \frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1}, \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha_2} \right) \quad (6.12)$$

Dans ce cas, on peut donc affaiblir le problème de contrôle optimal. Le dernier est simplifié avec une meilleure manœuvre dans le choix de  $s_i(t)$   $i = 1, 2$

Cas où  $V_{10} + V_{20} < V_{nom}$

Dans ce cas, on ne peut pas obtenir le contrôle optimal du système, car il n'existe pas de points d'intersection entre les boules fermées.

$$B_1 \left( \frac{x_1(t)}{\alpha_1}, V_{10} \right) \text{ et } B_2 \left( \frac{x_2(t)}{\alpha_2}, V_{20} \right)$$

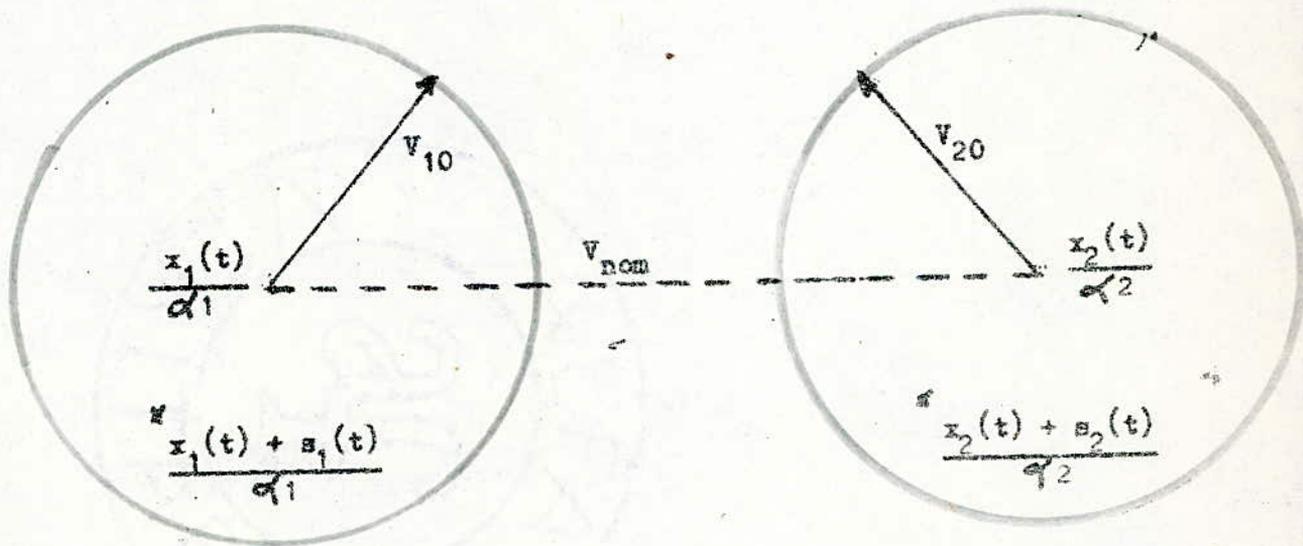


Fig : 6.8 : Modele de stock

Il n'existe pas une solution qui peut satisfaire notre hypothèse, mais on garde quand même un degré de liberté dans le choix de  $V_{10}$  et  $V_{20}$ .

CONCLUSION :

En ayant  $x_1(t)$  et  $x_2(t)$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , on détermine

$$d \left( \frac{x_1(t)}{\alpha_1}, \frac{x_2(t)}{\alpha_2} \right) \text{ dans le sens de distance de Kacpnyski} \quad | \quad 16$$

Si le stock peut être supérieur ou égal à  $V_{nom}$ , on peut faire une répartition de  $V_{nom}$  entre  $V_{10}$  et  $V_{20}$ , et on peut obtenir des solutions optimales.

Si le total du stock est plus petit que nécessaire, c'est-à-dire :  $V_{10} + V_{20} < V_{nom}$ , alors il n'existe pas de solution optimale, mais on a le choix de  $V_{10}$  et  $V_{20}$ .

II.2.1.2. - CAS GENERAL :

On a un système à n entrées.

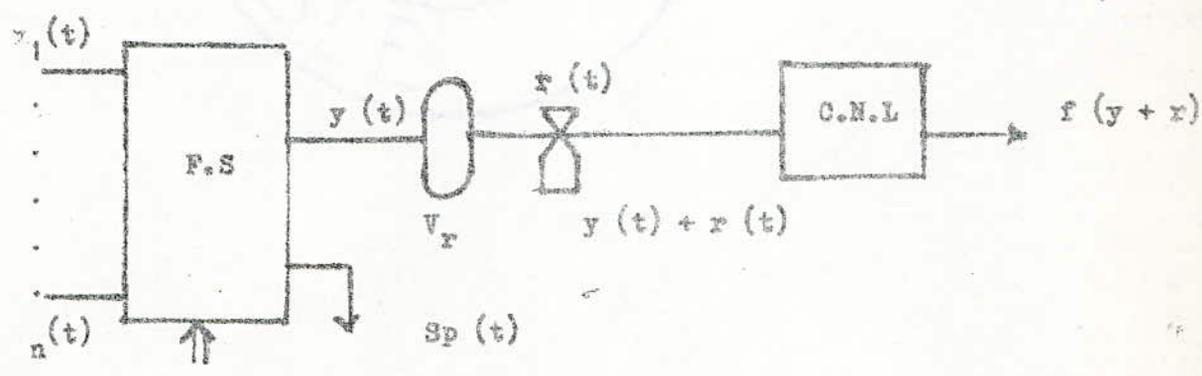


Fig : 6.9 : Cas General

avec :  $x_1(t) : \int_0^T x_1(t) dt = x_1$

$x_n(t) : \int_0^T x_n(t) dt = x_n$

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  donnés.

On garde toujours comme hypothèse la contrainte stoechiométrique.

$$\frac{x_1(t)}{a_1} = \frac{x_2(t)}{a_2} = \dots = \frac{x_n(t)}{a_n} \quad (6)$$

On peut déterminer toutes les distances

$$d(x_i(t), x_j(t)) \quad i, j = 1, \dots, n$$

Ce qui donne la possibilité de créer une matrice de distance D

$$D = \begin{matrix} & x_1(t) & x_2(t) & x_j(t) & x_n(t) \\ \begin{matrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_i(t) \\ x_n(t) \end{matrix} & \left[ \begin{array}{cccc} d(x_1, x_1) & \dots & \dots & d(x_1, x_n) \\ d(x_2, x_1) & & d(x_i, x_j) & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ d(x_n, x_1) & \dots & \dots & d(x_n, x_n) \end{array} \right] \end{matrix}$$

Cette matrice doit être symétrique

$$d(x_i(t), x_j(t)) = d(x_j(t), x_i(t)) \quad (6.14)$$

$$\text{avec : } D(x_i, x_j) = 0 \text{ pour } i = j$$

$$D(x_i, x_j) = \geq 0 \text{ pour } i \neq j$$

Pour chaque paire d'entrées, on sait (voir chapitre III) qu'on peut choisir  $V_{10}$  et  $V_{20}$  tel que :

$$V_{10} \in [0, d(x_1(t), x_2(t))] \quad V_{20} \in [0, d(x_1(t), x_2(t))]$$

$$V_{10} + V_{20} = d(x_1(t), x_2(t)) \quad (6.15)$$

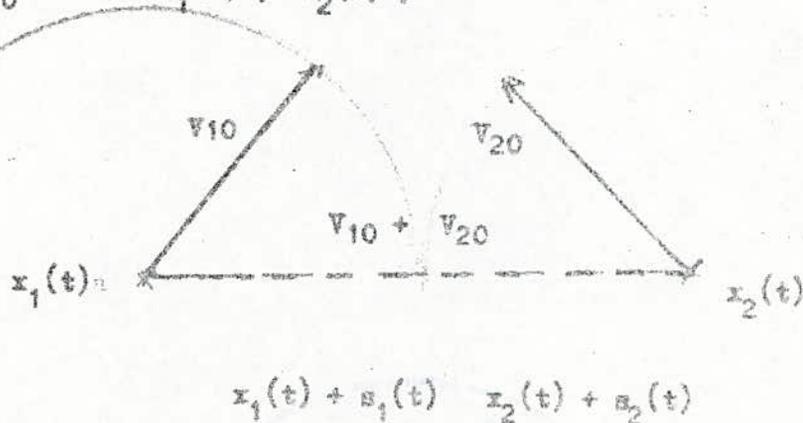


Fig. 6.10 : MODELE de Stock pour une paire d'entrées

Mais pour un triplet, on a plusieurs possibilités. On peut fixer une quelconque fonction, par exemple :

$$x_1(t) \text{ et déterminer } \begin{aligned} \cdot V_{20} &= d(x_1(t), x_2(t)) \\ \cdot V_{30} &= d(x_1(t), x_3(t)) \end{aligned}$$

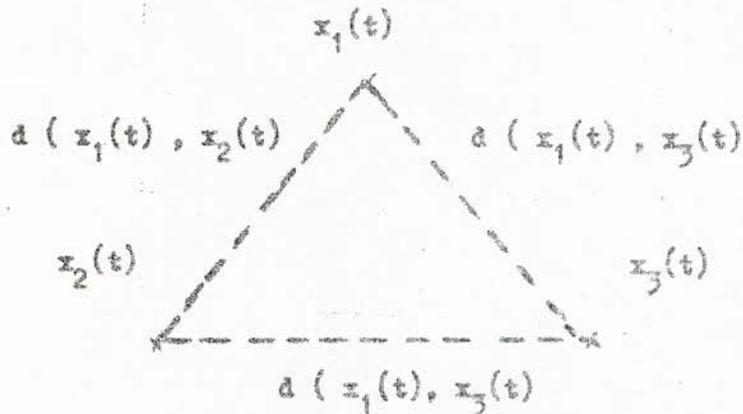


Fig : 6.11 : Modele de Stock pour trois entrées

REMARQUE : Le volume total des stocks, c'est-à-dire  $V_0$  dépendra du choix des entrées sans stocks.

PROPOSITION: En ayant la matrice  $D$ , on peut calculer les sommes des éléments dans les colonnes ou dans les lignes (la matrice des distances est symétrique). Chaque somme sera égale à la somme des volumes des stocks qu'il faut introduire en fixant :  $x_i(t)$   $i$  : le numéro de la colonne ou de la ligne.

$$\begin{array}{c}
 x_1 \\
 x_2 \\
 \vdots \\
 x_j \\
 \vdots \\
 x_n
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 0 & d(x_1, x_j) & \dots & d(x_1, x_n) \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 \vdots & d(x_2, x) & & \vdots \\
 \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\
 \vdots & \vdots & \vdots & d(x_{n-1}, x_n) \\
 \frac{d(x_1, x_n)}{\Sigma} & \frac{d(x_n, x_j)}{\Sigma} & \dots & 0
 \end{bmatrix}$$

$$\Sigma = V_1 + \dots + V_{j-1} + V_{j+1} + \dots + V_n$$

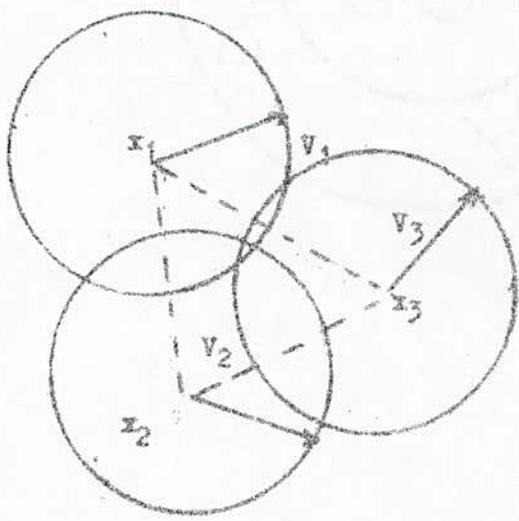
CONCLUSION: Le choix de la valeur minimale ( ou une des valeurs minimales ) donnera la solution du problème de minisation du volume total des stocks.

REMARQUE: Il est possible de généraliser le problème d'optimisation de volume total des stocks.

$$\min \sum_{i=0}^n V_{i0}$$

Dans ce cas,

$$\max y(t) = \min \left( \frac{x_1(t) + S_1(t)}{\alpha_1}, \frac{x_2(t) + S_2(t)}{\alpha_2}, \dots, \frac{x_n(t) + S_n(t)}{\alpha_n} \right) \quad (6.17)$$



$$\frac{x_1 + S_1}{\alpha_1} = \frac{x_2 + S_2}{\alpha_2} = \frac{x_n + S_n}{\alpha_n}$$

Fig. 6.12 : Generalisation du probleme

Il est difficile de résoudre le problème dans le cas général, c'est à dire calculer le

$$\min \sum_{i=1}^n \sup \left| \int_0^T (x_{i_1}(t) + S_{i_1}(t) - (x_{i_2}(t) + S_{i_2}(t))) dt \right| \quad (6.18)$$

$S_1(t), \dots, S_n(t)$

$$\int_0^T S_i(t) dt = 0, \dots, \int_0^T S_n(t) dt = 0$$

Mais on peut essayer de diminuer la valeur de  $\sum_{i=0}^n V_{i0}$  par le procédé suivant :

- 1) - On calcule la matrice D.

- 2) - On trouve la solution du problème d'optimisation, c'est-à-dire :  
on fait le choix de  $x_j(t)$  avec  $V_{j0} = 0$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n V_{i0} = V_0$$

- 3) - On remplace  $x_j(t)$  par une autre fonction

$$x'_j(t) = x_j(t) + s_j(t)$$

- 4) - On calcule la matrice  $D'$  avec  $x'_j(t)$

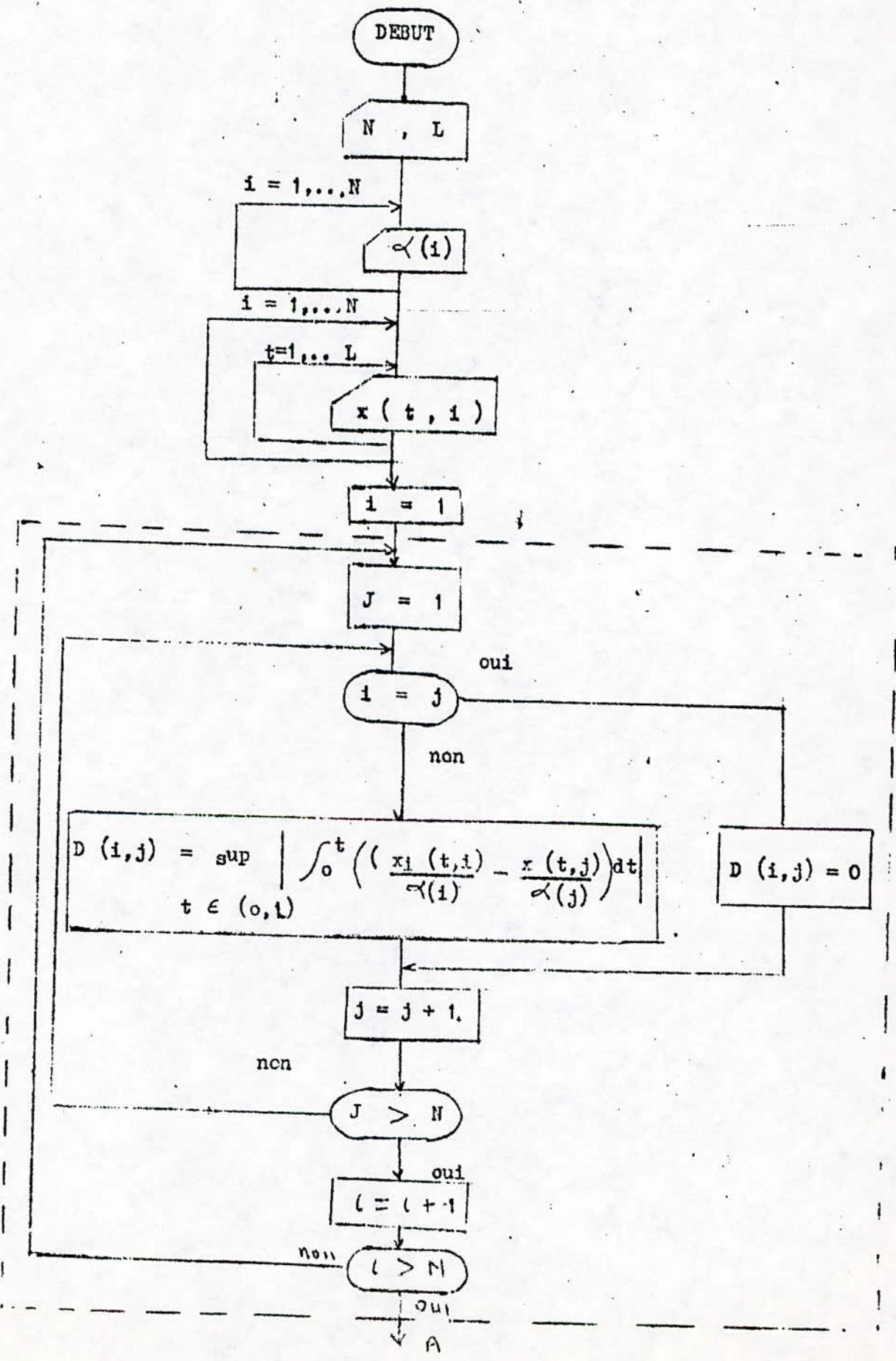
- 5) - On calcule  $V'_0$ , naturellement  $V'_{j0} = 0$

$$\text{si } V'_0 + d(x_j(t) + s_j(t), x_j(t)) \quad V_0$$

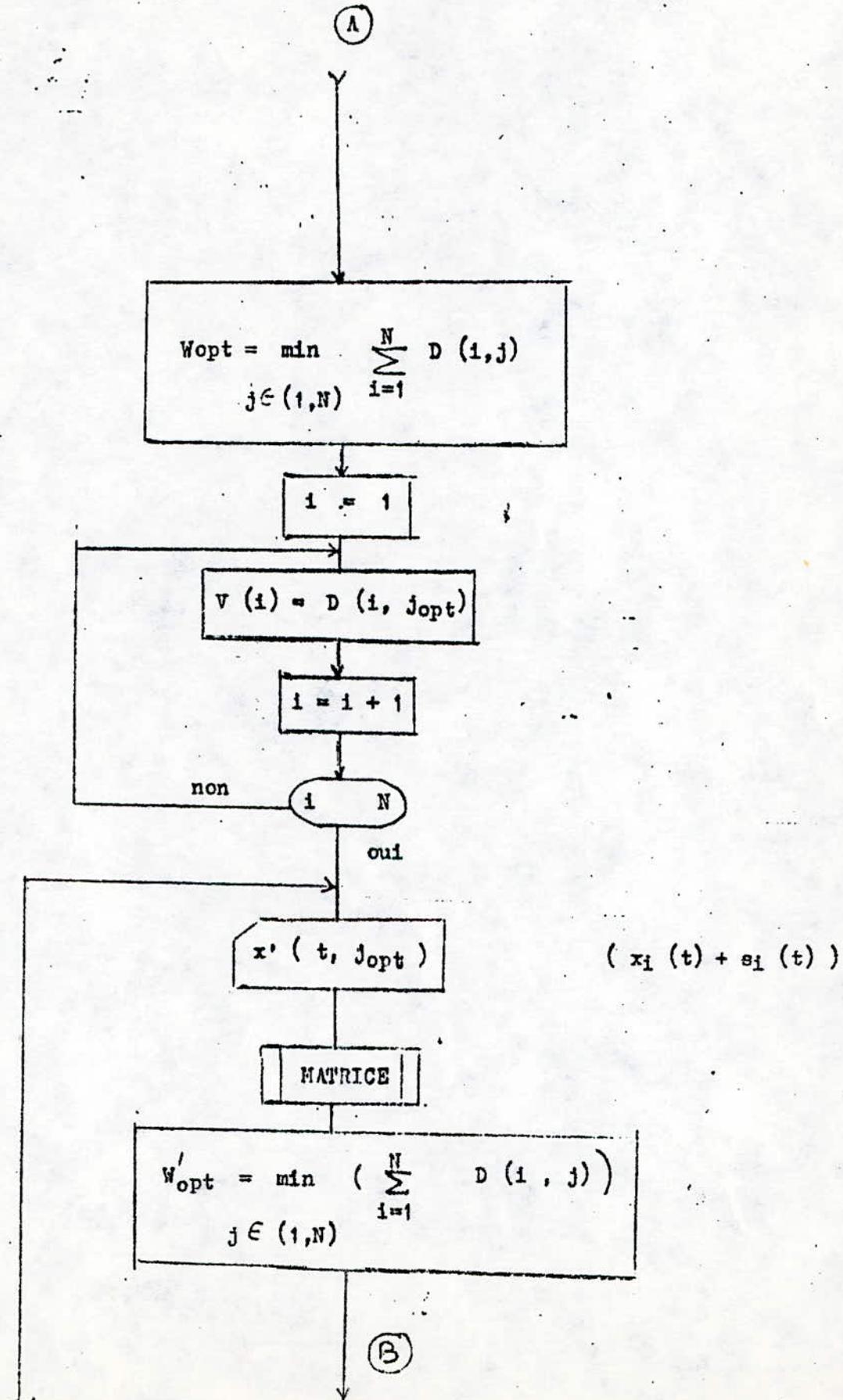
On prend  $V'_0$  comme solution optimale générale. Si ce n'est pas le cas, on gardera  $V_0$ .

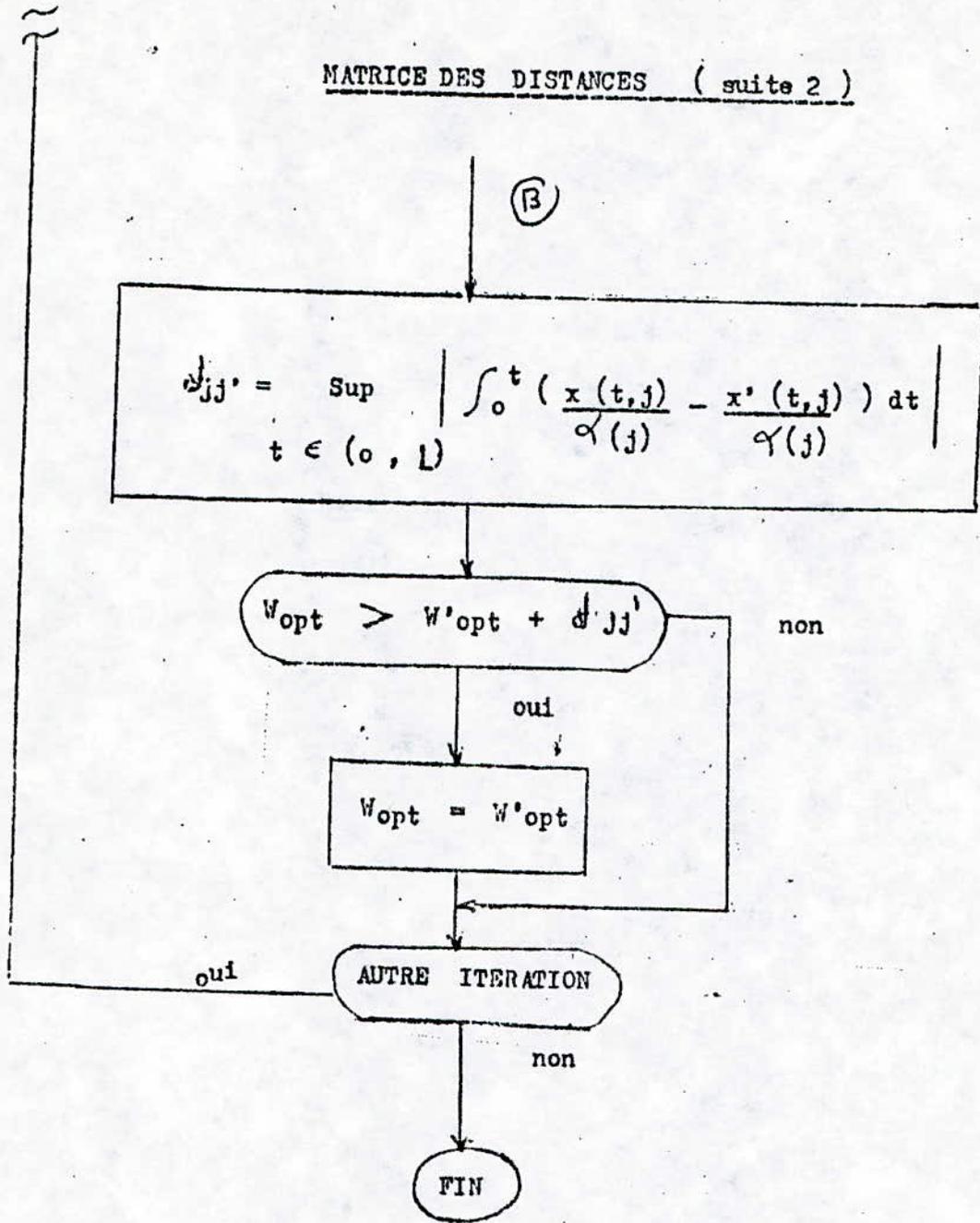
- 6) - On peut répéter les points 3, 4, 5.

MATRICE BES DISTANCES



MATRICE DES DISTANCE (suite)





- SIMULATION NUMERIQUE :

Le but de cette simulation numérique est de montrer les résultats obtenus par l'application de l'algorithme de commande sur un processus réel.

L'exemple choisi est un exemple à quatre entrées, ce qui conduit à une matrice distance ( 4 x 4 ).

Les objectifs recherchés sont le calcul du volume optimal total et sa répartition aux différentes entrées.

Nous avons ainsi simultanément les résultats d'affectation optimale de stock pour une période donnée. Il est donc rapide de combiner ces informations pour déterminer les investissements optimaux de plusieurs périodes.

D'autre part, lorsqu'on étudie les affectations d'une nouvelle période, les données de volume et coût peuvent aisément être extrapolées à partir des données de la période antérieure par des coefficients adaptés.



