

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

11/86

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

«O»
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : D'ELECTRONIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة —
BIBLIOTHEQUE —
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

SUJET

*Modelisation et Simulation d'une
Chaîne de Montage : Contrôle
Optimal de la Production*

Proposé par :

F. CHIGARA

Etudié par :

BOUKADOUM Med Tahar

ET

MESKINA SAID

dirigé par

F. CHIGARA

PROMOTION JANVIER 1986

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

«O»

وزارة التعليم والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

«O»

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : D'ELECTRONIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

SUJET

*Modelisation et Simulation d'une
Chaîne de Montage Contrôle
Optimal de la Production*

Proposé par :

F. CHIGARA

Etudié par :

BOUKADOUM Med Tahar

ET

MESKINA SAID

dirigé par :

F. CHIGARA

PROMOTION JANVIER 1986

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

DEPARTEMENT ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

MODELISATION ET SIMULATION D'UNE CHAINE DE MONTAGE
CONTROLE OPTIMAL DE LA PRODUCTION

PROPOSE PAR : F.CHIGARA

ETUDIE PAR : BOUKADOUM M^{ed} Tahar et MESKINA Said

A ma famille

A tous ceux qui me sont chers

A tous mes amis

M.T. BOUKADOUM

A ma mère

A mon père

A toute ma famille

A tous mes amis et en particulier Rachid

S.MESKINA

REMERCIEMENTS

Toute notre gratitude à M. F.CHIGARA pour son aide et sa mise à notre disposition de son ordinateur personnel IBM PC .
Nos plus vifs remerciements pour M.SAADOUN et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet .

TABLE DES MATIERES

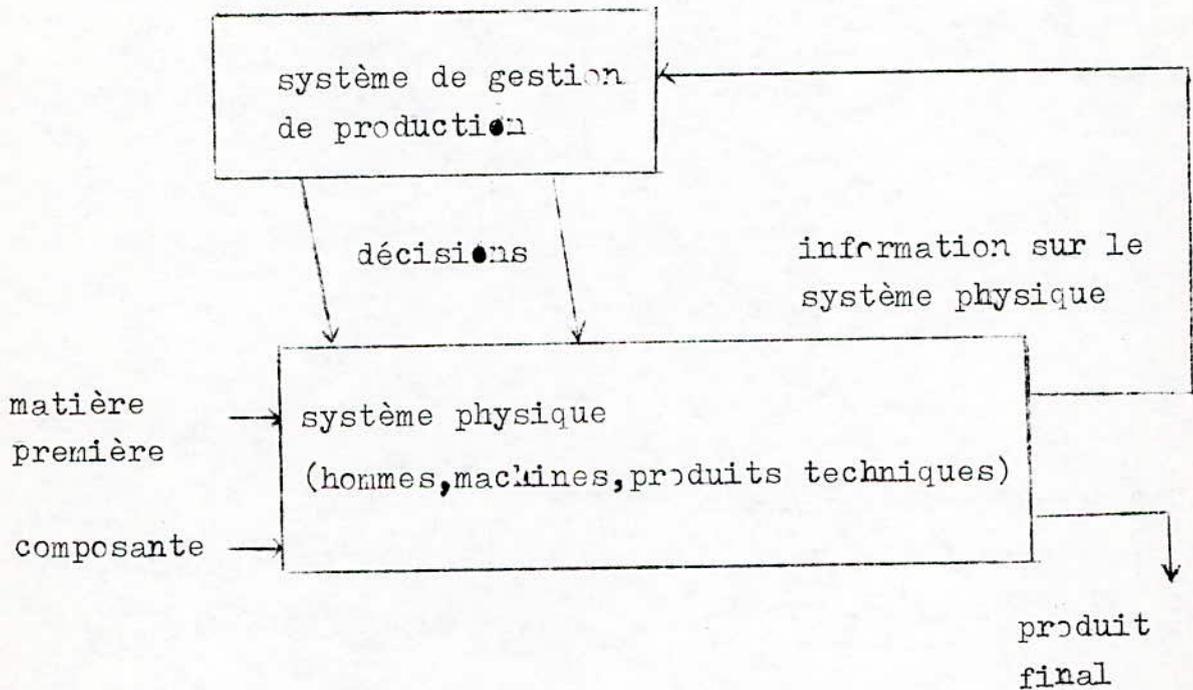
	Pages
I-INTRODUCTION	1
II-NOTION DE GRAND SYSTEME	5
II-1 Notion de système ;	5
II-2 Notion de grand système	5
II-3 Système stoechiometrique	6
III-TYPES DE PROBLEMES POSES DANS L INDUSTRIE	
ELECTRONIQUE	7
IV-METHODES D'ANALYSE DES GRANDS SYSTEMES	
MULTIDIMENSIONNELS	13
IV-1 Généralités	13
IV-2 Décomposition dynamique	14
IV-3 Décompositon statique	16
IV-4 Méthode d'analyse d'un grand système stoechiométrique	20
V-ANALYSE D'UN SOUS-SYSTEME STOECHIOMETRIQUE	22
V-1 Modèle fonctionnel d'un sous-système stoechiométrique	22
V-2 Entrées du sous-système stoechiométrique	23
V-3 Analyse du stock	25
V-4 Filtre stoechiométrique	26
V-5 Filtre stoechiométrique avec rebut	27
V-6 Filtre stoechiométrique avec saturation	29
V-7 Filtre stoechiometrique avec rebut et saturation	30
V-8 Structure générale d'un sous-système stoechiométrique	30
V-9 Etude du circuit non linéaire	31

VI-MODELISATION ET SIMULATION	34
VI-1 Principes d'un sous-système stoechiométrique . .	34
VI-2 Modelisation des stocks	35
VI-3 Controle optimal d'un sous-système	36
VII-CONTROLE D'UN SOUS-SYSTEME EN TEMPS REEL	39
VII-1 Définition	39
VII-2 Analyse itérative d'un sous système	39
VII-3 Maximisation de la production	40
a-Définition	40
b-Organigramme	41
VII-4 Minimisation du surplus.	43
a-Définition	43
b-Organigramme	44
VII-5 Choix de la valeur moyenne	53
VII-6 Influence du volume sur le surplus	54
a-Influence du volume maximal	54
b-Influence du volume initial	55
VII-7 Matrice des distances	61
VIII-CONTROLE D'UN SOUS SYSTEME STOECHIMETRIQUE EN TEMPS DIFFERE	69
IX-CONCLUSION	78

ANNEXE

I- INTRODUCTION

Les ressources non renouvelables du monde commencent à décroître, un intérêt grandissant se développe pour assurer une meilleure performance dans la conception de système de production. Cette performance dépend d'un large nombre de décisions et le problème que nous étudions est comment choisir l'ensemble des meilleures décisions pour obtenir un objectif particulier.

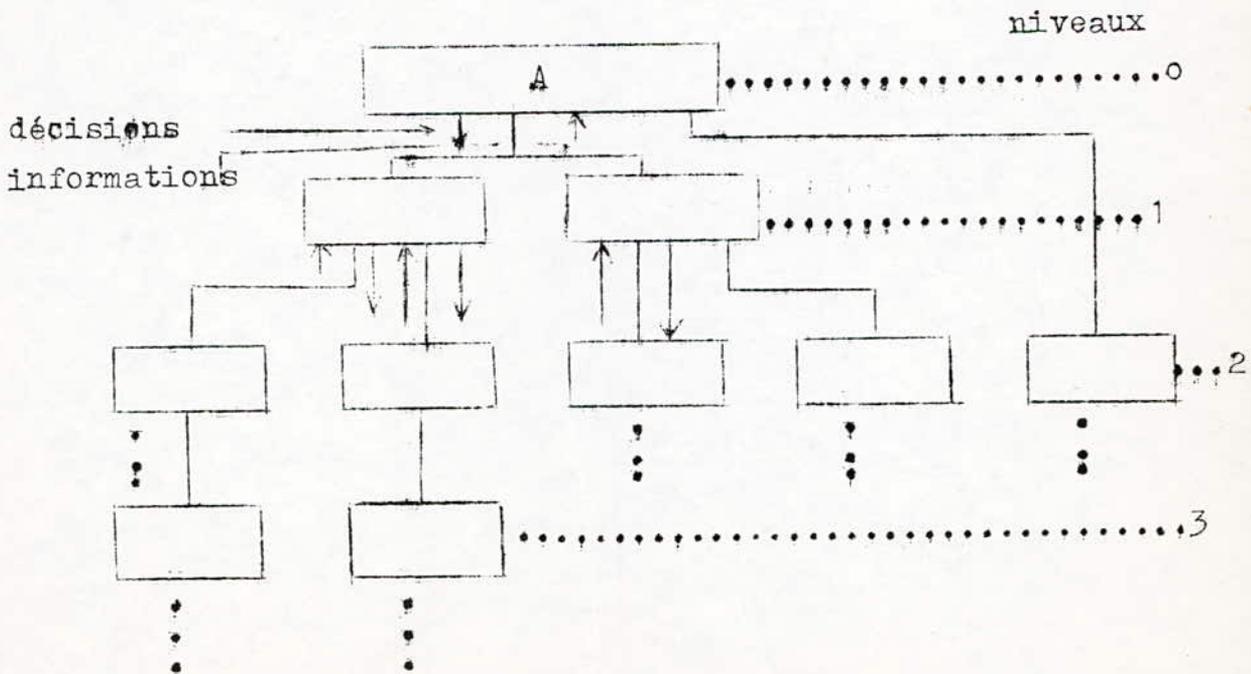


Pour connaître les mesures à prendre il est demandé:

- Un modèle qui permet de prédire les effets de toute décision.
- La connaissance de l'environnement qui influe sur le passé, le présent et le futur.
- Le coût qui permet de quantifier les effets de toute décision.

Le problème d'optimisation se résume donc à trouver l'ensemble des décisions qui minimise le coût en utilisant le modèle qui tient compte de l'environnement.

Dans le système étudié concernant l'unité de montage d'un système électronique nous verrons que la construction du modèle et les phases d'optimisation nécessitent un grand nombre de calculs qui augmente 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 conduit à un nombre de sous-systèmes ayant chacun ses objectifs et ses contraintes. L'interconnection des sous-systèmes qui en résultent 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 et coordonné par un sous-système de niveau supérieur.



Une fois que les fonctions de performances et les contraintes du système sont réparties en composantes, s'applique à chaque sous-système la solution optimale qui 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 constitue 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
- Estimation des paramètres

La structure du modèle est déterminée à partir de la connaissance physique et l'estimation des paramètres par des données expérimentales.

Les modèles mathématiques peuvent consister en:

- Des équations algébriques (pour des processus statiques)
- Des équations intégral-différentielles (pour des systèmes dynamiques)
- Des équations aux dérivées partielles (pour des systèmes à paramètres distribués)
- Des équations aux différences (pour des systèmes à temps discret)

Ces méthodes usuelles classiques ne peuvent s'appliquer au système étudié dont les paramètres ne sont pas différentiables au sens ordinaire .

Ce système appelé système stoechiométrique se caractérise par l'existence d'un ou plusieurs filtres stoechiométriques notés FS, plusieurs variables d'entrées $x_i(t), x_i(t) > 0, i=1, 2, \dots, n$ qui sont des processus aléatoires stationnaires ergotiques, plusieurs variables de commande appelées stocks notées $s_i(t)$ associées au volume de stock noté $v_i(t)$, une seule sortie dont son optimum est donné par
$$\max y(t) = \min \left(\frac{x_1(t) + s_1(t)}{\alpha_1}, \dots, \frac{x_n(t) + s_n(t)}{\alpha_n} \right)$$

où les α_i sont des coefficients stoechiométriques.

Des méthodes d'analyse de simulation sur ordinateur seront appliquées au modèle fonctionnel proposé.

Les variables de contrôle $s_i(t)$ seront les outils de manœuvre pour modifier l'évolution de la sortie c'est-à-dire la production du produit final .

II- NOTION DE GRAND SYSTEME

II-1 NOTION DE SYSTEME

La notion de système s'est imposée dans le domaine économique, 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 qu'il faut bien définir impose des contraintes sur cette chaîne d'éléments.

Un critère (très souvent résumé dans une relation quantité-qualité) définit les performances souhaitées pour cet ensemble. Il s'agit alors de trouver le meilleur réglage des paramètres constituant la commande de ce système. L'étude du critère et sa mise en forme mathématique sont d'une grande importance car c'est de ce critère que dépend l'optimisation du système.

II-2 NOTION DU GRAND SYSTEME

La plupart des systèmes réels industriels et socio-économiques sont des systèmes à grande échelle, multidimensionnels c'est-à-dire ils sont à plusieurs variables d'entrées-sorties. Le comportement d'un système multidimensionnel classique peut être étudié au moyen des équations aux dérivées partielles de Lagrange obtenues en appliquant les lois physiques au système considéré. Si l'on peut trouver une relation linéaire entre la sortie du système et son entrée, le système est dit linéaire, dans le cas contraire il est dit non linéaire.

II-3 SYSTEME STOECHIMETRIQUE

Parmi les systèmes à grande échelle, multidimensionnels, il existe un type de système appelé "grand système stoechiométrique (G.S.S.)" possédant plusieurs entrées et une seule sortie à optimiser, celui-ci se définit et se caractérise par:

- L'existence d'un ou plusieurs filtres stoechiométriques notés FS
- Plusieurs variables d'entrées $x_i(t); i = 1, \dots, n; x_i(t) \geq 0$ qui sont des processus aléatoires stationnaires
- Plusieurs variables de commande stock notées $s_i(t); i = 1, 2, \dots, n$ associées respectivement au volume de stock $v_i(t) \geq 0$
- Des coefficients stoechiométriques $\alpha_i, i = 1, 2, \dots, n$
- Une seule sortie $y(t)$ définie par:

$$y(t) \in (0, \min(\underbrace{x_1(t)+s_1(t)}_{\alpha_1}, \underbrace{x_2(t)+s_2(t)}_{\alpha_2}, \dots, \underbrace{x_n(t)+s_n(t)}_{\alpha_n}))$$

- L'existence éventuelle de la variable de commande stock à la sortie notée $r(t)$ associée au volume de stock à la sortie noté $v_r(t)$
- L'existence de surplus noté SP(t)
- Des rebuts technologiques $w_i(t)$

-Une sortie optimale caractérisée par:

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

L'étude d'un tel système se fait par une décomposition hiérarchisée par laquelle on procède à l'analyse et le contrôle de chaque sous-système qui en résulte de cette décomposition suivant ses critères, et ses contraintes.

III- TYPES DE PROBLEMES POSES DANS L'INDUSTRIE ELECTRONIQUE

Dans l'industrie électronique, le contrôle de la production est réalisé par une régulation de celle-ci tel qu'un optimum économique soit atteint en permanence entre la demande extérieure des marchés et les moyens de productions de l'entreprise. CE régulateur constitue un système très complexe et de nombreux problèmes en découlent.

Toute production a besoin de matières premières ou de pièces élémentaires qui par des transformations ou des assemblages bien déterminés donneront un produit final. L'approvisionnement consiste à répondre à tous les besoins d'unité industrielle en éléments de base sans lesquels la production est perturbée ou ne pourrait avoir lieu. Le processus d'approvisionnement est lié à la quantité, la qualité et à la période de réapprovisionnement, ce phénomène est donc fortement dépendant de la notion de stock.

Le stock est constitué d'un volume contenant des éléments bien déterminés qui peuvent être des pièces élémentaires ou des produits finaux d'une chaîne de montage.

Ce stock est limité par une valeur maximale, le dépassement de cette valeur engendre un surplus de volume qui n'aura aucune valeur économique par conséquent l'entreprise concernée est obligée d'établir un bon plan de gestion des stocks.

L'indisponibilité à l'entrée et dans le stock d'une pièce quelconque possédant des références bien déterminées peut entraîner l'arrêt complet de la production car cette pièce ne peut être remplacée par une autre ayant une référence différente.

Une chaîne de montage est considérée comme un système entier qui a l'avantage d'être décomposable en plusieurs sous-système

de façon à avoir la meilleure commande du système entier. Néanmoins la panne ou la défaillance d'un sous-système peut entraîner la défaillance ou l'arrêt complet de la production. L'avantage de la décomposition permet de détecter et réparer rapidement les pannes affectant le système.

Vu le progrès rapide de la technologique, la modernisation de certains sous-systèmes se fera aisément sans avoir recours à modifier le système global.

Il sera alors très utile d'établir une bonne commande hiérarchique (définie précédemment) et dans la nécessité même avoir plusieurs sous-systèmes fonctionnant en parallèle pour que l'éventualité d'une panne d'un sous-système n'entraînera pas l'arrêt brutal de la production.

En conclusion; on peut dire que le bon contrôle et la connaissance du système de production permet de minimiser le nombre de problèmes et d'avoir ainsi un meilleur rendement de l'unité industrielle.

Une multitude de problèmes divers relatifs à l'industrie peuvent exister, on pourra citer quelques-uns comme les pannes de sources d'énergie (gaz, électricité, ...) les problèmes d'entretien, de main-d'oeuvres qualifiées, les moyens de communication et de transport, le gaspillage

L'exemple de la chaîne de montage des téléviseurs de Sidi-Bel-Abbès illustre d'une façon claire ce que nous venons de dire . Il représente différents problèmes relatifs à l'industrie électronique et montre la complexité de tels grands systèmes.

Ce système comporte six niveaux, on distingue de nombreuses entrées-sorties reliant les différents sous-systèmes dont on peut les diviser en deux parties: les entrées indépendantes et les entrées dépendantes qui sont les sorties d'autres sous-systèmes . Le tableau suivant nous donne le nombre de ces entrées

Niveaux	1	2	3	4	5	6
Entrées dépend.	9	20	57	23	1	0
Entrées indépend.	36	26	373	166	23	1

Le nombre total d'entrées indépendantes caractérise le nombre de pièces élémentaires nécessaires au montage du téléviseur, ce nombre est égal à : - 625

Le nombre d'entrées dépendantes ou de sous-systèmes élémentaires est égal à : 110

Le nombre total d'entrées-sorties est : 735

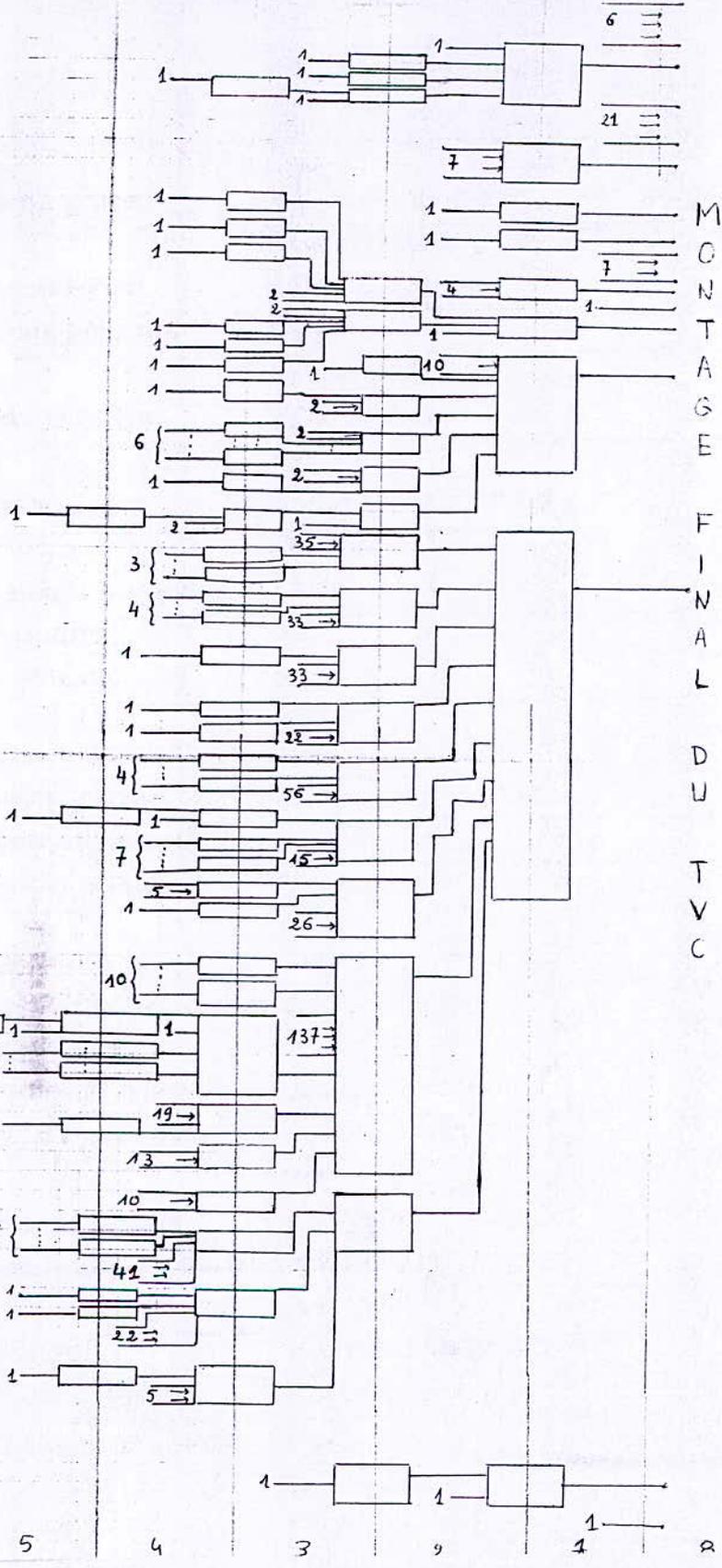
Chaque entrée est repérée par:

- le niveau où elle se trouve
- son numéro de référence et sa désignation
- son coefficient stoechiométrique exprimé en PC, GR, ML, CM.
- son pourcentage de rebus
- son lieu de fabrication exprimé en B ou M

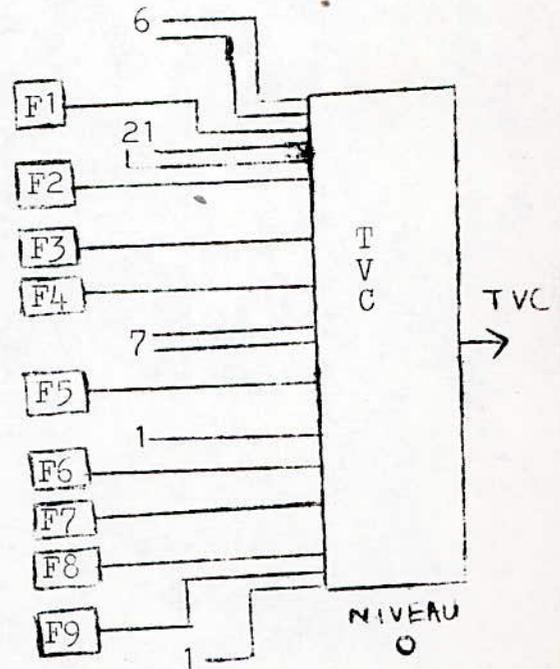
Le niveau 0 correspond à l'assemblage final du téléviseur

SCHEMA COMPLET DU MONTAGE D'UN TELEVISEUR (SYSTEME ENTIER)

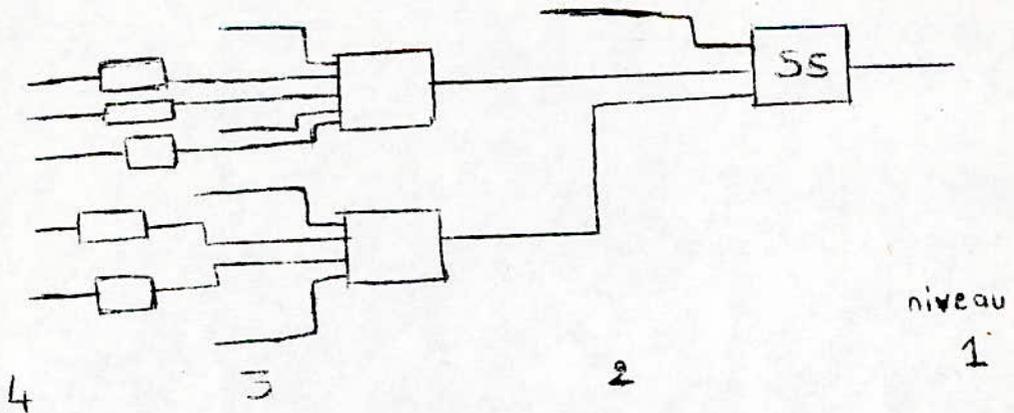
NIVEAU 6



- F1:tresse de masse
- F2:bouton complet
- F3:protecteur emballage haut
- F4:protecteur emballage bas
- F5:montage carton emballage
- F6:montage déviateur
- F7:montage bloc commande
- F8:montage chassis complet
- F9:montage fil cosse



SCHEMA SIMPLIFIE DU SYSTEME TELEVISEUR



SCHEMA DETAILLE DU SOUS-SYSTEME F6

L'exemple cité nous donne une idée sur la constitution d'un grand système. On peut constater que le défaut d'une pièce élémentaire quelconque entraîne l'arrêt de la production.

Ce grand système constitué de six niveaux de montage et de 735 entrées-sorties présente désormais un exemple réel complexe de par ses nombreuses entrées et par les différentes liaisons entre ses sous_systèmes .

IV- METHODES D'ANALYSE DES GRANDS SYSTEMES MULTIDIMENSIONNELS

IV-1 GENERALITES

A l'heure actuelle ,malgré des calculateurs avec d'énormes capacités de traitement,seuls des systèmes non linéaires d'ordre peu élevé,c-à-d comprenant finalement un petit nombre de variables d'états,peuvent être traités.On peut alors décomposer le système en sous-systèmes adjacents et procéder par itérations jusqu'à ce que les contraintes en entrées/sorties appliquées aux frontières de chaque sous-système soient cohérentes.On procède en général ainsi -On applique sur chaque frontière du sous-système des contraintes, elles représentent l'interaction des deux sous-systèmes ayant cette frontière en commun.

-On optimise chacun de ces deux sous-systèmes en fonction de ses critères propres et des contraintes ainsi affichées,

L'analyse d'un système par décomposition peut suivre deux chemins : Une analyse descendante dans laquelle on procède par la pensée vers les sous-systèmes et composants mais on risque d'aboutir à des modules ou éléments terminaux impossible à réaliser.

Une analyse ascendante par laquelle on conçoit d'abord les éléments les plus simples qu'on organise progressivement en ensemble de plus en plus complexes ,mais on voit plus difficilement le système final qui peut être un ensemble très complexe et important.

Les sous-systèmes résultant de la décomposition du grand système peuvent être des processus invariant dans le temps:c'est la décomposition statique,ou des processus dont l'état change au cours du temps:c'est la décomposition dynamique.

CES deux méthodes ne concernent que les systèmes classiques dont l'étude peut se faire à l'aide des équations mathématiques algébriques ou différentielles. Dans le cas du système stoechiométrique, vue la particularité de ses variables d'entrées $x_i(t)$ et l'indifférentiabilité dans le sens ordinaire de la variable de sortie $y(t)$, on procède par une décomposition hiérarchisée, on modélise chaque sous-système obtenu, puis on abordera alors l'étude par simulation sur ordinateur du modèle de chaque sous-système.

IV-2 DECOPOSITION DYNAMIQUE

Cette décomposition concerne les systèmes classiques dépendant du temps et pouvant être traités à l'aide des équations intégral-différentielles. Le système est supposé décomposable en N sous-systèmes dont chacun est défini par:

$x_i(t)$: variable d'état

$m_i(t)$: variable de commande

$z_i(t)$: variable d'entrée

On obtient ainsi un système d'équations différentielles dont le nombre est N_i qui sont de la forme:

$$\dot{x}_i(t) = F_i(x_i, m_i, z_i, t) \quad i=1, 2, \dots, N$$

avec la condition initiale $x_i(t)_0 = x_{i0}$

chaque vecteur x_i, m_i, z_i est une fonction du temps et à chaque instant ces variables sont sous la contrainte :

$$R_i(x_i, m_i, z_i, t) \geq 0 \quad i=1, 2, \dots, N$$

Les liaisons entre les sous-systèmes sont les suivantes:

La variable d'entrée $z_i(t)$ d'un sous-système sera définie par les interconnexions entre les autres sous-systèmes telles que:

$$z_i(t) = \sum_{j=1}^N L_{ij} y_j$$

avec L_{ij} : matrice de couplage ou de permutation

y_j : variable de sortie observable qui est définie par:

$$y_j = G_j(x_j, m_j, t)$$

Les équations précédentes définissent un système non linéaire, considérons l'intervalle d'étude $[t_0, t_1]$, notre problème admet des conditions aux limites définies à l'aide d'une surface h_i telle que: $(x_i(t), t_1) \in [x_{i1}, t_1; h_i(x_{i1}, t_1)]$ $i=1, 2, \dots, N$

aux contraintes annoncées on ajoute le critère principal du système qui est une fonction objective telle que:

$$J_I(m, z) = \sum_{i=1}^N \left(g_i(x_i, t) + \int_{t_0}^{t_1} f_i(x_i, m_i, z_i, t) dt \right)$$

Le problème revient à minimiser $J_I(m, z)$

- Système global:

Soient les variables vecteurs X, M, Z et Y qui sont formés de la façon suivante:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$$

$$M = (m_1, m_2, \dots, m_N)$$

$$Z = (z_1, z_2, \dots, z_N)$$

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$$

Les paramètres m, z seront admissibles si chaque composante m_i, z_i est admissible.

On peut écrire pour le système tout entier les équations suivantes:

$$\begin{array}{ll}
 \dot{X} = F(X, M, Z, t) & F = (F_1, F_2, \dots, F_N) \\
 Y = G(X, M, Z, t) & \text{avec: } G = (G_1, G_2, \dots, G_N) \\
 R(X, M, Z, t) \geq 0 & R = (R_1, R_2, \dots, R_N) \\
 h(X_1, t_1) = 0 & h = (h_1, h_2, \dots, h_N) \\
 Z = LY & L = [L_{ij}]
 \end{array}$$

La fonction objective est la même :

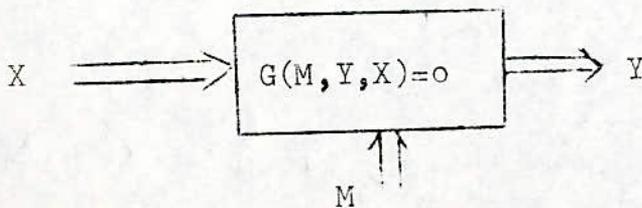
$$J_I(M, Z) = g(X_1, t_1) + \int_{t_0}^{t_1} f(X, M, Z, t) dt$$

$$\text{avec: } g = g_1 + g_2 + \dots + g_N \text{ et } f = f_1 + f_2 + \dots + f_N$$

Les méthodes d'optimisation du critère $J_I(M, Z)$ sont nombreuses, on peut citer la méthode de Lagrange, d'Hamilton, d'EULER,

IV-3 DECOMPOSITION STATIQUE

Le grand système à étudier est supposé invariant dans le temps, on peut le décomposer en un certain nombre de sous-systèmes indépendants dont chacun fera l'objet d'une étude à l'aide des équations algébriques. La coordination de l'ensemble des solutions permet de trouver la solution globale.
Soit le modèle d'un sous-système suivant:



M: vecteur variable de commande

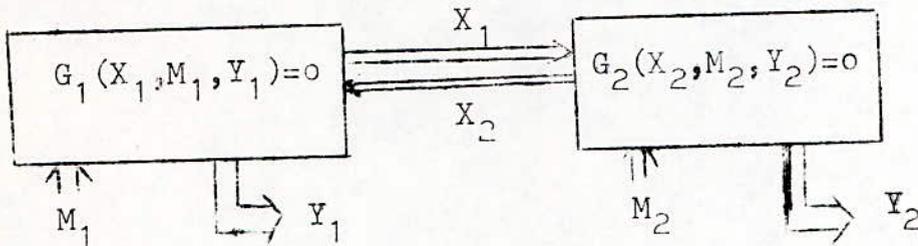
X: vecteur variable d'entrée

Y: vecteur variable de sortie

Le sous-système est caractérisé par:

- son équation (ou processus) $G(M, Y, X) = 0$
- sa fonction objective (ou critère) $P(M, Y, X)$

Méthode de coordination du modèle de deux sous-systèmes:



On obtient les équations suivantes:

- a- $G(X_i, M_i, Y_i) = 0 \quad i=1, 2$ cette équation représente le processus et la fonction objective devient, alors:
- b- $P(M, Y, X) = P_1(M_1, Y_1, X_1) + P_2(M_2, Y_2, X_2)$

Cette méthode s'appelle la méthode de coordination du modèle; et elle consiste à satisfaire les deux contraintes suivantes:

- 1- $\min_{X, Y, M} P(M, Y, X)$
- 2- $G(M, Y, X) = 0$

Dans notre cas on fixe d'abord le vecteur d'interaction entre les sous-systèmes; soit $X = Z$ et on procède alors en deux étapes:

- a- $H(Z) = \min_{M, Y} P(M, Y, Z)$ tel que $G(M, Y, Z) = 0$
- b- $\min_Z H(Z)$

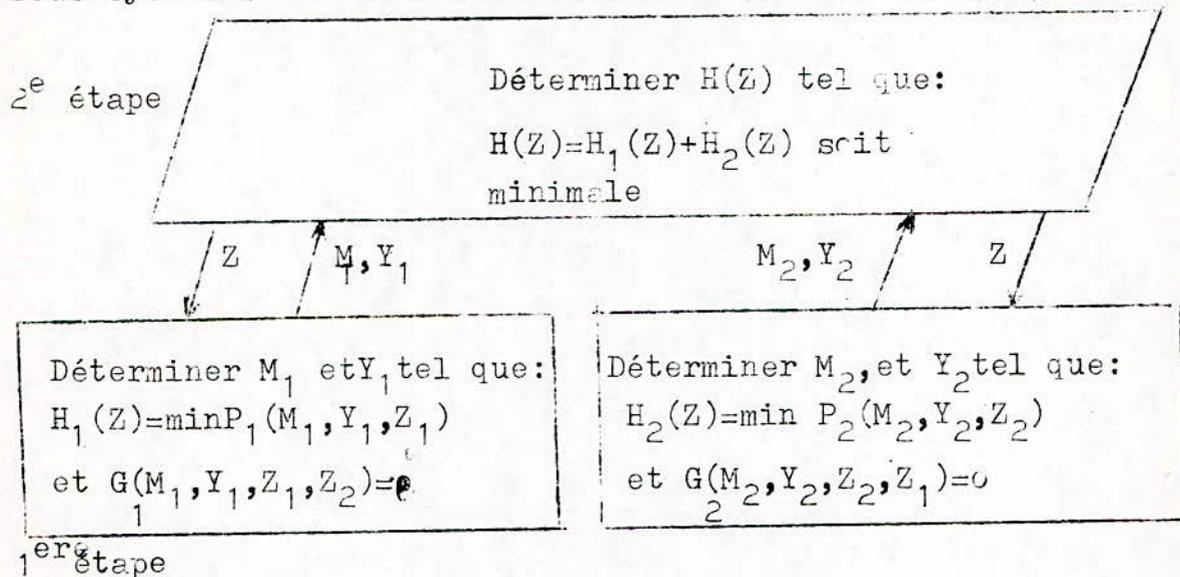
Dans la première étape l'ensemble des solutions est:

$$S_1 = \left\{ (M, Y) / G(M, Y, Z) = 0 \right\}$$

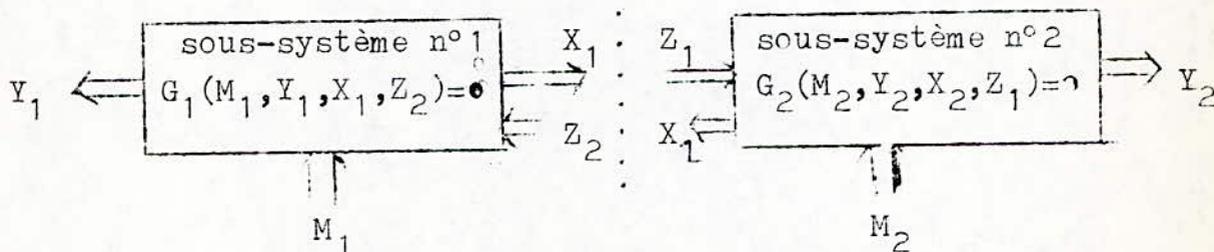
Dans la deuxième étape cet ensemble sera:

$$S_2 = \left\{ Z / H(Z) \text{ existe} \right\}$$

Dans ce cas on prend pour Z la valeur $Z = X_{opt}$ où X_{opt} est la valeur optimale. Puis à partir de S_1 on détermine les valeurs optimales pour M, et Y correspondantes à X_{opt} . Pour le modèle de deux sous-systèmes on obtient le schéma de travail suivant:



Méthode de coordination du critère:



Le critère de notre système est:

$$P(M, Y, X, Z, \lambda) = P_1(M_1, Y_1, X_1) + P_2(M_2, Y_2, X_2) + \lambda (X - Z)$$

où λ est un vecteur de pénalisation (ou paramètre de coordination). Le système d'équations sera suivant:

$$G_1(M_1, Y_1, X_1, Z_2) = 0$$

$$G_2(M_2, Y_2, X_2, Z_1) = 0$$

Il faut définir l'ensemble des solutions S_1 tel que:

$$S_1 = \left\{ (M, Y, X, Z) / G_1 = G_2 = 0 \right\}$$

et déterminer $H(\lambda) = \min P(M, Y, X, Z, \lambda)$ puis on définira S_2 tel que:

$$S_2 = \left\{ \lambda / H(\lambda) \text{ existe} \right\}$$

Pour tout calcul l'expression $\lambda(X-Z)$ s'écrit:

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

La première étape de résolution est:

- sous-système n°1 : calculer M_1, Y_1, X_1, Z_2 tels que:

$$P_1(M_1, Y_1, X_1) + \lambda_1 X_1 - \lambda_2 Z_2 \text{ soit minimal}$$

$$\text{et } G_1(M_1, Y_1, X_1, Z_2) = 0$$

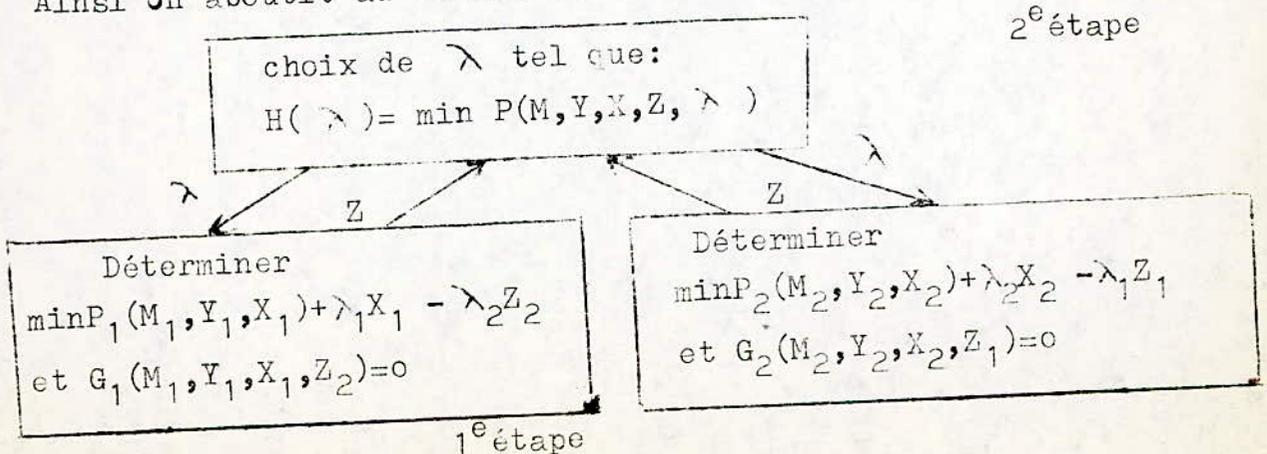
- sous-système n°2 : calculer M_2, Y_2, X_2, Z_1 tels que:

$$P_2(M_2, Y_2, X_2) + \lambda_2 X_2 - \lambda_1 Z_1 \text{ soit minimal}$$

$$\text{et } G_2(M_2, Y_2, X_2, Z_1) = 0$$

Remarque: λ s'appelle aussi multiplicateur de Lagrange.