## MATRICE DES DISTANCES

---

### DONNEES INITIALES

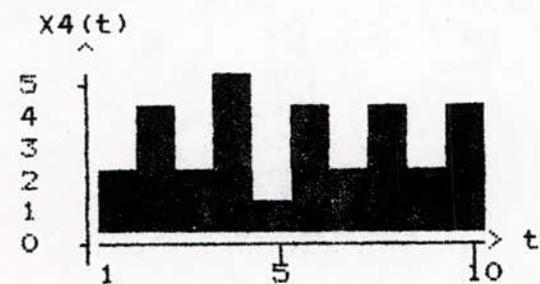
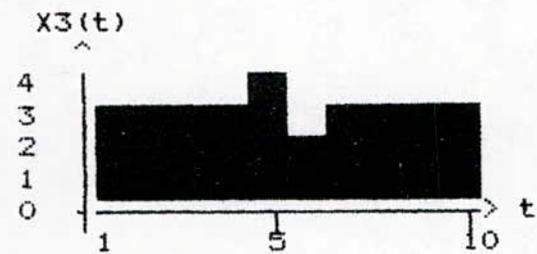
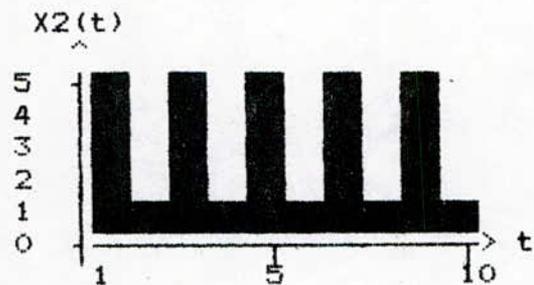
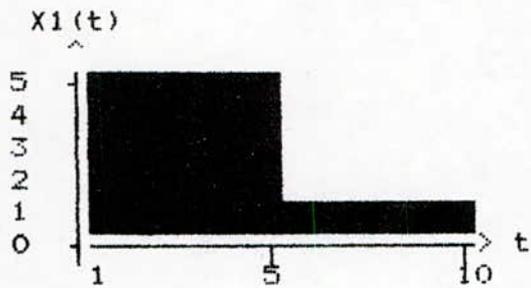
---

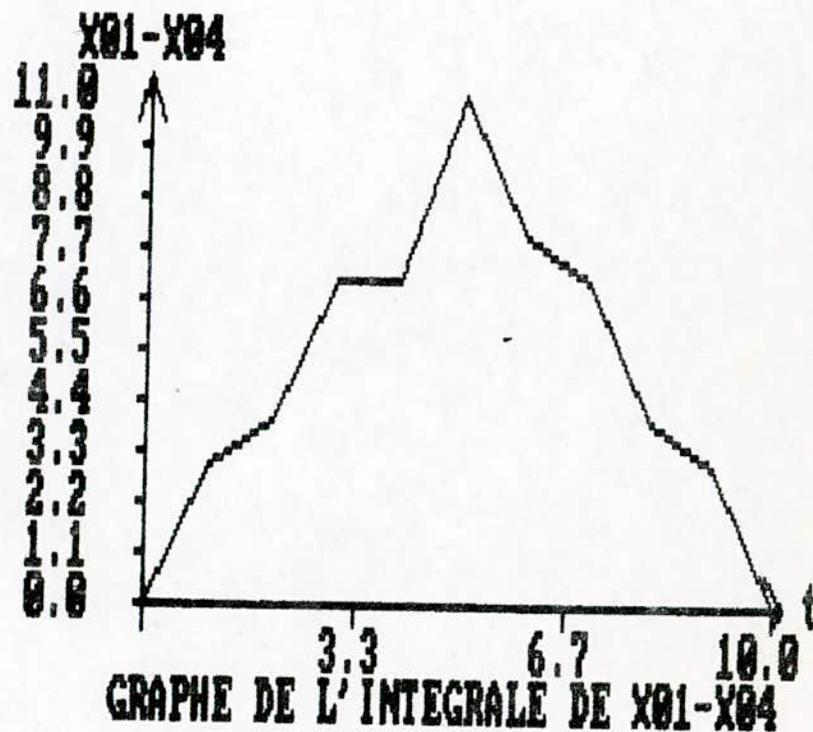
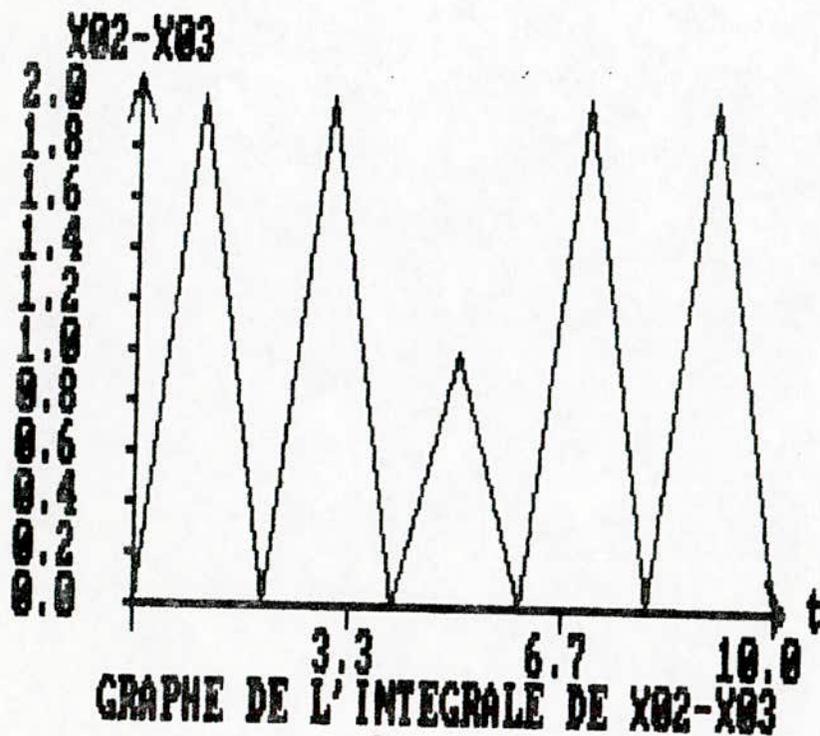
NOMBRE D'ENTREES..... 4  
 NOMBRE DE CAS..... 10

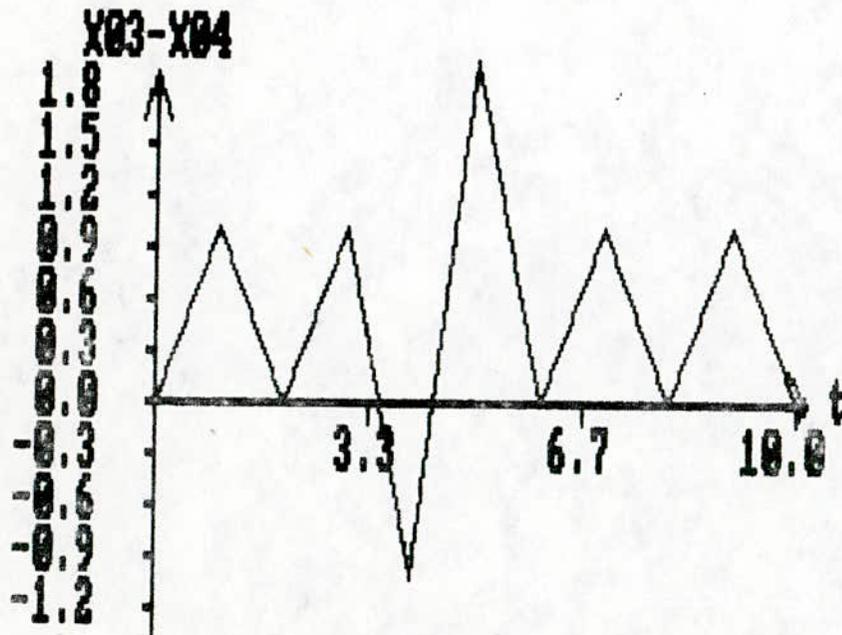
ENTREE	COEFFICIENT	Stoichiométriques
1	1	
2	1	
3	1	
4	1	

### RESULTATS

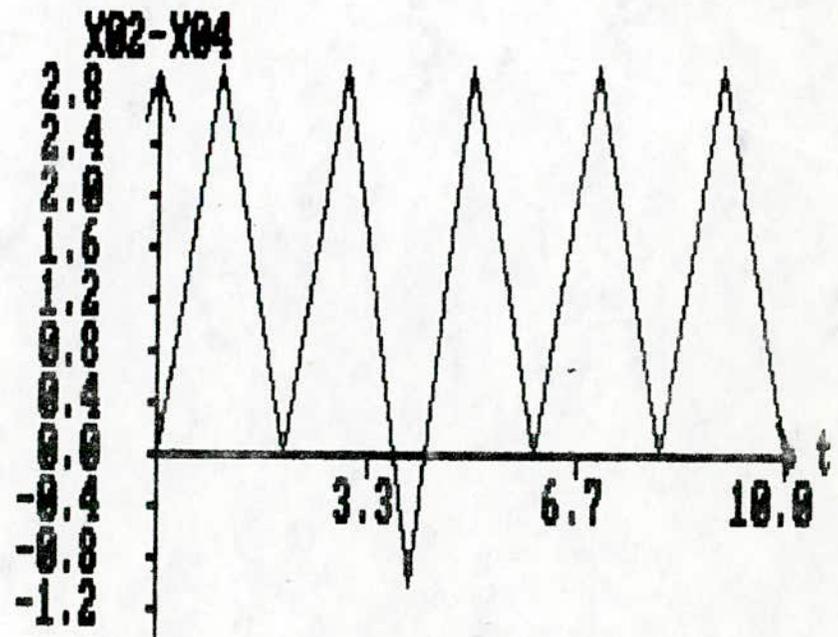
---



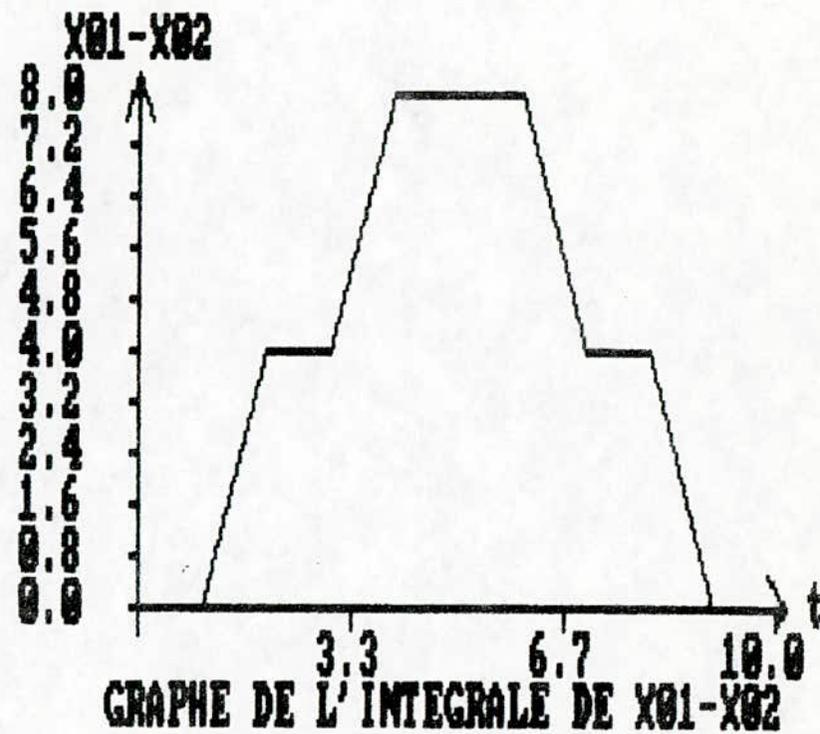
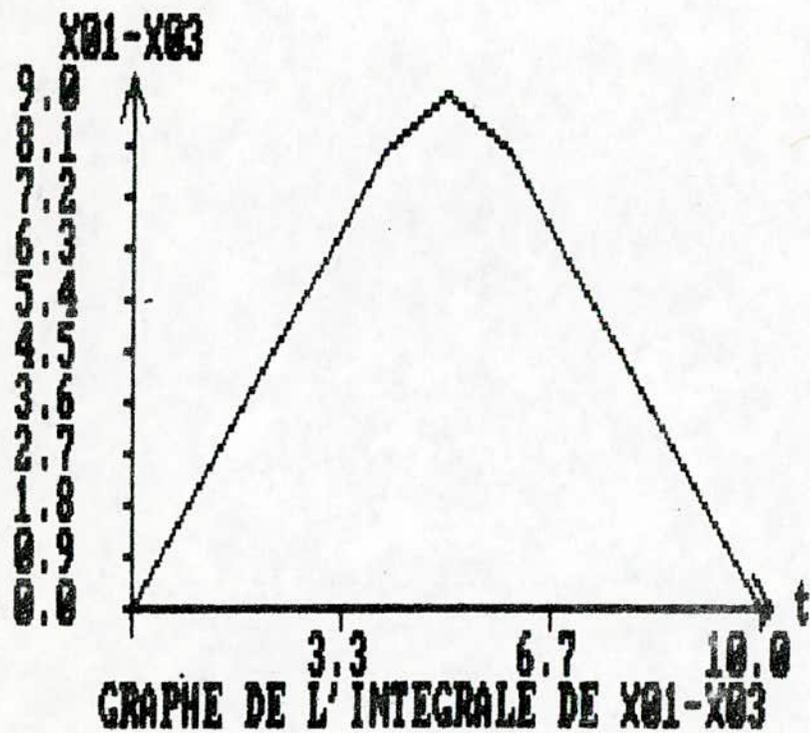




GRAPHE DE L'INTEGRALE DE X03-X04



GRAPHE DE L'INTEGRALE DE X02-X04

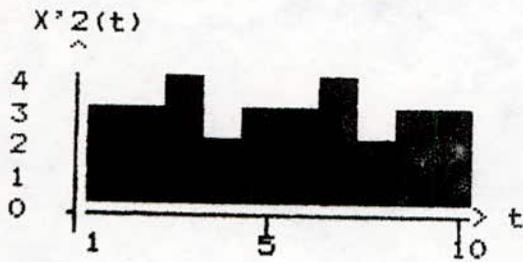


MATRICE DES DISTANCES

---

ENTREE 1 : 0 8 9 11 : SOMME= 28  
 ENTREE 2 : 8 0 2 3 : SOMME= 13  
 ENTREE 3 : 9 2 0 2 : SOMME= 13  
 ENTREE 4 : 11 3 2 0 : SOMME= 16

W-optimum ..... 13  
 Correspondant a l'entree ..... 2



MATRICE DES DISTANCES

---

ENTREE 1 : 0 10 9 11 : SOMME= 30  
 ENTREE 2 : 10 0 1 2 : SOMME= 13  
 ENTREE 3 : 9 1 0 2 : SOMME= 12  
 ENTREE 4 : 11 2 2 0 : SOMME= 15

W-optimum ..... 12  
 Correspondant a l'entree ..... 3

REMARQUE :

Le volume total nécessaire pour la commande optimale se définit  
comme  $\min \sum_{i=1}^4 V_{i0} = 13$ .

On choisit  $V_1 = 8$ ,  $V_2 = 0$ ,  $V_3 = 2$ ;  $V_4 = 3$ .

de façon que  $V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = W_0 = \sum_{i=1}^n V_{i0} = 13$

pour aboutir au système illustré par la fig. ( VI.2 ).

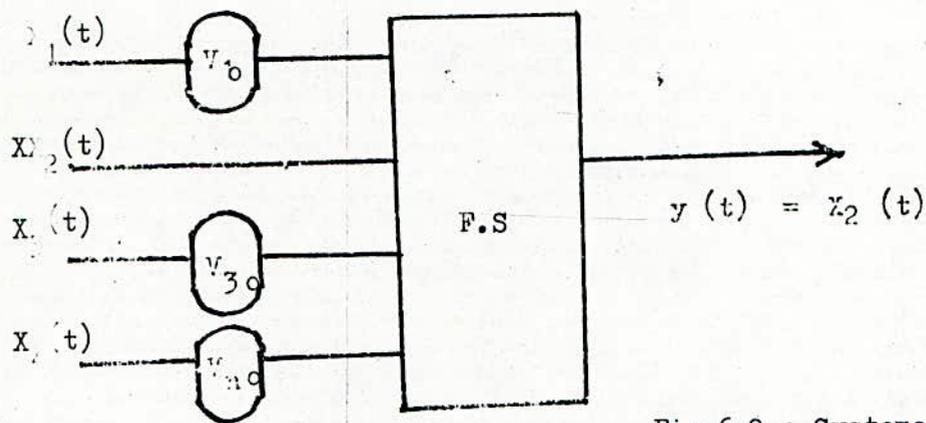


Fig.6.2 : Systeme à 4 entrées considérées

$i = 1$

Dans ce cas les variables de commande optimale sont telles que :

$$\sup_t \left| \int_0^t \mathcal{L}_1 \text{ opt} (\gamma) d\gamma \right| = V_1 = 8$$

$$\sup_t \left| \int_0^t \mathcal{L}_3 \text{ opt} (\gamma) d\gamma \right| = V_3 = 2$$

$$\sup_t \left| \int_0^t \mathcal{L}_4 \text{ opt} (\gamma) d\gamma \right| = V_4 = 3$$

CONCLUSION :

Il est toujours possible d'optimiser le volume total nécessaire pour la commande en temps différé par le procédé de la matrice de distance, mais la répartition des variables de commande dépend de  $\max y(t)$ .

VI.2.2. - PROBLEME DE CONTROLE EN TEMPS DIFFERE - SYSTEME AVEC C.N.L.

On a un système représenté par le schéma fonctionnel suivant :

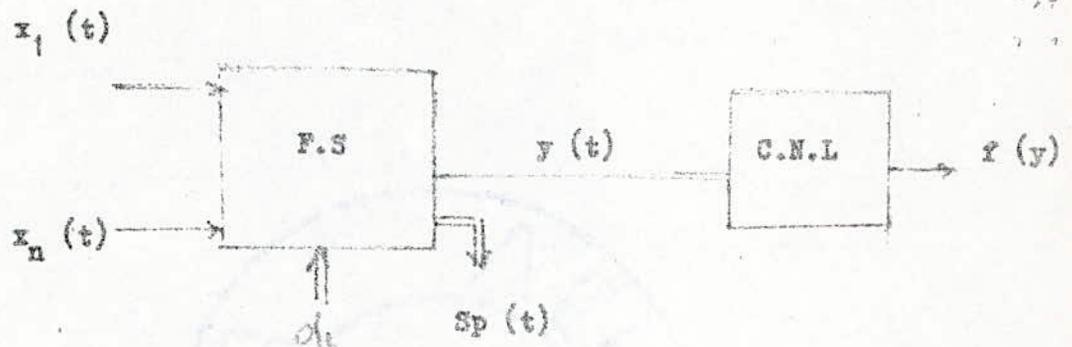


Fig : 6.15 : SYSTEME avec C.N.L.

avec -  $x_1(t) : [0, T] \rightarrow x_1(t) \in \mathbb{R}^+$  ;  $\int_0^T x_1(t) dt = x_1$   
 $\vdots$   
 $x_n(t) : [0, T] \rightarrow x_n(t) \in \mathbb{R}^+$  ;  $\int_0^T x_n(t) dt = x_n$

-  $\alpha : \alpha_1, \dots, \alpha_n \quad \min \quad \forall i = 1 \quad \alpha_i \in \mathbb{R}^+$

-  $y(t) = \min \left[ \frac{x_1(t)}{\alpha_1}, \frac{x_2(t)}{\alpha_2}, \dots, \frac{x_n(t)}{\alpha_n} \right]$

-  $f(y)$  : une fonction non linéaire convexe ou concave par morceaux (voir fig 6.16)

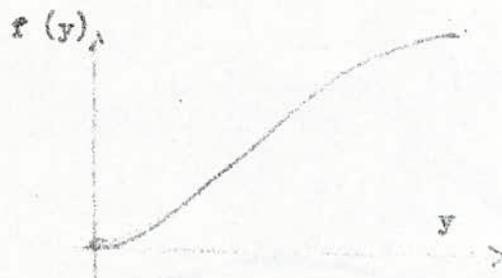


Fig.(6.16) : Echelle de fonctionnement du Syst

Pour résoudre le problème de contrôle posé, C.a.d. obtenir

$$\max \int_0^T f(y(t)) dt$$

$$\left[ V_1, \dots, V_n, V_r, S_1(t), \dots, S_n(t), r(t) \right]$$

Il faut modifier le système en introduisant des **régulations de stocks** | VI.2.1 |  
 et calculer des fonctions  $S_1(t), \dots, S_n(t), r(t)$   
 tel que :

$$\int_0^T S_i(t) dt = c \quad i = 1, \dots, n$$

$$\int_0^T r(t) dt = c$$

PROPOSITION :

La solution de [6.1] peut être obtenue par la décomposition du système en deux parties I et II. ( Fig 6.3 )

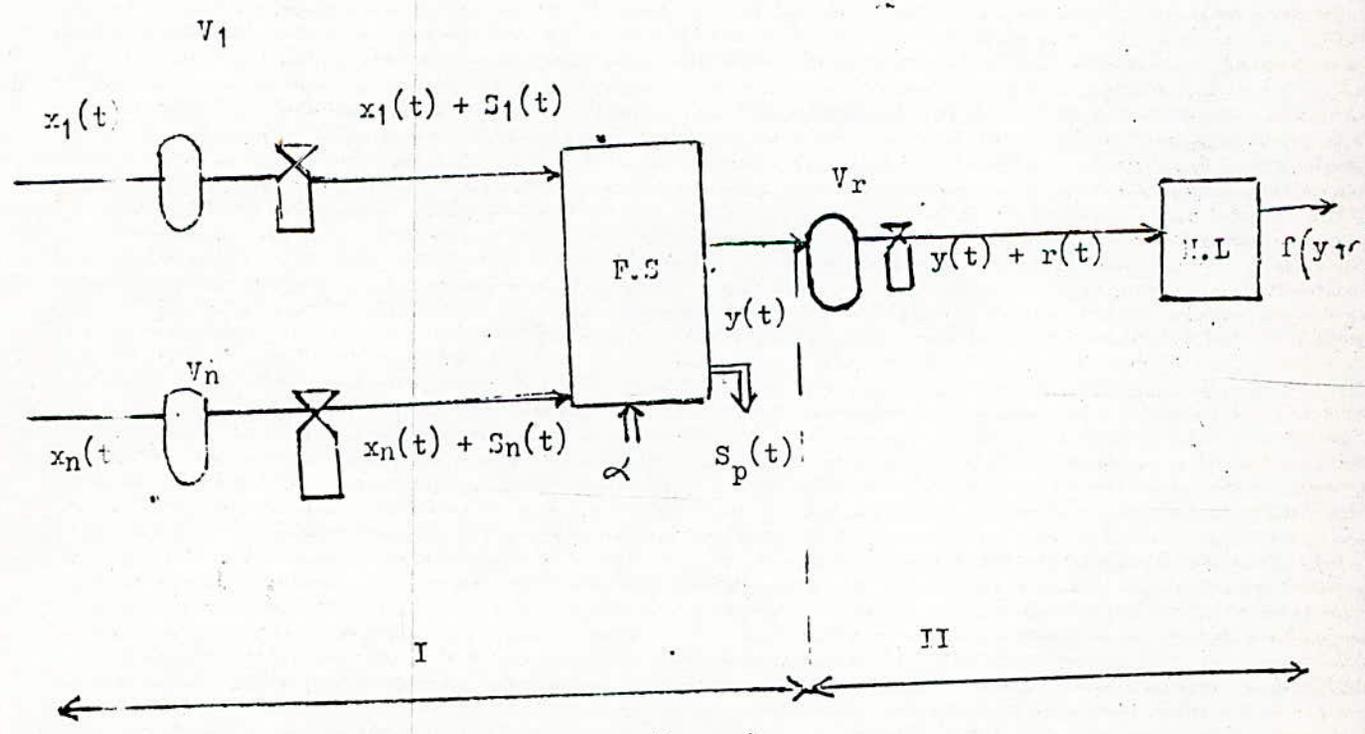


Fig ( 6.3 )

DECOMPOSITION DU SYSTEME EN DEUX PARTIES.

La solution du niveau I caractérise les conditions de fonctionnement de II. i.e. connaissant les entrées  $x_i(t)$   $i = 1, 2, \dots, n$ , les coefficients stoechiométriques  $\alpha_i \geq 1$  et la répartition des volumes  $V_1, \dots, V_n$ , on peut déterminer la variable de sortie  $y(t)$  tel que :

$$\begin{aligned} \max y(t) &= \min \left( \frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1}, \dots, \frac{x_j(t)}{\alpha_j}, \dots, \frac{x_n(t) + s_n(t)}{\alpha_n} \right) \\ &= \frac{x_j}{\alpha_j} \end{aligned}$$

La solution de II détermine le but de I,  $\int_0^T f(y(t) + r(t)) dt$  impose l'objectif que doit être atteint  $\max y(t)$  dans cette partie du système. Le C.N.L peut être localement convexe ou localement concave. La solution optimale peut être approchée en générant une fonction  $r(t)$  avec une variance telle que l'optimum de  $f(y+r)$  soit atteint. Selon que la fonction non linéaire soit convexe ou concave, l'augmentation ou la diminution respectives de la variance augmente la sortie  $f(y+r)$

Une simulation numérique est présentée, elle illustre cette approche par un exemple où nous pouvons voir que  $f(y+r)$  est croissant pour une variance croissante lorsque la fonction est localement convexe et inversement lorsque la fonction est concave.

CONTROL TEMPS DIFFERE

---

DONNEES INITIALES

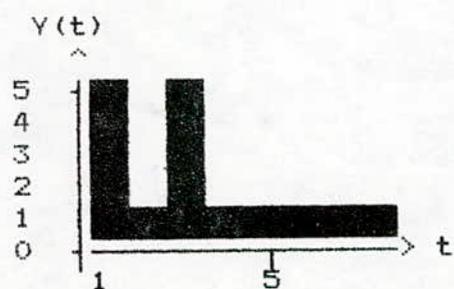
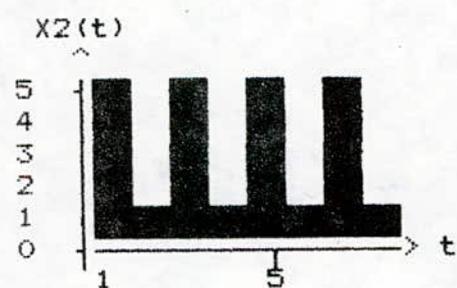
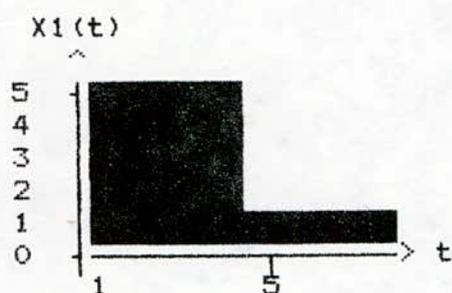
---

NOMBRE D'ENTREES..... 2  
NOMBRE DE CAS..... 8

ENTREE	COEFFICIENT
1	1
2	1

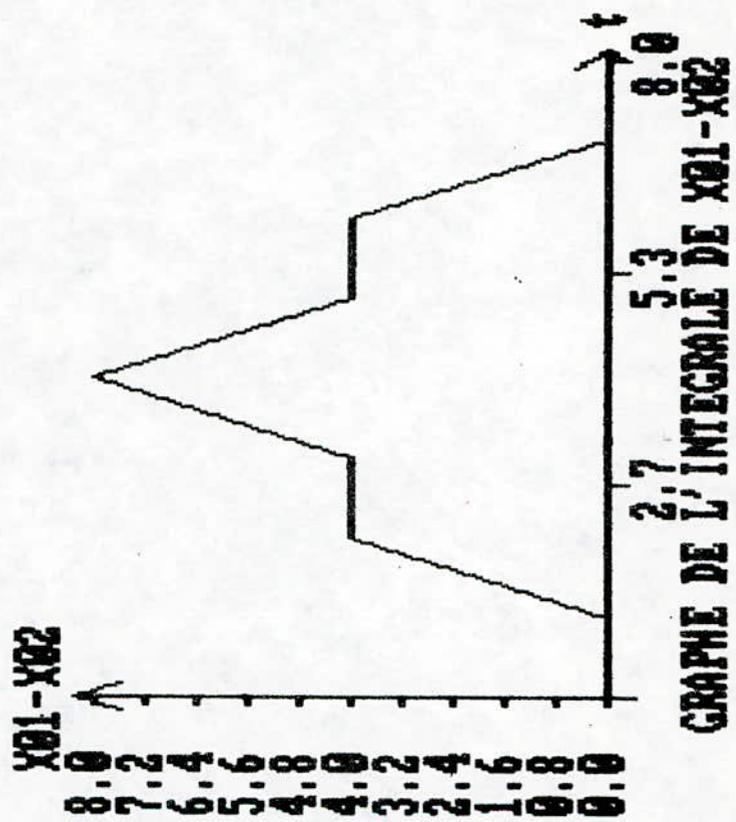
RESULTATS

---



SORTIE SANS PRESENCE DE STOCK

---



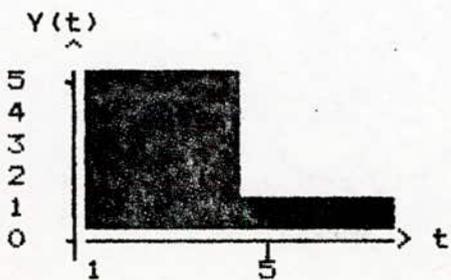
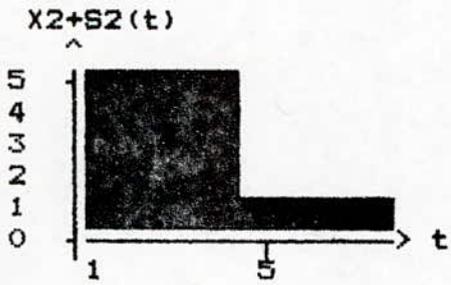
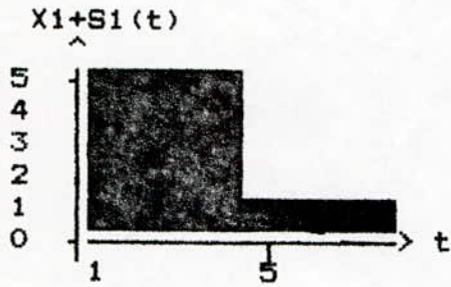
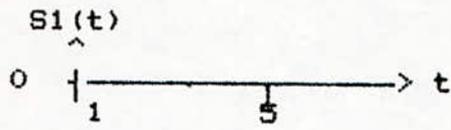
REPARTITION DES VOLUMES

---

V1	V2
0	8

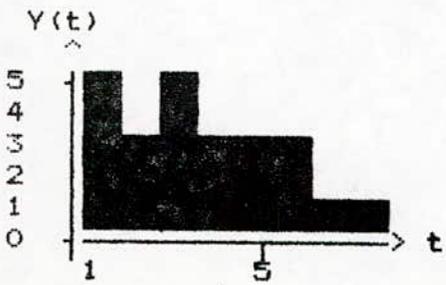
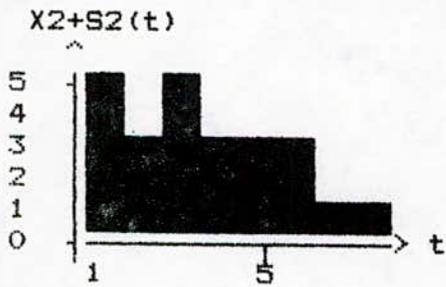
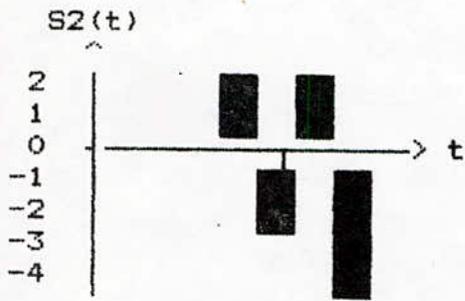
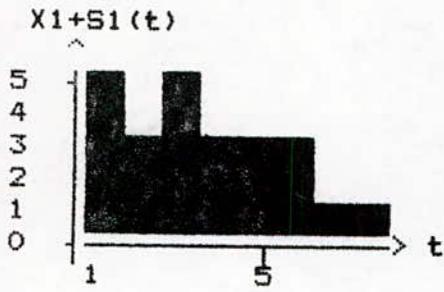
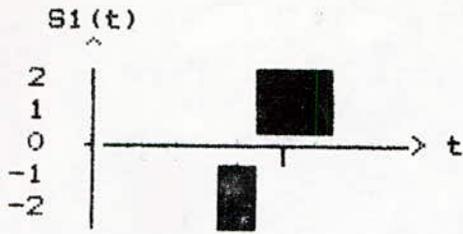
VOLUME NOMINAL : 8

---



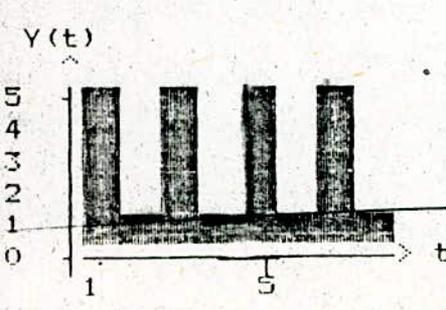
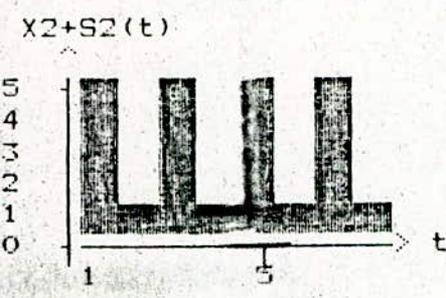
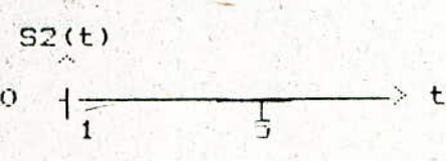
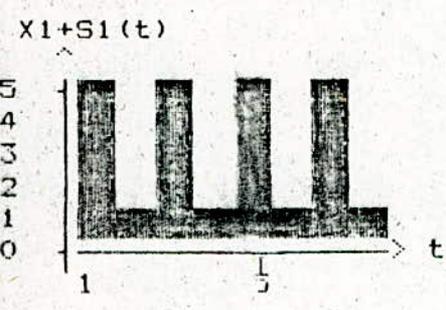
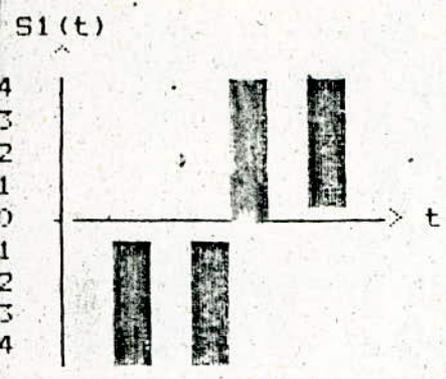
SORTIE AVEC UNE VARIANCE DE 4

---



SORTIE AVEC UNE VARIANCE DE : 8

---



SORTIE AVEC UNE VARIANCE DE : 28

---

VI 3.1. - GENERALITES :

Le contrôle en temps réel peut être considéré comme un contrôle opérant de façon à optimiser des critères implicites ou explicites dans un environnement y compris des perturbations non prévisibles. Ces perturbations, comprennent des variations dans les variables physiques (entrées, composition, etc..), des variations dans les conditions opératoires (volumes dans les systèmes de production...), des variations dans les paramètres du système, des changements dans les conditions économiques et du marché.