Ainsi on aboutit au schéma de travail qui est le suivant:



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

IV-4 METHODE D'ANALYSE D'UN GRAND SYSTEME STOECHIMETRIQUE

Bien que le grand système stoechiométrique fasse partie des grands systèmes multidimensionnels, les méthodes évoquées précédemment ne lui sont pas applicables pour des raisons suivantes:

A cause de la nature de ses variables d'entrées $x_i(t)$, de la commande de stock $S_i(t)$ et, de l'indifférentiabilité dans le sens ordinaire de sa variable de sortie $y(t)$.

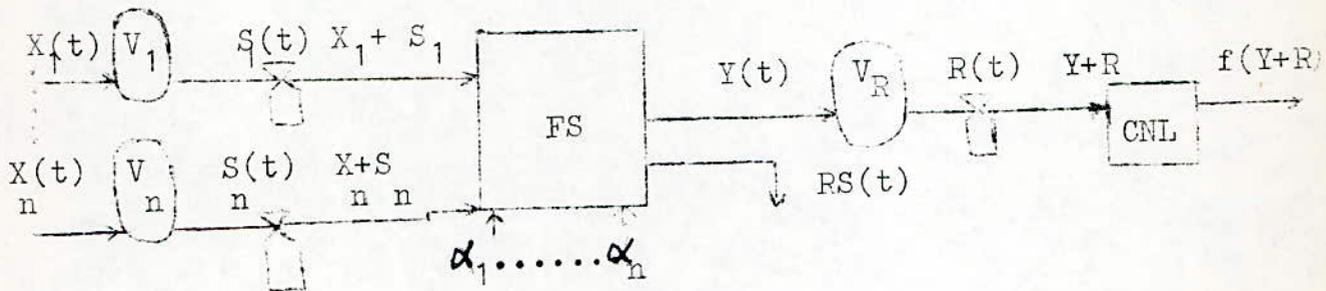
Ainsi on propose la méthode de modélisation et de simulation pour faire l'analyse de chaque sous-système résultant d'une décomposition hiérarchisée du grand système stoechiométrique. Le modèle est une représentation purement mathématique du système, mais ses principes de fonctionnement doivent être analogues à ceux du système réel, cela pour que à partir des observations faites sur ce modèle on puisse tirer des conclusions valables quant aux propriétés du système réel; ce modèle mathématique est l'outil indispensable dans l'automatisation du système et du contrôle de processus, il constitue même le procédé d'étude des systèmes lorsqu'ils sont complexes ou lorsque l'expérience directe est impossible. C'est là où se trouve la valeur et l'importance de l'association de la technique de simulation.

La simulation est une technique qui consiste à programmer le modèle d'un système ou d'un phénomène que l'on veut étudier sur l'ordinateur afin de pouvoir faire des expériences sur ce modèle. L'utilisation de l'ordinateur fait que la simulation est un outil puissant permettant l'analyse du système ou sous-système stoechiométrique .

V- ANALYSE D'UN SOUS-SYSTEME STOECHEIOMETRIQUE

V-1 MODELE FONCTIONNEL D'UN SOUS-SYSTEME STOECHEIOMETRIQUE

Soit le schéma suivant:



Ce sous-système stoechiométrique est caractérisé par plusieurs variables d'entrées $X_i(t), X_i(t) \geq 0$ et une seule sortie $Y(t) \geq 0$ dépendant du temps. Chaque entrée est caractérisée par un volume de stock $V_i(t)$ et une commande $S_i(t)$ de stock. Toutes les entrées vont dans le filtre stoechiométrique FS caractérisé par les coefficients stoechiométriques α_i qui permettent la combinaison des entrées en donnant une seule sortie $Y(t)$. La sortie, elle aussi possède une commande $R(t)$ dont le volume de stock est $V_R(t)$.

En considérant que la sortie représente une production, on définit alors un rebut technologique qui caractérise tous les produits défectueux. Il peut être exprimé en pourcentage ($RS(t) = KY(t)$ où K coefficient de rebut). Ce rebut peut être jeté ou réparé suivant son importance et son coût.

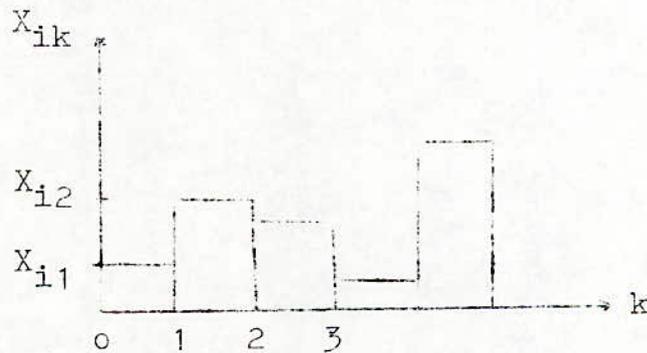
La fonction $RS(t)$ représente le rebut de la sortie ou le surplus provenant des entrées.

Le sous-système se termine par un circuit non linéaire (CNL) dont nous verrons sa signification dans les paragraphes suivants.

V-2 ENTREES DU SOUS-SYSTEME STOECHIMETRIQUE

Les entrées du sous-système ont une large signification physique. Elles peuvent être des pièces matérielles, les sorties d'un autre sous-système, comme elles peuvent représenter des paramètres divers tels que l'énergie (l'électricité), la main-d'œuvre, la température....

Les variables d'entrée du sous-système stoechiométrique suivent des variations quelconques dans le temps. Dans le cas réel ces variables prennent comme valeur une suite de nombres X_{ik} (valeurs discrètes) pendant des intervalles de temps successifs bien déterminés. On peut schématiser la variation d'une entrée réelle quelconque par:



Cependant dans un cas de temps différé, on peut approximer cette suite de nombres X_{ik} pour k assez grand à une variable $X_i(t)$ continue suivant une distribution statistique normale définie par une fonction de densité $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$ où μ : l'espérance mathématique

$$\mu = E(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx$$

et σ : l'écart-type

Dans ce cas, la variance de x sera: $\text{var}(x) = E(x - \mu)^2 = \sigma^2$

et la probabilité $(X \leq x_0) = \int_{-\infty}^{x_0} f(x) dx$

Pour le cas de deux variables aléatoires:

$$X_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$$

$$X_2 \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$$

On définit la covariance de X_1 et X_2 par:

$$\text{covar}(x_1, x_2) = E((x_1 - \mu_1) \cdot (x_2 - \mu_2)) = E(x_1 - x_2) - \mu_1 \mu_2$$

et le coefficient de corrélation par:

$$\rho(x_1, x_2) = \text{covar}(x_1, x_2) / \sigma_1 \sigma_2$$

La matrice de corrélation sera donnée par:

$$[\rho] = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \dots & \rho_{1n} \\ & & & \\ & & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{n1} & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{avec: } \rho_{ij} = 1 \text{ si } i=j$$

$$\rho_{ij} = \rho_{ji}$$

Si $X_1 = X_2$ alors $\mu_1 = \mu_2$ et $\sigma_1 = \sigma_2$

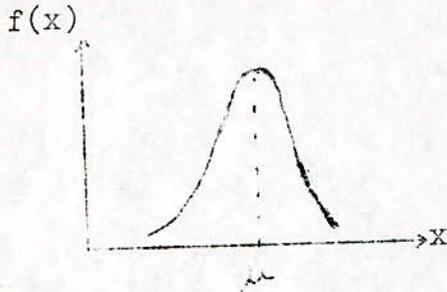
$$[\rho] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{on dit que } X_1 \text{ et } X_2 \text{ sont parfai-}$$

tement corrélées. Le coefficient de corrélation exprime la dépendance entre deux variables aléatoires telles que: $-1 \leq \rho \leq 1$

si $X \sim N(\mu, \sigma^2)$

la fonction de densité de probabilité sera:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-1/2 \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}}$$



$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$$

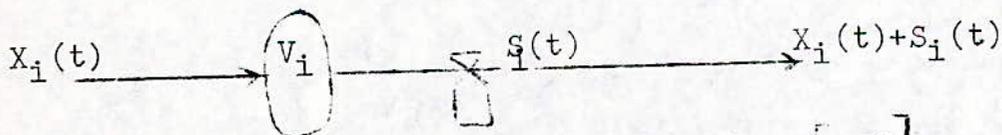
V-3 ANALYSE DU STOCK

On dit qu'un ensemble E a une structure d'espace metrique si on définit une notion de distance entre deux éléments de E, soit une application $d: E \times E \longrightarrow \mathbb{R}^+$

$$(f, h) \longmapsto d(f, h) \text{ distance de } f \text{ à } h$$

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: $d(f(t), h(t)) = \sup_t |f(t) - h(t)|$

où Δ est un intervalle fermé et borné $\Delta = [a, b]$



Choisissons l'intervalle d'étude $[0, T]$

soient les deux fonctions $t \mapsto X_i(t)$ tel que $1/T \int_0^T X_i(t) dt = \bar{X}$; $0 \leq X_i(t) \leq X_m$ borné

$t \mapsto S_i(t) = X_i(t) + S_i(t)$ tel que $1/T \int_0^T S_i(t) dt = \bar{X}$

car $\int_0^T S(t) dt = 0$

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

$$V_i(t) = V_0 + \int_0^t (X_i(z) - g_i(z)) dz$$

avec l'hypothèse V_0 volume initial et $0 \leq V_i(t) \leq V_m$

donc $V_i(t)$ borné, soit : $0 \leq V_0 + \int_0^t (X_i(z) - g_i(z)) dz \leq V_m$

$$-V_0 \leq \int_0^t (X_i(z) - g_i(z)) dz \leq V_m - V_0$$

Pour simplifier les calculs, on propose de prendre $V_0 = 0,5V_m$

dans ce cas, $\max \left| \int_0^t (X_i(z) - g_i(z)) dz \right| \leq V_m - V_0 = 2V_0 - V_0 = V_0$

pour $t \in [0, T]$, $\max \left| \int_0^t S_i(t) dt \right| \leq V_0$

En posant $f_i(t) = \int_0^t X_i(\tau) d\tau$ et $h_i(t) = \int_0^t g_i(\tau) d\tau$

on a $V_i(t) = V_0 + f_i(t) - h_i(t)$ et $\sup_{t \in [0, T]} |f_i(t) - h_i(t)| \leq V_0$

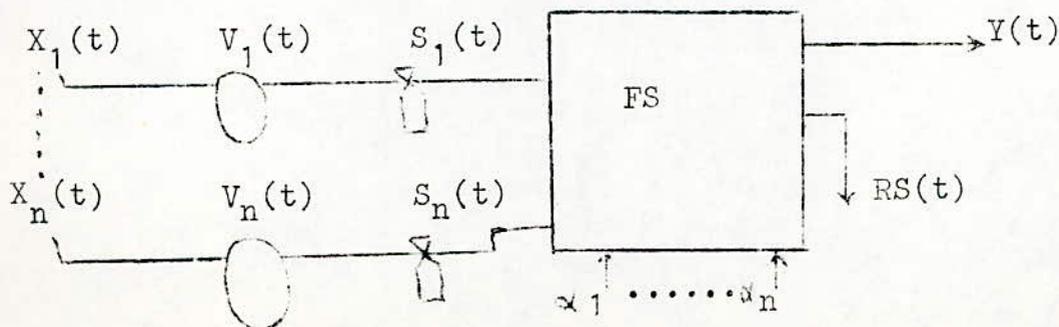
On définit ainsi la notion de distance dans l'espace métrique

$ExE \ni (f_i(t), h_i(t))$ pour $t \in [0, T]$

Remarque: La distance ainsi définie n'est pas régulièrement équivalente avec des distances de la convergence uniforme en moyenne et en moyenne quadratique.

V-4 FILTRE STOECHEMETRIQUE FS

Soit le modèle fonctionnel suivant:



Modèle mathématique:

$$Y(t) \in \left[0, \min \left(\frac{X_1(t) + S_1(t)}{\alpha_1}; \dots, \frac{X_n(t) + S_n(t)}{\alpha_n} \right) \right]$$

$t \in]0, T[$

On opère des simplifications sur les $\alpha_i(t) = \alpha_i$ c-à-d on considère $\alpha_1(t), \dots, \alpha_n(t)$ constants ie $\alpha_1, \dots, \alpha_n$

et notre objectif est d'obtenir $\max Y(t)$.

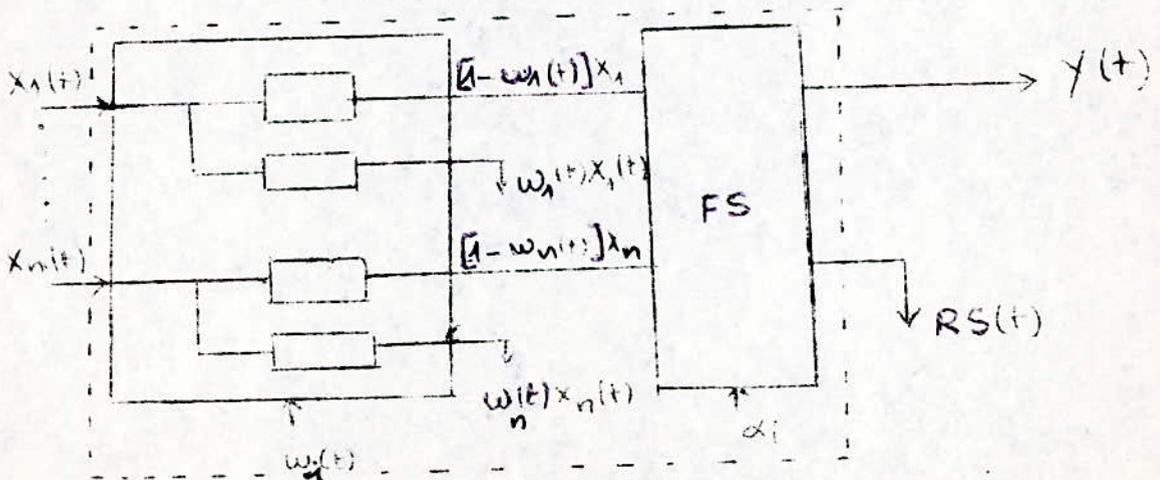
Pour n'importe quelles $X_1(t), \dots, X_n(t)$ et α_i fixés, on calcule

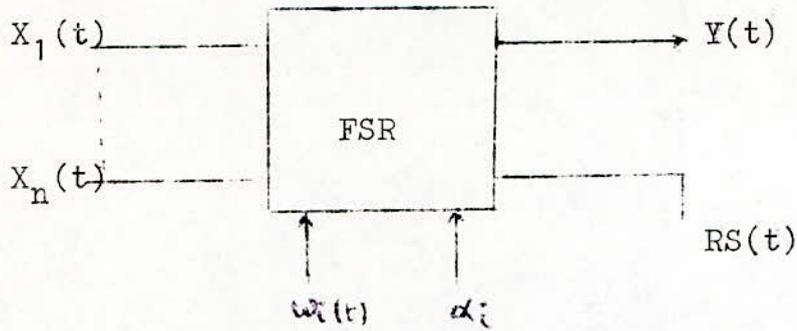
$$\max Y(t) = \min \left(\frac{X_1(t) + S_1(t)}{\alpha_1}, \dots, \frac{X_n(t) + S_n(t)}{\alpha_n} \right)$$

Il est évident que $\max Y(t)$ dépend des $X_i(t)$ donc il faut déterminer pour $i=1, 2, \dots, n$

- les variations de $X_i(t)$
- le nombre des entrées $X_i(t)$
- les corrélations entre les $X_i(t)$

V-5 FILTRE STOECHEIOMETRIQUE AVEC REBUT FSR





$\omega_i(t)$ désigne le rebut correspond à $X_i(t)$, il est exprimé en pourcentage tel que $0 \leq \omega_i(t) \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, n$

Modèle mathématique du FSR:

$$\max Y(t) = \min \left(X_1(t) \frac{(1 - \omega_1(t))}{\alpha_1}, \dots, X_n(t) \frac{(1 - \omega_n(t))}{\alpha_n} \right)$$

Le rebut peut exister soit au niveau des entrées soit au niveau de la sortie. Il représente les pièces défectueuses.

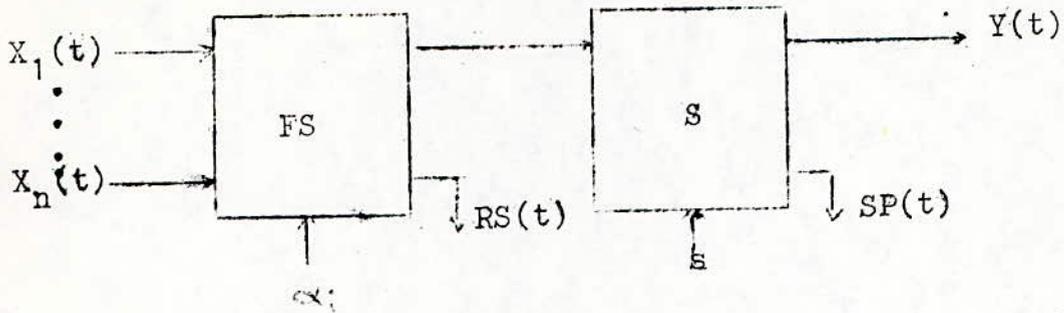
Le rebut, qui peut être causé par les entrées défectueuses ou par un mauvais assemblage des pièces, est éliminé ou traité ou réparé suivant son importance et son coût.

La connaissance du pourcentage de rebut noté $\omega_i(t)$ permet de prendre ultérieurement des décisions; il est calculé en testant des échantillons prélevés à divers niveaux.