La conception doit tenir compte des méthodes éventuelles d'opération et de l'expansion et en conséquence, elle détermine essentiellement l'opération du système.

La spécification de la tâche et la méthode de son développement signifient que les données de base nécessaires sont connues et que les sorties à obtenir sont spécifiques.

A partir de la tâche spécifique et de la méthodologie, le temps de calcul et la capacité de l'ordinateur peuvent être estimés.

La spécificité de notre système, nous impose des contraintes qui peuvent être regroupées dans les points suivants :

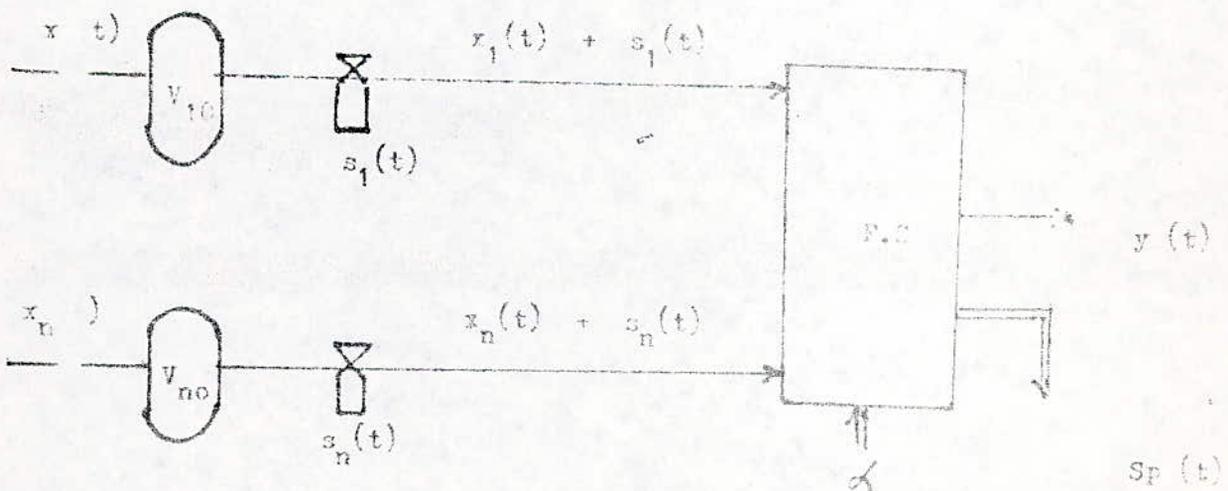


Fig : 6.16 : Systeme Stoechiometrique à 2 entrées

$$y(t) = \min \left( \frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha^1}, \frac{x_2(t) + s_2(t)}{\alpha^2}, \dots, \frac{x_n(t) + s_n(t)}{\alpha^n} \right)$$

Contraintes

$$\left\{ \begin{array}{l} C - y(t) \leq S \\ C \leq v_i(t) \leq V_{im} \quad i = 1, 2, \dots, n \\ x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t) \\ v_{10}, v_{20}, \dots, v_{n0} \end{array} \right.$$

$V_{im}$  : Volume max relatif à la variable  $x_i$

$v_{i0}$  : Volume initial relatif à la variable  $x_i$

À partir de ces données de bases, on peut se fixer plusieurs objectifs à atteindre et, en conséquence développer des algorithmes de contrôle relatifs à chaque objectif.

## VI.2. - SORTIE MAXIMALE $y(t)$ :

La maximisation de la sortie ( qui simule la production ) consiste à tendre la valeur  $y(t)$  vers une valeur maximale, sans toutefois dépasser une limite définie par la saturation. Cette saturation étant propre aux caractéristiques de l'unité de montage. L'opération d'optimisation n'est pas toujours évidente, car elle est tributaire de la disponibilité permanente des quantités d'éléments nécessaires aux entrées et dans les volumes de stock. Ces volumes de stock étant limités, un surplus se dégage lorsque ces volumes dépassent les valeurs maximales respectives  $V_{im}$ .

Dans un but de simplification, le surplus obtenu est considéré sans valeur économique.

Nous avons donc :

$$\max y(t) = \max \left[ \min \left( \frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha^1}, \dots, \frac{x_n(t) + s_n(t)}{\alpha^n} \right) \right]$$

Avec les contraintes admissibles, la solution est obtenue en calculant :  
 $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ ,  $s_n(t)$ , selon l'algorithme suivant :

Algorithme 1 : Maximisation de la sortie :

1. - Lecture des données :

- N : . nombre d'entrées.
- $\alpha_i$  : .  $i = 1, 2, \dots, N$  coefficients stoechiométriques.
- $V_{i0}$  : .  $i = 1, 2, \dots, N$  volume initial du stock.
- $V_{im}$  : .  $i = 1, 2, \dots, N$  volume maximal du stock.
- S : . saturation de la sortie.
- $\Delta t$  : . période.
- $x_{i1}$  : .  $i = 1, 2, \dots, n$  entrée.

2. - Maximisation de la sortie :

Pour  $t = \Delta t, 2\Delta t, \dots, T \Delta t$

On calcule :

$$D_i = \left( x_i(t) + \frac{v_i(t)}{\Delta t} \right) / \alpha_i \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$\max y(t) = \min ( D_1, D_2, D_n, S )$$

pour  $i = 1, 2, \dots, n$

on détermine  $s_i(t)$ ,  $S_{pi}(t)$  et  $v_{i+}(t)$

avec :  $s_i(t) = x_i(t) - \alpha_i y_{\max}(t)$  ( régulateur )

$$v_{i+}(t) = v_i(t) + s_i(t) \cdot \Delta t \quad ( \text{nouveau volume} )$$

Dans le cas où  $v_i(t) > v_{im}$ ,  
nous avons une présence de surplus  $S_{pi}(t)$

$$S_{pi} = v_{i+}(t) - v_{im}$$

$$v_{i+}(t) = v_{im}$$

$$a_i(t) = a_i(t) - S_{pi}(t)$$

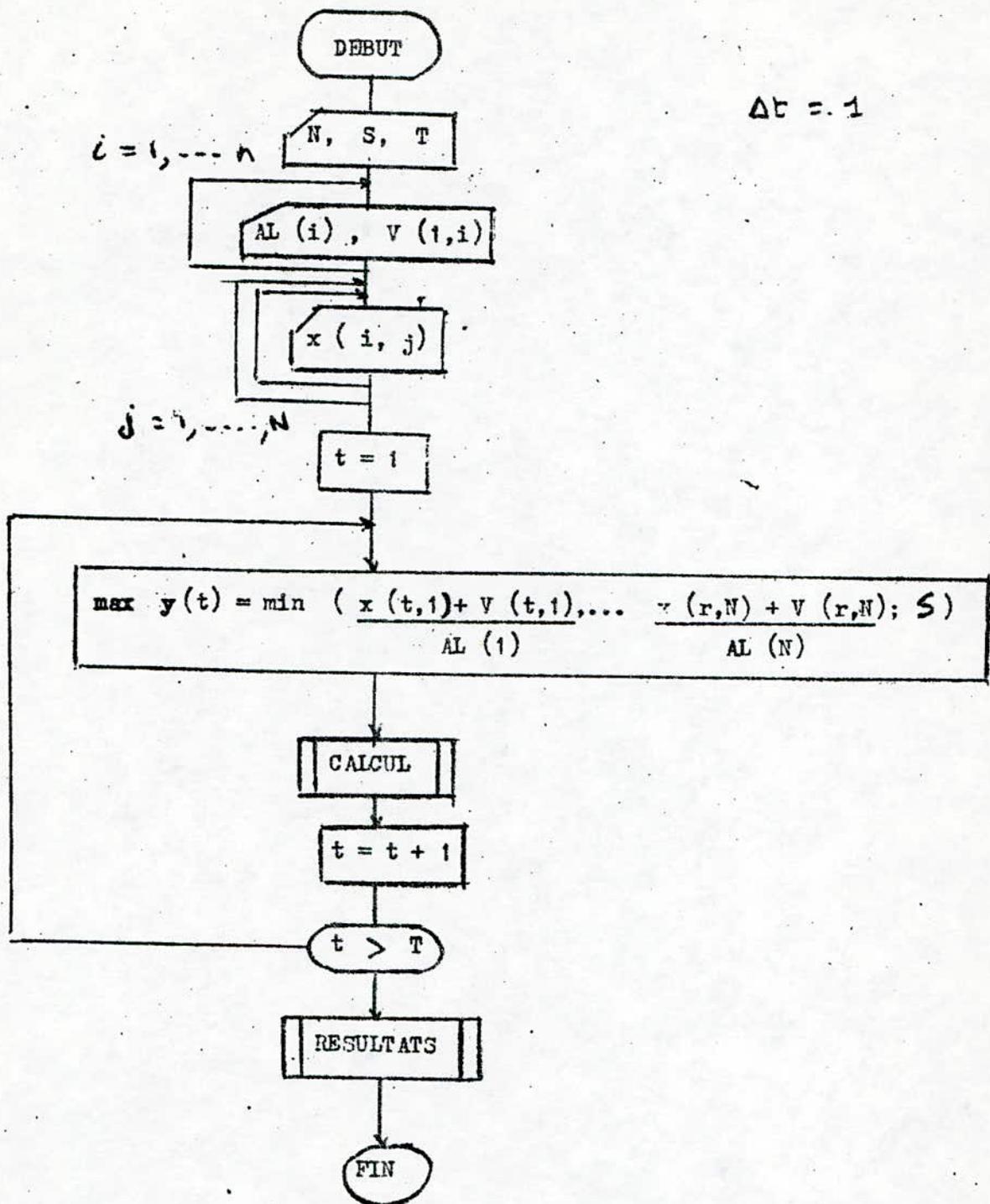


Fig ( VI.6 ) : MAXIMISATION DE LA SORTIE.

SOUS PROGRAMME CALCUL

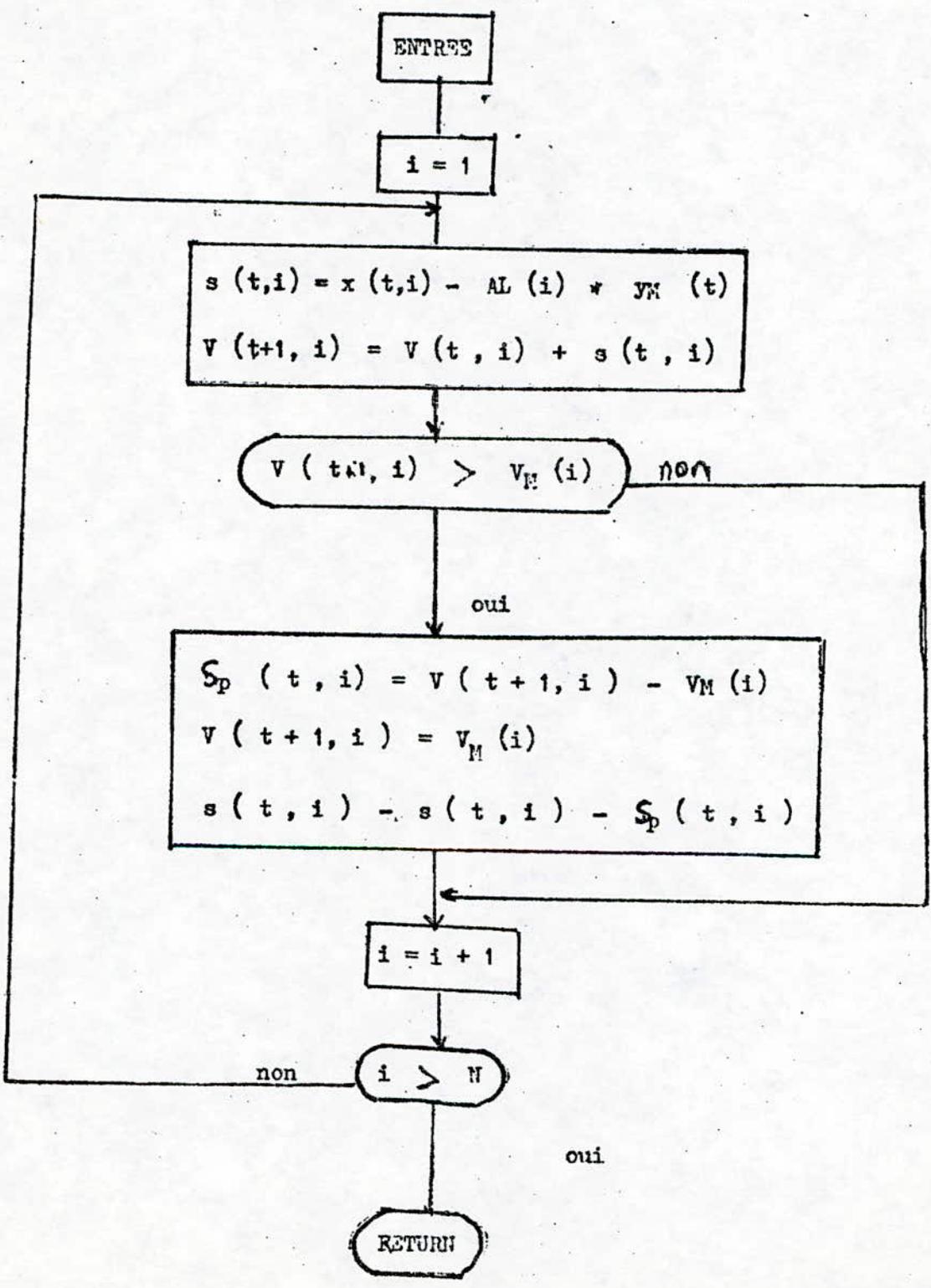


Fig ( VI.7 ) : SOUS PROGRAMME CALCUL.

Les sorties du programme sont résumées en un tableau : Tab ( 6.1 )  
elles présentent les volumes de stock et les fonctions de régulation.

Il s'agit de la conduite proprement dite du procédé de montage.  
Périodiquement ( suivant la période correspondant à celle, avec  
laquelle, les modèles discrets ont été obtenus ) une tâche est  
activée. Cette tâche a pour but de calculer la fonction de régulation  
 $u(t)$  à appliquer au système.

En plus de cette tâche périodique principale, ont été conduites  
quelques tâches permettant le dialogue avec l'utilisateur. En  
particulier, on peut changer les seuils minimum des volumes, la  
saturation de la sortie. Ces tâches rendent plus souple la communi-  
cation en temps réel, avec la machine.

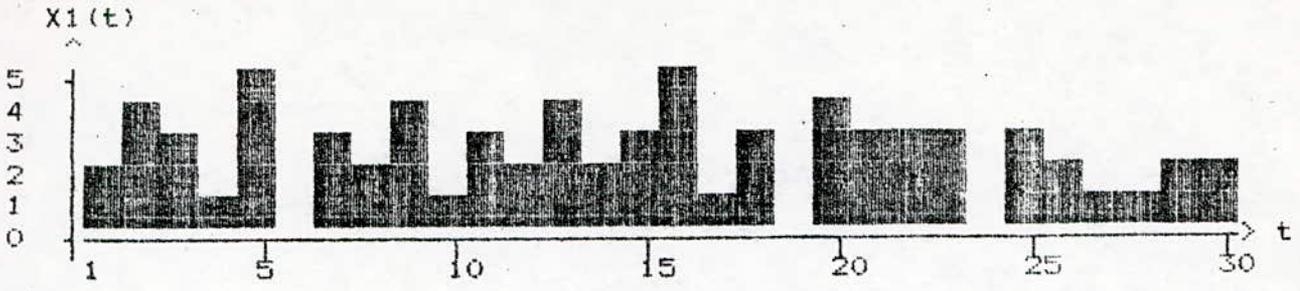
## PROGRAMME DE MAXIMISATION DE LA PRODUCTION

## DONNEES INITIALES

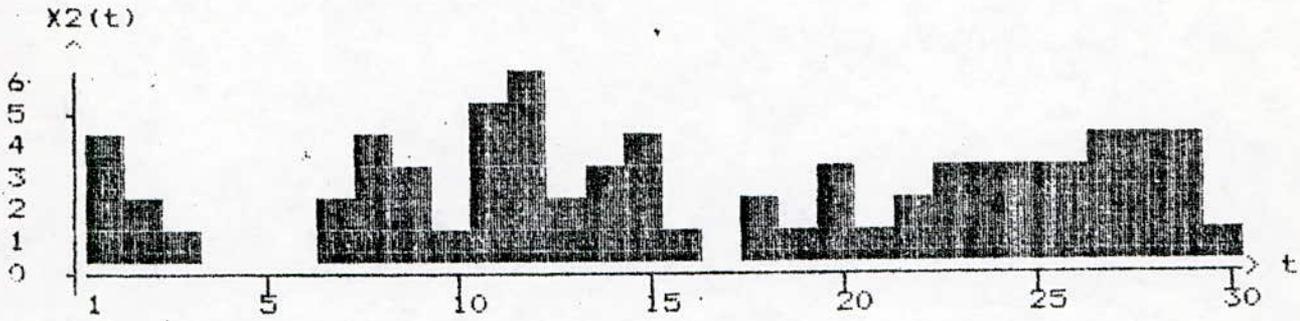
NOMBRE D'ENTREES..... 3  
 VOLUME DE SATURATION..... 3  
 PERIODE..... 30

		ENTREE			COEFFICIENT			STOCK INITIALE			STOCK MAX.		
		1	2	3	1	2	3	4	6	5	6	6	6
T	X1	X2	X3	Y	V1	V2	V3	S1	S2	S3	SP1	SP2	SP3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	2	4	2	3	4	6	5	-1	0	-1	0	1	0
2	4	2	2	3	3	6	4	1	-1	-1	0	0	0
3	3	1	2	3	4	5	3	0	-2	-1	0	0	0
4	1	0	1	3	4	3	2	-2	-3	-2	0	0	0
5	5	0	0	0	2	0	0	4	0	0	1	0	0
6	0	0	1	0	6	0	0	0	0	1	0	0	0
7	3	2	1	2	6	0	1	0	0	-1	1	0	0
8	2	1	0	0	6	0	0	0	4	0	2	0	0
9	4	3	3	3	6	4	0	0	0	0	1	0	0
10	1	3	3	3	6	4	0	-2	-2	0	0	0	0
11	3	5	3	3	4	2	0	0	2	0	0	0	0
12	2	3	3	3	4	4	0	-1	2	0	0	1	0
13	4	2	4	3	3	6	0	1	-1	1	0	0	0
14	2	3	4	3	4	5	1	-1	0	1	0	0	0
15	3	1	4	3	3	5	2	0	1	1	0	0	0
16	5	2	2	3	3	6	3	2	-2	-1	0	0	0
17	1	0	2	3	5	4	2	-2	-3	-1	0	0	0
18	3	2	2	3	3	1	1	0	-1	-1	0	0	0
19	0	1	1	1	3	0	0	-1	0	0	0	0	0
20	4	3	4	3	2	0	0	1	0	1	0	0	0
21	3	0	0	1	3	0	1	2	0	-1	0	0	0
22	3	2	2	2	5	0	0	1	0	0	0	0	0
23	3	3	3	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	1	1	1	6	0	0	-1	2	0	0	0	0
25	3	2	2	2	5	2	0	1	1	0	0	0	0
26	2	3	3	3	6	3	0	-1	0	0	0	0	0
27	1	2	2	2	5	3	0	-1	2	0	0	0	0
28	1	3	3	3	4	5	0	-2	1	0	0	0	0
29	2	3	3	3	2	6	0	-1	0	0	0	1	0
30	2	3	3	3	1	6	0	-1	-2	0	0	0	0

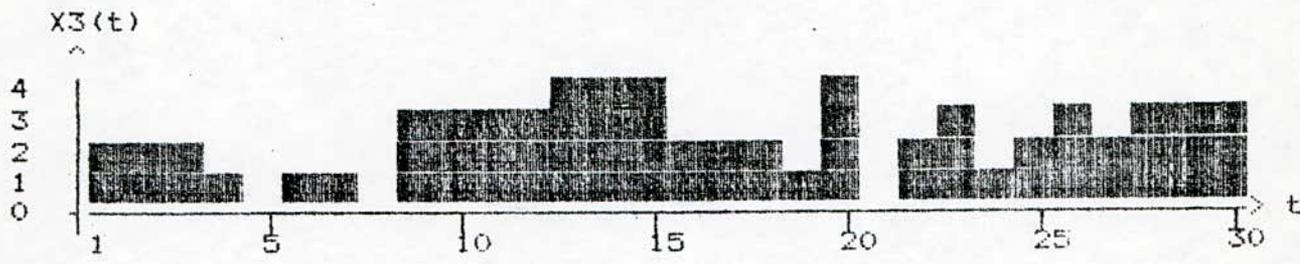
Tab ( VI. 1 ) : MAXIMISATION DE LA SORTIE.