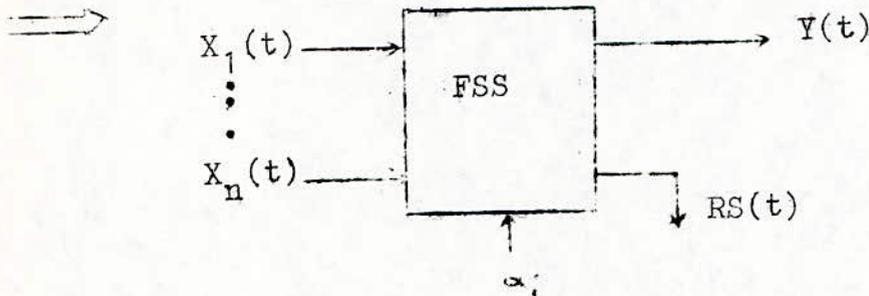
Supposons maintenant que le rebut soit $\omega_i(t)$ au niveau de l'entrée

- le taux de celui-ci à l'entrée $X_i(t)$ est: $\omega_i(t)X_i(t)$
- le taux des pièces bonnes est: $(1 - \omega_i(t))X_i(t)$

V-6 FILTRE STOECHIMETRIQUE AVEC SATURATION FSS



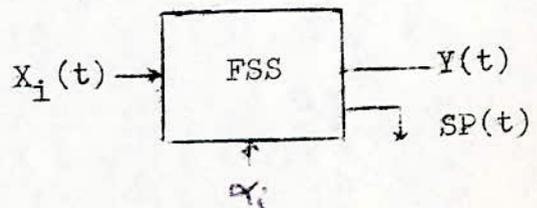
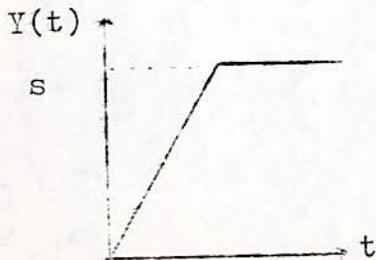
s: désigne la saturation



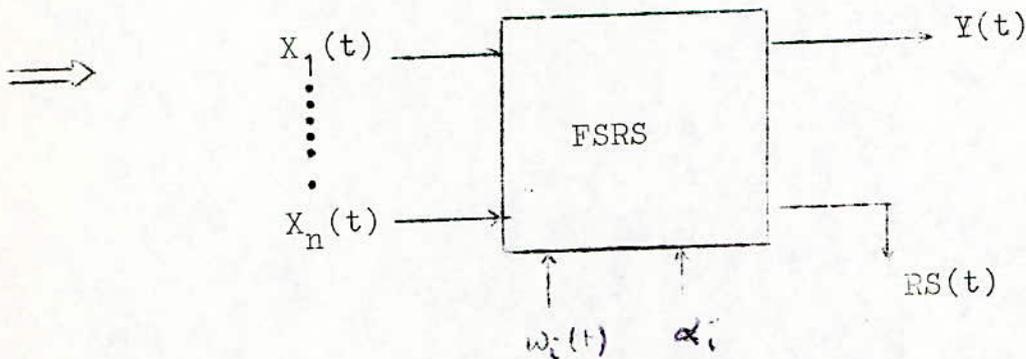
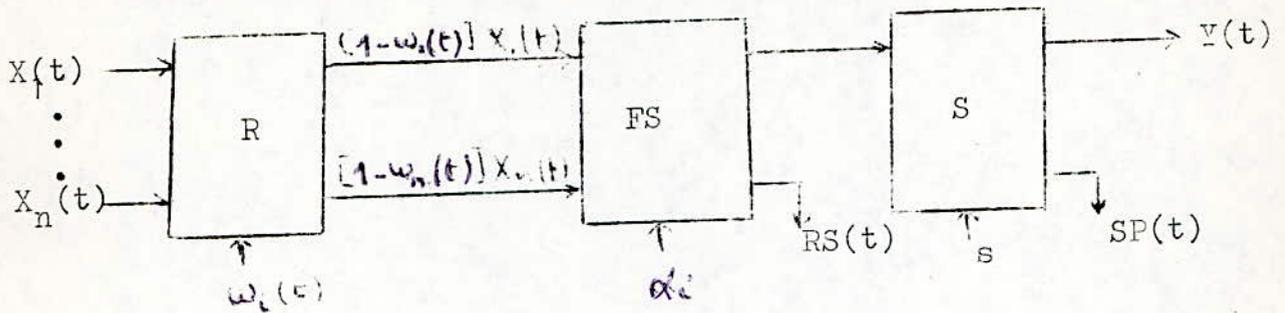
Modèle mathématique du FSS:

$$\max Y(t) = \min(\underbrace{\min(X_1(t), \dots, X_n(t))}_{\alpha_i}, s)$$

La valeur de saturation notée s est une limite maximale de la sortie Y(t). Lorsque cette sortie atteint ^{et} s, elle ne peut plus la dépasser, un surplus apparaît au niveau de la sortie du filtre stoechiométrique.



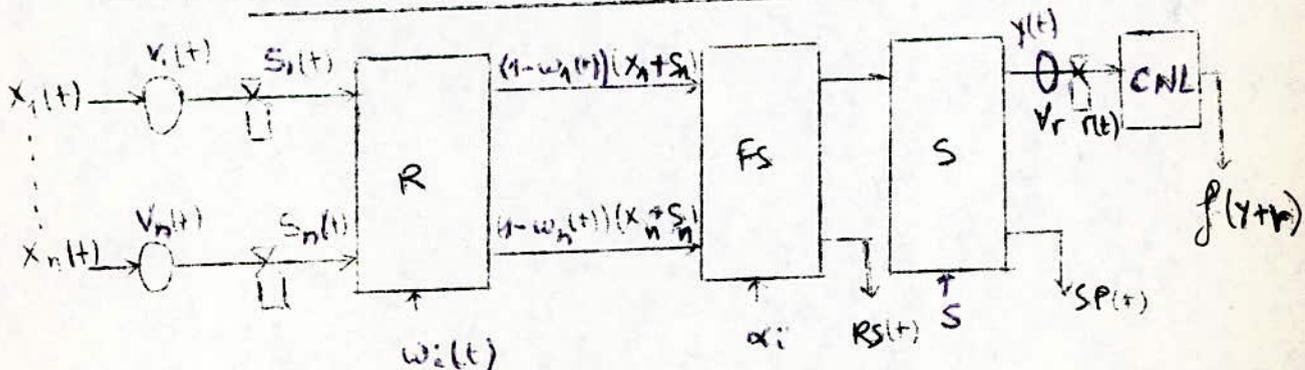
V-7 FILTRE STOECHEIOMETRIQUE AVEC REBUT ET SATURATION FSRS

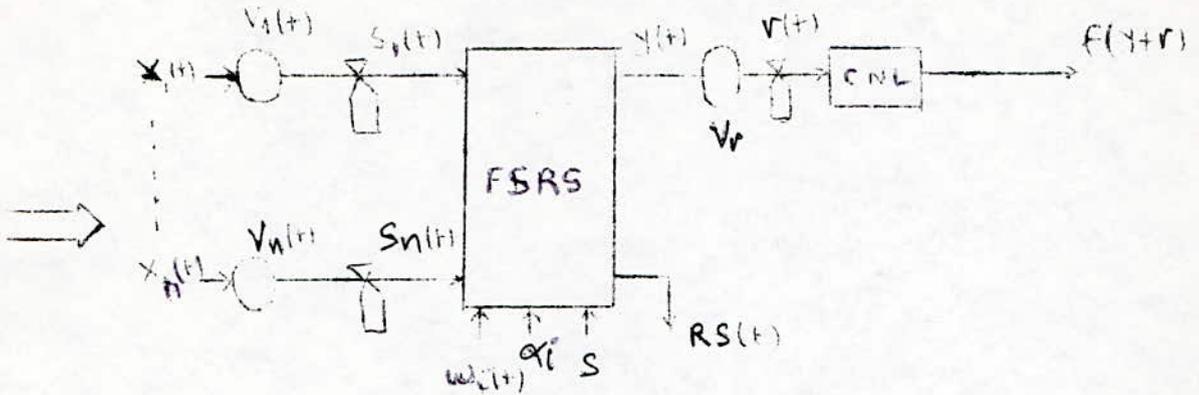


Modèle mathématique du FSRS:

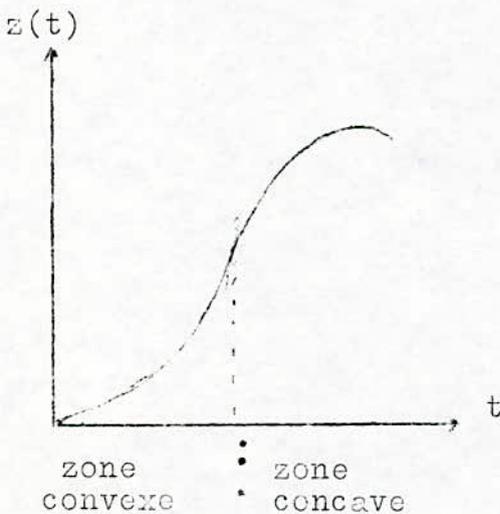
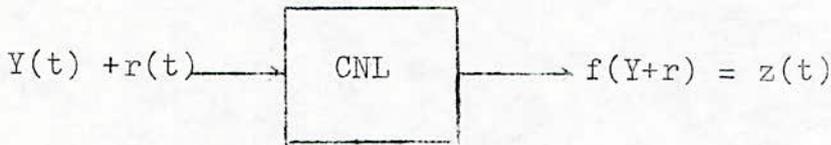
$$\max Y(t) = \min \left(\underbrace{\min((1-w_1(t))X_1(t), \dots, (1-w_n(t))X_n(t))}_{\alpha_1}, s \right)$$

V-8 STRUCTURE GENERAL D'UN SOUS-SYSTEME STOECHEIOMETRIQUE ADMISSIBLE AVEC FSRS ET CIRCUIT NON LINEAIRE (CNL)





V-9 ETUDE DU CIRCUIT NON LINEAIRE (CNL)



Le circuit non linéaire est caractérisé par une fonction f qui peut être localement convexe ou localement concave. Le circuit non linéaire statique caractérise une fonction économique reliant la sortie $Y(t)$ (production) qui est l'offre, à la demande extérieure des marchés.

D'après la serie de Fourier:

$$Y(t)+r(t)=Y_0+c(t) \text{ où } \int_0^T c(t)dt=0$$

$$Y_0 = \frac{1}{T} \int_0^T (Y(t)+r(t))dt \text{ où } \int_0^T r(t)dt=0$$

$$Y_0 = \frac{1}{T} \int_0^T Y(t)dt = \bar{Y}$$

Le maximum du produit final est obtenu par:

$$\max z(t) = \int_0^T f(Y(t)+r(t))dt = \int_0^T f(\bar{Y}+c(t))dt$$

D'après la serie de Taylor on a:

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

$$\text{comme } \int_0^T \frac{f'(\bar{Y})}{1!} c(t)dt = \frac{f'(\bar{Y})}{1!} \int_0^T c(t)dt = 0$$

$$\int_0^T f(\bar{Y}+c(t))dt \approx T f(\bar{Y}) + \frac{f''(\bar{Y})}{2} \int_0^T c^2(t)dt$$

$$\max z(t) = T f(\bar{Y}) + \frac{f''(\bar{Y})}{2} \int_0^T c^2(t)dt$$

$$c(t) = Y(t)+r(t)-\bar{Y}$$

$$\int_0^T c^2(t)dt = \int_0^T (Y(t)+r(t)-\bar{Y})^2 dt$$

$$\int_0^T c^2(t)dt = \int_0^T (Y(t)+r(t))^2 dt + T\bar{Y}^2 - 2\bar{Y} \int_0^T Y(t)dt - 2\bar{Y} \int_0^T r(t)dt$$

$$\text{comme } \int_0^T r(t)dt=0 \text{ et } \int_0^T Y(t)dt = T\bar{Y}$$

$$\int_0^T c^2(t)dt = \int_0^T (Y(t)+r(t))^2 dt + T\bar{Y}^2 - 2T\bar{Y}^2$$

$$\int_0^T c^2(t)dt = \int_0^T (Y(t)+r(t))^2 dt - T\bar{Y}^2$$

1988888

$$\text{donc } \max z(t) = Tf(\bar{Y}) + f''(\bar{Y}) \left(\int_0^T (Y(t)+r(t))^2 dt - T\bar{Y}^2 \right)$$

On voit que $\max z(t)$ dépend de $f''(\bar{Y})$ et de $\int_0^T (Y(t)+r(t))^2 dt$.

Notre objectif est d'obtenir le maximum du produit final c-à-d

$$\max z(t) = \int_0^T f(\bar{Y}+c(t)) dt$$

a- Si f est localement convexe on a $f''(\bar{Y}) > 0$, notre objectif sera atteint si la quantité $\int_0^T (Y(t)+r(t))^2 dt$ augmente, donc on doit augmenter la production à la sortie $Y(t)+r(t)$.

b- Si f est localement concave on a $f''(\bar{Y}) < 0$, notre objectif sera atteint si la quantité $\int_0^T (Y(t)+r(t))^2 dt$ diminue, donc on doit diminuer la production à la sortie $Y(t)+r(t)$.

VI- MODELISATION ET SIMULATION

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 sous-système.

Le contrôle du sous-système demande au préalable la définition des contraintes auxquelles il obéit, et la connaissance des paramètres. Quelques méthodes mathématiques de simulation illustrées par quelques exemples pratiques sont présentées dans les chapitres suivants.

VI-1 PRINCIPES D'UN SOUS-SYSTEME STOECHIMETRIQUE

- Les entrées du sous-système peuvent avoir une variation quelconque dans le temps mais ne peuvent dépasser une valeur maximale dite valeur de saturation.

- Chaque entrée est caractérisée par un volume de stock $V_i(t)$ et une commande de stock $S_i(t)$, cependant il ne faut pas oublier : $\int_0^T S_i(t) dt = 0$ ou T est la période de travail.

- Le choix de T, V_{oi} et V_{mi} est une nécessité importante dans le contrôle optimal.

- La sortie $Y(t)$ dépend des entrées, elle est contrôlée par les commandes de stock $S_i(t)$ de façon à avoir l'optimum de

$$\int_0^T Y(t) dt$$

-Le circuit non linéaire est une fonction économique qui peut être l'offre et la demande ; elle a un rôle principal dans la commande du sous-système.

VI-2 MODELISATION DES STOCKS

Considérons un stock de volume $V_i(t)$:

$$V_i(t) = V_0 + \int_0^t (X_i(t) - (X_i(t) + S_i(t))) dt$$

comme on a : $0 \leq V_i(t) \leq V_m$ pour $t \in [0, T]$

et en posant: $V_m = 2V_0$

on obtient:
$$\max_{t \in [0, T]} \left| \int_0^T S_i(t) dt \right| \leq V_0$$

Ce résultat introduit la notion de distance.

Un des principes de base du sous-système est le choix des volumes V_0 des stocks qui correspondent à un contrôle optimal maximal de la sortie. La matrice des distances de KACPRYZINSKI détermine ces volumes, connaissant les variations des entrées dans l'intervalle de temps $[0, T]$ où T est la période de travail telle que:

$$\int_0^T S_i(t) dt = 0 \quad \forall i=1, 2, \dots, N \quad (N: \text{nombre d'entrées})$$

La matrice des distances s'écrit:

$$D = \begin{bmatrix} D(1,1) & D(1,2) & \dots & D(1,N) \\ \vdots & & & \\ \vdots & & & \\ D(i,j) & & & \\ \vdots & & & \\ D(N,1) & D(N,2) & \dots & D(N,N) \end{bmatrix}$$

avec: $D(i, j) = D(j, i)$

$D(i, j) = 0$ pour $i=j$

$D(i, j) \geq 0$

$D(i, j) = D(X_i(t)+S_i(t), X_j(t)+S_j(t))$

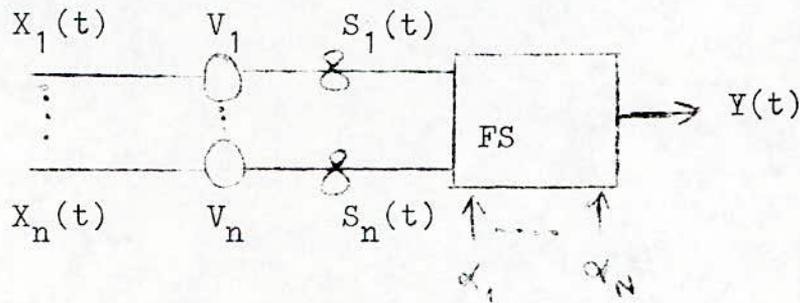
$$D(i, j) = \sup_{t \in [0, T]} \left| \int_0^t \frac{\alpha_i}{\alpha_i} (X_i(t)+S_i(t)) - \frac{\alpha_j}{\alpha_j} (X_j(t)+S_j(t)) dt \right| = \sup_{t \in [0, T]} \left| \int_0^t (X_i(t)-X_j(t)) dt \right|$$

Le volume optimal est donné par:

$$W_{opt} = \min_j \sum_i D(i, j)$$

VI-3 CONTROLE OPTIMAL D'UN SOUS-SYSTEME

Soit le sous-système :



- Avant de contrôler un sous-système il faut définir ses entrées et leur variation dans le temps.

- On étudiera ensuite les variations de $Y(t)$, des $S_i(t)$, des $V_i(t)$ et on essayera de maximiser $Y(t)$ en fonction des valeurs d'entrées $X_i(t)$. On définira $Y(t)$ par:

$$Y(t) = \min_{t \in [0, T]} (X_1(t)+S_1(t), \dots, X_N(t)+S_N(t))$$

avec: $\alpha_i = cte, \forall i = 1, 2, \dots, n$

- Les variations du volume de stock $S_i(t)$ nous ^{permettent} de déterminer la période T de travail pour tout le sous-système.