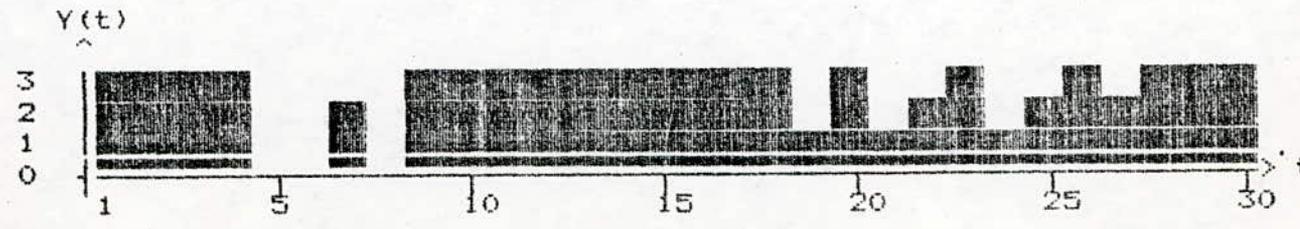
GRAPHE ENTREE X1



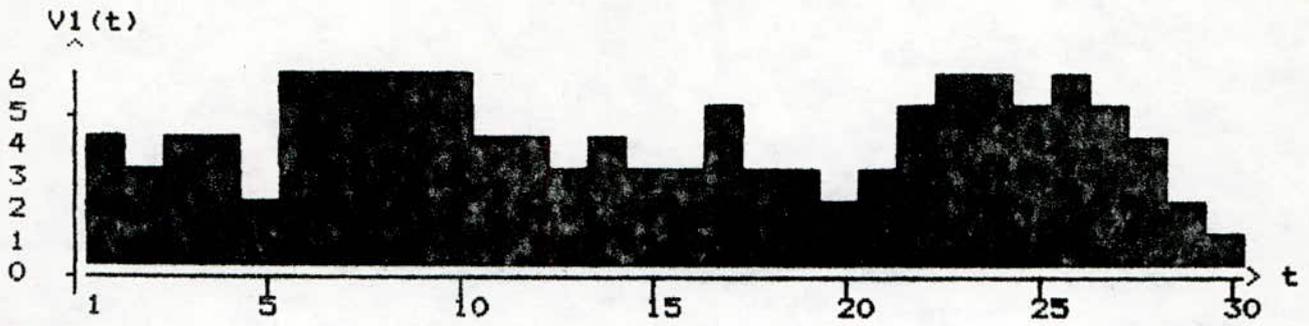
GRAPHE ENTREE X2



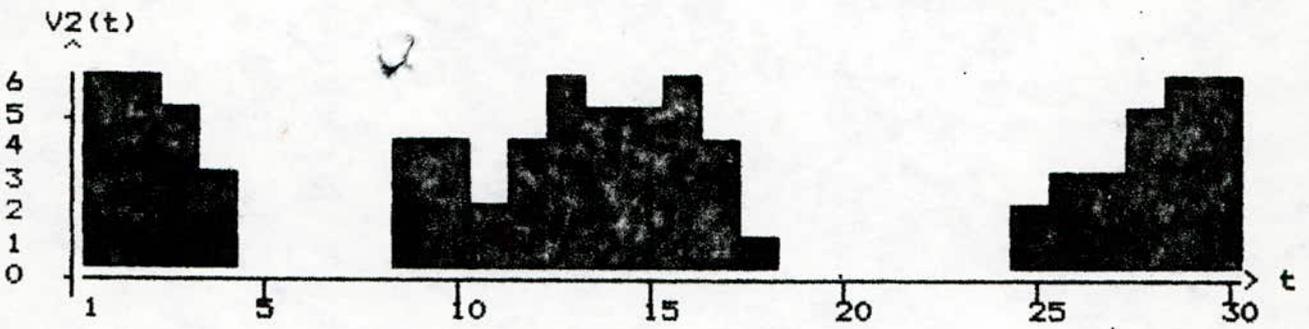
GRAPHE ENTREE X3



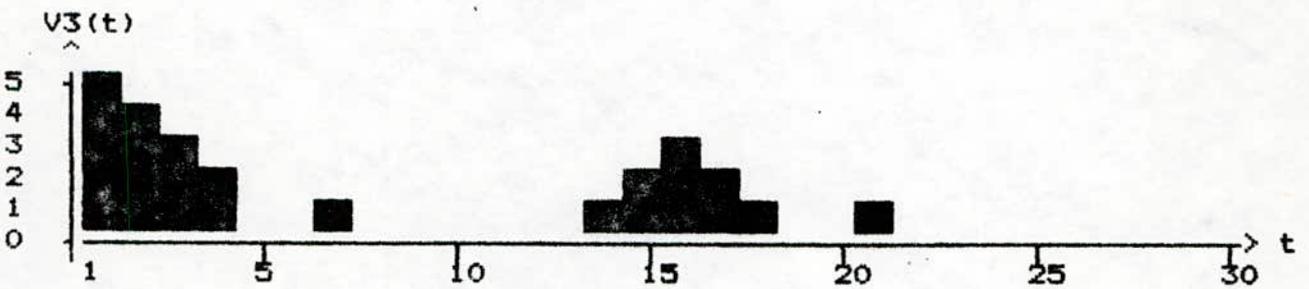
GRAPHE PRODUCTION



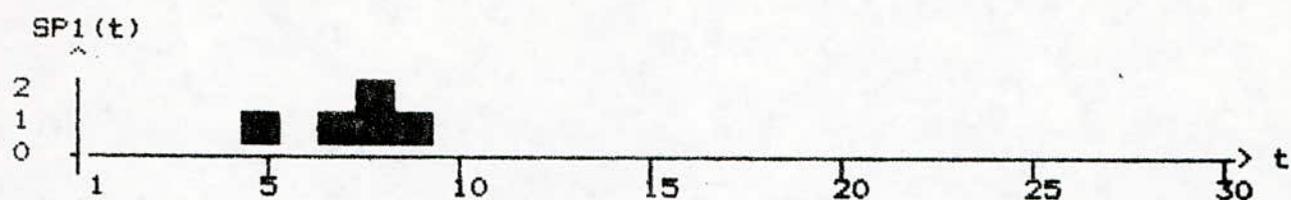
GRAPHE VOLUME V1



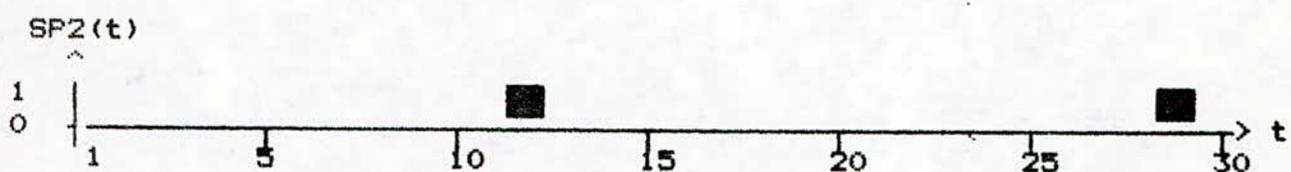
GRAPHE VOLUME V2



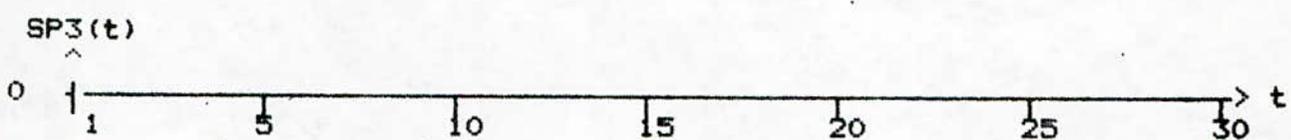
GRAPHE VOLUME V3



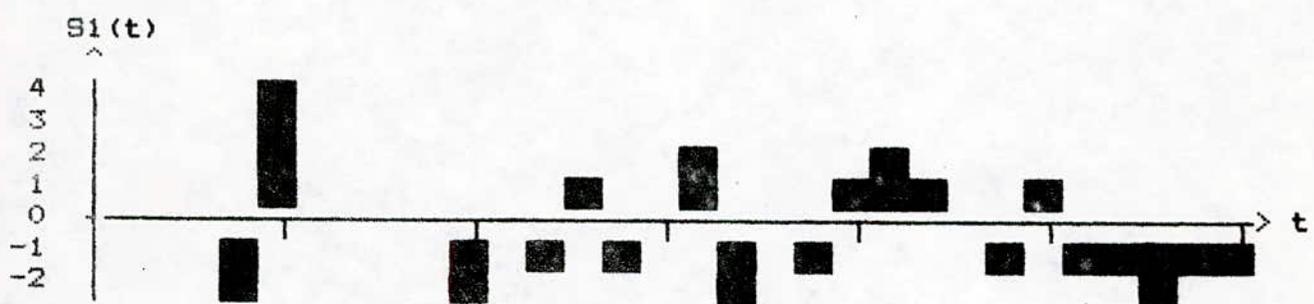
GRAPHE SURPLUS POUR ENTREE X1



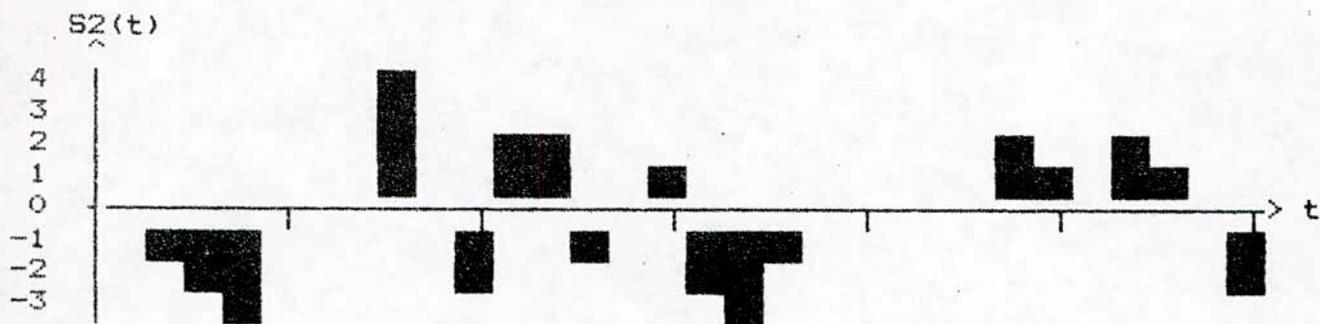
GRAPHE SURPLUS POUR ENTREE X2



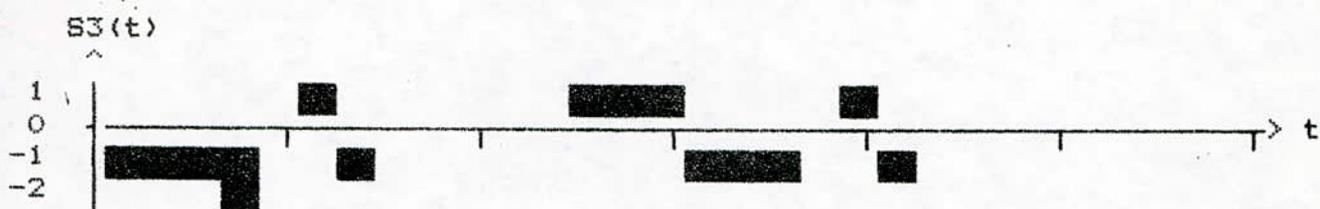
GRAPHE SURPLUS POUR ENTREE X3



GRAPHE FONCTION STOCK POUR ENTREE X1



GRAPHE FONCTION STOCK POUR ENTREE X2



GRAPHE FONCTION STOCK POUR ENTREE X3

### VI.3.3. MINIMISATION DU SURPLUS

Ce que nous montrons ici, est un autre exemple d'adaptation particulière de la méthode générale que nous avons développé dans le chapitre IV.

Après un premier point, vérifiant l'ensemble des contraintes, nous avons fixé une valeur moyenne de la sortie. Le problème ainsi obtenu est un problème simple, pour lequel il est facile d'appliquer les conditions stoechiométriques et de réaliser les contraintes. La minimisation du surplus est conduite en essayant d'obtenir une sortie égale à la valeur moyenne fixée tant que les excédants aux entrées peuvent être absorbés par les volumes de stockage  $V_{im}$ , si ce n'est pas le cas, la sortie sera supérieure à la valeur moyenne (pour permettre l'absorption du surplus dégagé), sans toutefois dépasser le point de saturation, au delà duquel le surplus ne peut être évité.

Les calculs sont développés selon l'algorithme suivant :

#### 1. - Lecture des données :

- M : . nombre d'entrées
- T : . période  $t \in [0, T \Delta t]$
- S : . saturation
- $\alpha_i$  : .  $i = 1, 2, \dots, n$  coefficient stoechiométriques
- $V_{i0}$  : .  $i = 1, 2, \dots, n$  volume initial du stock
- $V_{im}$  : .  $i = 1, 2, \dots, n$  volume maximal du stock
- $y_{moy}$  : . valeur moyenne de la sortie.

MINIMISATION DU SURPLUS

$\Delta i = 1$

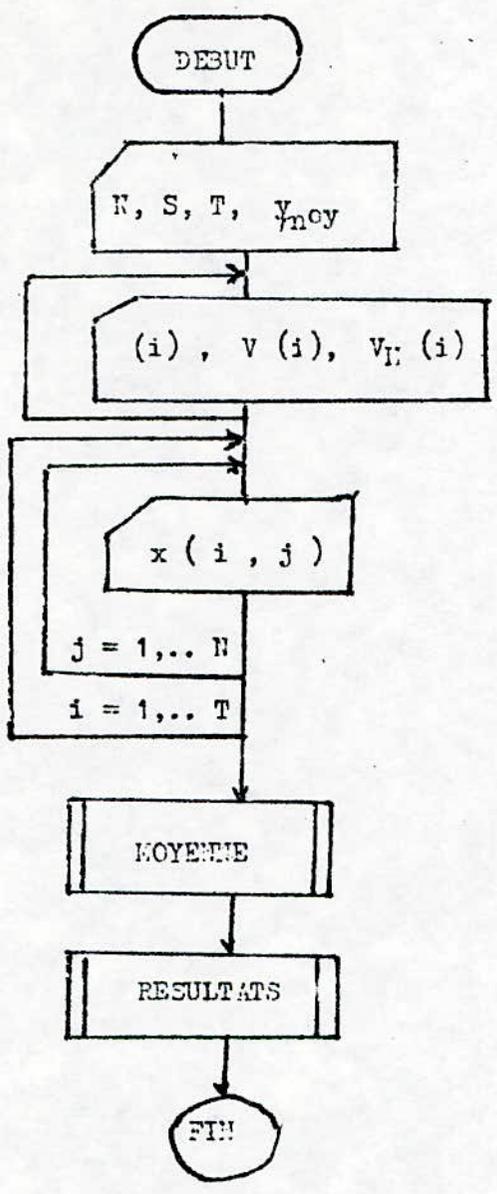
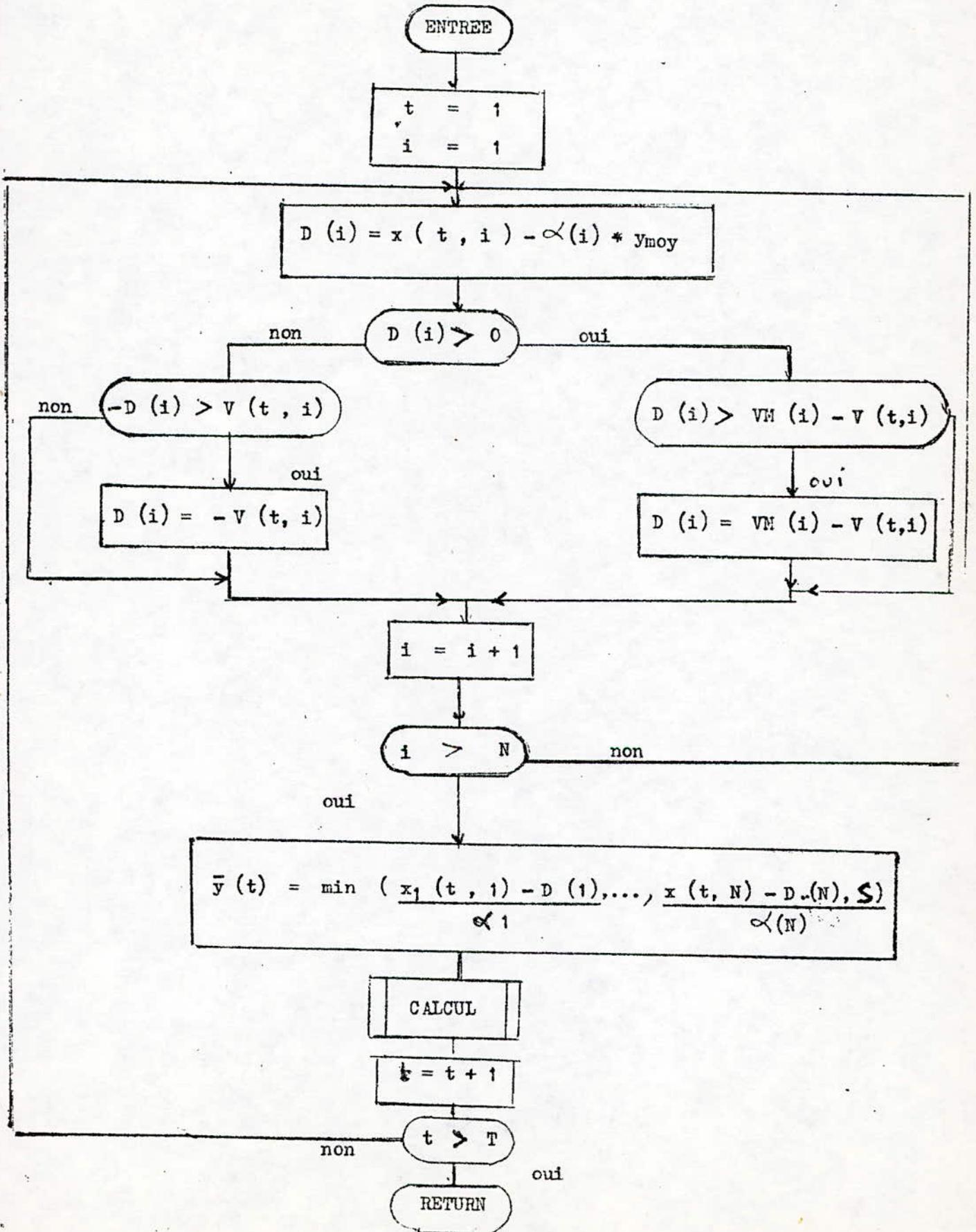


Fig ( 6. ) : ORGANIGRAMME DE MINIMISATION DU SURPLUS.

SOUS PROGRAMME MOYENNE



PROGRAMME DE MINIMISATION DU SURPLUS

DONNEES INITIALES

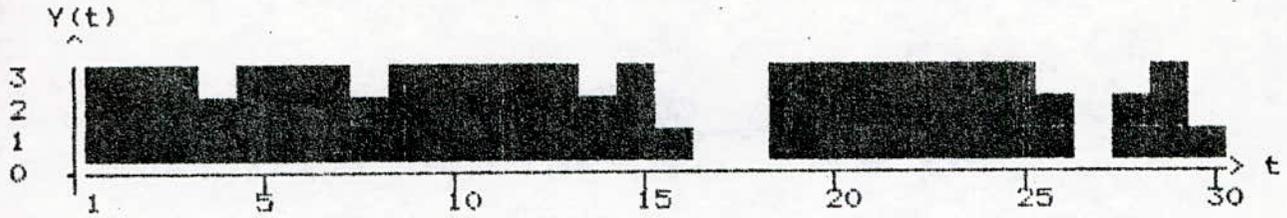
NOMBRE D'ENTREES..... 3  
 VOLUME DE SATURATION..... 3  
 PERIODE..... 30  
 PRODUCTION MOYENNE..... 3

ENTREE	COEFFICIENT	STOCK INITIALE	STOCK MAX
1	1	4	6
2	1	5	6
3	1	6	6

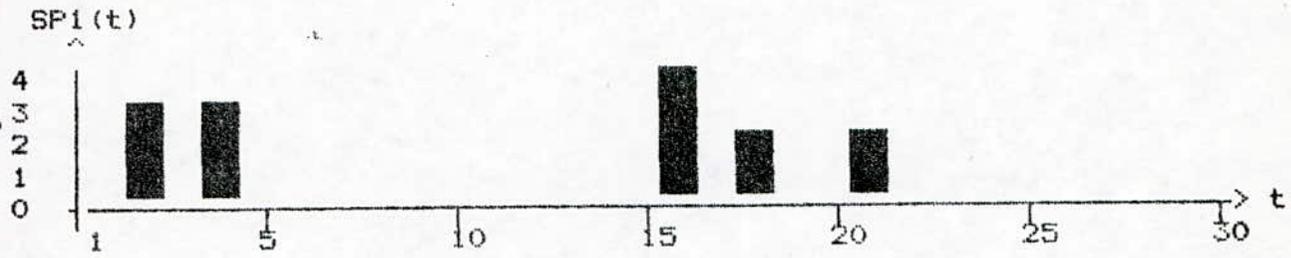
RESULTATS

T	X1	X2	X3	Y	V1	V2	V3	S1	S2	S3	SP1	SP2	SP3
1	5	4	3	3	4	5	6	2	1	0	0	0	0
2	6	4	0	3	6	6	6	0	0	-3	3	1	0
3	2	4	0	3	6	6	3	-1	0	-3	0	1	0
4	6	1	2	2	5	6	0	1	-1	0	3	0	0
5	1	6	4	3	6	5	0	-2	1	1	0	2	0
6	3	0	5	3	4	6	1	0	-3	2	0	0	0
7	0	2	3	3	4	3	3	-3	-1	0	0	0	0
8	3	0	2	2	1	2	3	1	-2	0	0	0	0
9	5	6	2	3	2	0	3	2	-3	-1	0	0	0
10	4	0	4	3	4	3	2	1	-3	1	0	0	0
11	3	5	0	3	5	0	3	0	2	-3	0	0	0
12	3	6	5	3	5	2	0	0	3	2	0	0	0
13	1	3	1	3	5	5	2	-2	0	-2	0	0	0
14	1	2	2	2	3	5	0	-1	0	0	0	0	0
15	6	1	4	3	2	5	0	3	-2	1	0	0	0
16	6	4	0	1	5	3	1	1	3	-1	4	0	0
17	0	5	0	0	6	6	0	0	0	0	0	5	0
18	2	4	0	0	6	6	0	0	0	0	2	4	0
19	3	0	4	3	6	6	0	0	-3	1	0	0	0
20	2	5	5	3	6	3	1	-1	2	2	0	0	0
21	6	4	1	3	5	5	3	1	1	-2	2	0	0
22	3	5	4	3	6	6	1	0	0	1	0	2	0
23	3	6	6	3	6	6	2	0	0	3	0	3	0
24	1	1	0	3	6	6	5	-2	-2	-3	0	0	0
25	5	0	6	3	4	4	2	2	-3	3	0	0	0
26	2	1	0	2	6	1	5	0	-1	-2	0	0	0
27	0	0	1	0	6	0	3	0	0	1	0	0	0
28	0	2	3	2	6	0	4	-2	0	1	0	0	0
29	0	5	1	3	4	0	5	-3	2	-2	0	0	0
30	0	4	1	1	1	2	3	-1	3	0	0	0	0

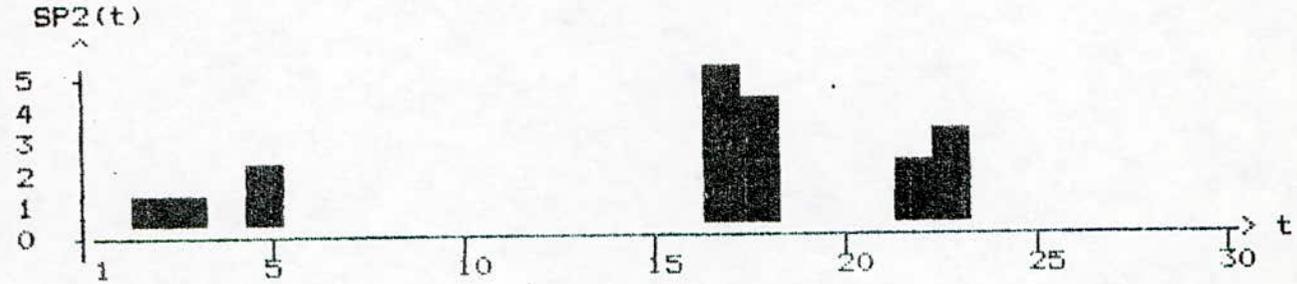
Tab ( VI.2 ) : MINIMISATION DU SURPLUS



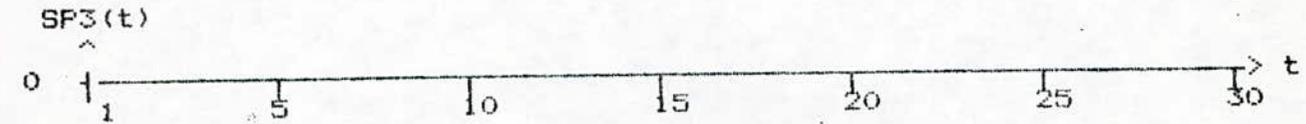
GRAPHE PRODUCTION



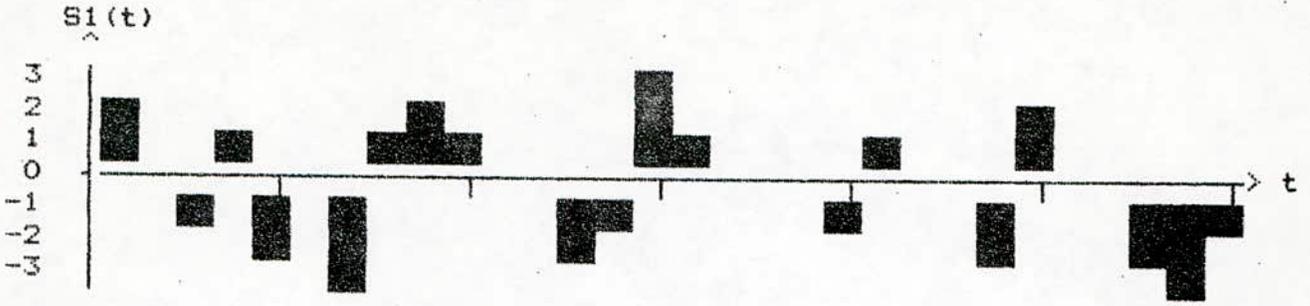
GRAPHE SURPLUS POUR ENTREE X1



GRAPHE SURPLUS POUR ENTREE X2

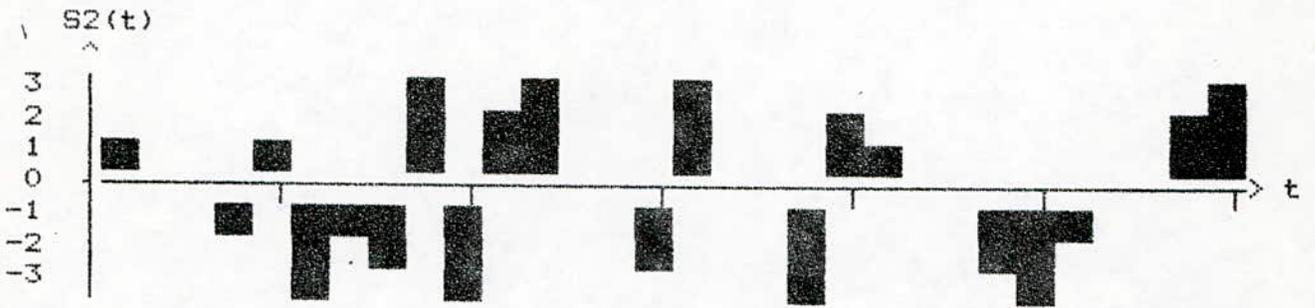


GRAPHE SURPLUS POUR ENTREE X3



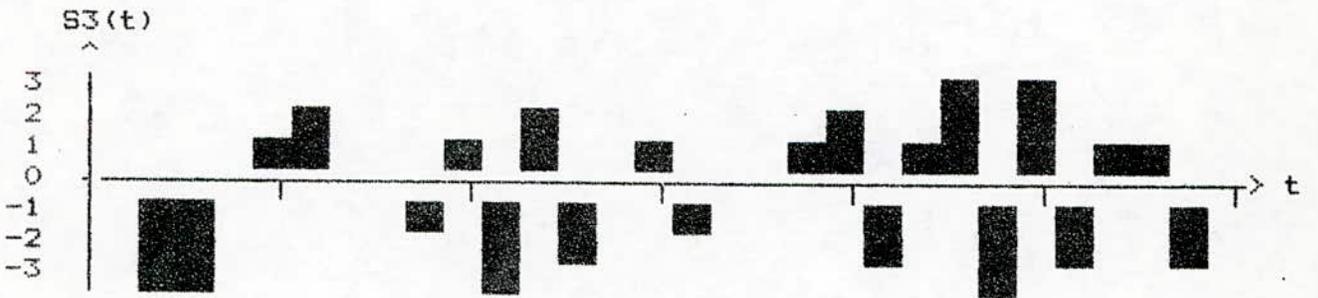
GRAPHE FONCTION STOCK POUR ENTREE X1

---



GRAPHE FONCTION STOCK POUR ENTREE X2

---



GRAPHE FONCTION STOCK POUR ENTREE X3

---

### VALEUR MOYENNE

L'introduction de l'algorithme prévoyant un minimum de surplus a pour conséquence l'apparition d'un problème : le choix de la valeur moyenne de la sortie.

Il est intéressant de noter que ce choix dépend principalement de l'objectif que l'on se fixe. Pour augmenter l'efficacité, on tiendra compte de l'écart entre la valeur fixée et la sortie obtenue. Pour un écart proche de zéro la valeur moyenne serait adéquate aux objectifs fixés.

On peut aussi choisir une valeur moyenne que donnerait un minimum de surplus.

L'algorithme développé tient compte de ces deux contraintes et les résultats de l'exemple considéré illustrant cette approche. Des graphes de l'écart et du surplus en fonction de la valeur moyenne nous permettent de faire le choix approprié selon le cas considéré.

Algorithme 3 :

CHOIX DE LA VALEUR MOYENNE

1. - Lecture des données :

N : . nombre d'entrées

T : . période

S : . saturation

$\alpha_i$  : .  $i = 1, \dots, N$  coefficients

$V_{i0}$  : .  $i = 1, \dots, N$  volume initial

$V_{im}$  : .  $i = 1, \dots, N$  volume maximal

$\bar{y} = 0$

2. - Minimisation du surplus :

( Etape 2 de l'algorithme 2 )

3. - Calcul de la somme des surplus :

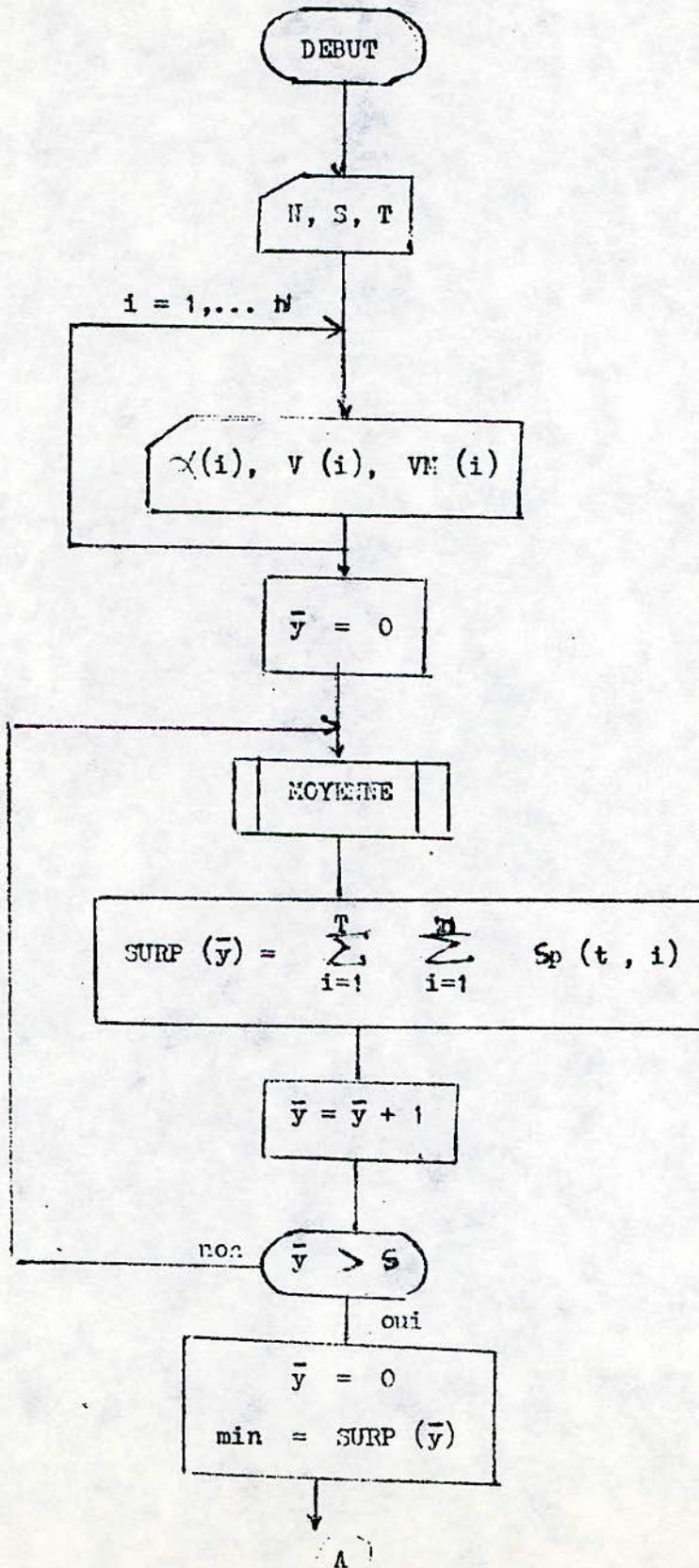
$$\text{SURP } (y) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n \text{Sp } (t, i)$$

4. -  $\bar{y} = \bar{y} + 1$  . . . . . variation de la valeur moyenne

si  $y \leq S$  alors aller à 2 sinon aller à 5.

5. - Déterminer l'indice  $\bar{y}$  qui correspond à la valeur minimum du vecteur SURP.