On doit avoir: $\int_0^T S_i(t) dt = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n$

-Le choix de T étant fixé on déterminera V_{oi} et V_{mi} par la méthode suivante (voir annexe)

on sait que: $V_i(t) = V_{oi} + \int_0^t -S_i(t) dt$
comme $0 \leq V_i(t) \leq V_{mi}$

on peut écrire que:

$$V_{oi} = \min_{t \in [0, T]} \left| \int_0^t -S_i(z) dz \right|$$

et

$$V_{mi} = V_{oi} + \max \int_0^t -S_i(z) dz$$

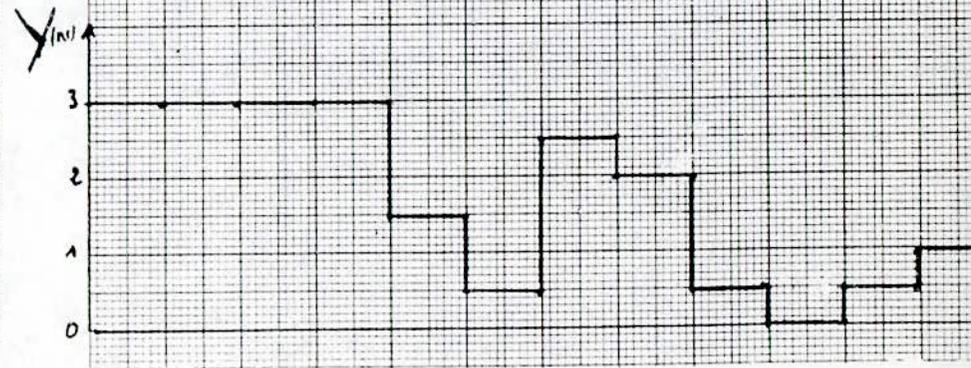
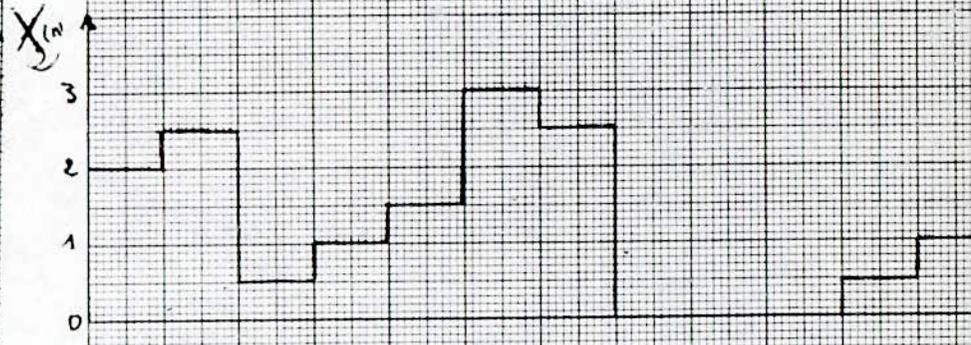
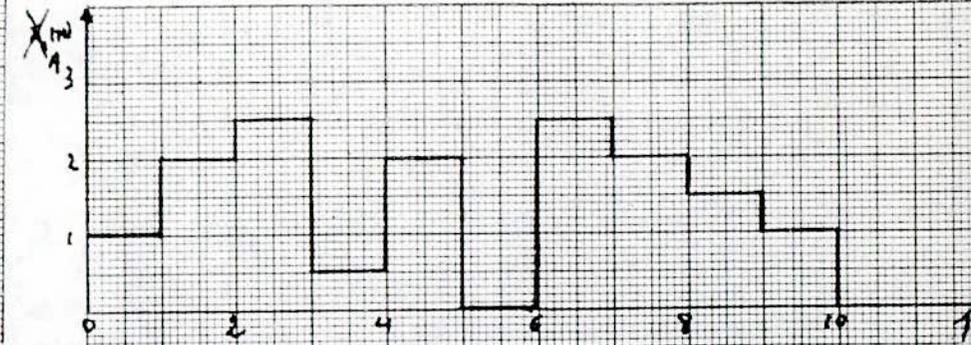
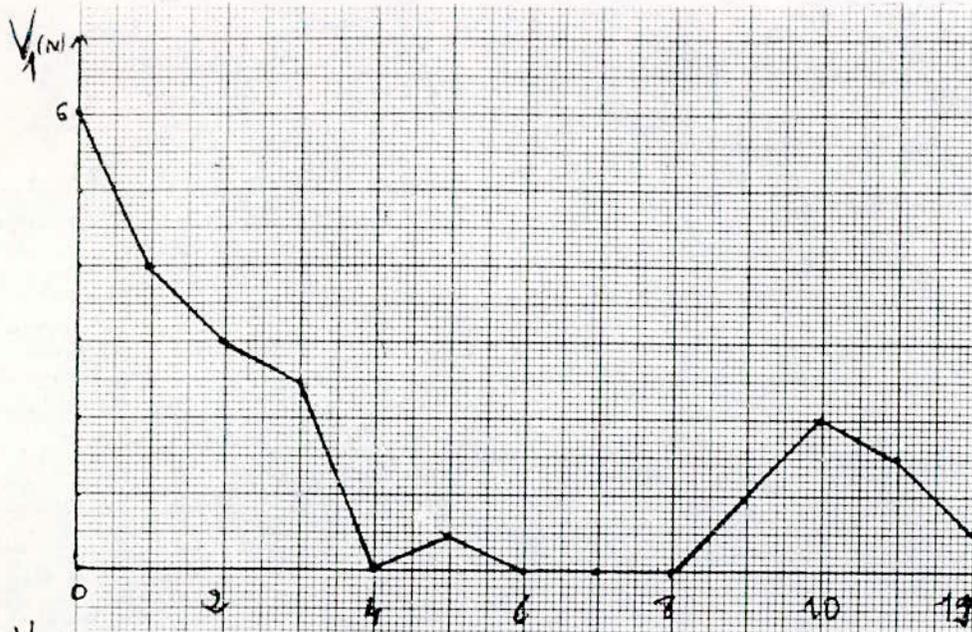
- Après avoir définir les paramètres V_{oi}, V_{mi} et T la sortie sera contrôlée par les commandes de stock $S_i(t)$.

- La fonction non linéaire nous renseigne quant aux décisions qu'il faut prendre à la sortie.

- La sortie étant elle aussi limitée par une valeur de saturation.

Il est plus intéressant d'éviter les cas de saturation. Pour ce faire on choisira une valeur moyenne autour de laquelle la sortie va varier. Ces variations sont posées par l'éventualité d'un surplus de volume au niveau des stocks des entrées ou par la nécessité d'une sortie correspondant à la commande optimale du sous-système.

- La matrice des distances permet de déterminer le volume optimal (minimal) qui correspond à une sortie maximale pendant la période T .



Variation de Y , V_1 et V_2 en fonction de X_1 et X_2
 Maximisation de Y

VII- CONTROLE D'UN SOUS-SYSTEME EN TEMPS REEL

VII-1 DEFINITION

En temps réel le contrôle du sous-système se base sur des variations discrètes des entrées. On verra sur des exemples les variations de la sortie et des volumes de stock dans le temps. Dans ces exemples on remarquera l'introduction d'une variable SP_1 appelée surplus du volume de stock c-à-d l'exès du volume par rapport à sa valeur maximale.

Les entrées et les sorties seront limitées par une valeur de saturation maximale.

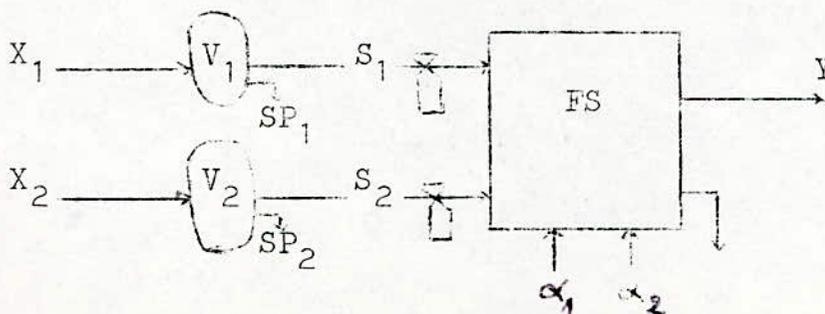
Les valeurs des entrées utilisées sur l'ordinateur sont générées par ce dernier avec les instructions suivantes/

```
RANDOMIZE TIMER  
X1(I) = INT(S * RND(1))  
X2(I) = INT(S * RND(1))
```

où S est la valeur de saturation; les nombres obtenus sont des entiers inférieurs ou égaux à S .

VII-2 ANALYSE ITERATIVE D'UN SOUS-SYSTEME A DEUX ENTREES

pour simplifier l'étude on prendra le sous-système dont le schéma est le suivant:



On prendra $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ (coefficients stoechiométriques)

on aura : $\max Y = \min (X_1 + S_1, X_2 + S_2)$

où X_1, X_2 sont les entrées

Y : la sortie qui représente la production

V_i : volume du stock

S_i : variable de commande du stock

SP_i : surplus du volume destock V_i où $i = 1, 2$

VII-3 MAXIMISATION DE LA PRODUCTION

a- Définition:

La maximisation de la production consiste à rendre celle-ci maximale sans dépasser sa valeur limite, mais ceci n'est pas toujours faisable à cause de la non disponibilité permanente des quantités nécessaires aux entrées et dans les volumes du stock.

Les deux entrées de notre sous-système sont limitées ^{par} une valeur maximale X_m , de même que les volumes du stock sont limités respectivement chacun à une valeur maximale V_{mi} .

Un surplus des volumes des stocks apparaît lorsque le volume dépasse la valeur limite V_{mi} . Cet excès de volume (surplus) n'a pas de valeur économique, il sera noté mais non utilisé.

Puisque nos entrées sont discrètes on aura:

$$V_i(I+1) = V_i(I) - S_i(I+1)$$

où $I = 0, 1, 2, \dots, N$

$$S_i(I+1) = V_i(I) - V_i(I+1)$$

Ainsi on définira $V_i(0)$ comme volume initial.

Si $S_i(I+1) < 0$ il y a possibilité de surplus, car le volume V_i est limité à la valeur $V_{\max_i} = V_{mi}$

Donc si $V_i(I+1) = V_i(I) - S_i(I+1) \leq V_{mi}$

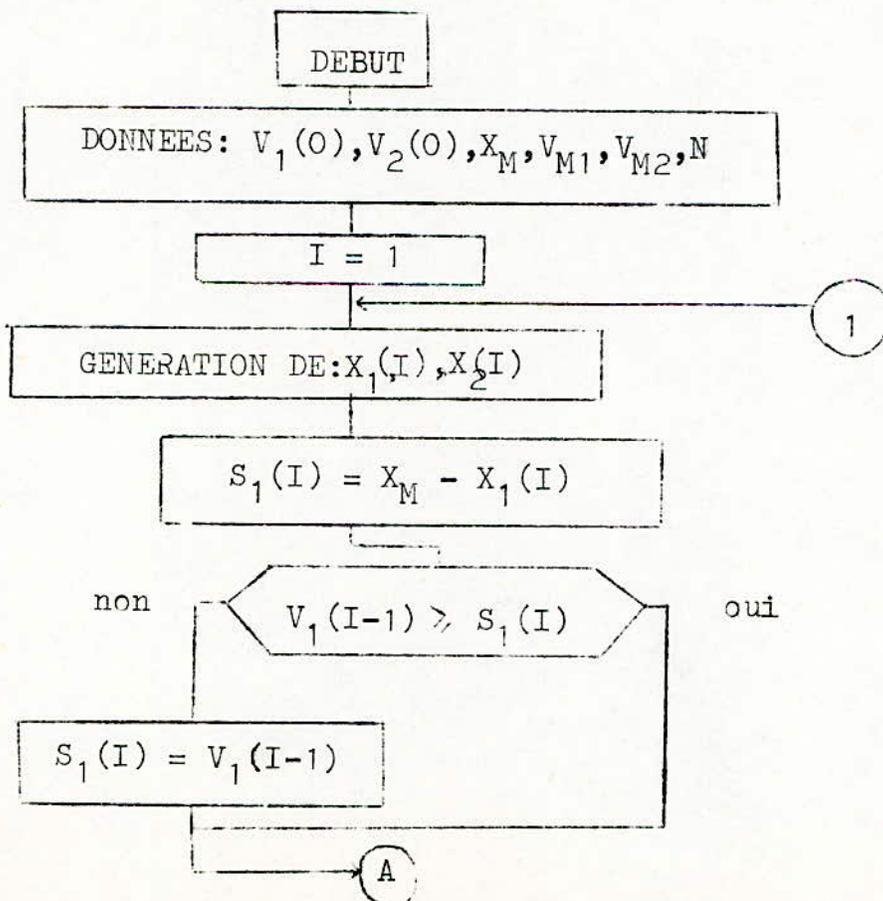
on aura $SP_i(I+1) = 0$

Et si $V_i(I+1) > V_{mi}$

on aura: $SP_i(I+1) = V_i(I+1) - V_{mi}$

b- Organigramme

Compte tenu des critères annoncés, on a pu établir l'organigramme suivant:



(A)

$$S_2(I) = X_M - X_2(I)$$

non $V_2(I-1) \geq S_2(I)$ oui

$$S_2(I) = V_2(I-1)$$

$$D_1(I) = X_1(I) + S_1(I) \text{ et } D_2(I) = X_2(I) + S_2(I)$$

non $D_1(I) \geq D_2(I)$ oui

$$Y(I) = D_1(I) \\ S_2(I) = D_1(I) - X_2(I)$$

$$Y(I) = D_2(I) \\ S_1(I) = D_2(I) - X_1(I)$$

non $S_2(I) \geq 0$ oui

non $S_1(I) \geq 0$ oui

$$SP_2(I) = 0$$

$$SP_1(I) = 0$$

$|S_2(I)| \leq V_{M2} - V_2(I-1)$ oui

$|S_1(I)| \leq V_{M1} - V_1(I-1)$ oui

non

non

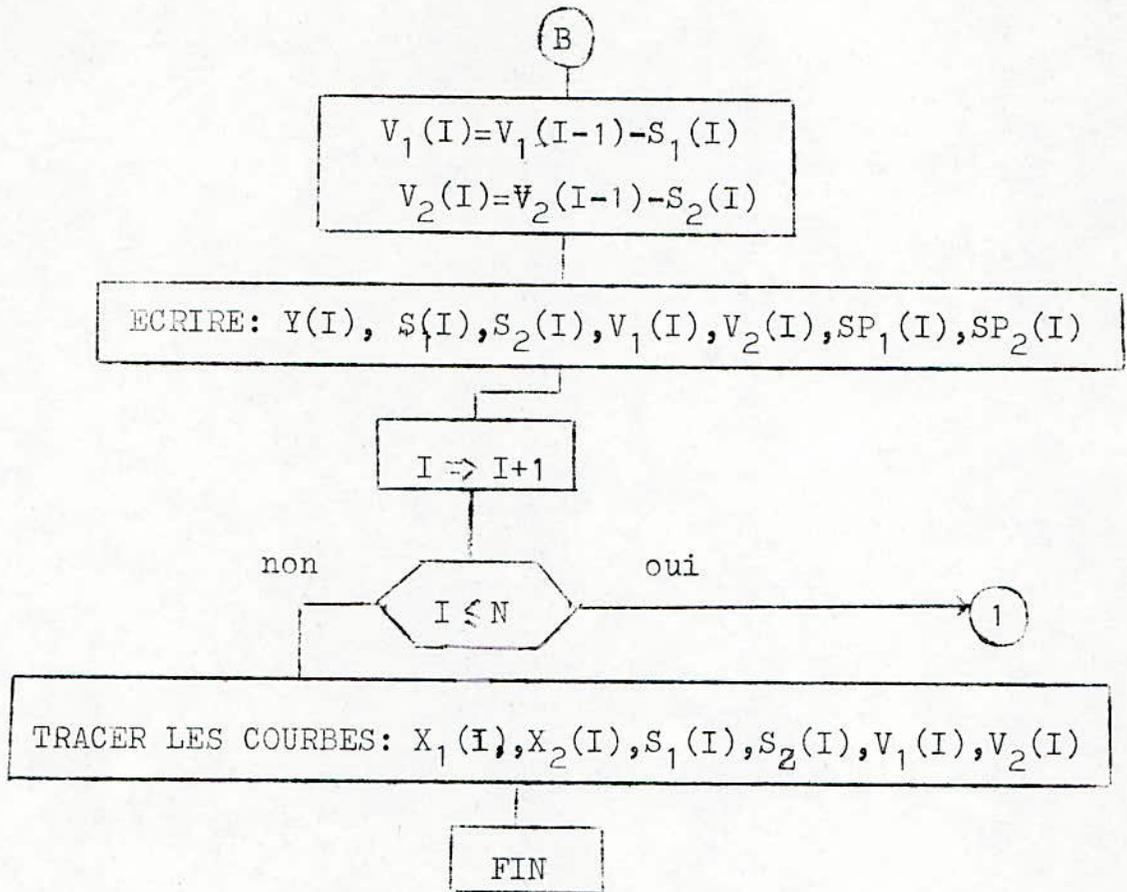
$$SP_2(I) = V_2(I-1) - S_2(I) - V_{M2}$$

$$SP_1(I) = V_1(I-1) - S_1(I) - V_{M1}$$

$$S_2(I) = V_2(I-1) - V_{M2}$$

$$S_1(I) = V_1(I-1) - V_{M1}$$

(B)



VII-4 MINIMISATION DU SURPLUS

a- Définition:

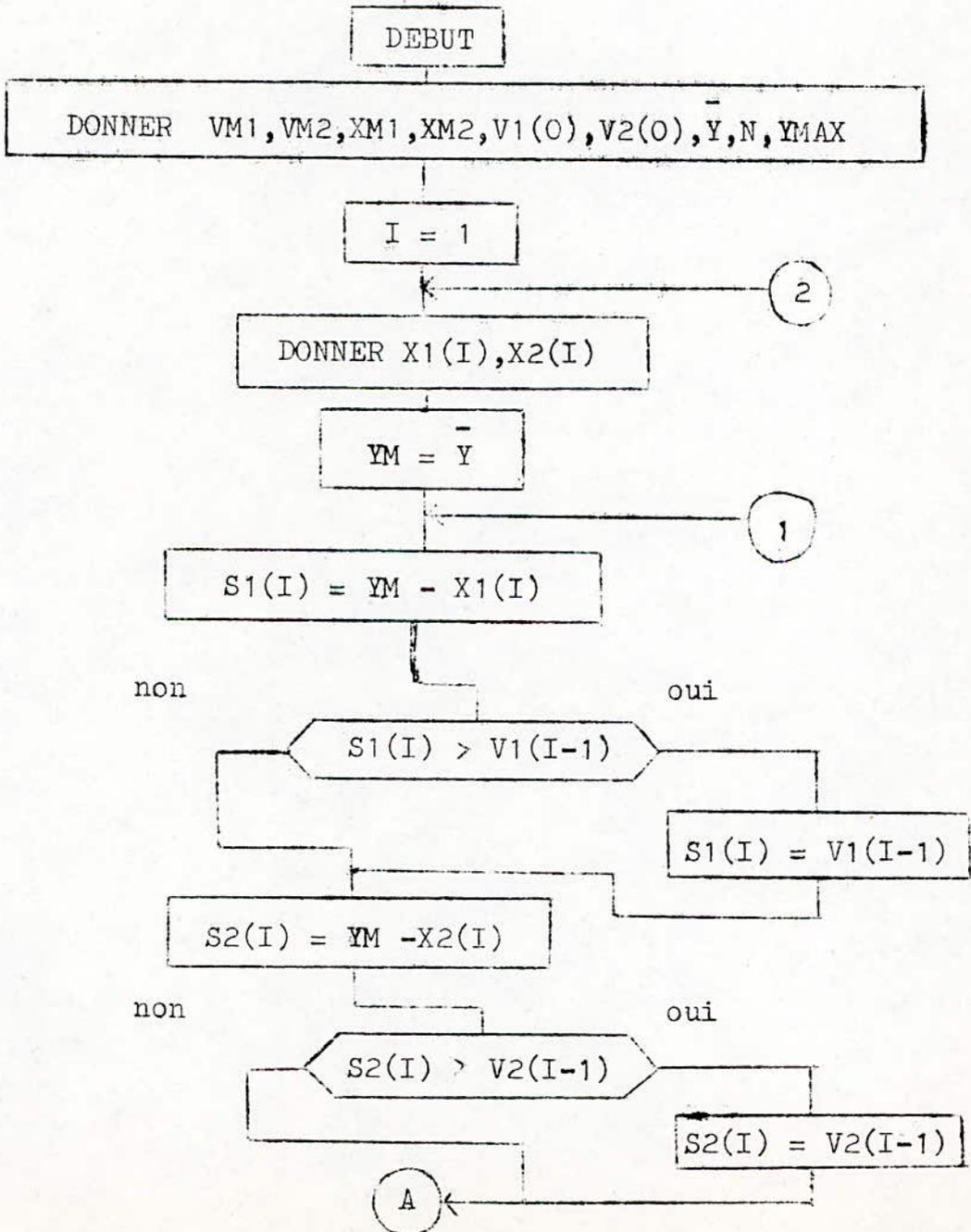
Comme on l'a déjà vu le surplus est une quantité du volume qui apparaît lorsque celui-ci dépasse sa valeur maximale V_{mi} . Le surplus n'a pas de valeur économique car il n'est pas utilisé dans la production, à cause de cela on va essayer dans cette partie de le minimiser au maximum.