CHOIX DE LA VALEUR MOYENNE



CHOIX DE LA VALEUR MOYENNE (suite)

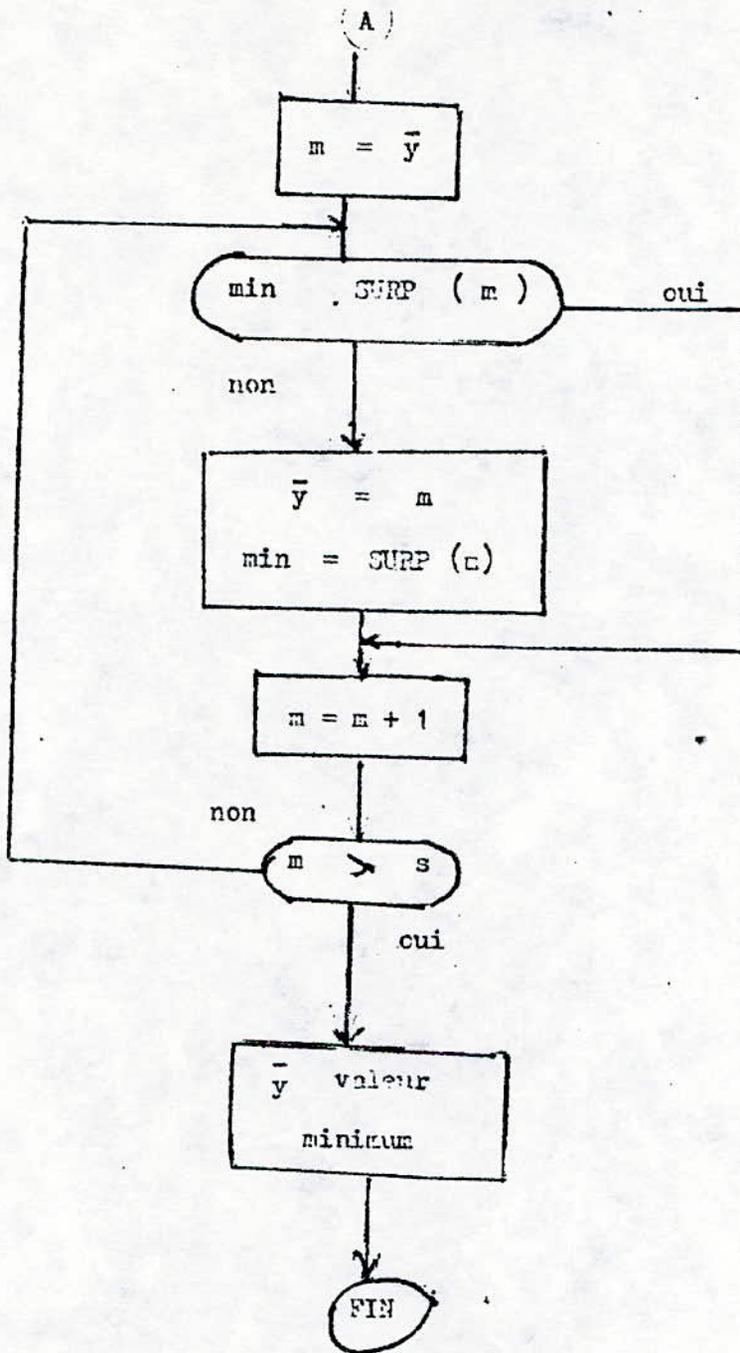


Fig ( 6. ) : ORGANIGRAMME DU CHOIX DE LA VALEUR MOYENNE.

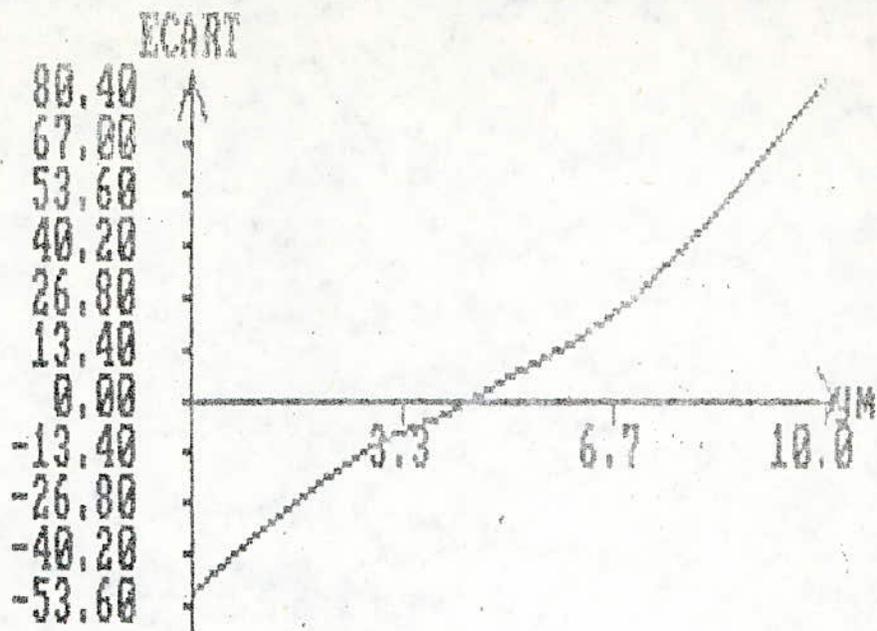
PROGRAMME DETERMINATION DE LA PRODUCTION MOYENNE

DONNEES INITIALES

NOMBRE D'ENTREES..... 4  
VOLUME DE SATURATION..... 10  
NOMBRE DE CAS..... 20

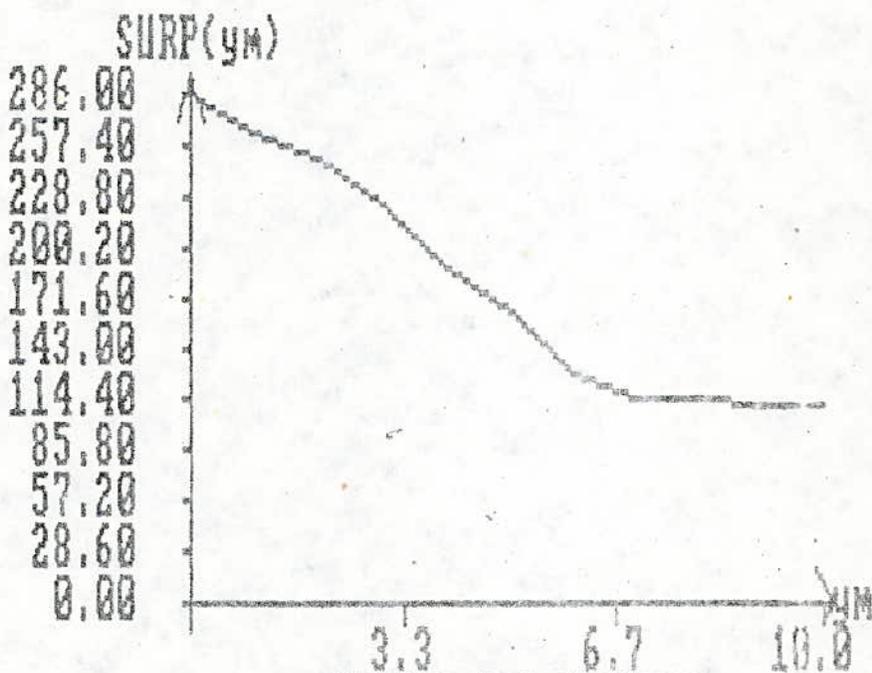
ENTREE	COEFFICIENT	STOCK INITIALE	STOCK MAX
1	1	8	12
2	1	10	12
3	1	10	12
4	1	12	13

CAS	X1	X2	X3	X4
1	4	3	2	5
2	9	9	9	9
3	8	10	10	4
4	12	6	6	6
5	3	8	9	9
6	5	9	3	9
7	8	0	7	10
8	6	0	8	10
9	4	0	0	7
10	9	10	0	2
11	0	11	5	1
12	8	6	3	0
13	2	7	3	0
14	5	9	8	5
15	10	5	9	7
16	10	7	10	9
17	10	3	8	9
18	9	4	0	10
19	8	6	0	10
20	5	9	6	10



GRAPHE DES ECARTS

EST LA PRODUCTION MOYENNE QUI MINIMISE L'ECART



GRAPHE DES SURPLUS

LA PRODUCTION MOYENNE QUI MINIMISE LE SURPLUS DONT LA VALEUR EST

CONCLUSION

La présente recherche a permis la mise au point d'une méthode qui conduit, selon des critères prédefinis, à une commande optimale des unités de montage.

Nous avons montré que l'analyse de ces types de systèmes - les systèmes stoechiométriques - peut être obtenue par modélisation et simulation.

L'idée de modéliser le stock par une distance, nous a permis de prévoir une structure optimale de l'unité de montage. Ce résultat intervient dans le dimensionnement des surfaces de stockage et dans les investissements initiaux.

La génération d'une fonction de régulation appartenant à une boule fermée a permis l'optimisation des différentes fonctions objectives que nous nous sommes fixés : (maximisation de la production, minimisation de surplus, choix adéquat du taux moyen de production et calcul optimal du volume des stocks).

Il est par ailleurs important de ne pas perdre de vue le cadre de travail que nous nous sommes fixé, à savoir la hiérarchisation de la commande. La structure proposée s'y intègre naturellement grâce à sa modularité.

Les logiciels développés nous ont montré que les capacités de calcul et de mémoires nécessaires à ce type de système sont à la portée du microcalculateur.

Les résultats obtenus dans cette étude sont une première étape dans l'automatisation complète des unités de montage.

BIBLIOGRAPHIE

1. - M AOKI: "Contrôle Of Large Scale Dynamic Systems By Agregation" I E E E Trans Automat Control, - Vol AC 13, Juin 1968.
2. J. BENASSY, R. FLOIX DE ROTRON " La Gestion Informatisee des stocks"
3. D BERTSEKAS: " Distributed Dynamic Programming" I E E E Trans on Automatic Control - Vol AC 27 Juin 1982
4. P. BERTRAND, G MICHAILESCO, J. M. SIRET: " Sur la Synthèse de Modeles Reduits par Agregation" - APCET Vol 10, Juillet 1976
5. D. BIGMAN. TOWARD OPTIMOZING: "Buffer Stock Operation" - IFAC Symposium, Warsaw Poland, Juillet 1983
6. N. BOURBAKI: "Eléments de Mathematiques" Topologie Générale livre III chapitre 10 Ed. Herman, 1920
7. J.H. CHOW: "Modeling Analyse And Contrôle Of Dynamic Systems" Journal Of IFAC, Vol 21, Numéro 3, May 1985
8. D.W. CLARKE: "Identification Of Industrial Process" Journal Of IFAC, Vol 10, numéro 3, May 1982
9. A. DESROCHERS and R.Y. AL JAAR: " A Method For High Order Linear System Reduction And Non Linear System Simplification" Automatica, volume 21, Novembre 1985.
10. L. DIDAY, G. GOUAERT: "Classification Automatique avec Distance Adaptée" MAIMO - vol 11 n°4 1977
11. DOUMENIGTS G, BREUIL D, RUM L: "La Gestion de Production Assistée par Ordinateur Ed. HERMES 1984
12. M. DROUIN, H.ABOU KANDAL, P. BERTRAND: "On A Pratical Approach To Real Time Contrôle " IFAC Symposium, Warsaw Poland, Juillet 1983.
13. J. DUMONIET, J. VIGMES: " Détermination du pas Optimal dans le calcul des Derives sur Ordinateur" RAIRO vol 11 N° 1, 1977
14. CH. V. FEUVRIER: " La simulation des Systemes" DUNOD Ed. 1982
15. A. FOSSARD: " Outils et Modeles Mathematiques pour l'Automatique l'Analyse des Systemes et le Traitement du Signal" Journal OF IFAC Vol 19 N°1 Janvier 1983

16. KACPRZYNSKY B.: "A Method Of Bursting Equational Constraints In The Optimisation Of Developpement Of Territorial Production Complexes" Polish Scientific Publishers, Warsaw 1976.
17. KACPRZYNSKY B.: "Interregional Models Of Aganbegian And Tinbergen's Comparative Analysis" *Economica Polona*, N°2 1979.
18. S. KTVSKA MAWARECKA: "Optimisation d'une Production dans des Conditions de Determinabilite Incomplete". -- AFCET FEVRIER 1983.
19. J. LEFEBURE, M. BOITARD, J.F. REY.: "Logiciels d'Analyses Statistiques Multidimensionnelle sur Micro Ordinateur Mason 1981
20. S.A. MARSCHALL: " An Approximate Method For Reducing The Order Of Linear System" *Automatic Control*, Décembre 1976.
21. MONNIER B.: "Contribution a la Commande d'une Classe de Procédés Dynamiques Industrielle, dans de grands domaines de fonctionnement". Thèse Docteur Ingénieur IMP Grenoble 1977
22. A. NICO: " Method For Simplifying Linear Dynamic Systems " *IEEE Trans Automat Control*. Vol AG 12, 1967.
23. C.J. OLSIE: "Dynamic Hierarchical Control" *Journal OF IFAC*, Vol 18 N°4, July 1982
24. K. RITIER: "A Decomposition Method For Structured Non Lineaire Programming Problèmes" *AFCET*, July 1978
25. W. SCHAFER: "Optimal Control Of Complex System By Dynamic Programming" *IFAC / IFORS Symposium Warsaw Poland July 1983.*
26. F. Stanciulescu: " Application Of The Large Scale System Theory To The Optimisation Of Industrial Process" *IFAC / IFORS Symposium, Poland July 1983.*
27. A. TITLI: " Theorie de la commande Hierarchic" *IFAC VI de BOSTON Jul. 1976*

- 28. A. TIHLI, M. SINGH: " Large Scale Systemes Decomposition Optimisation And Control" Pergamon Press, 1982
- 29. S.G. TOCZYLOWSKI: " Exploitation Of A Hiearchical Structure In Simulation Of Large Scale System" IFAC Syposium, Warsaw Poland, Juillet 1983.
- 30. H.H. WILPERT: "Identification Aspects In Large Scale Systems" IPAC/ Symposium, Warsaw Poland, Juillet 1983.
- 31. D.WISMER : " Decomposition And The Distribution Parameter System, 1972
- 32. WISNER D.A. : " Optimisation For Large Scale Systems Los Angeles. University Of Californie Ed. 1971.

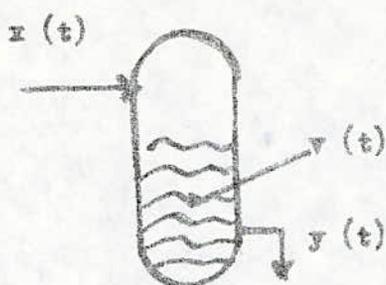
ANNEXE A.1 : CALCUL DE T, V<sub>0</sub>, V<sub>M</sub>

Fig : A.I. 1.

Détermination de V<sub>0</sub>:

$$v(t) = v_0 + \int_0^t [x(\tau) - y(\tau)] d\tau \quad v(t) \geq 0 \quad (\text{A.I. 1})$$

$$= v_0 + C(t)$$

où  $v_0$  - volume du matériel dans le stock pour  $t = 0$

Pour  $x(t)$ ,  $y(t)$  quelconques et  $t \in [0, T]$

il faut déterminer  $V_0$

$$0 \leq v(t) = v_0 + \int_0^t (x(\tau) - y(\tau)) d\tau \leq V_M \quad (\text{A.I. 2})$$

où  $V_M$  - volume maximal - capacité du stock

ayant  $x(t)$  et  $y(t)$  pour  $t \in [0, T]$

$$V_0 = \left| \min_{\theta \in [0, T]} \int_0^\theta (x(\tau) - y(\tau)) d\tau \right| \quad (\text{A.I. 3})$$

Détermination de V<sub>M</sub>:

On voit aisément que :

$$V_M = v_0 + \max_{\theta \in [0, T]} \int_0^\theta (x(\tau) - y(\tau)) d\tau \quad (\text{A.I. 4})$$

Dans notre travail, pour simplification de calculs :  $V_M = 2 V_0$

Détermination de T :

1) - On calcule  $C(t)$

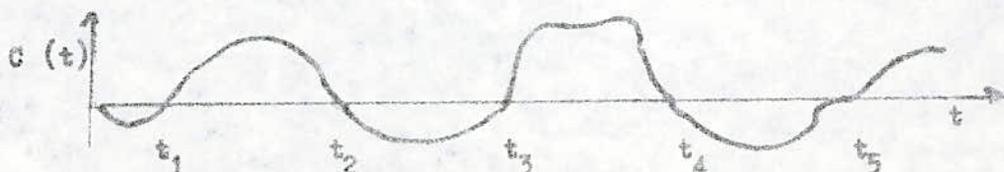


Fig: A.I. 2

2) - On détermine les passages par zéro de  $C(t)$

$$t_1, t_2, t_3, \dots$$

3) - On pratique  $T = t_1$  ( par exemple  $T = t_3$  ) et on peut trouver parmi les  $t_i$  les valeurs tel que :

$$t_k \approx 2T$$

$$t_k \approx 3T$$

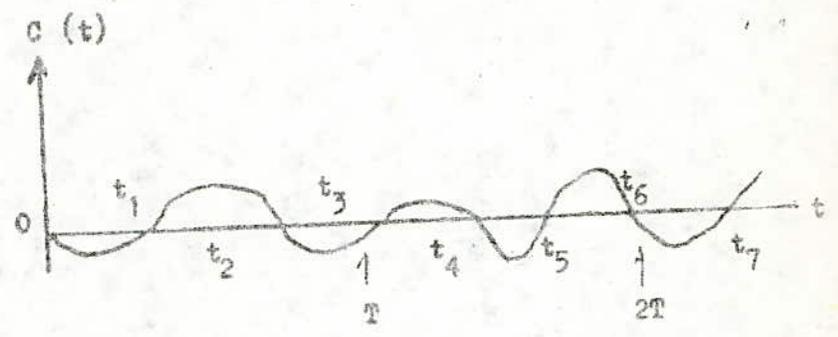


Fig : A.I. 3.

4) - Après avoir déterminé T sur la base des  $t_i$  on prépare l'algorithme en ajoutant l'hypothèse :

$$V(T) = V_0 = V(2T) = \dots = V(mT)$$

mais il faut choisir  $V_0$  et  $V_m$  pour qu'on ait toujours :

$$0 \leq V_0 + \int_0^t (x(\tau) - y(\tau)) d\tau \leq V_m$$

même si on calcule uniquement

$$V((m-1)T) + \int_{(m-1)T}^{mT} (x(\tau) - y(\tau)) d\tau$$

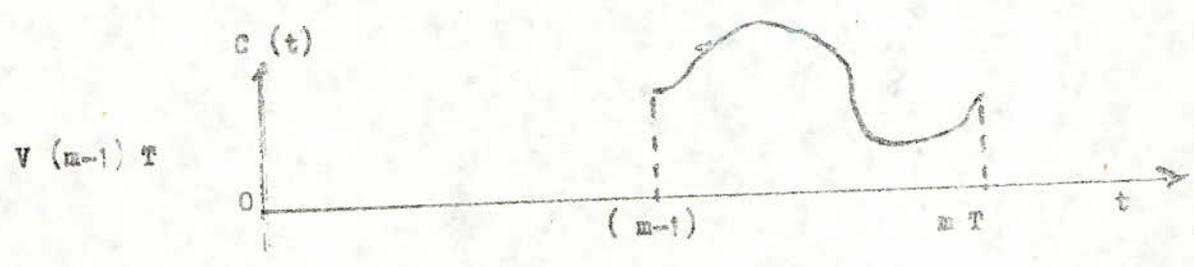


Fig : A.I. 4

5) - Simplification possible

$$-V_0 = \frac{1}{T} V_m = \max_{\theta \in [(m-1)T, mT]} \int_0^{\theta} (x(\tau) - y(\tau)) d\tau \quad (\text{A.I. 6})$$

$$-C(t) = 0 \text{ pour } t = mT \quad m = 0, 1, \dots, T \text{ donné.}$$

II. - CALCULS :

On fait un échantillonnage de  $C(t)$  avec la période d'échantillonnage  $\Delta t$

$$C(t) = \int_0^t (x(\tau) - y(\tau)) d\tau \approx C(n) = \Delta T \sum_0^n (x(n) - y(n)) \quad (\text{A.I. 7})$$

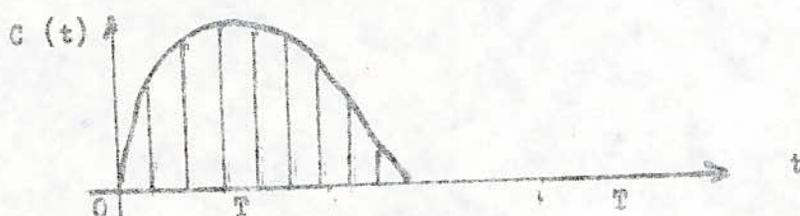


Fig: A.I. 5.

Puis on détermine les zéros de  $C(n)$

$$C(n) = 0 \text{ pour } n = 0, n_1, n_2, \dots, n_k, \dots$$

Calcul de T



Fig: A.I. 6.

$$\text{Pour } n_i \text{ on a } C(n_i) = 0 \quad i = 0, 1, \dots, k$$

$$) - \text{On calcule : } 2n_1, 3n_1, \dots, mn_1 \quad (\text{A.I. 8})$$

et ensuite,

$$\min ( 2n_1 - n_1, 2n_1 - n_2, \dots, 2n_1 - n_k ) = D ( 1, 2 )$$

$$\min ( 3n_1 - n_1, 3n_1 - n_2, \dots, 3n_1 - n_k ) = D ( 1, 3 )$$

$$\dots \quad (A.I. 9)$$

$$\min ( 1n_1 - n_1, 1n_1 - n_2, \dots, 1n_1 - n_k ) = D ( 1, 1 )$$

$$\text{avec} \quad 1n_1 \leq n_k + 1 \quad (A.I. 10)$$

$$\text{On pose} \quad E ( 1, 1 ) = \sum_{i=2}^1 D ( 1, i ) \quad (A.I. 11)$$

De même on calcule

$$2n_2, 3n_2, \dots, mn_2 \quad (A.I. 12)$$

et ensuite,

$$\min ( |2n_2 - n_1|, |2n_2 - n_2|, \dots, |2n_2 - n_k| ) = D ( 2, 2 )$$

$$\min ( |3n_2 - n_1|, |3n_2 - n_2|, \dots, |3n_2 - n_k| ) = D ( 2, 3 )$$

$$\dots \quad (A.I. 13)$$

$$\min ( |1n_2 - n_1|, |1n_2 - n_2|, \dots, |1n_2 - n_k| ) = D ( 2, 1 )$$

$$1n_2 \leq n_k + 1 \quad (A.I. 14)$$

On aura

$$E ( 2, 1 ) = \sum_{i=2}^1 D ( 2, i ) \quad (A.I. 15)$$

On répète  $v$  fois la même procédure, jusqu'à calculer :

$$E ( r, 1 ) = \sum_{i=2}^1 D ( r, i ) \quad (A.I. 16)$$

et on détermine

$$\min [ E ( 1, 1 ), E ( 2, 1 ), \dots, E ( r, 1 ) ] = E ( n_w, 1 ) \quad (\text{A.I. 17})$$

$$\text{d'où on prendra } T = n_w \quad (\text{A.I. 18})$$

6) - Calcul de  $V_o$  et  $V_m$

On détermine d'abord  $C ( t ) \quad i = 1, 2, \dots, T, T ( t ), \dots, 2 T, \dots$

et ensuite:

$$\begin{aligned} V_{o1} &= \left[ \min [ C ( 1 ), C ( 2 ), \dots, C ( T ) ] \right] \\ V_{o2} &= \left[ \min [ C ( T + 1 ), C ( T + 2 ), \dots, C ( 2 T ) ] \right] \\ &\vdots \\ &\vdots \\ V_{oP} &= \left[ \min [ C [ ( P - 1 ) T + 1 ], C [ ( P - 1 ) T + 2 ], \dots, C ( pT ) ] \right] \end{aligned} \quad (\text{A.I. 19})$$

$V_o$  sera déterminé par

$$V_o = \max ( V_{o1}, V_{o2}, \dots, V_{oP} ) \quad (\text{A.I. 20})$$

7) - De même le volume maximal  $V_m$  sera déterminé en calculant d'abord :

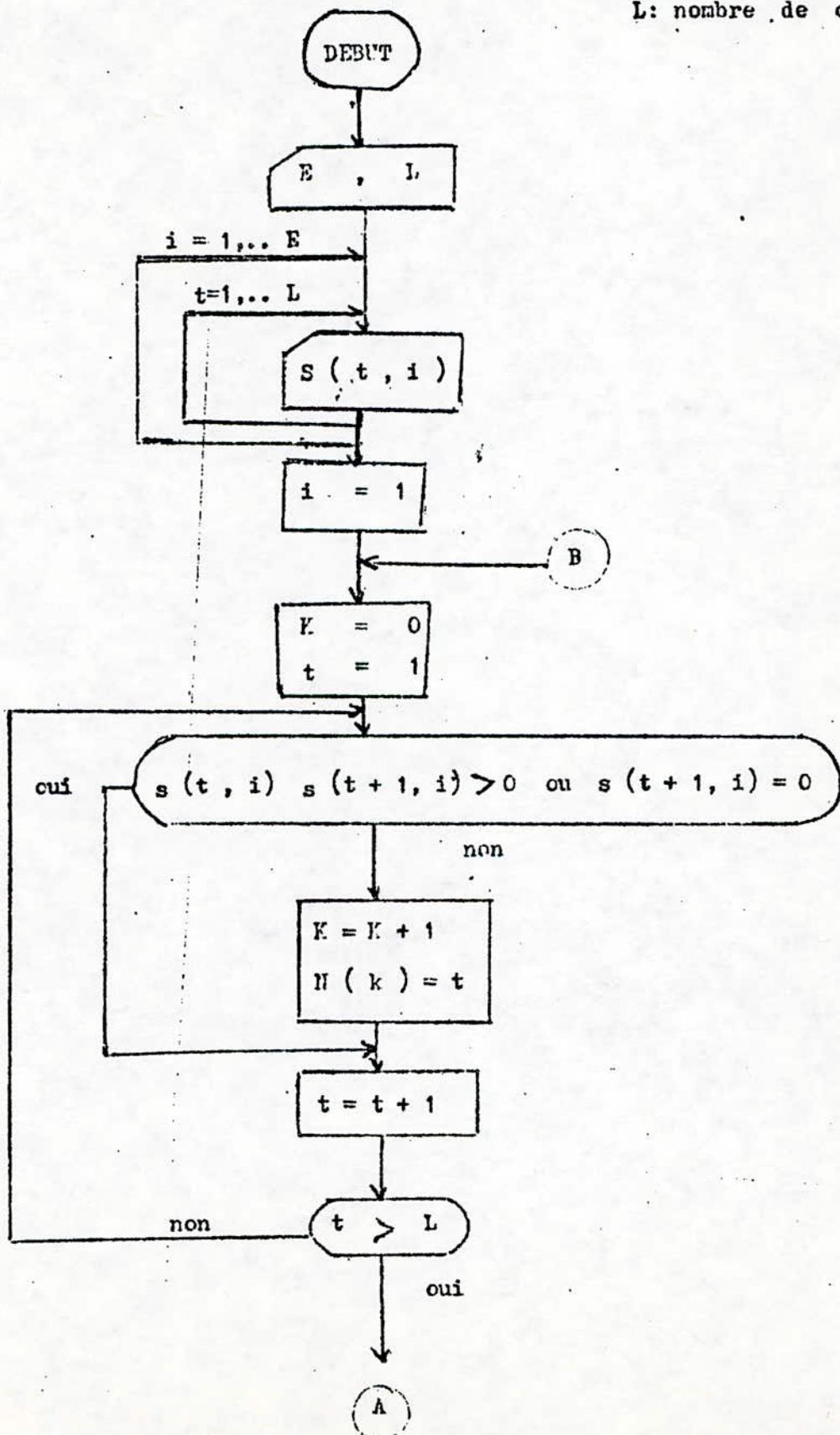
$$\begin{aligned} V_{m1} &= \max [ C ( 1 ), C ( 2 ), \dots, C ( T ) ] \\ V_{m2} &= \max [ C ( T + 1 ), C ( T + 2 ), \dots, C ( 2 T ) ] \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \quad (\text{A.I. 21})$$

$$\begin{aligned} V_{mP} &= \max [ C [ ( P - 1 ) T + 1 ], C [ ( P - 1 ) T + 2 ], \dots, C ( pT ) ] \\ V_m &= V_o + \max [ V_{m1}, V_{m2}, \dots, V_{mP} ] \end{aligned} \quad (\text{A.I. 21})$$