La minimisation du surplus nous conduit à considérer la méthode suivante:

- Faire varier la production autour d'une valeur moyenne
- Choisir \bar{Y} (valeur moyenne)
- Avoir $Y - \bar{Y}$ minimum

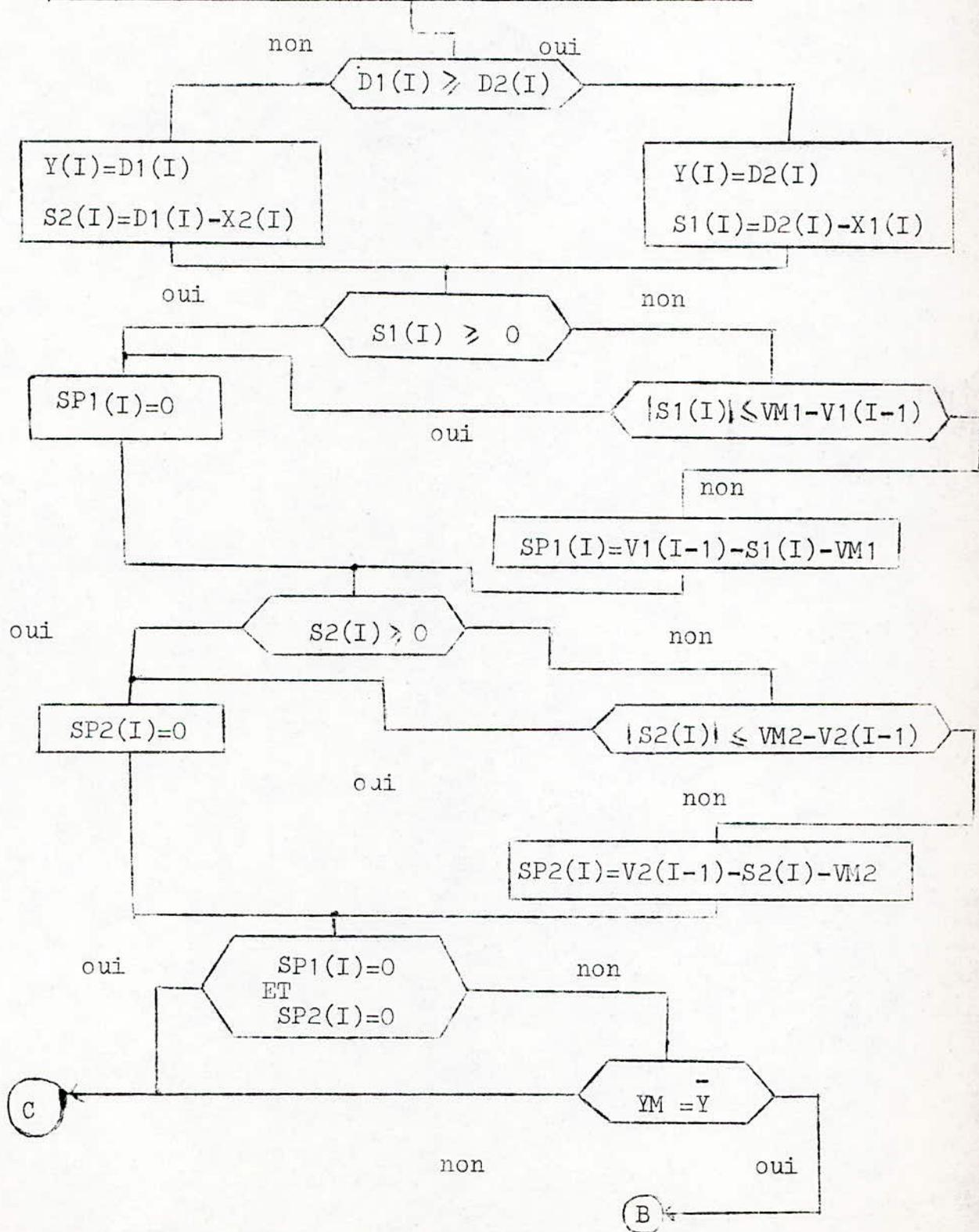
- S'il n'y a pas de surplus on essayera de maximiser Y à \bar{Y}
- Dans le cas où il y a un surplus (avec \bar{Y}) on essayera d'augmenter Y tel que $Y - \bar{Y}$ soit minimum

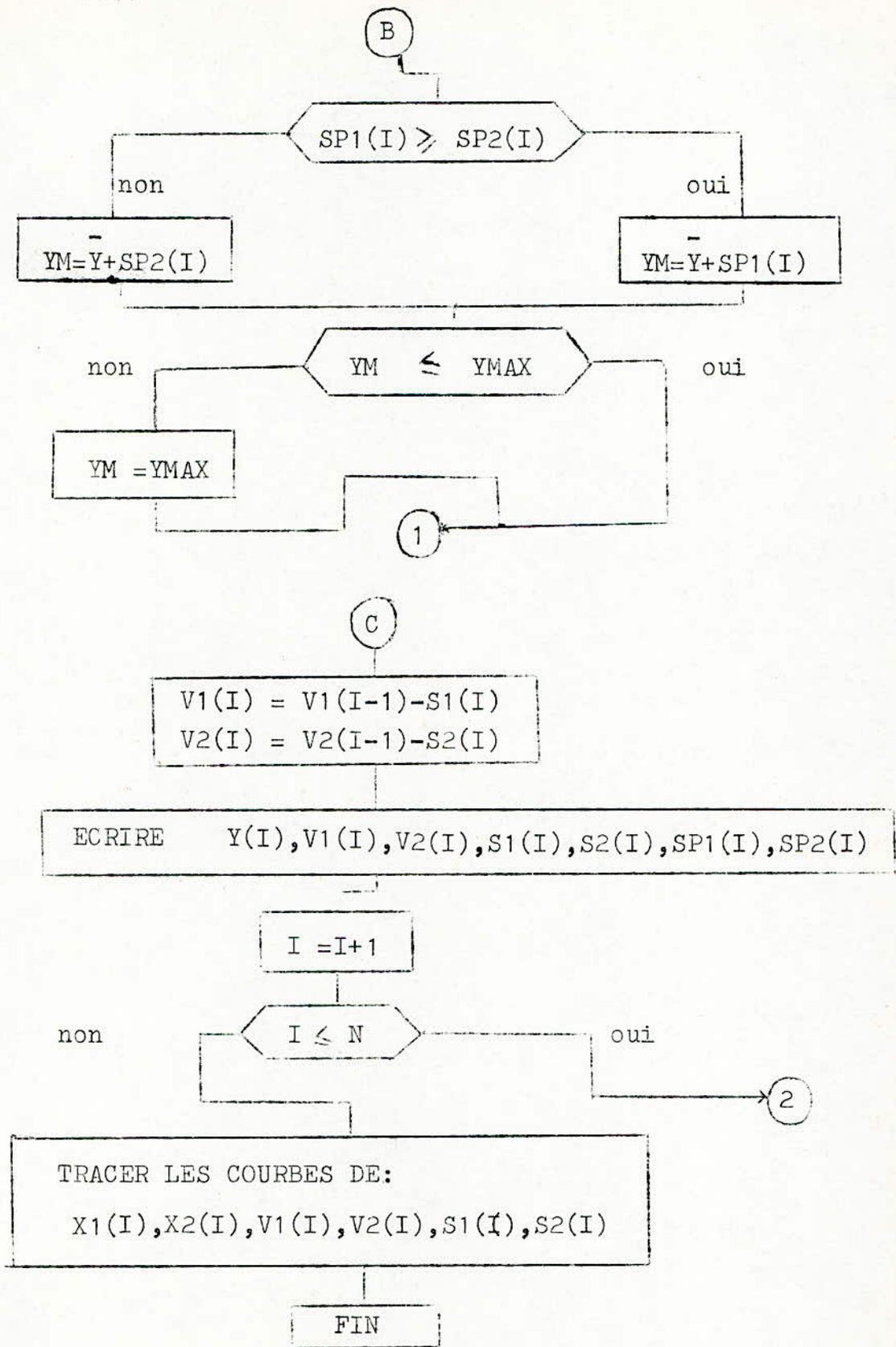
b-Organigramme:



(A)

$$D1(I) = X1(I) + S1(I) \text{ ET } D2(I) = X2(I) + S2(I)$$





MAX. de y

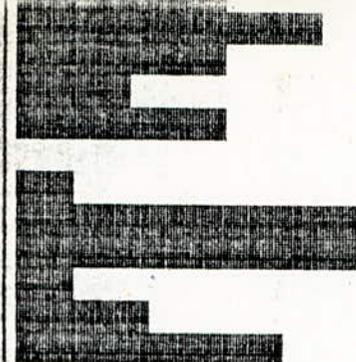
VOLUME MAXIMALE V1M
20
VALEUR SATURATION XM
20
VOLUME INITIALE V1(0)
19
VOLUME INITIALE V2(0)
25
VOLUME MAXIMALE V2M
27

NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	12	12	20	11	17	8	8	0	0
2	11	18	20	2	15	9	2	0	0
3	6	15	8	0	22	2	-7	0	0
4	8	13	8	0	27	0	-5	0	0
5	7	17	7	0	27	0	0	0	10
6	7	19	7	0	27	0	0	0	12
7	12	9	12	0	24	0	3	0	0
8	15	0	15	0	9	0	15	0	0
9	15	3	12	3	0	-3	9	0	0
10	19	15	15	7	0	-4	0	0	0
11	15	10	10	12	0	-5	0	0	0
12	3	6	6	9	0	3	0	0	0
13	6	1	1	14	0	-5	0	0	0
14	15	15	15	14	0	0	0	0	0
15	6	7	7	13	0	1	0	0	0
16	1	2	2	12	0	1	0	0	0
17	9	0	0	20	0	-8	0	1	0
18	7	8	8	19	0	1	0	0	0
19	14	11	11	20	0	-1	0	2	0
20	0	16	16	4	0	16	0	0	0
21	16	11	11	9	0	-5	0	0	0
22	5	6	6	8	0	1	0	0	0
23	11	11	11	8	0	0	0	0	0
24	9	0	0	17	0	-9	0	0	0
25	15	3	3	20	0	-3	0	9	0
26	18	18	18	20	0	0	0	0	0
27	5	18	18	7	0	13	0	0	0
28	18	3	3	20	0	-13	0	2	0
29	17	7	7	20	0	0	0	10	0
30	16	14	14	20	0	0	0	2	0

0 20
0 20

1	[REDACTED]	Y(1) =	20
2	[REDACTED]	Y(2) =	20
3	[REDACTED]	Y(3) =	8
4	[REDACTED]	Y(4) =	8
5	[REDACTED]	Y(5) =	7
6	[REDACTED]	Y(6) =	7
7	[REDACTED]	Y(7) =	12
8	[REDACTED]	Y(8) =	15
9	[REDACTED]	Y(9) =	12
10	[REDACTED]	Y(10) =	15
11	[REDACTED]	Y(11) =	10
12	[REDACTED]	Y(12) =	6
13	[REDACTED]	Y(13) =	1
14	[REDACTED]	Y(14) =	15
15	[REDACTED]	Y(15) =	7
16	[REDACTED]	Y(16) =	2
17	[REDACTED]	Y(17) =	0

20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30



Y(20) = 16
Y(21) = 11
Y(22) = 6
Y(23) = 11
Y(24) = 0
Y(25) = 3
Y(26) = 18
Y(27) = 18
Y(28) = 3
Y(29) = 7
Y(30) = 14

0 20
0 20

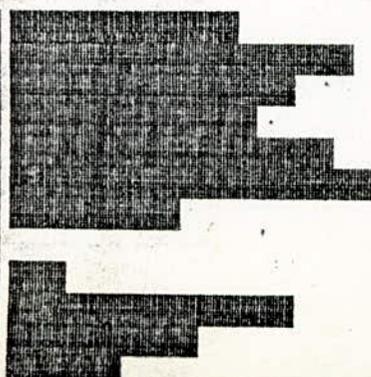
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30



X1(1) = 12
X1(2) = 11
X1(3) = 6
X1(4) = 8
X1(5) = 7
X1(6) = 7
X1(7) = 12
X1(8) = 15
X1(9) = 15
X1(10) = 19
X1(11) = 15
X1(12) = 3
X1(13) = 6
X1(14) = 15
X1(15) = 6
X1(16) = 1
X1(17) = 9
X1(18) = 7
X1(19) = 14
X1(20) = 0
X1(21) = 16
X1(22) = 5
X1(23) = 11
X1(24) = 9
X1(25) = 15
X1(26) = 18
X1(27) = 5
X1(28) = 18
X1(29) = 17
X1(30) = 16

0 20
0 20

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12



X2(1) = 12
X2(2) = 18
X2(3) = 15
X2(4) = 13
X2(5) = 17
X2(6) = 19
X2(7) = 9
X2(8) = 0
X2(9) = 3
X2(10) = 15
X2(11) = 10
X2(12) = 6

6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30

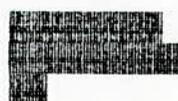
12
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0



V2(6) = 27
V2(7) = 24
V2(8) = 9
V2(9) = 0
V2(10) = 0
V2(11) = 0
V2(12) = 0
V2(13) = 0
V2(14) = 0
V2(15) = 0
V2(16) = 0
V2(17) = 0
V2(18) = 0
V2(19) = 0
V2(20) = 0
V2(21) = 0
V2(22) = 0
V2(23) = 0
V2(24) = 0
V2(25) = 0
V2(26) = 0
V2(27) = 0
V2(28) = 0
V2(29) = 0
V2(30) = 0

DIFFERENCE ENTRE SORTIE-ENTREE

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30



S1(1) = 8
S1(2) = 9
S1(3) = 2
S1(4) = 0
S1(5) = 0
S1(6) = 0
S1(7) = 0
S1(8) = 0
S1(9) = -3
S1(10) = -4
S1(11) = -5
S1(12) = 3
S1(13) = -5
S1(14) = 0
S1(15) = 1
S1(16) = 1
S1(17) = -6
S1(18) = 1
S1(19) = -1
S1(20) = 1
S1(21) = -5
S1(22) = 1
S1(23) = 0
S1(24) = -9
S1(25) = -7
S1(26) = 0
S1(27) = 1
S1(28) = -1
S1(29) = 0
S1(30) = 0

DIFFERENCE ENTRE SORTIE-ENTREE

DIFFERENCE ENTRE SORTIE-ENTREE

1		S2(1) = 8
2		S2(2) = 2
3		S2(3) = -7
4		S2(4) = -5
5		S2(5) = 0
6		S2(6) = 0
7		S2(7) = 3
8		S2(8) = 15
9		S2(9) = 9
10		S2(10) = 0
11		S2(11) = 0
12		S2(12) = 0
13		S2(13) = 0
14		S2(14) = 0
15		S2(15) = 0
16		S2(16) = 0
17		S2(17) = 0
18		S2(18) = 0
19		S2(19) = 0
20		S2(20) = 0
21		S2(21) = 0
22		S2(22) = 0
23		S2(23) = 0
24		S2(24) = 0
25		S2(25) = 0
26		S2(26) = 0
27		S2(27) = 0
28		S2(28) = 0
29		S2(29) = 0
30		S2(30) = 0

MERCI , , BYE, BYE

PROGRAMME DE LA VALEUR MOYENNE DE LA SORTIE

ENTRER LE NOMBRE DE CAS 50

VOLUME MAXIMALE V1M

30

VALEUR SATURATION M

40

VOLUME INITIALE V1(O)

30

VOLUME INITIALE V2(O)