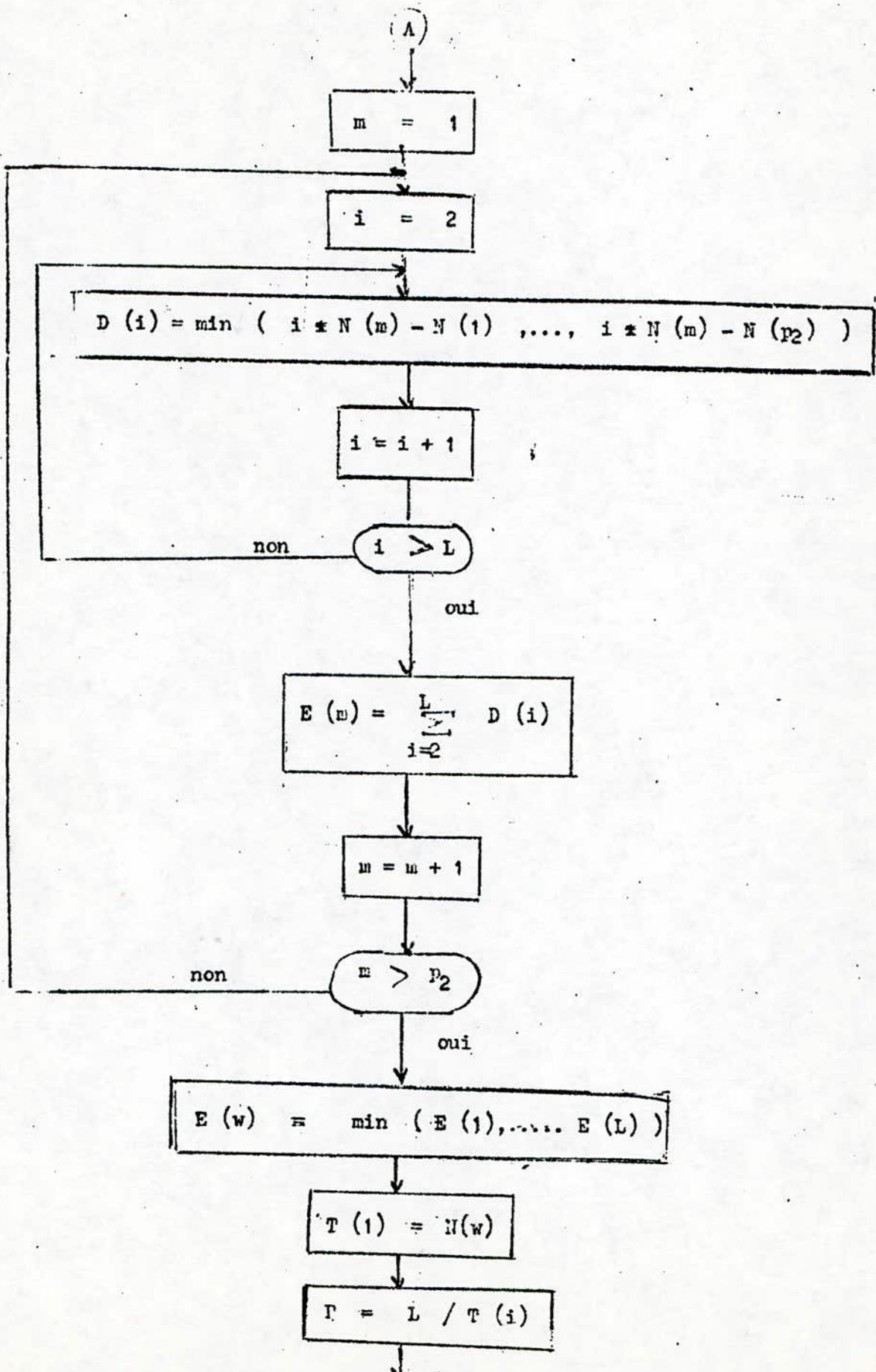
CALCUL DE T, VC, VMAX

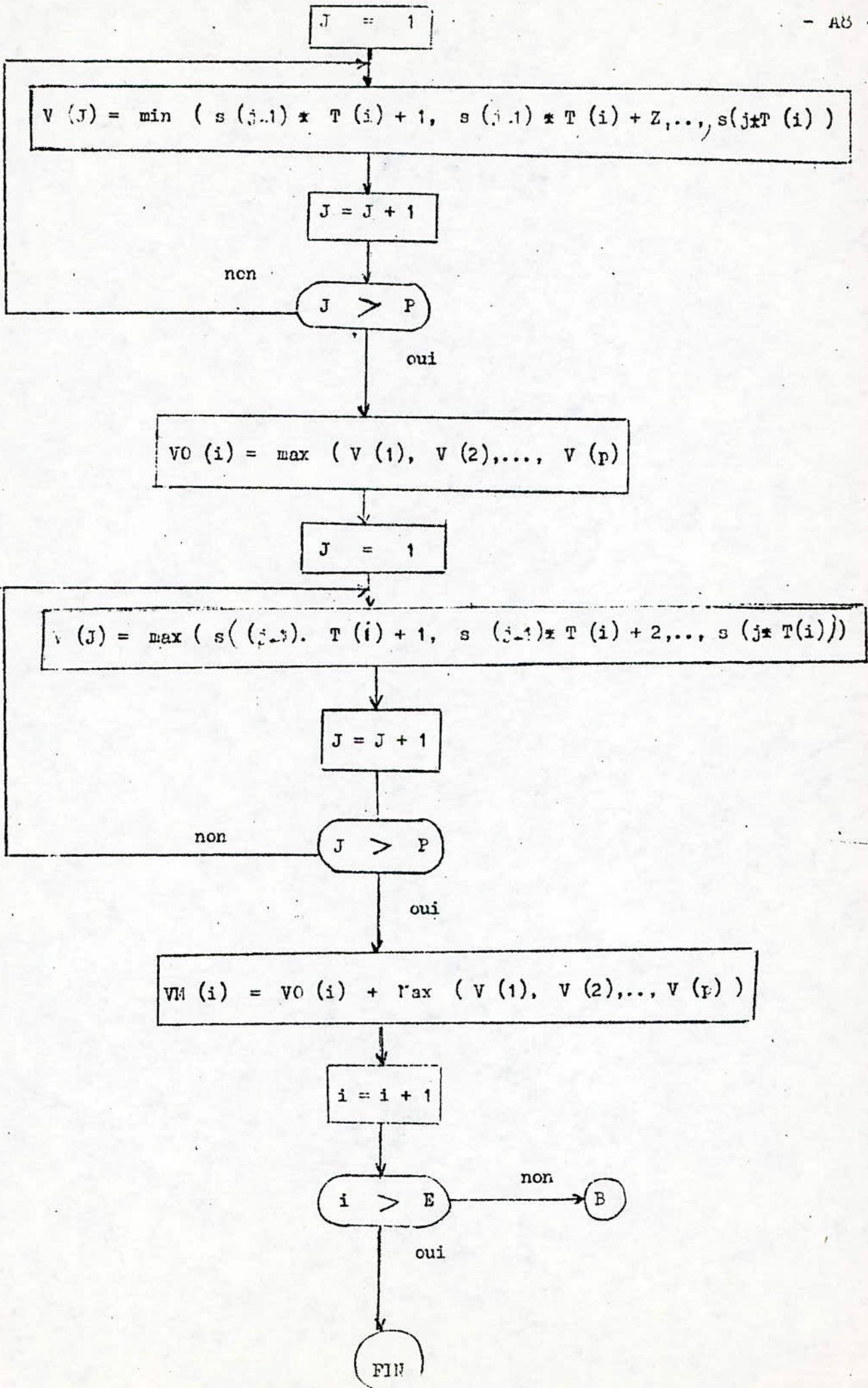
E: nombre d'entrées

L: nombre de cas.



CALCUL DE T, VC, VMAX (suite)





Comme on travaille avec un ordinateur et que l'on a un signal continu  $s(t)$ , il faut échantillonner ce dernier. Le passage de la représentation continue à la représentation discrète est appelé "discrétisation". Pour faire le lien entre le signal discret et continu, on utilise un train d'impulsions. Le signal échantillonné  $S^*(t)$  obtenu par la multiplication du signal continu par un train d'impulsion de Dirac.

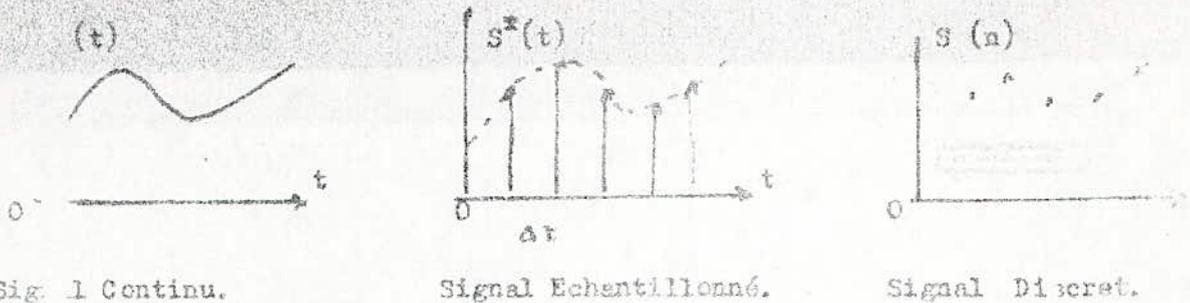


Fig: A.2. 1.

Par définition, on peut écrire :

$$S^*(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} S(n \Delta t) \delta(t - n \Delta t)$$

Le passage de  $s(t)$  et  $S^*(t)$  sera symbolisé par l'échantillonneur représenté en (a)



Schéma bloc de l'échantillonneur

Fig: A.2. 2.

Problème posé: comment choisir la période d'échantillonnage  $\Delta T$  de manière à éviter une dégradation d'information importante due à la discrétisation.

### 1) Théorème de Shannon :

Si la fréquence d'échantillonnage d'un signal est au moins supérieure au double de la fréquence la plus haute contenue dans ce signal, on obtient une information discrète, équivalente à l'information continue.

2) - Pour être plus précis quand au choix de  $\Delta T$ , on procède comme suit :

on a :

- Le signal continu  $s(t)$
- Le signal échantillonné  $s^*(t) = \sum s(t) \delta(t - n \Delta T)$
- Le signal discret  $S_n = S(n \Delta T)$

SIGNAL CONTINU	SIGNAL DISCRET
Fonction d' autocorrelation	
$C_{XX}(\eta) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [s(t) s(t - \eta)] dt$	$C_{XX}(k) =$
Densité Spectrale	
$C_{XX}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} C_{XX}(\eta) e^{-j\omega\eta} d\eta$	$C_{XX}(\omega) = \sum_{-\infty}^{+\infty} C_{XX}(k) e^{-j\omega k \Delta T}$
Transformée de Fourice inversée	
$C_{XX}(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} C_{XX}(\omega) e^{j\omega n \Delta T} d\omega$	$C_{XX}(k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} C_{XX}(\omega) e^{-j\omega k \Delta T} d\omega$

En calculant  $C_{XX}(n)$  et  $C_{XX}(k)$  et les transformées inverses, on fait la comparaison :

$$C_{XX}(\omega) \approx C_{XX}(\omega) \implies C_{XX}(\eta) = C_{XX}(k)$$

lors  $\Delta T$  est bien choisie, dans le cas contraire on prend  $\Delta T' < \Delta T$  et on fait un nouveau échantillonnage.

Remarque:  $N = \frac{T}{\Delta T}$  qualité de l'information

on prend soin à ce que  $\frac{1}{\Delta T} \geq \frac{2}{T}$

ANNEXE 3: MATRICE DE CORRELATION

Dans l'étude du sous-système, il peut se trouver que certaines entrées sans être liées par liaison fonctionnelle, ne soient pas totalement indépendantes. On dira alors qu'il existe entre elles une liaison stochastique ou qu'elles sont corrélées. Pour l'étude de cette liaison, il existe deux procédés :

1. Régression
2. Corrélation: contrairement à la régression, elle ne distingue ni les variables dépendantes, ni indépendantes et toutes les variables sont aléatoires.

- Coefficient de Corrélation :

$$r = \frac{C}{\sigma_x \sigma_y}$$

où  $C$  - covariance de  $x$  et  $y$ ,  $C = E(x y) - E(x) E(y)$  (A.3.1)  
 $\sigma_x$  et  $\sigma_y$  variances respectives de  $x$  et  $y$ .

Quelle que soit la loi de probabilité du couple  $(x, y)$   $r$  est compris entre les valeurs  $-1$  et  $+1$ . Si :

- $r = 0$   $x$  et  $y$  sont indépendantes,
- $(r) = 1$   $x$  et  $y$  sont liées par une relation fonctionnelle.

Si par exemple, la loi de  $x$  et  $y$  est normale, réciproquement :

- $r = 0$  entraîne l'indépendance de  $x$  et  $y$
- $r = 1$  implique une relation fonctionnelle.

Généralement, il est difficile de calculer le coefficient de corrélation par la formule (A.3.1), donc on est obligé de prendre une autre méthode, afin d'arriver à notre but.

Indice de Corrélation :

On peut caractériser l'intensité de la liaison stochastique entre les variables  $x$  et  $y$  par le rapport de la variance résiduelle  $\sigma^2_{x/y}$  à la variance marginale  $\sigma^2_y$ . En fait on utilise le complément à un de ce rapport.

Soit  $r^2$  cette quantité appelée indice de corrélation :

$$r^2 = 1 - \left( \frac{\sigma^2_{x/y}}{\sigma^2_y} \right) \quad (\text{A.3.2})$$

Dans le cas où  $x$  et  $y$  suivent la loi normale, cette quantité est égale au carré du coefficient de corrélation.

Pratiquement, on calcule  $r^2$  à l'aide des expressions suivantes :

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{n \sigma_x \sigma_y} \quad (A.3.3)$$

On montre que  $r$  est une estimation convergente, mais biaisée de  $\rho$ . Sa loi de probabilité est complexe.

Toutefois, si la taille de l'échantillon est grande ( $n > 100$ ) la loi de distribution de  $r$  peut être considérée comme normale de moyenne  $\rho$  et d'écart-type :

$$\frac{1 - r^2}{\sqrt{n - 1}}$$

Remarque: Pour les valeurs de  $n$  comprises entre 30 et 100, on utilise le procédé dit de la corrélation transformée de Fisher.

Considérons la variable aléatoire :

$$Z = \frac{1}{2} \log \frac{1 + \rho}{1 - \rho} = \text{Arctanh } \rho \quad (A.3.4)$$

On montre que  $Z$  suit sensiblement une loi normale de moyenne égale à :

$$\frac{1}{2} \log \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \quad \text{et d'écart-type} \quad \frac{1}{\sqrt{n - 3}}$$

Cette transformation a été tabulée. Elle permet de résoudre les problèmes d'intervalles de confiance, de comparaison à un standard; en particulier la comparaison de  $\rho$  à 0.

Après avoir calculé  $\rho$  suivant la méthode précédente, on peut alors trouver la matrice de corrélation.

Pour les variables  $X_i$  qui suivent des lois normales, on a :

- La variance :  $E(x_i - \mu)^2 = \sigma_i^2 \quad (A.3.5)$

- La covariance entre  $x_i$  et  $x_{i-1}$  :  $E[(x_i - \mu)(x_{i-1} - \mu)] = r \sigma_i^2 \quad (A.3.6)$

- La covariance entre  $x_i$  et  $x_j$  :  $E[(x_i - \mu)(x_j - \mu)] = r^{|i-j|} \sigma_i^2$

Exemple :  $E (x_1 - \mu) (x_2 - \mu) = r^2 \sigma_1^2$

Remarque :  $r_{ij} = \frac{\text{cov} (x_i, x_j)}{\sigma_i \sigma_j}$

$r_{ii} = \frac{\text{cov} (x_i, x_i)}{\sigma_i \sigma_i} = \frac{E (x_i - \mu)^2}{E (x_i - \mu)^2} = 1$

La matrice de corrélation est la suivante :

$$\text{cov} = \begin{bmatrix} \text{Var} (x_1) & \text{cov} (x_1, x_2) & \dots & \text{cov} (x_1, x_n) \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \text{cov} (x_n, x_1) & \dots & \dots & \text{Var} (x_n) \end{bmatrix}$$

$$\text{cov} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & r \sigma_1^2 & \dots & r^{n-1} \sigma_1^2 \\ r \sigma_1^2 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r^{n-1} \sigma_1^2 & \dots & \dots & \sigma_1^2 \end{bmatrix}$$

Comme  $G_j = \frac{\text{cov} (x_i, x_j)}{\sigma_i \sigma_j}$  on a la matrice de corrélation :

$$= \begin{bmatrix} 1 & r & \dots & r^{n-1} \\ r & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r^{n-1} & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix}$$

Influence du coefficient de corrélation :

Comme on vient de le voir, le coefficient de corrélation permet de déterminer la dépendance qui existe entre les deux entrées. En fait

si l'on a plusieurs entrées et on veut savoir qu'elle est la sortie et si de plus il existe une corrélation entre les entrées, on peut alors faire l'étude de la variation d'une seule entrée et trouver l'évolution des autres entrées, grâce au coefficient de corrélation.

Concluons sur l'importance de ce coefficient, car il diminue le temps de calcul de la machine vu qu'on n'a pas à utiliser toutes les entrées.

Influence de variance :

Si dans le système assisté de sous-systèmes non linéaire par les changements de la variance, on peut maintenir la sortie ( production ) constante.

Exemple :

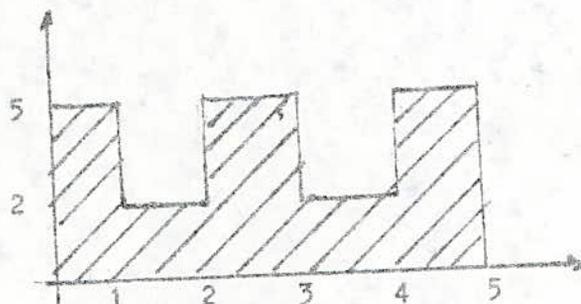


Fig :

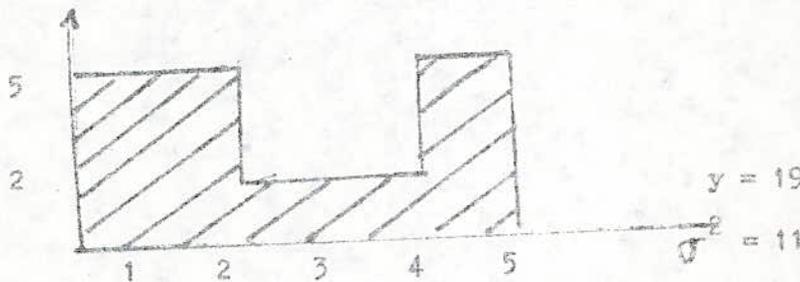


Fig :

ANNEXE 4 :

CALCUL DU MINIMUM DES VARIABLES ALEATOIRES SUIVANT DES LOIS NORMALES

On a un filtre stochométrique avec n entrées et le vecteur  $(1, \dots)$

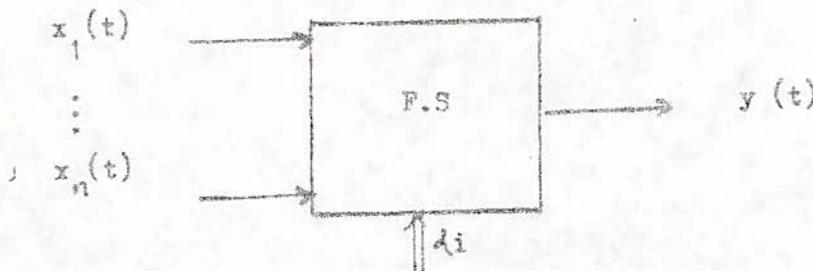


Fig :

On fait les hypothèses que

$$X_i \sim N(\mu_i, \sigma_i) \text{ et les } X_i \text{ sont indépendantes}$$

Alors,

$$y = \min (X_1, \dots, X_n) = \varepsilon (x_1, \dots, x_n)$$

$$\begin{aligned} F_y(y) &= P_b(Y \leq y) = P_b[\varepsilon(x_1, \dots, x_n) \leq y] = \\ &= P_b[\min(x_1, \dots, x_n) \leq y] = \\ &= 1 - P_b[\min(x_1, \dots, x_n) > y] \end{aligned}$$

La loi d'ensemble des  $x_i$  est :

$$\begin{aligned} &(x_1, \dots, x_n, \rho, \sigma) d_{x_1} d_{x_2} \dots d_{x_n} = \\ &(2\pi)^{n/2} (1 - \rho^2)^{-\frac{n-1}{2}} \frac{1}{e} \left[ -\frac{x_i^2}{2} + \sum \frac{(x_i - \rho X_{i-1})^2}{1 - \rho^2} \right] d_{x_1} \dots d_{x_n} \end{aligned}$$

à  $\rho$  est le coefficient de corrélation.

pour la variable  $y = \min(x_1, x_2)$

$$\text{avec } X_i \sim N(\mu_i, \sigma_i)$$

on a

$$(y \leq x) = P_b(\min(x_1, x_2) \leq x)$$

$$= 1 - P_b(\min(x_1, x_2) > x)$$

$$(y \leq x) = 1 - P_b(x_1 > x \text{ et } x_2 > x)$$

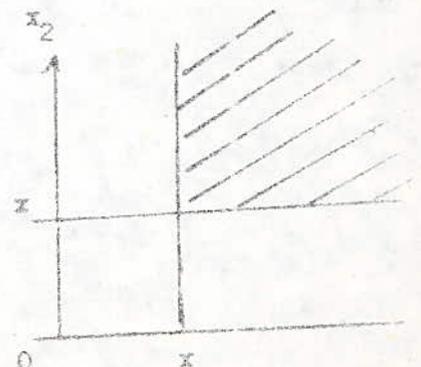


Fig:

```

10 KEY OFF : CLS : CLEAR : RESET
20 PRINT
30 PRINT TAB(20) "CONTROLE DE LA SORTIE EN TEMPS DIFFERE"
40 PRINT TAB(20) "-----"
50 PRINT : PRINT
60 PRINT TAB(18) "ENTREES" TAB(32) "SATURATION" TAB(47) "NOMBRE DE CAS"
70 PRINT TAB(18) "-----" TAB(32) "-----" TAB(47) "-----"
80 PRINT TAB(27) ", " TAB(44) ", " CHR$(30) TAB(20) : INPUT " " , N, SA, T
90 DIM AL(N), V(T+1, N), VM(N), X(T, N), Y(T), S(T, N), SF(T, N), PT(T), D(N)
100 DIM Y1$(SA), X1$(2*T), TB$(SA, 2*T), MOY(N), SYG(N), RT(T), SM(20)
110 LPRINT
120 LPRINT TAB(20) "CONTROLE DE LA SORTIE EN TEMPS DIFFERE"
130 LPRINT TAB(20) "-----"
140 LPRINT
150 LPRINT "DONNEES INITIALES"
160 LPRINT "-----"
170 LPRINT
180 LPRINT TAB(10) "NOMBRE D'ENTREES..... " N
190 LPRINT TAB(10) "VOLUME DE SATURATION..... " SA
200 LPRINT TAB(10) "PERIODE..... " T
210 LPRINT
220 LPRINT TAB(10) "ENTREE" TAB(19) "COEFFICIENT" TAB(33)
230 LPRINT "STOCK INITIALE" TAB(50) "STOCK MAX" TAB(62) "MOYENNE" TAB(72)
240 LPRINT "VARIANCE"
250 LPRINT TAB(10) "-----" TAB(19) "-----" TAB(33)
260 LPRINT "-----" TAB(50) "-----" TAB(62) "-----" TAB(72)
270 LPRINT "-----"
280 PRINT : PRINT
290 PRINT TAB(10) "ENTREE" TAB(19) "ALPHA I" TAB(29) "STOCK INITIAL" ;
300 PRINT TAB(45) "STOCK MAX" TAB(58) "MOYENNE" TAB(68) "VARIANCE"
310 PRINT TAB(10) "-----" TAB(19) "-----" TAB(29) "-----" ;
320 PRINT TAB(45) "-----" TAB(58) "-----" TAB(68) "-----"
330 FOR I = 1 TO N
340 PRINT TAB(27) ", " TAB(43) ", " TAB(57) ", " TAB(66) ", " ;
350 PRINT CHR$(30) TAB(12) I TAB(20)
360 INPUT " ", AL(I), V(1, I), VM(I), MOY(I), SYG(I)
370 LPRINT TAB(11) I TAB(22) AL(I) TAB(37) V(1, I) TAB(52) VM(I) TAB(64)
380 LPRINT MOY(I) TAB(75) SYG(I)
390 NEXT I
400 REM
410 REM LECTURE DES DONNEES
420 REM
430 FOR K = 1 TO N
440 FOR I = 1 TO T STEP 2
450 U1=RND : U2 = RND
460 V1=2*U1-1 : V2=2*U2-1 : W=V1*V1+V2*V2
470 IF W > 1 THEN 450
480 YY=((-2*LOG(W))^(1/2)) : X1=V1*YY : X2=V2*YY
490 X1=MOY(K)+X1*SYG(K)
500 IF X1<(MOY(K)-SYG(K)) OR X1>(MOY(K)+SYG(K)) THEN X1 = MOY(K)
510 X2=MOY(K)+X2*SYG(K)
520 IF X2<(MOY(K)-SYG(K)) OR X2>(MOY(K)+SYG(K)) THEN X2 = MOY(K)
530 X(I, K)=INT(X1*10)/10
540 IF (I+1) > T THEN 560
550 X(I+1, K)=INT(X2*10)/10
560 NEXT I
570 NEXT K
580 FOR J = 1 TO T
590 REM
600 REM CALCUL DES VALEURS DE LA FONCTION STOCK ET DU
610 REM NOUVEAU VOLUME DU STOCK POUR CHAQUE ENTREE

```

```

20 REM
30 YM = SA
40 FOR I=1 TO N
50 IF YM <=(X(J,I)+V(J,I))/AL(I) THEN 670
60 YM=(X(J,I)+V(J,I))/AL(I)
70 NEXT I
80 Y(J) = INT(YM*10)/10
90 FOR I = 1 TO N
00 S(J,I) = X(J,I) - AL(I)*Y(J)
10 V(J+1,I) = V(J,I) + S(J,I)
20 IF V(J+1,I) <= VM(I) THEN 760
30 SP(J,I) = V(J+1,I) - VM(I)
40 V(J+1,I) = VM(I)
50 S(J,I) = S(J,I) - SP(J,I)
60 S(J,I)=INT(S(J,I)*10)/10
70 SP(J,I)=INT(SP(J,I)*10)/10
80 V(J+1,I)=INT(V(J+1,I)*10)/10
90 NEXT I
00 NEXT J
10 REM
20 REM      IMPRESSION DES VALEURS :
30 REM
40 REM
50 REM      - ENTREES DU SYSTEM
60 REM      - VOLUME DU STOCK
70 REM      - PRODUCTION MAXIMAL
80 REM      - FONCTION STOCK
90 REM      - SURPLUS
00 REM
10 LPRINT : LPRINT : LPRINT "RESULTATS" : LPRINT "-----" : LPRINT
20 LPRINT " T " ;
30 FOR I = 1 TO N : LPRINT " X"+CHR$(48+I)+" " ;
40 NEXT I
50 LPRINT " Y " ;
60 FOR I = 1 TO N : LPRINT " V"+CHR$(48+I)+" " ;
70 NEXT I
80 FOR I = 1 TO N : LPRINT " S"+CHR$(48+I)+" " ;
90 NEXT I
000 REM FOR I = 1 TO N : LPRINT " SP"+CHR$(48+I)+" " ;
010 REM NEXT I
020 LPRINT TAB(2) "-" TAB(4)
030 FOR I = 1 TO N : LPRINT " -- " ;
040 NEXT I
050 LPRINT " - " ;
060 FOR I =1 TO N : LPRINT " -- " ;
070 NEXT I
080 FOR I =1 TO N : LPRINT " -- " ;
090 NEXT I
100 REM FOR I = 1 TO N : LPRINT " --- " ;
110 REM NEXT I
120 FOR I =1 TO T
130 LPRINT TAB(1) I TAB(5) ;
140 K=5
150 FOR J = 1 TO N
160 K=K+6
170 LPRINT X(I,J) TAB(K)
180 NEXT J
190 K=K+7
200 LPRINT " " Y(I) TAB(K) ;
210 FOR J = 1 TO N
220 K=K+6

```

```

230 LPRINT V(I,J) TAB(K)
240 NEXT J
250 FOR J = 1 TO N
260 K=K+6
270 LPRINT S(I,J) TAB(K)
280 NEXT J
290 REM FOR J=1 TO N
300 REM K=K+6
310 REM LPRINT SP(I,J) TAB(K)
320 REM NEXT J
330 NEXT I
340 LPRINT
350 PRINT "APPUYER SUR LA BARRE D'ESPACE POUR CONTINUER"
360 IF INKEY#<>" " THEN 1360
370 LPRINT : LPRINT
380 LPRINT TAB(20) "CONTROLE DE LA SORTIE : PARTIE NON LINEAIRE CONVEXE"
390 LPRINT TAB(20) "-----"
400 MAX = 0 : MIN = 0
410 CLS : PRINT TAB(20) "REGULATION DE LA SORTIE"
420 PRINT TAB(20) "-----" : PRINT
430 PRINT TAB(20) "MOYENNE          VARIANCE"
440 PRINT TAB(20) "-----          -----"
450 PRINT TAB(30) ", " CHR$(30) TAB(23)
460 INPUT " ",MY,ST
470 FOR I = 1 TO T STEP 2
480 U1=RND      : U2=RND
490 V1=2*U1-1   : V2=2*U2-1   : W=V1*V1+V2*V2
500 IF W > 1 THEN 1480
510 Y2=((-2*LOG(W))/W)^(1/2) : X1=MY+ST*V1*Y2 : X2=MY+ST*V2*Y2
520 IF X1<(MY-ST) OR X1>(MY+ST) THEN X1=MY
530 IF X2<(MY-ST) OR X2>(MY+ST) THEN X2=MY
540 RT(I)=INT(X1*10)/10
550 IF (I+1) > T THEN 1570
560 RT(I+1)=INT(X2*10)/10
570 NEXT I
580 DEF FNZ(Z) = EXP(Z)/10
590 SOM = 0
600 FOR I = 1 TO T
610 MM = INT(FNZ(Y(I)+RT(I))*10)/10
620 SOM = SOM + MM
630 NEXT I
640 SOM = INT(SOM*10)/10
650 IF SOM < MIN THEN MIN = SOM
660 IF SOM > MAX THEN MAX = SOM
670 SM(ST) = SOM
680 INPUT "VOULEZ-VOUS ENTRER UNE AUTRE MOYENNE ET VARIANCE ";R$
690 IF R$ = "0" THEN 1410
700 LPRINT
710 LPRINT TAB(20) "VARIANCE          SORTIE CUMULEE SUR LA PERIODE"
720 LPRINT TAB(20) "-----          -----"
730 FOR I = 1 TO ST
740 LPRINT TAB(23) I TAB(52) SM(I)
750 NEXT I
760 TT = ST
770 REM
780 REM      SOUS-PROGRAMME POUR TRACER LE GRAPHE SORTIE EN FONCTION DE SYGMA
790 REM
800 MM=MAX-MIN : PASY=MM/10 : PASX=TT/3 : POSO=INT(21+MIN*10/MM) : NP=POSO*8-
810 DEF FNZ(Z)=380 + 80*Z/PASX
820 DEF FNY(Z)=NP-8*Z/PASY
830 SCREEN 2 : KEY OFF : CLS