25

VOLUME MAXIMALE V2M

27

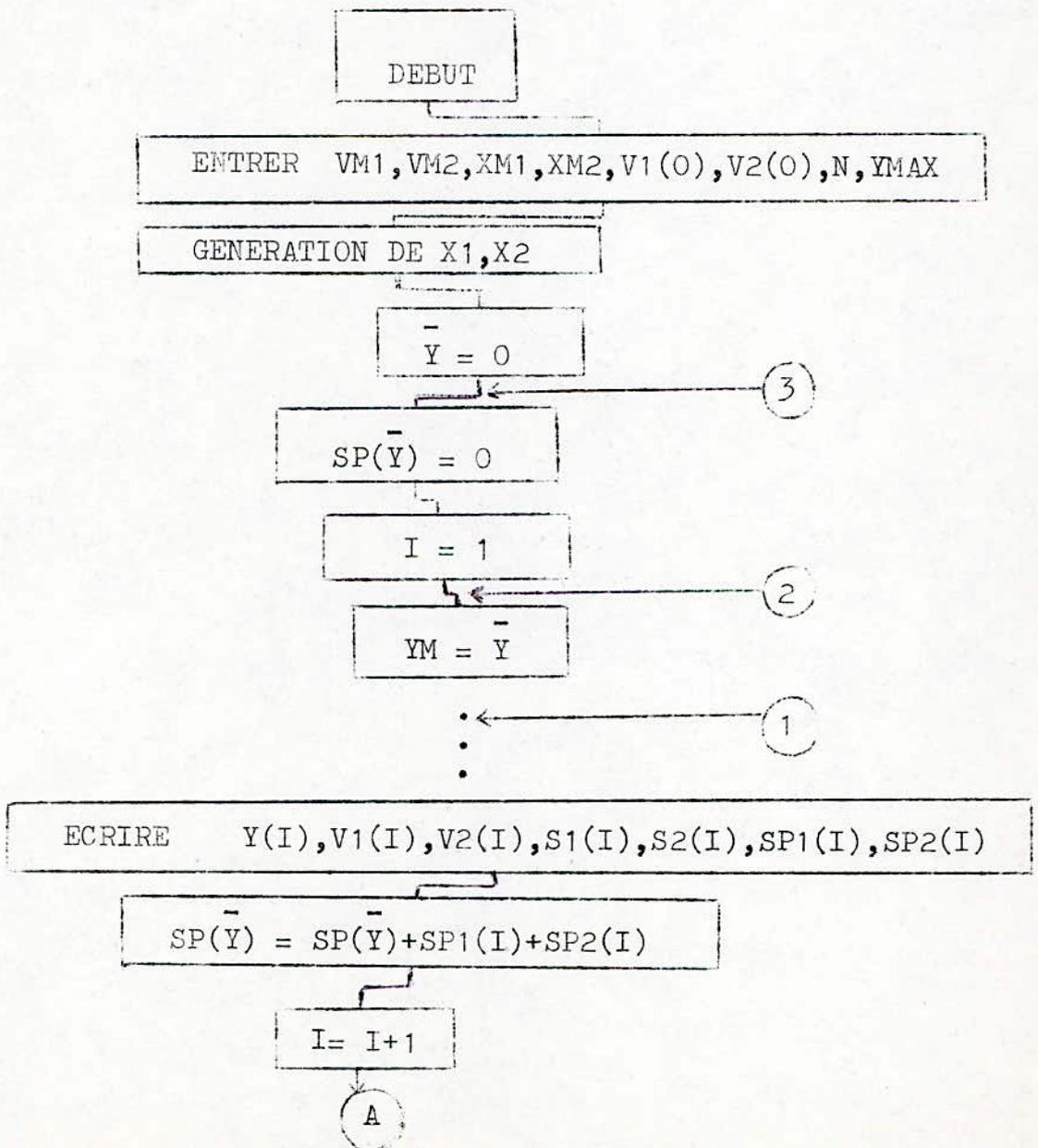
VALEUR MOYENNE YMOY 20

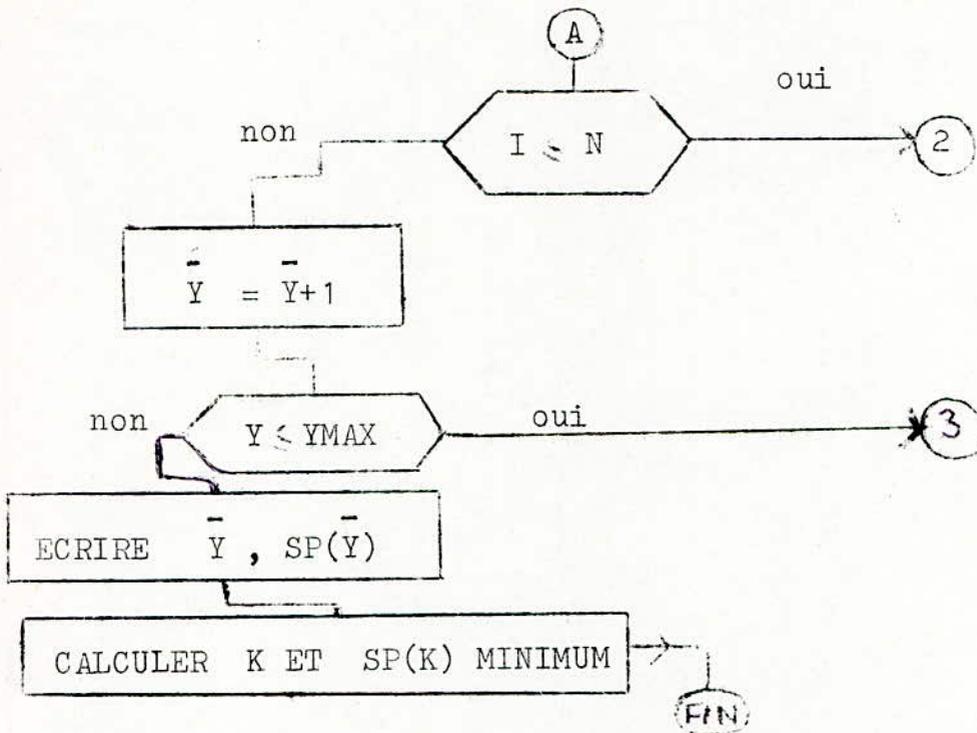
NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	28	15	28	30	12	0	13	0	0
2	11	32	20	21	24	9	-12	0	0
3	26	31	28	19	27	2	-3	0	0
4	14	31	31	2	27	17	0	0	0
5	38	5	20	20	12	-18	15	0	0
6	23	15	20	23	7	-3	5	0	0
7	17	39	20	20	26	3	-19	0	0
8	9	26	25	4	27	16	-1	0	0
9	34	37	37	1	27	3	0	0	0
10	26	26	26	1	27	0	0	0	0
11	3	20	4	0	27	1	0	0	0
12	5	19	5	0	27	0	0	0	16
13	36	12	20	16	19	-16	8	0	14
14	39	6	25	30	0	-14	19	0	0
15	5	35	20	15	15	15	-15	0	0
16	22	29	20	17	24	-2	-9	0	0
17	22	31	28	11	27	6	-3	0	0
18	4	13	15	0	25	11	2	0	0
19	2	22	2	0	27	0	-2	0	18
20	38	39	38	0	27	0	0	0	1
21	15	33	15	0	27	0	0	0	18
22	18	29	18	0	27	0	0	0	11
23	15	4	15	0	16	0	11	0	0
24	36	26	20	16	22	-16	-6	0	0
25	34	37	32	18	27	-2	-5	0	0
26	24	32	32	10	27	8	0	0	0
27	24	37	34	0	27	10	0	0	3
28	34	11	20	14	18	-14	9	0	0
29	18	25	20	12	23	2	-5	0	0
30	0	4	12	0	15	12	8	0	0
31	8	24	8	0	27	0	-12	0	4
32	13	15	13	0	27	0	0	0	2
33	28	16	20	8	23	-8	4	0	0
34	7	5	15	0	13	8	10	0	0
35	28	25	20	8	18	-8	-5	0	0
36	32	16	20	20	14	-12	4	0	0
37	2	31	20	2	25	18	-11	0	0
38	24	13	20	6	18	-4	7	0	0
39	24	18	20	10	16	-4	2	0	0
40	33	36	25	18	27	-8	-11	0	0
41	3	8	20	1	15	17	12	0	0
42	32	9	20	13	4	-12	11	0	0
43	15	24	20	8	8	5	-4	0	0
44	33	14	20	21	2	-13	6	0	0
45	10	9	11	20	0	1	2	0	0

VII-5 CHOIX DE LA VALEUR MOYENNE

Dans ce qui suit on va essayer de trouver la valeur moyenne qui correspond à un minimum de surplus.

On fera varier la valeur moyenne de zero jusqu'à la valeur de saturation .L'organigramme utilisé est le même que le précédent c-à-d "minimisation du surplus" auquel on a ajouté la partie suivante:



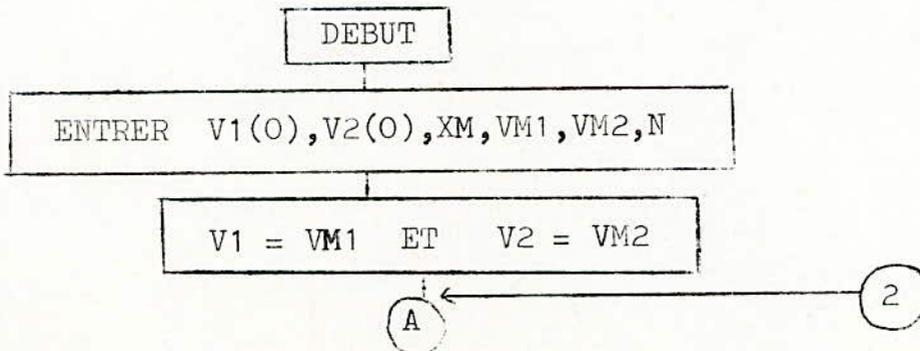


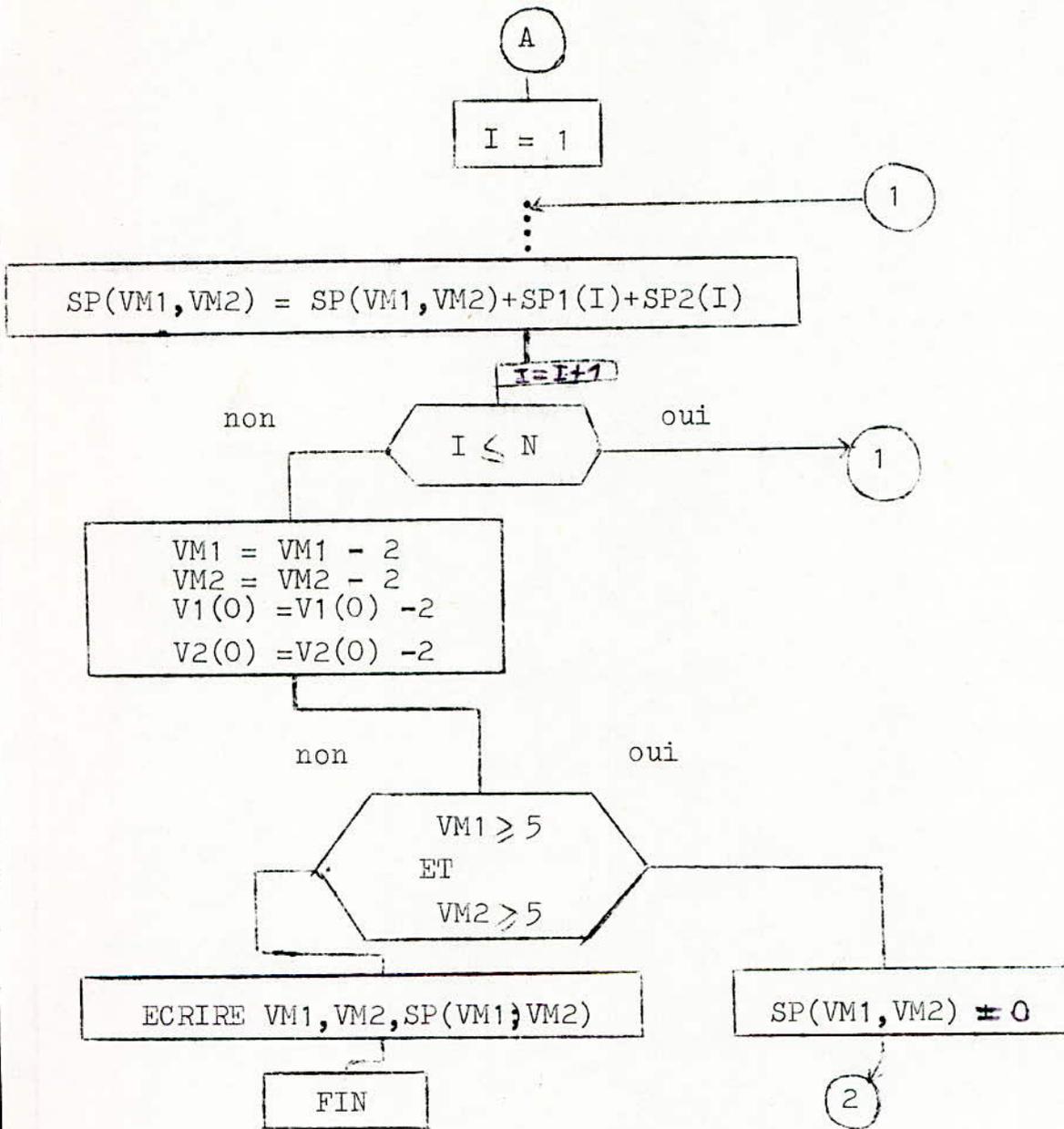
D'après les résultats de la simulation, le surplus est constant, il ne dépend pas du choix de la valeur moyenne.

VII-6 INFLUENCE DU VOLUME SUR LE SURPLUS

a- Influence du volume maximal:

On fait varier le volume maximal pour voir son influence sur le surplus. On utilise ici l'organigramme "maximisation de la production" auquel on a ajouté la partie suivante:





D'après les résultats on peut en conclure que le surplus diminue quand le volume maximal augmente.

b- Influence du volume initial:

Un programme analogue a été élaboré dans lequel on fait varier les volumes initiaux. D'après les résultats du programme, on a constaté que le surplus ne dépend pas du volume initial.

PROGRAMME DE MINIMISATION DU SURPLUS COPYRIGHT -BMT & MS-
 INFLUENCE DE LA VALEUR MOYENNE SUR LE SURPLUS
 ENTRER LE NOMBRE DE CAS 15
 ENTRER LE VOLUME MAXIMALE V1M

10
 VALEUR SATURATION M

7
 VOLUME INITIALE V1(0)

10
 VOLUME INITIALE V2(0)

7
 VOLUME MAXIMALE V2M

8

YMOY= 0

NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	4	5	4	10	8	0	-1	0	0
2	2	5	5	7	8	3	0	0	0
3	5	2	2	10	8	-3	0	0	0
4	4	6	6	8	8	2	0	0	0
5	2	6	6	4	8	4	0	0	0
6	0	5	4	0	8	4	0	0	1
7	0	0	0	0	8	0	0	0	0
8	0	2	0	0	8	0	0	0	2
9	5	1	1	4	8	-4	0	0	0
10	4	4	4	4	8	0	0	0	0
11	1	0	0	5	8	-1	0	0	0
12	2	4	4	3	8	2	0	0	0
13	2	1	1	4	8	-1	0	0	0
14	3	4	4	3	8	1	0	0	0
15	5	6	6	2	8	1	0	0	0

YMOY= 1

NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	4	5	4	10	8	0	-1	0	0
2	2	5	5	7	8	3	0	0	0
3	5	2	2	10	8	-3	0	0	0
4	4	6	6	8	8	2	0	0	0
5	2	6	6	4	8	4	0	0	0
6	0	5	4	0	8	4	0	0	1
7	0	0	0	0	8	0	0	0	0
8	0	2	0	0	8	0	0	0	2
9	5	1	1	4	8	-4	0	0	0
10	4	4	4	4	8	0	0	0	0
11	1	0	1	4	7	0	1	0	0
12	2	4	3	3	8	1	-1	0	0
13	2	1	1	4	8	-1	0	0	0
14	3	4	4	3	8	1	0	0	0
15	5	6	6	2	8	1	0	0	0

YMOY= 2

NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	4	5	4	10	8	0	-1	0	0
2	2	5	5	7	8	3	0	0	0
3	5	2	2	10	8	-3	0	0	0
4	4	6	6	8	8	2	0	0	0
5	2	6	6	4	8	4	0	0	0
6	0	5	4	0	8	4	0	0	1
7	0	0	0	0	8	0	0	0	0

YMOY= 6

NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	4	5	6	8	6	2	1	0	0
2	2	5	6	4	5	4	1	0	0
3	5	2	6	3	1	1	4	0	0
4	4	6	6	1	1	2	0	0	0
5	2	6	3	0	4	1	-3	0	0
6	0	5	0	0	8	0	-4	0	1
7	0	0	0	0	8	0	0	0	0
8	0	2	0	0	8	0	0	0	2
9	5	1	5	0	4	0	4	0	0
10	4	4	4	0	4	0	0	0	0
11	1	0	1	0	3	0	1	0	0
12	2	4	2	0	5	0	-2	0	0
13	2	1	2	0	4	0	1	0	0
14	3	4	3	0	5	0	-1	0	0
15	5	6	5	0	6	0	-1	0	0

YMOY= 7

NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	4	5	7	7	5	3	2	0	0
2	2	5	7	2	3	5	2	0	0
3	5	2	5	2	0	0	3	0	0
4	4	6	6	0	0	2	0	0	0
5	2	6	2	0	4	0	-4	0	0
6	0	5	0	0	8	0	-4	0	1
7	0	0	0	0	8	0	0	0	0
8	0	2	0	0	8	0	0	0	2
9	5	1	5	0	4	0	4	0	0
10	4	4	4	0	4	0	0	0	0
11	1	0	1	0	3	0	1	0	0
12	2	4	2	0	5	0	-2	0	0
13	2	1	2	0	4	0	1	0	0
14	3	4	3	0	5	0	-1	0	0
15	5	6	5	0	6	0	-1	0	0

YMOY

SP

0	3
1	3
2	3
3	3
4	3
5	3
6	3
7	3

VAL. MOY. = 7

SP(7) = 3

PROGRAMME DE MINIMISATION DU SURPLUSCOPYRIGHT -BMT & MS- 1985
 INFLUENCE DU VOLUME MAXIMALE SUR LE SURPLUS

ENTRER LE NOMBRE DE CAS 10

ENTRER LE VOLUME MAXIMALE V1M

19

VALEUR SATURATION M

18

VOLUME INITIALE V1(0)

19

VOLUME INITIALE V2(0)

20

VOLUME MAXIMALE V2M

21

V1M= 19 V2M= 21

V1(0)= 19 V2(0)= 20

NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	0	8	18	1	10	18	10	0	0
2	1	6	2	0	14	1	-4	0	0
3	17	15	17	0	12	0	2	0	0
4	3	6	3	0	15	0	-3	0	0
5	4	3	4	0	14	0	1	0	0
6	7	17	7	0	21	0	-7	0	3
7	13	0	13	0	8	0	13	0	0
8	0	4	0	0	12	0	-4	0	0
9	3	17	3	0	21	0	-9	0	5
10	8	4	8	0	17	0	4	0	0

V1M= 17 V2M= 19

V1(0)= 17 V2(0)= 18

NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	0	8	17	0	9	17	9	0	0
2	1	6	1	0	14	0	-5	0	0
3	17	15	17	0	12	0	2	0	0
4	3	6	3	0	15	0	-3	0	0
5	4	3	4	0	14	0	1	0	0
6	7	17	7	0	19	0	-5	0	5
7	13	0	13	0	6	0	13	0	0
8	0	4	0	0	10	0	-4	0	0
9	3	17	3	0	19	0	-9	0	5
10	8	4	8	0	15	0	4	0	0

V1M= 15 V2M= 17

V1(0)= 15 V2(0)= 16

NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	0	8	15	0	9	15	7	0	0
2	1	6	1	0	14	0	-5	0	0
3	17	15	17	0	12	0	2	0	0
4	3	6	3	0	15	0	-3	0	0
5	4	3	4	0	14	0	1	0	0
6	7	17	7	0	17	0	-3	0	7
7	13	0	13	0	4	0	13	0	0
8	0	4	0	0	8	0	-4	0	0
9	3	17	3	0	17	0	-9	0	5
10	8	4	8	0	13	0	4	0	0

V1M= 13 V2M= 15

V1(0)= 13 V2(0)= 14

NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	0	8	13	0	9	13	5	0	0

2	1	8	1	0	11	0	-2	0	0
3	17	15	17	0	9	0	2	0	0
4	3	6	3	0	11	0	-2	0	1
5	4	3	4	0	10	0	1	0	0
6	7	17	7	0	11	0	-1	0	9
7	13	0	11	2	0	-2	11	0	0
8	0	4	2	0	2	2	-2	0	0
9	3	17	3	0	11	0	-9	0	5
10	8	4	8	0	7	0	4	0	0

V1M= 7 V2M= 9

V1(0)= 7 V2(0)= 8

NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	0	8	7	0	9	7	-1	0	0
2	1	6	1	0	9	0	0	0	5
3	17	15	17	0	7	0	2	0	0
4	3	6	3	0	9	0	-2	0	1
5	4	3	4	0	8	0	1	0	0
6	7	17	7	0	9	0	-1	0	9
7	13	0	9	4	0	-4	9	0	0
8	0	4	4	0	0	4	0	0	0
9	3	17	3	0	9	0	-9	0	5
10	8	4	8	0	5	0	4	0	0

V1M V2M SP

19	21	8
17	19	10
15	17	12
13	15	14
11	13	16
9	11	18
7	9	20

PROGRAMME DE MINIMISATION DU SURPLUSCOPYRIGHT -BMT & MS- 1985
 INFLUENCE DU VOLUME MAXIMALE SUR LE SURPLUS

V1(0) = 3 V2(0) = 4

NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	9	3	7	5	0	-2	4	0	0
2	7	12	12	0	0	5	0	0	0
3	2	2	2	0	0	0	0	0	0
4	1	5	1	0	4	0	-4	0	0
5	12	0	4	8	0	-8	4	0	0
6	11	7	7	12	0	-4	0	0	0
7	12	5	5	13	0	-1	0	6	0
8	0	4	4	9	0	4	0	0	0
9	11	10	10	10	0	-1	0	0	0
10	12	10	10	12	0	-2	0	0	0