```

-128-

```

1830 SCREEN 2 : KEY OFF : CLS
1840 LOCATE 10,45 : PRINT "SORTIE"
1850 LOCATE POS0,80 : PRINT CHR$(229)
1860 REM TRACAGE DES AXES DE COORDONNEES
1870 LINE(377,NP)-(624,NP):LINE(617,NP-5)-(624,NP):LINE-(617,NP+5)
1880 LINE(380,81)-(380,168):LINE(375,88)-(380,81) : LINE-(385,88)
1890 LOCATE 23,1 :PRINT TAB(47) "GRAPHE DE LA FONCTION SORTIE=f(" CHR$(228) " )"
1900 FOR I = 84 TO 164 STEP 8
1910 LINE(377,I)-(380,I)
1920 NEXT I
1930 FOR I = 380 TO 624 STEP 80
1940 LINE(I,NP)-(I,NP+4)
1950 NEXT I
1960 INC=0
1970 FOR I = POS0 TO 21 STEP 1
1980 LOCATE I,41
1990 PRINT USING "###.#";INC
2000 INC=INC-PASY
2010 NEXT I
2020 INC = 0
2030 FOR I = POS0 TO 11 STEP -1
2040 LOCATE I,41
2050 PRINT USING "###.#";INC
2060 INC = INC + PASY
2070 NEXT I
2080 INC = PASX : L = 55
2090 FOR I = 58 TO 78 STEP 10
2100 LOCATE POS0+1,L
2110 PRINT USING "###.#";INC
2120 INC = INC + PASX : L = L + 10
2130 NEXT I
2140 C = FNY(SM(1)) : L = FNX(1)
2150 LINE(L,C)-(L,C)
2160 REM TRACAGE DE LA COURBE
2170 FOR I = 1 TO TT
2180 C=FNY(SM(I))
2190 L=FNX(I)
2200 IF L > 624 THEN L = 624
2210 IF C > 164 THEN C = 164
2220 IF L < 320 THEN L = 320
2230 IF C < 76 THEN C = 76
2240 LINE-(L,C)
2250 NEXT I
2260 LPRINT
2270 IF INKEY# <> " " THEN 2270
2280 LPRINT
2290 END

```

```

10 KEY OFF : CLS : CLEAR : RESET
20 DEFINT I,N,T,S,Y
30 PRINT
40 PRINT TAB(15) "PROGRAMME DETERMINATION DE LA PRODUCTION MOYENNE"
50 PRINT TAB(15) "-----"
60 PRINT : PRINT
70 PRINT TAB(15) "ENTREES" TAB(30) "SATURATION" TAB(50) "NOMBRE DE CAS"
80 PRINT TAB(15) "-----" TAB(30) "-----" TAB(50) "-----"
90 PRINT TAB(26) ", " TAB(45) ", " CHR$(30) TAB(16)
100 INPUT " ",N,SA,T
110 LPRINT
120 LPRINT TAB(15) "PROGRAMME DETERMINATION DE LA PRODUCTION MOYENNE"
130 LPRINT TAB(15) "-----"
140 LPRINT
150 LPRINT "DONNEES INITIALES"
160 LPRINT "-----"
170 LPRINT
180 LPRINT TAB(20) "NOMBRE D'ENTREES..... " N
190 LPRINT TAB(20) "VOLUME DE SATURATION..... " SA
200 LPRINT TAB(20) "NOMBRE DE CAS..... " T
210 LPRINT
220 LPRINT TAB(20) "ENTREE" TAB(30) "COEFFICIENT" TAB(45)
230 LPRINT "STOCK INITIALE" TAB(62) "STOCK MAX"
240 LPRINT TAB(20) "-----" TAB(30) "-----" TAB(45)
250 LPRINT "-----" TAB(62) "-----"
260 DIM AL(N),V(T+1,N),VM(N),X(T,N),Y(T),S(T,N),SP(T,N),PT(T),SURP(SA),ECART(S)
270 PRINT : PRINT
280 PRINT TAB(10) "ENTREE" TAB(20) "ALPHA I" TAB(35) "STOCK INITIAL" ;
290 PRINT TAB(55) "STOCK MAX"
300 PRINT TAB(10) "-----" TAB(20) "-----" TAB(35) "-----" ;
310 PRINT TAB(55) "-----"
320 FOR I = 1 TO N
330 PRINT TAB(31) ", " TAB(51) ", " CHR$(30) TAB(12) I TAB(20) :
340 INPUT " ",AL(I),V(1,I),VM(I)
350 LPRINT TAB(21) I TAB(34) AL(I) TAB(50) V(1,I) TAB(65) VM(I)
360 NEXT I
370 PRINT "RESULTATS"
380 PRINT "-----"
390 PRINT
400 REM
410 REM          LECTURE DES VALEURS DES ENTREES DU SYSTEME
420 REM
430 FOR J = 1 TO N
440 CLS : PRINT TAB(30) "VALEUR DES ENTREES"
450 PRINT TAB(30) "-----"
460 IN = INT (J/10)
470 IF IN > 0 THEN 510
480 PRINT TAB(30) "TEMPS      ENTREE  X" CHR$(48+J)
490 PRINT TAB(30) "-----      -----"
500 GOTO 530
510 PRINT TAB(30) "TEMPS      ENTREE X" CHR$(48+IN) CHR$(48+J-10*IN)
520 PRINT TAB(30) "-----      -----"
530 SOM = 0
540 FOR I = 1 TO T
550 PRINT TAB(30) I TAB(39)
560 INPUT " ",PT(I)
570 X(I,J) = PT(I)

```

1512

```

680 NEXT I
690 NEXT J
600 LPRINT : LPRINT : LPRINT TAB(20) "CAS ";
610 FOR I = 1 TO N
620 LPRINT " X"+CHR$(48+I)+" ";
630 NEXT I
640 LPRINT TAB(20) "---- ";
650 FOR I = 1 TO N
660 LPRINT " -- ";
670 NEXT I
680 FOR I = 1 TO T
690 K = 25 : LPRINT TAB(20) I TAB(K)
700 FOR J = 1 TO N
710 LPRINT X(I,J) TAB(K+5)
720 K = K+5
730 NEXT J
740 NEXT I
750 IF INKEY# <> " " THEN 750
760 LPRINT "RESULTATS"
770 LPRINT "-----"
780 REM
790 REM          DETERMINATION DE LA VALEUR MOYENNE DE PRODUCTION
800 REM          CORRESPONDANTE A UNE VALEUR DU SURPLUS MINIMUM.
810 REM
820 YM=0
830 SOM = 0
840 FOR J=1 TO T
850 MI = SA
860 FOR I=1 TO N
870 D = X(J,I) - AL(I)*YM
880 IF D <= 0 THEN 920
890 IF D <= VM(I) - V(J,I) THEN 940
900 D = VM(I) - V(J,I)
910 GOTO 940
920 IF -D <= V(J,I) THEN 940
930 D = -V(J,I)
940 IF MI <= (X(J,I)-D)/AL(I) THEN 960
950 MI = (X(J,I)-D)/AL(I)
960 NEXT I
970 Y(J)=MI
980 SOM = SOM + YM-Y(J)
990 FOR I=1 TO N
1000 S(J,I)=X(J,I)-AL(I)*Y(J)
1010 V(J+1,I)=V(J,I)+S(J,I)
1020 IF V(J+1,I)<=VM(I) THEN 1060
1030 SP(J,I)=V(J+1,I)-VM(I)
1040 V(J+1,I)=VM(I)
1050 S(J,I)=S(J,I)-SP(J,I)
1060 NEXT I
1070 NEXT J
1080 ECART(YM) = SOM
1090 SOM = 0
1100 FOR I = 1 TO T
1110 FOR J = 1 TO N
1120 SOM = SOM + SP(I,J)
1130 NEXT J
1140 NEXT I

```

```

150 SURP(YM) = SOM
160 YM = YM + 1
170 IF YM <= SA THEN 830
180 GOTO 1720
190 REM
200 REM          TRACAGE DES GRAPHES SURPLUS ET ECARTS
210 REM
220 MM=MAX-MIN : PASY=MM/10 : PASX=SA/3 : POSO=INT(21+MIN*10/MM) : NP=POSO*8-4
230 DEF FNX(Z)=380 + 80*Z/PASX
240 DEF FNY(Z)=NP-8*Z/PASY
250 SCREEN 2 : KEY OFF : CLS
260 LOCATE 10,45 : PRINT ENT$
270 LOCATE POSO,79 : PRINT "ym"
280 REM TRACAGE DES AXES DE COORDONNEES
290 LINE(377,NP)-(624,NP):LINE(617,NP-5)-(624,NP):LINE-(617,NP+5)
300 LINE(380,81)-(380,168):LINE(375,88)-(380,81) : LINE-(385,88)
310 LOCATE 23,1 : PRINT TAB(55) "GRAPHE DES" + ENT1$
320 FOR I = 84 TO 164 STEP 8
330 LINE(377,I)-(380,I)
340 NEXT I
350 FOR I = 380 TO 624 STEP 80
360 LINE(I,NP)-(I,NP+4)
370 NEXT I
380 PINC=0
390 FOR I = POSO TO 21 STEP 1
400 LOCATE I,40
410 PRINT USING "###.##";PINC
420 PINC=PINC-PASY
430 NEXT I
440 PINC = PASY
450 LPRINT "INC" PINC "PASY" PASY
460 FOR I = POSO-1 TO 11 STEP -1
470 LOCATE I,40
480 PRINT USING "###.##";PINC
490 PINC = PINC + PASY
500 NEXT I
510 PINC = PASX : L = 55
520 FOR I = 58 TO 78 STEP 10
530 LOCATE POSO+1,L
540 PRINT USING "###.#";PINC
550 PINC = PINC + PASX : L = L + 10
560 NEXT I
570 C = FNY(PT(0)) : L = FNX(0)
580 LINE(L,C)-(L,C)
590 REM TRACAGE DE LA COURBE
600 FOR I = 1 TO SA
610 C=FNY(PT(I))
620 L=FNX(I)
630 IF L > 624 THEN L = 624
640 IF C > 164 THEN C = 164
650 IF L < 320 THEN L = 320
660 IF C < 76 THEN C = 76
670 LINE-(L,C)
680 NEXT I
690 LPRINT
700 IF INKEY$ <> " " THEN 1700
710 RETURN

```

```

720 REM
730 REM  CHOIX DE LA VALEUR MOYENNE CORRESPONDANT
740 REM  A UNE VALEURE MINIMUM DU SURPLUS.
750 REM
760 MIN1=SURP(0)
770 LPRINT : LPRINT
780 LPRINT TAB(10) "PRODUCTION MOYENNE" TAB(35) "VALEUR DU SURPLUS"
790 LPRINT TAB(10) "-----" TAB(35) "-----"
800 K=0
810 LPRINT TAB(18) K TAB(42) SURP(K)
820 FOR I = 1 TO SA
830 LPRINT TAB(18) I TAB(42) SURP(I)
840 IF MIN1 < SURP(I) THEN 1870
850 MIN1 = SURP(I)
860 K = I
870 NEXT I
880 LPRINT
890 ENT$ = "SURP(ym) " : MIN = 0 : MAX = 0 : ENT1$ = " SURPLUS"
900 FOR I = 0 TO SA
910 IF SURP(I) < MIN THEN MIN = SURP(I)
920 IF SURP(I) > MAX THEN MAX = SURP(I)
930 PT(I) = SURP(I)
940 NEXT I
950 GOSUB 1220
960 LPRINT : LPRINT : LPRINT
970 LPRINT TAB(2) K " EST LA PRODUCTION MOYENNE QUI MINIMISE LE SURPLUS ";
980 LPRINT "DONT LA VALEUR EST" MIN1
990 LPRINT
000 REM
010 REM  CHOIX DE LA VALEUR MOYENNE CORRESPONDANT
020 REM  A UN ECART MINIMUM .
030 REM
040 MIN1=ABS(ECART(0))
050 LPRINT : LPRINT : LPRINT
060 LPRINT TAB(10) "PRODUCTION MOYENNE" TAB(35) "VALEUR DE L'ECART"
070 LPRINT TAB(10) "-----" TAB(35) "-----"
080 K=0
090 LPRINT TAB(18) K TAB(42) ECART(K)
100 FOR I = 1 TO SA
110 LPRINT TAB(18) I TAB(42) ECART(I)
120 IF MIN1 < ABS(ECART(I)) THEN 2150
130 MIN1 = ABS(ECART(I))
140 K = I
150 NEXT I
160 LPRINT
170 ENT$=" ECART" : MIN = 0 : MAX = 0 : ENT1$ = " ECARTS"
180 FOR I = 0 TO SA
190 IF ECART(I) < MIN THEN MIN = ECART(I)
200 IF ECART(I) > MAX THEN MAX = ECART(I)
210 PT(I) = ECART(I)
220 NEXT I
230 GOSUB 1220
240 LPRINT : LPRINT : LPRINT
250 LPRINT TAB(2) K " EST LA PRODUCTION MOYENNE QUI MINIMISE L'ECART ";
260 LPRINT "DONT LA VALEUR EST" MIN1
270 LPRINT
280 END

```

PROGRAMME : MATRICE DES DISTANCES

```

10 REM
20 REM
30 REM
40 REM
50 REM
60 REM
70 CLS : CLEAR : KEY OFF
80 PRINT TAB(26) "NOMBRE D'ENTREES" TAB(46) "NOMBRE DE CAS"
90 PRINT TAB(26) "-----" TAB(46) "-----"
100 PRINT TAB(43) ", " CHR$(30) TAB(32)
110 INPUT " ", N, T
120 DIM AL(N), X(T, N), V(T), PT(T), D(N, N)
130 DIM Y1$(8A), X1$(2*T), TB$(8A, 2*T)
140 PRINT : PRINT
150 PRINT TAB(30) "ENTREE" TAB(45) "ALPHA I"
160 PRINT TAB(30) "-----" TAB(45) "-----"
170 FOR I = 1 TO N
180 PRINT TAB(32) I TAB(47)
190 INPUT " ", AL(I)
200 NEXT I
210 DEB=0
220 FOR J = 1 TO N
230 GOSUB 1470
240 FOR I = 1 TO T
250 X(I, J) = PT(I)
260 NEXT I
270 NEXT J
280 FOR I = 1 TO N
290 D(I, I) = 0
300 NEXT I
310 FOR J = 1 TO N-1
320 FOR K = J+1 TO N
330 FOR L = 1 TO T
340 PT(L) = X(L, J) - X(L, K)
350 NEXT L
360 GOSUB 840
370 D(J, K) = M
380 D(K, J) = M
390 I1 = INT(J/10) : J1 = INT(K/10)
400 ENT$="X"+CHR$(48+I1)+CHR$(48+J-10*I1)+"-X"+CHR$(48+J1)+CHR$(48+K-10*J1)
410 GOSUB 960
420 NEXT K
430 NEXT J
440 NEXT I

```

```

420 NEXT K
430 NEXT J
440 GOSUB 2280
450 WOPT = MIN
460 J = KS
470 GOSUB 1470
480 FOR I = 1 TO T
490 XP(I) = PT(I)
500 NEXT I
510 FOR L = 1 TO T
520 PT(L) = X(L,KS) - XP(L)
530 NEXT L
540 GOSUB 840
550 DST = M
560 FOR J = 1 TO N
570 IF J = KS THEN 670
580 FOR L = 1 TO T
590 PT(L) = X(L,J) - XP(L)
600 NEXT L
610 GOSUB 840
620 D(J,KS) = M
630 D(KS,J) = M
640 I1 = INT(J/10) : K1 = INT(KS/10)
650 ENT$="X"+CHR$(48+I1)+CHR$(48+J-10*I1)+"-x'" +CHR$(48+K1)+CHR$(48+KS-10*K1)
660 GOSUB 960
670 NEXT J
680 GOSUB 2280
690 WOPTP = MIN
700 CLS : LOCATE 10,1
710 PRINT TAB(20) "WOptimum ..... =" WOPTP
720 PRINT TAB(20) "Distance entre Xj et X'j ..... =" DST
730 PRINT TAB(20) "WOptimum ..... =" WOPT
740 IF WOPTP+DST >= WOPT THEN 770
750 PRINT TAB(20) "Le nouveau optimum est Wopt ..... =" WOPTP
760 WOPT = WOPTP
770 PRINT TAB(20) "VOULEZ VOUS UNE AUTRE ITERATION O(oui)/N(non)";
780 INPUT IN$
790 IF IN$ = "O" THEN 460
800 GOTO 2540
810 REM
820 REM SOUS-PROGRAMME DE CALCUL DE 4(Xi-Xj)dt ET DISTANCE(Xi,Xj)
830 REM
840 S=0 : V(0)=S : MAX=0 : MIN=0
850 M=ABS(PT(1))
860 FOR L=1 TO T
870 S=S+PT(L) : V(L)=S
880 IF S > MAX THEN MAX = S
890 IF S < MIN THEN MIN = S
900 IF ABS(S) > M THEN M=ABS(S)
910 NEXT L
920 RETURN
930 REM
940 REM SOUS-PROGRAMME POUR TRACER LES GRAPHS DES INTEGRALES
950 REM
960 MM=MAX-MIN : PASY=MM/20 : PASX=T/7 : POSO=INT(21+MIN*20/MM) : NP=POSO*8-4
970 DEF FNX(Z)=60 + 80*Z/PASX
980 DEF FNY(Z)=NP-8*Z/PASY
990 SCREEN 2 : KEY OFF : CLS
1000 LOCATE 1,5 : PRINT ENT$
1010 LOCATE POSO,80 : PRINT "t"
1020 REM TRACAGE DES AXES DE COORDONNEES
1030 LINE(57,NP)-(624,NP):LINE(617,NP-5)-(624,NP):LINE-(617,NP+5)
1040 LINE(60,9)-(60,168):LINE(55,16)-(60,9) : LINE-(65,16)
1050 LOCATE 23,1 : PRINT TAB(20) "GRAPHE DE L'INTEGRALE DE ";ENT$
1060 FOR I = 12 TO 164 STEP 8
1070 LINE(57,I)-(60,I)
1080 NEXT I
1090 FOR I = 60 TO 620 STEP 80
1100 LINE(I,NP)-(I,NP+4)
1110 NEXT I
1120 INC=0
1130 FOR I = POSO TO 21 STEP 1
1140 LOCATE I,1

```

```

1140 LOCATE 1,1
1150 PRINT USING "###.#";INC
1160 INC=INC-PASY
1170 NEXT I
1180 INC = 0
1190 FOR I = POS0 TO 2 STEP -1
1200 LOCATE I,1
1210 PRINT USING "###.#";INC
1220 INC = INC + PASY
1230 NEXT I
1240 INC = PASX : L = 15
1250 FOR I = 18 TO 78 STEP 10
1260 LOCATE POS0+1,L
1270 PRINT USING "###.#";INC
1280 INC = INC + PASX : L = L + 10
1290 NEXT I
1300 C = FNY(V(0)) : L = FNX(0)
1310 LINE(L,C)-(L,C)
1320 REM TRACAGE DE LA COURBE
1330 FOR I = 1 TO T
1340 C=FNY(V(I))
1350 L=FNX(I)
1360 IF L > 620 THEN L = 620
1370 IF C > 164 THEN C = 164
1380 IF L < 60 THEN L = 60
1390 IF C < 4 THEN C = 4
1400 LINE-(L,C)
1410 NEXT I
1420 IF INKEY$ <> " " THEN 1420
1430 RETURN
1440 REM
1450 REM SOUS-PROGRAMME DE LECTURE DES DONNEES
1460 REM
1470 CLS : PRINT TAB(30) "VALEUR DES ENTREES"
1480 PRINT TAB(30) "-----"
1490 IN = INT (J/10)
1500 IF IN > 0 THEN 1540
1510 PRINT TAB(30) "TEMPS ENTREE X" CHR$(48+J)
1520 PRINT TAB(30) "-----"
1530 GOTO 1560
1540 PRINT TAB(30) "TEMPS ENTREE X" CHR$(48+IN) CHR$(48+J-10*IN)
1550 PRINT TAB(30) "-----"
1560 SOM = 0
1570 FOR I = 1 TO T
1580 PRINT TAB(30) I TAB(39)
1590 INPUT " ",PT(I)
1600 SOM = SOM + PT(I)/AL(J)
1610 NEXT I
1620 IF DEB = 0 THEN S1 = SOM
1630 DEB = 1
1640 IF S1 = SOM THEN 1720
1650 PRINT TAB(10) "LA CONDITION STOECHIMETRIQUE N'EST PAS VERIFIEE"
1660 PRINT TAB(10) "LA SOM DE Xi/ALPHAi DOIT ETRE EGAL A ..... " S1
1670 PRINT TAB(10) "VOTRE SOM Xi/ALPHAi EST EGAL A ..... " SOM
1680 PRINT TAB(10) "RETAPER DE NOUVEAU VOS PRECEDENTES DONNEES ....."
1690 PRINT TAB(10) "APPUYER SUR LA BARRE D'ESPACE POUR CONTINUER ...."
1700 IF INKEY$ <> " " THEN 1700
1710 GOTO 1470
1720 RETURN
1730 REM
1740 REM SOUS PROGRAMME DE TRACAGE DES DIFFERENTS GRAPHES
1750 REM
1760 ERASE TB$
1770 DIM TB$(M,2*T)
1780 ZERO = ABS(MIN)
1790 FOR L = 0 TO M
1800 FOR C = 0 TO 2*T
1810 TB$(L,C) = CHR$(255)
1820 NEXT C
1830 NEXT L
1840 FOR L=0 TO M
1850 TB$(L,0)=CHR$(179)

```

```

1870 H = (L-ZERO) MOD 3
1870 IF A <> 0 THEN 1890
1880 TB$(L,0) = CHR$(180)
1890 NEXT L
1900 FOR C = 1 TO 2*T
1910 TB$(ZERO,C) = CHR$(196)
1920 A = C MOD 10
1930 IF A <> 0 THEN 1950
1940 TB$(ZERO,C) = CHR$(194)
1950 NEXT C
1960 FOR C = 1 TO T
1970 I = PT(C) : K = 2*(C-1)+1
1980 IF I = 0 THEN 2090
1990 IF I > 0 THEN 2050
2000 FOR L = ZERO + I TO ZERO - 1
2010 TB$(L,K) = CHR$(219)
2020 TB$(L,K+1) = CHR$(219)
2030 NEXT L
2040 GOTO 2090
2050 FOR L = ZERO + 1 TO ZERO + I
2060 TB$(L,K) = CHR$(219)
2070 TB$(L,K+1) = CHR$(219)
2080 NEXT L
2090 NEXT C
2100 CLS
2110 LPRINT TAB(4) ENT$ : LPRINT TAB(6) CHR$(94) TAB(15)
2120 IF MAX > 0 OR MIN = 0 THEN 2150
2130 K = 15
2140 FOR C = 5 TO T STEP 5 : K = K + 10 : LPRINT C TAB(K) : NEXT C
2150 FOR L = M TO 0 STEP -1
2160 A = L - ZERO
2170 LPRINT TAB(2) A TAB(6)
2180 FOR C = 0 TO 2*T
2190 LPRINT TB$(L,C);
2200 NEXT C
2210 IF A <> 0 THEN 2260
2220 LPRINT "> t"
2230 IF MIN < 0 THEN 2260
2240 LPRINT TAB(7) "1" TAB(15) : K=15
2250 FOR C = 5 TO T STEP 5 : K=K+10 : LPRINT C TAB(K) : NEXT C
2260 NEXT L
2270 RETURN
2280 KS = 1
2290 CLS
2300 PRINT TAB(30) "MATRICE DES DISTANCES"
2310 PRINT TAB(30) "-----"
2320 PRINT
2330 FOR I = 1 TO N
2340 SM = D(I,1)
2350 PRINT "ENTREE" I ":" ;
2360 PRINT TAB(12) SM ;
2370 FOR J = 2 TO N
2380 SM = SM + D(I,J) : PRINT D(I,J);
2390 NEXT J
2400 PRINT " : SOMME=" SM
2410 IF I = 1 THEN MIN = SM
2420 IF MIN <= SM THEN 2450
2430 KS = I
2440 MIN = SM
2450 NEXT I
2460 PRINT : PRINT
2470 PRINT TAB(20) "W-optimum ..... " MIN
2480 PRINT TAB(20) "Correspondant a l'entree ..... " KS
2490 IF INKEY$ <> " " THEN 2490
2500 FOR I = 1 TO N
2510 V(I) = D(KS,I)
2520 NEXT I
2530 RETURN
2540 LPRINT
2550 END

```

```

0 REM
10 REM
20 REM
30 REM
40 REM
50 REM
60 REM
70 CLS : CLEAR : KEY OFF
80 PRINT TAB(26) "NOMDRE D'ENTREES" TAB(46) "NOMBRE DE CAS"
90 PRINT TAB(26) "-----" TAB(46) "-----"
100 PRINT TAB(43) ", " CHR$(30) TAB(32)
110 INPUT " ", N, T
120 DIM AL(N), X(T, N), V(T), PT(T), D(N, N), SS(T, N)
130 DIM Y1$(SA), X1$(2*T), TB$(SA, 2*T)
140 PRINT : PRINT
150 PRINT TAB(30) "ENTREE" TAB(45) "ALPHA I"
160 PRINT TAB(30) "-----" TAB(45) "-----"
170 FOR I = 1 TO N
180 PRINT TAB(32) I TAB(47)
190 INPUT " ", AL(I)
200 NEXT I
210 LPRINT
220 LPRINT TAB(19) "          CONTROL TEMPS DIFFERE          "
230 LPRINT TAB(19) "          -----          "
240 LPRINT
250 LPRINT "DONNEES INITIALES"
260 LPRINT "-----"
270 LPRINT
280 LPRINT TAB(20) "NOMBRE D'ENTREES..... " N
290 LPRINT TAB(20) "NOMBRE DE CAS..... " T
300 LPRINT
310 LPRINT TAB(20) "ENTREE" TAB(30) "COEFFICIENT"
320 LPRINT TAB(20) "-----" TAB(30) "-----"
330 FOR I = 1 TO N
340 LPRINT TAB(21) I TAB(34) AL(I)
350 NEXT I
360 LPRINT : LPRINT
370 LPRINT "RESULTATS"
380 LPRINT "-----"
390 LPRINT
400 DEB=0
410 FOR J = 1 TO N
420 GOSUB 2190
430 MAX = 0 : MIN = 0
440 FOR I = 1 TO T
450 IF MAX < PT(I) THEN MAX = PT(I)
460 X(I, J) = PT(I)
470 NEXT I
480 M = MAX
490 ENT$ = "X"+CHR$(48+J)+"(t)"
500 GOSUB 2480
510 IF INKEY$ <> " " THEN 510
520 NEXT J
530 MAX = 0 : MIN = 0
540 FOR I = 1 TO T
550 Y(I) = X(I, 1)/AL(1)
560 FOR J = 1 TO N
570 IF Y(I) <= X(I, J)/AL(J) THEN 590
580 Y(I) = X(I, J)/AL(J)
590 NEXT J
600 PT(I) = Y(I)

```

```

0 IF MAX < PT(I) THEN MAX = PT(I)
0 NEXT I
0 M = MAX
0 ENT$ = "Y t)"
0 IF INKEY$ <> " " THEN 650
0 GOSUB 248
0 LPRINT : PRINT TAB(6) "SORTIE SANS PRESENCE DE STOCK"
0 LPRINT TAB(6) "-----"
0 FOR I = 1 TO N
0 D(I,I) =
0 NEXT I
0 FOR J = 1 TO N-1
0 FOR K = J+1 TO N
0 FOR L = 1 TO T
0 PT(L) = X(L,J) - X(L,K)
0 NEXT L
0 GOSUB 155
0 D(J,K) =
0 D(K,J) =
0 I1 = INT(J/10) : J1 = INT(K/10)
0 ENT$ = "X" + CHR$(48+I1) + CHR$(48+J-10*I1) + "-" + CHR$(48+J1) + CHR$(48+K-10*J1)
0 GOSUB 167
0 IF INKEY$ <> " " THEN 630
0 NEXT K
0 NEXT J
0 GOSUB 30
0 WOPT = M
0 J = KS
0 LPRINT
00 LPRINT " REPARTITION DES VOLUMES"
10 LPRINT "-----" : LPRINT
20 FOR I = 1 TO N
30 LPRINT " V" + CHR$(48+I) ;
40 NEXT I
50 LPRINT TAB(1)
60 FOR I = 1 TO N
70 LPRINT " --" ;
80 NEXT I
90 K = 3 : PRINT TAB(3)
1000 FOR I = 1 TO N
1010 LPRINT (KS,I) TAB(K+5)
1020 K = K + 5
1030 NEXT I
1040 LPRINT : LPRINT
1050 LPRINT VOLUME NOMINAL : " MIN
1060 LPRINT "-----"
1070 FOR J = 1 TO N
1080 GOSUB 80
1090 MAX = 0 : MIN = 0
1100 FOR I = 1 TO T
1110 PT(I) = SS(I,J)
1120 IF MAX < PT(I) THEN MAX = PT(I)
1130 IF MIN > PT(I) THEN MIN = PT(I)
1140 NEXT I
1150 M = MAX - MIN
1160 ENT$ = "S" + CHR$(48+J) + "(t)"
1170 GOSUB 80
1180 IF INKEY$ <> " " THEN 1180
1190 MAX = 0 : MIN = 0
1200 FOR I = 1 TO T

```

```

210 PT(I) = X(I,J) + SS(I,J)
220 IF MAX < PT(I) THEN MAX = PT(I)
230 NEXT I
240 N = MAX
250 ENT# = "> +CHR$(48+J)+"*5"+CHR$(48+J)+"(t)"
260 GOSUB 248
270 IF INKEY# <> " " THEN 1270
280 NEXT J
290 MAX = 0 : MIN = 0
300 FOR I = 1 TO T
310 Y(I) = (X(I,1)+SS(I,1))/AL(1)
320 FOR J = 2 TO N
330 IF Y(I) <= (X(I,J)+SS(I,J))/AL(J) THEN 1350
340 Y(I) = (X(I,J)+SS(I,J))/AL(J)
350 NEXT J
360 PT(I) = Y(I)
370 IF MAX < PT(I) THEN MAX = PT(I)
380 NEXT I
390 M = MAX
400 ENT# = "(t)"
410 IF INKEY# <> " " THEN 1410
420 GOSUB 248
430 SOM = 0
440 FOR I = 1 TO T-1
450 SOM = SOM + ABS(Y(I)-Y(I+1))
460 NEXT I
470 LPRINT : LPRINT TAB(6) "SORTIE AVEC UNE VARIANCE DE : " SOM
480 LPRINT TAB(6) "-----"
490 INPUT "Voulez-vous changer les regulateurs Si O(oui)/N(non)";R#
500 IF R# = "O" THEN 1070.
510 GOTO 337
520 REM
530 REM      S JS-PROGRAMME DE CALCUL DE  $\int_4(x_i-x_j)dt$  ET DISTANCE  $(x_i,x_j)$ 
540 REM
550 S=0 : V( )=S : MAX=0 : MIN=0
560 M=ABS(PT 1))
570 FOR L=1 TO T
580 S=S+PT(L) : V(L)=S
590 IF S > M THEN MAX = S
600 IF S < M THEN MIN = S
610 IF ABS(S) > M THEN M=ABS(S)
620 NEXT L
630 RETURN
640 REM
650 REM      OUS-PROGRAMME POUR TRACER LES GRAPHES DES INTEGRALES
660 REM
670 MM=MAX-MIN : PASY=MM/10 : PASX=T/3 : POSO=INT(21+MIN*10/MM) : NP=POSO*8-4
680 DEF FNX( )=380 + 80*Z/PASX
690 DEF FNY( )=NP-8*Z/PASY
700 SCREEN 2 : KEY OFF : CLS
710 LOCATE 1,45 : PRINT ENT#
720 LOCATE F SO,80 : PRINT "t"
730 REM TRACER GE DES AXES DE COORDONNEES
740 LINE(377, NP)-(624, NP):LINE(617, NP-5)-(624, NP):LINE-(617, NP+5)
750 LINE(380, 81)-(380, 168):LINE(375, 88)-(380, 81) : LINE-(385, 88)
760 LOCATE 3,1 : PRINT TAB(47) "GRAPHE DE L'INTEGRALE DE ";ENT#
770 FOR I = 4 TO 164 STEP 8
780 LINE(377, I)-(380, I)
790 NEXT I
800 FOR I = 180 TO 624 STEP 80

```

```

10 LINE(I, P)-(I,NF+4)
20 NEXT I
30 INC=0
40 FOR I = POSO TO 21 STEP 1
50 LOCATE ,41
60 PRINT USING "###.#";INC
70 INC=INC PASY
80 NEXT I
90 INC = 0
100 FOR I = POSO TO 11 STEP -1
110 LOCATE ,41
120 PRINT USING "###.#";INC
130 INC = I C + PASY
140 NEXT I
150 INC = F SX ; L = 55
160 FOR I = 58 TO 78 STEP 10
170 LOCATE OSO+1,L
180 PRINT USING "###.#";INC
190 INC = I C + PASX ; L = L + 10
200 NEXT I
210 C = FNY(V(0)) ; L = FNX(0)
220 LINE(L, )-(L,C)
230 REM TRAJE DE LA COURBE
240 FOR I = 1 TO T
250 C=FNY( I)
260 L=FNX( I)
270 IF L > 624 THEN L = 624
280 IF C > 164 THEN C = 164
290 IF L < 320 THEN L = 320
300 IF C < 76 THEN C = 76
310 LINE-( C)
320 NEXT I
330 LPRINT
340 IF INK <> " " THEN 2140
350 RETURN
360 REM
370 REM IUS-PROGRAMME DE LECTURE DES DONNEES
380 REM
390 CLS : PRINT TAB(30) "VALEUR DES ENTREES"
400 PRINT TAB(30) "-----"
410 IN = 1 (3/10)
420 IF IN = 0 THEN 2260
430 PRINT TAB(30) "TEMPS ENTREE X" CHR$(48+J)
440 PRINT TAB(30) "-----"
450 GOTO 230
460 PRINT TAB(30) "TEMPS ENTREE X" CHR$(48+IN) CHR$(48+J-10*IN)
470 PRINT TAB(30) "-----"
480 SOM = 0
490 FOR I = 1 TO T
500 PRINT TAB(30) I TAB(39)
510 INPUT ",PT(I)
520 SOM = SOM + PT(I)/AL(J)
530 NEXT I
540 IF DEB = 0 THEN S1 = SOM
550 DEB = 0
560 IF S1 = SOM THEN 2440
570 PRINT TAB(10) "LA CONDITION STOECHIMETRIQUE N'EST PAS VERIFIEE"
580 PRINT TAB(10) "LA SOM DE XI/ALPHA1 DOIT ETRE EGAL A ....."
590 PRINT TAB(10) "VOTRE SOM XI/ALPHA1 EST EGAL A ....."
600 PRINT TAB(10) "RETAPER DE NOUVEAU VOS PRECEDENTES DONNEES ....."

```

```

3010 KS = 1
3020 CLS
3030 FOR I = 1 TO N
3040 SM = 0(I,1)
3050 FOR J = 2 TO N
3060 SM = SM + D(I,J)
3070 NEXT J
3080 IF I = 1 THEN MIN = SM
3090 IF MIN <= SM THEN 3120
3100 KS = .
3110 MIN = SM
3120 NEXT I
3130 IF INKEY# <> " " THEN 3130
3140 RETURN
3150 REM
3160 REM NOUS-PROGRAMME DE LECTURE DES REGULATEURS
3170 REM
3180 CLS : PRINT TAB(30) "VALEUR DES REGULATEURS"
3190 PRINT TAB(30) "-----"
3200 PRINT TAB(30) "TEMPS REGULATEUR S" CHR$(48+J)
3210 PRINT TAB(30) "-----"
3220 SOM = 0
3230 FOR I = 1 TO T
3240 PRINT AB(30) I TAB(41)
3250 INPUT " ",SS(I,J)
3260 SOM = SOM + SS(I,J)
3270 NEXT I
3280 IF 0 = SOM THEN 3360
3290 PRINT AB(10) "LA CONDITION STOECHIMETRIQUE N'EST PAS VERIFIEE"
3300 PRINT AB(10) "LA SOMME DES SI DOIT ETRE EGALE A ..... 0
3310 PRINT AB(10) "VOTRE SOMME EST EGALE A ..... " SO
3320 PRINT AB(10) "RETAPER DE NOUVEAU VOTRE REGULATEUR ....."
3330 PRINT AB(10) "APPUYER SUR LA BARRE D'ESPACE POUR CONTINUER ..."
3340 IF INKEY# <> " " THEN 3340
3350 GOTO 3180
3360 RETURN
3370 LPRINT
3380 END

```

```

10 KEY OFF : CLS : CLEAR : RESET
20 DEFINT I,N,T,S
30 PRINT
40 PRINT TAB(18) "PROGRAMME DE MAXIMISATION DE LA PRODUCTION"
50 PRINT TAB(18) "-----"
60 PRINT : PRINT
70 PRINT TAB(18) "ENTREES" TAB(32) "SATURATION" TAB(47) "NOMBRE DE CAS"
80 PRINT TAB(18) "-----" TAB(32) "-----" TAB(47) "-----"
90 PRINT TAB(27) ", " TAB(44) ", " CHR$(30) TAB(20) : INPUT " " , N,SA,T
100 LPRINT
110 LPRINT TAB(19) "PROGRAMME DE MAXIMISATION DE LA PRODUCTION"
120 LPRINT TAB(19) "-----"
130 LPRINT
140 LPRINT "DONNEES INITIALES"
150 LPRINT "-----"
160 LPRINT
170 LPRINT TAB(20) "NOMBRE D'ENTREES..... " N
180 LPRINT TAB(20) "VOLUME DE SATURATION..... " SA
190 LPRINT TAB(20) "PERIODE..... " T
200 LPRINT
210 LPRINT TAB(20) "ENTREE" TAB(30) "COEFFICIENT" TAB(45)
220 LPRINT "STOCK INITIALE" TAB(62) "STOCK MAX"
230 LPRINT TAB(20) "-----" TAB(30) "-----" TAB(45)
240 LPRINT "-----" TAB(62) "-----"
250 DIM AL(N),V(T+1,N),VM(N),X(T,N),Y(T),S(T,N),SP(T,N),PT(T),D(N)
260 DIM Y1$(SA),X1$(2*T),TB$(SA,2*T)
270 PRINT : PRINT
280 PRINT TAB(10) "ENTREE" TAB(20) "ALPHA I" TAB(35) "STOCK INITIAL"
290 PRINT TAB(55) "STOCK MAX"
300 PRINT TAB(10) "-----" TAB(20) "-----" TAB(35) "-----" ;
310 PRINT TAB(55) "-----"
320 FOR I = 1 TO N
330 PRINT TAB(31) ", " TAB(51) ", " CHR$(30) TAB(12) I TAB(20) :
340 INPUT " " ,AL(I),V(1,I),VM(I)
350 LPRINT TAB(21) I TAB(34) AL(I) TAB(50) V(1,I) TAB(65) VM(I)
360 NEXT I
370 REM
380 REM LECTURE DES DONNEES
390 REM
400 A$="ENTREE X"
410 FOR J = 1 TO N
420 CLS : PRINT TAB(30) "DONNEES INITIALES"
430 PRINT TAB(30) "-----"
440 PRINT TAB(30) "TEMPS " + A$ + CHR$(48+J)
450 PRINT TAB(30) "-----"
460 FOR I = 1 TO T
470 PRINT TAB(30) I TAB(37)
480 INPUT " " , X(I,J)
490 NEXT I
500 NEXT J
510 FOR J = 1 TO T
520 REM
530 REM CALCUL DES VALEURS DE LA FONCTION STOCK ET DU
540 REM NOUVEAU VOLUME DU STOCK POUR CHAQUE ENTREE
550 REM

```

```

60 MI = SA
70 FOR I=1 TO N
80 IF MI <=(X(J,I)+V(J,I))/AL(I) THEN 600
90 MI=(X(J,I)+V(J,I))/AL(I)
00 NEXT I
10 Y(J) = MI
20 FOR I = 1 TO N
30 S(J,I) = X(J,I) - AL(I)*Y(J)
40 V(J+1,I) = V(J,I) + S(J,I)
50 IF V(J+1,I) <= VM(I) THEN 690
60 SP(J,I) = Y(J+1,I) - VM(I)
70 V(J+1,I) = VM(I)
80 S(J,I) = S(J,I) - SP(J,I)
90 NEXT I
00 NEXT J
10 REM
20 REM     IMPRESSION DES VALEURS :
30 REM
40 REM
50 REM     - ENTREES DU SYSTEM
60 REM     - VOLUME DU STOCK
70 REM     - PRODUCTION MAXIMAL
80 REM     - FONCTION STOCK
90 REM     - SURPLUS
00 REM
10 LPRINT
20 LPRINT " T " ;
30 FOR I = 1 TO N : LPRINT " X" CHR$(48+I) ;
40 NEXT I
50 LPRINT " Y " ;
60 FOR I = 1 TO N : LPRINT " V" CHR$(48+I) ;
70 NEXT I
80 LPRINT " " ;
90 FOR I = 1 TO N : LPRINT " S" CHR$(48+I) ;
00 NEXT I
10 FOR I = 1 TO N : LPRINT " SP" CHR$(48+I) ;
20 NEXT I
30 LPRINT TAB(2) "-" TAB(4)
40 FOR I = 1 TO N : LPRINT " ---" ;
50 NEXT I
60 LPRINT " - " ;
70 FOR I = 1 TO N : LPRINT " ---";
80 NEXT I
90 LPRINT " " ;
000 FOR I = 1 TO N : LPRINT " ---";
010 NEXT I
020 FOR I = 1 TO N : LPRINT " ---";
030 NEXT I
040 FOR I = 1 TO T
050 LPRINT TAB(1) I TAB(5) ;
060 K=5
070 FOR J = 1 TO N
080 K=K+4
090 LPRINT X(I,J) TAB(K) ;
1100 NEXT J

```

```

110 K=K+5
120 LPRINT " " Y(I) TAB(K) ;
130 FOR J = 1 TO N
140 K=K+4
150 LPRINT V(I,J) TAB(K) ;
160 NEXT J
170 K=K+2
180 LPRINT TAB(K) ;
190 FOR J = 1 TO N
200 K=K+4
210 LPRINT S(I,J) TAB(K) ;
220 NEXT J
230 K=K+1
240 LPRINT TAB(K) ;
250 FOR J=1 TO N-1
260 K=K+5
270 LPRINT SP(I,J) TAB(K) ;
280 NEXT J
290 LPRINT SP(I,N)
300 NEXT I
310 PRINT "APPUYER SUR LA BARRE D'ESPACE POUR CONTINUER"
320 IF INKEY$("<") THEN 1320
330 REM
340 REM          TRACAGE DU GRAPHE DES ENTREES
350 REM
360 FOR J = 1 TO N
370 ENT$ = " X"+CHR$(48+J)+"(t) " : MIN = 0 : MAX = 0
380 FOR I = 1 TO T
390 IF X(I,J) < MIN THEN MIN = X(I,J)
400 IF X(I,J) > MAX THEN MAX = X(I,J)
410 PT(I) = X(I,J)
420 NEXT I
430 M = MAX - MIN
440 GOSUB 2140
450 LPRINT : LPRINT : LPRINT TAB(25) "GRAPHE ENTREE X"+CHR$(48+J)
460 LPRINT TAB(25) "-----" : LPRINT : LPRINT : LPRINT
470 NEXT J
480 REM
490 REM          TRACAGE DU GRAPHE DE LA PRODUCTION MAXIMAL
500 REM
510 ENT$ = " Y(t) " : MIN = 0 : MAX = 0
520 FOR I = 1 TO T
530 IF Y(I) < MIN THEN MIN = Y(I)
540 IF Y(I) > MAX THEN MAX = Y(I)
550 PT(I) = Y(I)
560 NEXT I
570 M = MAX - MIN
580 GOSUB 2140
590 LPRINT : LPRINT : LPRINT TAB(25) "GRAPHE PRODUCTION"
600 LPRINT TAB(25) "-----" : LPRINT : LPRINT : LPRINT
610 REM
620 REM          TRACAGE DU GRAPHE DES VOLUMES
630 REM
640 FOR J = 1 TO N
650 ENT$ = " V"+CHR$(48+J)+"(t) " : MIN = 0 : MAX = 0

```

```

1660 FOR I = 1 TO T
1670 IF V(I,J) < MIN THEN MIN = V(I,J)
1680 IF V(I,J) > MAX THEN MAX = V(I,J)
1690 PT(I) = V(I,J)
1700 NEXT I
1710 M = MAX - MIN
1720 GOSUB 2140
1730 LPRINT : LPRINT : LPRINT TAB(25) "GRAPHE VOLUME V"+CHR$(48+J)
1740 LPRINT TAB(25) "-----" : LPRINT : LPRINT : LPRINT
1750 NEXT J
1760 REM
1770 REM          TRACAGE DU GRAPHE DU SURPLUS
1780 REM
1790 FOR J = 1 TO N
1800 MIN = 0 : MAX = 0
1810 FOR I = 1 TO T
1820 PT(I) = SP(I,J)
1830 IF PT(I) < MIN THEN MIN = PT(I)
1840 IF PT(I) > MAX THEN MAX = PT(I)
1850 NEXT I
1860 ENT$ = "SP"+CHR$(48+J)+"(t)"
1870 M = MAX - MIN
1880 GOSUB 2140
1890 LPRINT:LPRINT : LPRINT TAB(25) "GRAPHE SURPLUS POUR ENTREE X" CHR$(48+J)
1900 LPRINT TAB(25) "-----" : LPRINT : LPRINT : LPRINT
1910 NEXT J
1920 REM
1930 REM          TRACAGE DU GRAPHE DE LA FONCTION STOCK
1940 REM
1950 FOR J = 1 TO N
1960 MIN = 0 : MAX = 0
1970 FOR I = 1 TO T
1980 PT(I) = S(I,J)
1990 IF PT(I) < MIN THEN MIN = PT(I)
2000 IF PT(I) > MAX THEN MAX = PT(I)
2010 NEXT I
2020 M = MAX - MIN
2030 ENT$ = "S" + CHR$(48+J) + "(t)"
2040 GOSUB 2140
2050 LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT
2060 LPRINT TAB(25) "GRAPHE FONCTION STOCK POUR ENTREE X" CHR$(48+J)
2070 LPRINT TAB(25) "-----" : LPRINT : LPRINT
2080 LPRINT
2090 NEXT J
2100 GOTO 2660
2110 REM
2120 REM          SOUS PROGRAMME DE TRACAGE DES DIFFERENTS GRAPHS
2130 REM
2140 ERASE TB$
2150 DIM TB$(M,2*T)
2160 ZERO = ABS(MIN)
2170 FOR L = 0 TO M
2180 FOR C = 0 TO 2*T
2190 TB$(L,C) = CHR$(255)
2200 NEXT C

```

```

2210 NEXT L
2220 FOR L=0 TO M
2230 TB$(L,0)=CHR$(179)
2240 A = (L-ZERO) MOD 5
2250 IF A <> 0 THEN 2270
2260 TB$(L,0) = CHR$(180)
2270 NEXT L
2280 FOR C = 1 TO 2*T
2290 TB$(ZERO,C) = CHR$(196)
2300 A = C MOD 10
2310 IF A <> 0 THEN 2330
2320 TB$(ZERO,C) = CHR$(194)
2330 NEXT C
2340 FOR C = 1 TO T
2350 I = PT(C) : K = 2*(C-1)+1
2360 IF I = 0 THEN 2470
2370 IF I > 0 THEN 2430
2380 FOR L = ZERO + I TO ZERO - 1
2390 TB$(L,K) = CHR$(219)
2400 TB$(L,K+1) = CHR$(219)
2410 NEXT L
2420 GOTO 2470
2430 FOR L = ZERO + 1 TO ZERO + I
2440 TB$(L,K) = CHR$(219)
2450 TB$(L,K+1) = CHR$(219)
2460 NEXT L
2470 NEXT C
2480 CLS
2490 LPRINT TAB(4) ENT$ : LPRINT TAB(6) CHR$(94) TAB(15)
2500 IF MAX > 0 OR MIN = 0 THEN 2530
2510 K = 15
2520 FOR C = 5 TO T STEP 5 : K = K + 10 : LPRINT C TAB(K) : NEXT C
2530 FOR L = M TO 0 STEP -1
2540 A = L - ZERO
2550 LPRINT TAB(2) A TAB(6)
2560 FOR C = 0 TO 2*T
2570 LPRINT TB$(L,C);
2580 NEXT C
2590 IF A <> 0 THEN 2640
2600 LPRINT "> t"
2610 IF MIN < 0 THEN 2640
2620 LPRINT TAB(7) "1" TAB(15) : K=15
2630 FOR C = 5 TO T STEP 5 : K=K+10 : LPRINT C TAB(K) : NEXT C
2640 NEXT L
2650 RETURN
2660 LPRINT
2670 END

```

```

10 KEY OFF : CLS : CLEAR : RESET
20 DEFINT I,N,T,S,Y
30 PRINT
40 PRINT TAB(23) "PROGRAMME DE MINIMISATION DU SURPLUS"
50 PRINT TAB(23) "-----"
60 PRINT : PRINT
70 PRINT TAB(10) "ENTREES" TAB(22) "SATURATION" TAB(37) "NOMBRE DE CAS"
80 PRINT "PRODUCTION MOYENNE"
90 PRINT TAB(10) "-----" TAB(22) "-----" TAB(37) "-----"
100 PRINT "-----"
110 PRINT TAB(19) ", " TAB(34) ", " TAB(54) ", " CHR$(30) TAB(12)
120 INPUT " ",N,SA,T,YM
130 LPRINT
140 LPRINT TAB(19) "PROGRAMME DE MINIMISATION DU SURPLUS"
150 LPRINT TAB(19) "-----"
160 LPRINT
170 LPRINT "DONNEES INITIALES"
180 LPRINT "-----"
190 LPRINT
200 LPRINT TAB(20) "NOMBRE D'ENTREES..... " N
210 LPRINT TAB(20) "VOLUME DE SATURATION..... " SA
220 LPRINT TAB(20) "PERIODE..... " T
230 LPRINT TAB(20) "PRODUCTION MOYENNE..... " YM
240 LPRINT
250 LPRINT TAB(20) "ENTREE" TAB(30) "COEFFICIENT" TAB(45)
260 LPRINT "STOCK INITIALE" TAB(62) "STOCK MAX"
270 LPRINT TAB(20) "-----" TAB(30) "-----" TAB(45)
280 LPRINT "-----" TAB(62) "-----"
290 DIM AL(N),V(T+1,N),VM(N),X(T,N),Y(T),S(T,N),SP(T,N),PT(T)
300 DIM Y1$(SA),X1$(2*T),TB$(SA,2*T)
310 PRINT : PRINT
320 PRINT TAB(10) "ENTREE" TAB(20) "ALPHA I" TAB(35) "STOCK INITIAL" ;
330 PRINT TAB(55) "STOCK MAX"
340 PRINT TAB(10) "-----" TAB(20) "-----" TAB(35) "-----" ;
350 PRINT TAB(55) "-----"
360 FOR I = 1 TO N
370 PRINT TAB(31) ", " TAB(51) ", " CHR$(30) TAB(12) I TAB(20) :
380 INPUT " ",AL(I),V(1,I),VM(I)
390 LPRINT TAB(21) I TAB(34) AL(I) TAB(55) V(1,I) TAB(65) VM(I)
400 NEXT I
410 LPRINT : LPRINT
420 LPRINT "RESULTATS"
430 LPRINT "-----"
440 LPRINT
450 LPRINT " T " ;
460 FOR I = 1 TO N : LPRINT " X" CHR$(48+I) ;
470 NEXT I
480 LPRINT " Y " ;
490 FOR I = 1 TO N : LPRINT " V" CHR$(48+I) ;
500 NEXT I
510 LPRINT " " ;

```

```

540 FOR I = 1 TO N : LF:          SP" CHR$(48+I)
550 NEXT I
560 LPRINT TAB(2) "-" TA
570 FOR I = 1 TO N : LPR:      " ---" ;
580 NEXT I
590 LPRINT " - ";
600 FOR I =1 TO N : LPRINT " ---";
610 NEXT I
620 LPRINT " ";
630 FOR I =1 TO N : LPRINT " ---";
640 NEXT I
650 FOR I = 1 TO N : LPRINT " ----";
660 NEXT I
670 PRINT "RESULTATS"
680 PRINT "-----"
690 PRINT
700 REM
710 REM      GENERATION DES VALEURS DES ENTREES DU SYSTEME
720 REM
730 FOR J = 1 TO T
740 FOR I = 1 TO N
750 X(J,I)=INT(RND*(VM(I)+1))
760 NEXT I
770 REM
780 REM      CALCUL DES VALEURS DE LA FONCTION STOCK ET DU
790 REM      NOUVEAU VOLUME DU STOCK POUR CHAQUE ENTREE
800 REM
810 MI = SA
820 FOR I=1 TO N
830 D = X(J,I) - AL(I)*YM
840 IF D <= 0 THEN 880
850 IF D <= VM(I) - V(J,I) THEN 900
860 D = VM(I) - V(J,I)
870 GOTO 900
880 IF -D <= V(J,I) THEN 900
890 D = -V(J,I)
900 IF MI <= (X(J,I)-D)/AL(I) THEN 920
910 MI = (X(J,I)-D)/AL(I)
920 NEXT I
930 Y(J)=MI
940 FOR I=1 TO N
950 S(J,I)=X(J,I)-AL(I)*Y(J)
960 V(J+1,I)=V(J,I)+S(J,I)
970 IF V(J+1,I)<=VM(I) THEN 1010
980 SP(J,I)=V(J+1,I)-VM(I)
990 V(J+1,I)=VM(I)
1000 S(J,I)=S(J,I)-SP(J,I)
1010 NEXT I
1020 NEXT J
1030 REM
1040 REM      IMPRESSION DES VALEURS :
1050 REM
1060 REM      - ENTREES DU SYSTEME
1070 REM      - VOLUME DU STOCK
1080 REM      - PRODUCTION MAXIMAL
1090 REM      - FONCTION STOCK
1100 REM      - SURPLUS
1110 REM
1120 FOR I =1 TO T
1130 LPRINT TAB(1) I TAB(5) ;
1140 K=5
1150 FOR J = 1 TO N
1160 K=K+4
1170 LPRINT X(I,J) TAB(K) ;
1180 NEXT J
1190 K=K+5
1200 LPRINT " " Y(I) TAB(K) ;
1210 FOR J = 1 TO N
1220 K=K+4
1230 LPRINT V(I,J) TAB(K) ;

```

```
1240 NEXT J
1250 K=K+2
1260 LPRINT TAB(K) ;
1270 FOR J = 1 TO N
1280 K=K+4
1290 LPRINT S(I,J) TAB(K) ;
1300 NEXT J
1310 K=K+1
1320 LPRINT TAB(K) ;
1330 FOR J=1 TO N-1
1340 K=K+5
1350 LPRINT SP(I,J) TAB(K) ;
1360 NEXT J
1370 LPRINT SP(I,N)
1380 NEXT I
1390 PRINT "APPUYER SUR LA BARRE D'ESPACE POUR CONTINUER"
1400 IF INKEY#("<") THEN 1400
1410 REM
1420 REM          TRACAGE DU GRAPHE DE LA PRODUCTION MOYENNE
1430 REM
1440 ENT# = " Y(t) " : MIN = 0 : MAX = 0
1450 FOR I = 1 TO T
1460 IF Y(I) < MIN THEN MIN = Y(I)
1470 IF Y(I) > MAX THEN MAX = Y(I)
1480 PT(I) = Y(I)
1490 NEXT I
1500 M = MAX - MIN
1510 GOSUB 1920
1520 LPRINT : LPRINT : LPRINT TAB(25) "GRAPHE PRODUCTION"
1530 LPRINT TAB(25) "-----" : LPRINT : LPRINT : LPRINT
1540 REM
1550 REM          TRACAGE DU GRAPHE DU SURPLUS
1560 REM
1570 FOR J = 1 TO N
1580 MIN = 0 : MAX = 0
1590 FOR I = 1 TO T
1600 PT(I) = SP(I,J)
1610 IF PT(I) < MIN THEN MIN = PT(I)
1620 IF PT(I) > MAX THEN MAX = PT(I)
1630 NEXT I
1640 ENT# = "SP"+CHR$(48+J)+"(t)"
1650 M = MAX - MIN
1660 GOSUB 1920
1670 LPRINT:LPRINT : LPRINT TAB(25) "GRAPHE SURPLUS POUR ENTREE X" CHR$(48+J)
1680 LPRINT TAB(25) "-----" : LPRINT : LPRINT : LPRINT
1690 NEXT J
1700 REM
1710 REM          TRACAGE DU GRAPHE DE LA FONCTION STOCK
1720 REM
1730 FOR J = 1 TO N
1740 MIN = 0 : MAX = 0
1750 FOR I = 1 TO T
1760 PT(I) = S(I,J)
1770 IF PT(I) < MIN THEN MIN = PT(I)
1780 IF PT(I) > MAX THEN MAX = PT(I)
1790 NEXT I
1800 M = MAX - MIN
1810 ENT# = " S" + CHR$(48+J) + "(t)"
1820 GOSUB 1920
1830 LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT
1840 LPRINT TAB(25) "GRAPHE FONCTION STOCK POUR ENTREE X" CHR$(48+J)
1850 LPRINT TAB(25) "-----" : LPRINT : LPRINT
1860 LPRINT
1870 NEXT J
1880 GOTO 2440
1890 REM
1900 REM          SOUS PROGRAMME DE TRACAGE DES DIFFERENTS GRAPHS
1910 REM
1920 ERASE TB#
1930 DIM TB#(M,2*T)
1940 ZERO = ABS(MIN)
1950 FOR L = 0 TO M
```

- 130

```

960 FOR C = 0 TO 2*T
970 TB$(L,C) = CHR$(255)
980 NEXT C
990 NEXT L
000 FOR L=0 TO M
010 TB$(L,0)=CHR$(179)
020 A = (L-ZERO) MOD 5
030 IF A <> 0 THEN 2050
040 TB$(L,0) = CHR$(180)
050 NEXT L
060 FOR C = 1 TO 2*T
070 TB$(ZERO,C) = CHR$(196)
080 A = C MOD 10
090 IF A <> 0 THEN 2110
100 TB$(ZERO,C) = CHR$(194)
110 NEXT C
120 FOR C = 1 TO T
130 I = PT(C) : K = 2*(C-1)+1
140 IF I = 0 THEN 2250
150 IF I > 0 THEN 2210
160 FOR L = ZERO + I TO ZERO - 1
170 TB$(L,K) = CHR$(219)
180 TB$(L,K+1) = CHR$(219)
190 NEXT L
200 GOTO 2250
210 FOR L = ZERO + 1 TO ZERO + I
220 TB$(L,K) = CHR$(219)
230 TB$(L,K+1) = CHR$(219)
240 NEXT L
250 NEXT C
260 CLS
270 LPRINT TAB(4) ENT$ : LPRINT TAB(6) CHR$(94) TAB(15)
280 IF MAX > 0 OR MIN = 0 THEN 2310
290 K = 15
300 FOR C = 5 TO T STEP 5 : K = K + 10 : LPRINT C TAB(K) : NEXT C
310 FOR L = M TO 0 STEP -1
320 A = L - ZERO
330 LPRINT TAB(2) A TAB(6)
340 FOR C = 0 TO 2*T
350 LPRINT TB$(L,C);
360 NEXT C
370 IF A <> 0 THEN 2420
380 LPRINT "> t"
390 IF MIN < 0 THEN 2420
400 LPRINT TAB(7) "1" TAB(15) : K=15
410 FOR C = 5 TO T STEP 5 : K=K+10 : LPRINT C TAB(K) : NEXT C
420 NEXT L
430 RETURN
440 LPRINT
450 END

```