V1(0) = 1 V2(0) = 2

NO	X1	X2	Y	V1	V2	S1	S2	SP1	SP2
1	9	3	5	5	0	-4	2	0	0
2	7	12	12	0	0	5	0	0	0
3	2	2	2	0	0	0	0	0	0
4	1	5	1	0	4	0	-4	0	0
5	12	0	4	8	0	-8	4	0	0
6	11	7	7	12	0	-4	0	0	0
7	12	5	5	13	0	-1	0	6	0
8	0	4	4	9	0	4	0	0	0
9	11	10	10	10	0	-1	0	0	0
10	12	10	10	12	0	-2	0	0	0

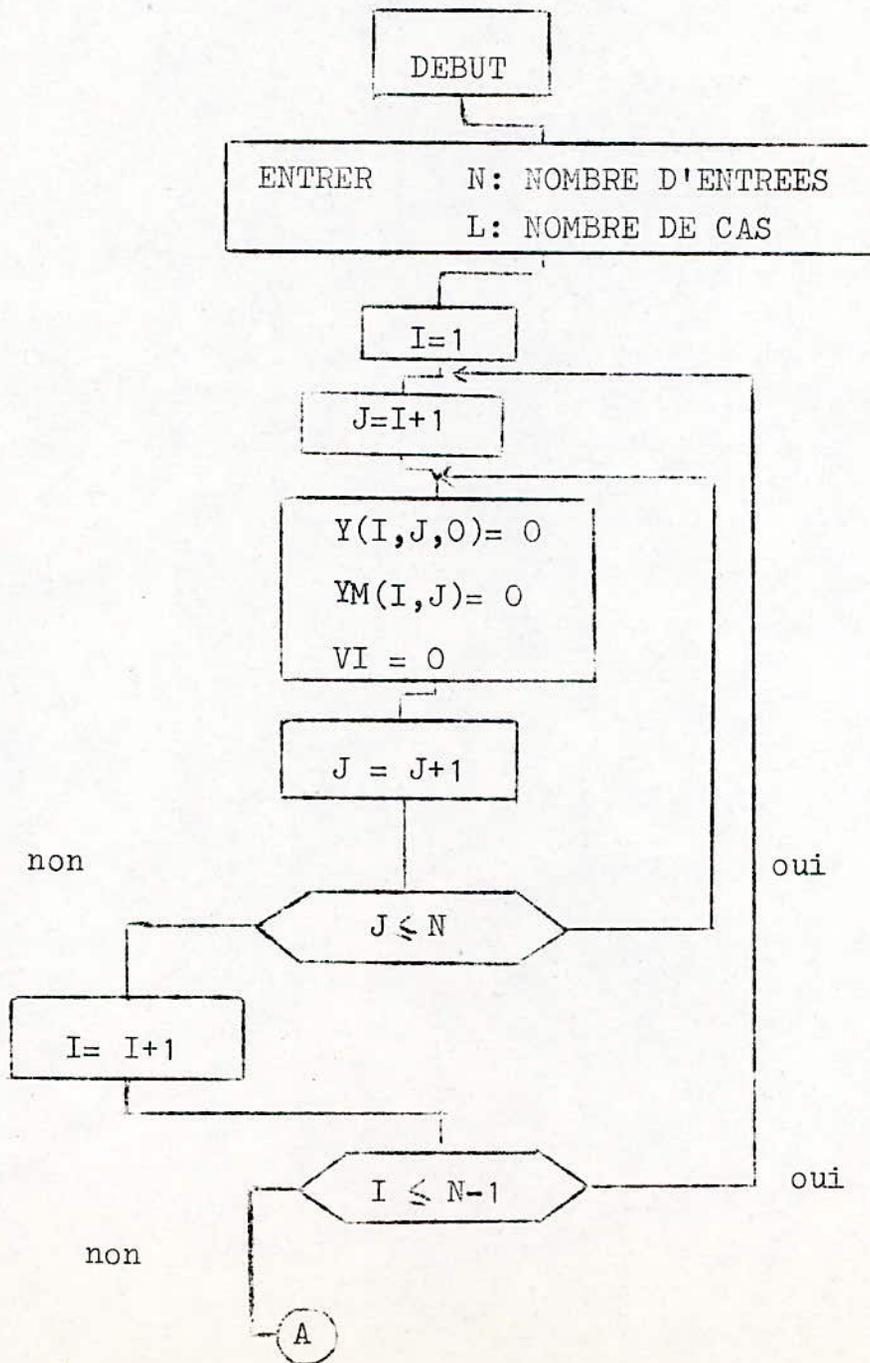
V1(0) V2(0) SP

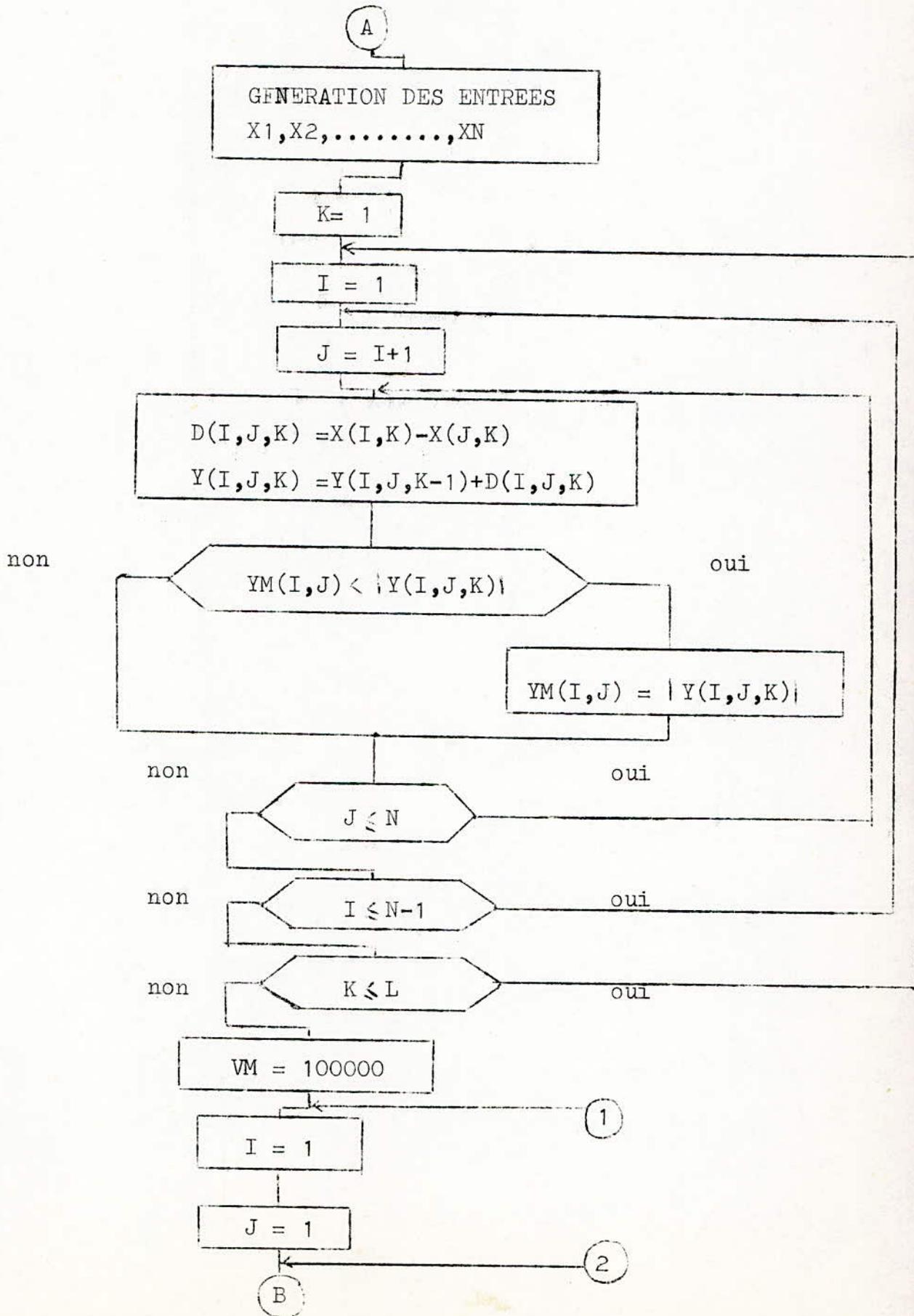
13	14	6
11	12	6
9	10	6
7	8	6
5	6	6
3	4	6
1	2	6

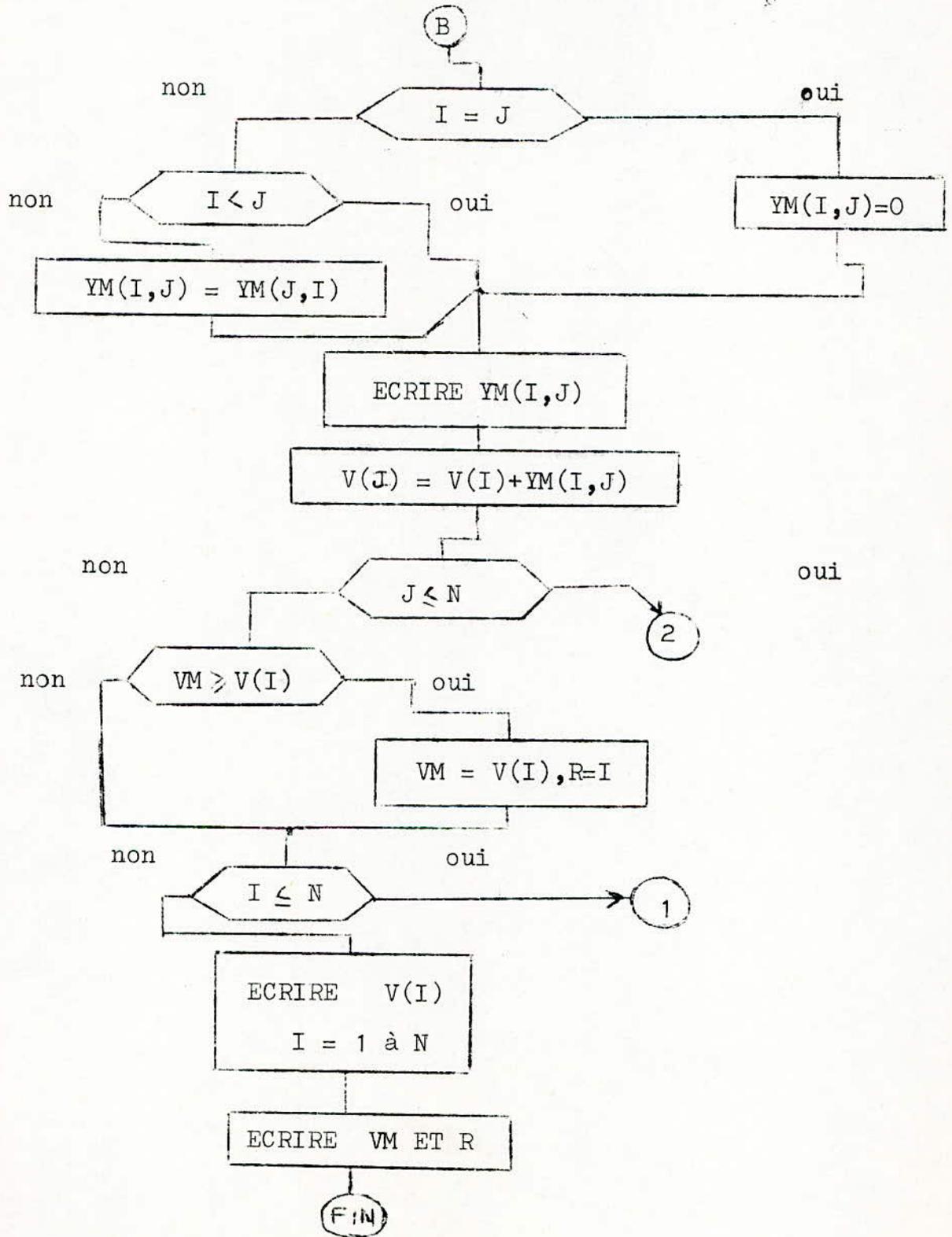
PROGRAMME DE MINIMISATION DU SURPLUS COPYRIGHT -BMT & MS- 1985
 INFLUENCE DU VOLUME INITIALE SUR LE SURPLUS

VII-7 MATRICE DES DISTANCES

La matrice des distance nous donne le volume optimal nécessaire pour avoir une sortie maximale. L'organigramme suivant nous permet de calculer les éléments de cette matrice et le volume optimal correspond pour plusieurs entrées:







PROGRAMME -MATRICE DES DISTANCES- POUR N ENTREES COPYRIGHT -BMT & MS-
 DONNER LE NOMBRE D'ENTREES

13

DONNER LE NOMBRE DE CAS

10

DONNER LA VALEUR DE SATURATION

10

0	15	8	11	9	11	22	12	13	16	16	16	18
15	0	20	17	12	12	8	17	15	8	26	7	24
8	20	0	5	10	8	27	11	9	21	9	21	15
11	17	5	0	10	5	24	7	8	18	11	18	12
9	12	10	10	0	10	19	13	11	13	18	13	20
11	12	8	5	10	0	19	8	9	14	15	13	12
22	8	27	24	19	19	0	24	22	6	33	7	27
12	17	11	7	13	8	24	0	6	18	14	18	11
13	15	9	8	11	9	22	6	0	16	11	16	14
16	8	21	18	13	14	6	18	16	0	27	6	26
16	26	9	11	18	15	33	14	11	27	0	27	13
16	7	21	18	13	13	7	18	16	6	27	0	20
18	24	15	12	20	12	27	11	14	26	13	20	0

167 181 164 146 158 136 238 159 150 189 220 182 212

VOLUME OPTIMAL VM = 136

R = 6

11 12 8 5 10 0 19 8 9 14 15 13 12

X 1

1		X 1 (1) = 9
2		X 1 (2) = 6
3		X 1 (3) = 5
4		X 1 (4) = 0
5		X 1 (5) = 9
6		X 1 (6) = 0
7		X 1 (7) = 6
8		X 1 (8) = 0
9		X 1 (9) = 2
10		X 1 (10) = 3

PROGRAMME DE TRACE DE COURBE DES INTEGRALES

1	71.51002	68.31111	48.21425
2	99.92938	64.65093	13.22918
3	36.92191	58.73315	13.45934
4	93.48853	21.94953	30.92079
5	23.28802	89.51517	58.50342
6	46.1859	.3686772	82.61402
7	2.668761	37.44473	50.64002

X1



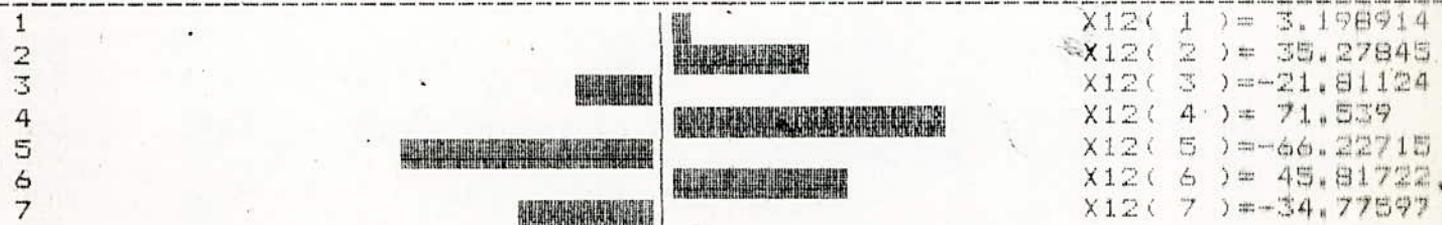
X2



X3



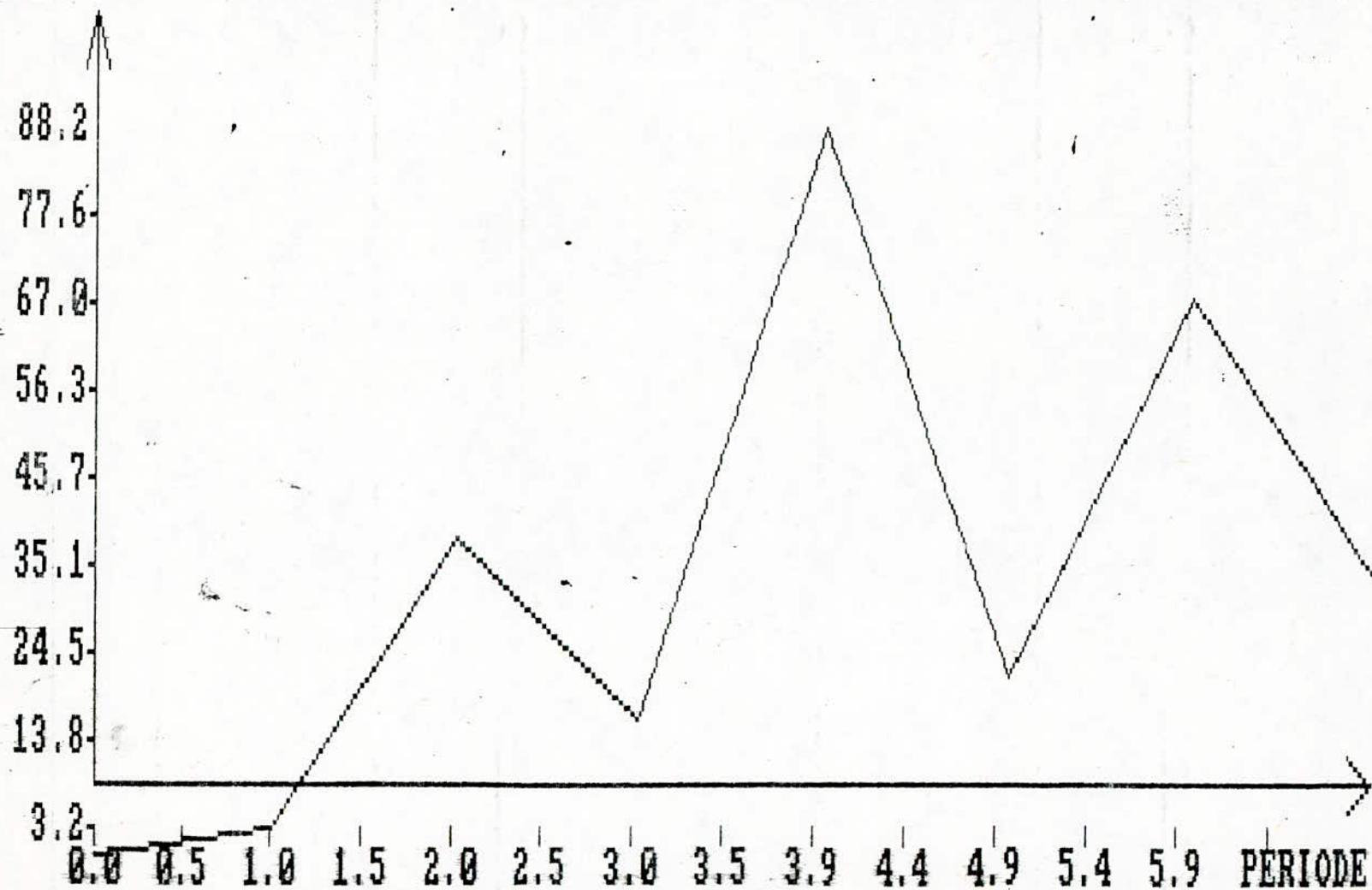
X12



X13

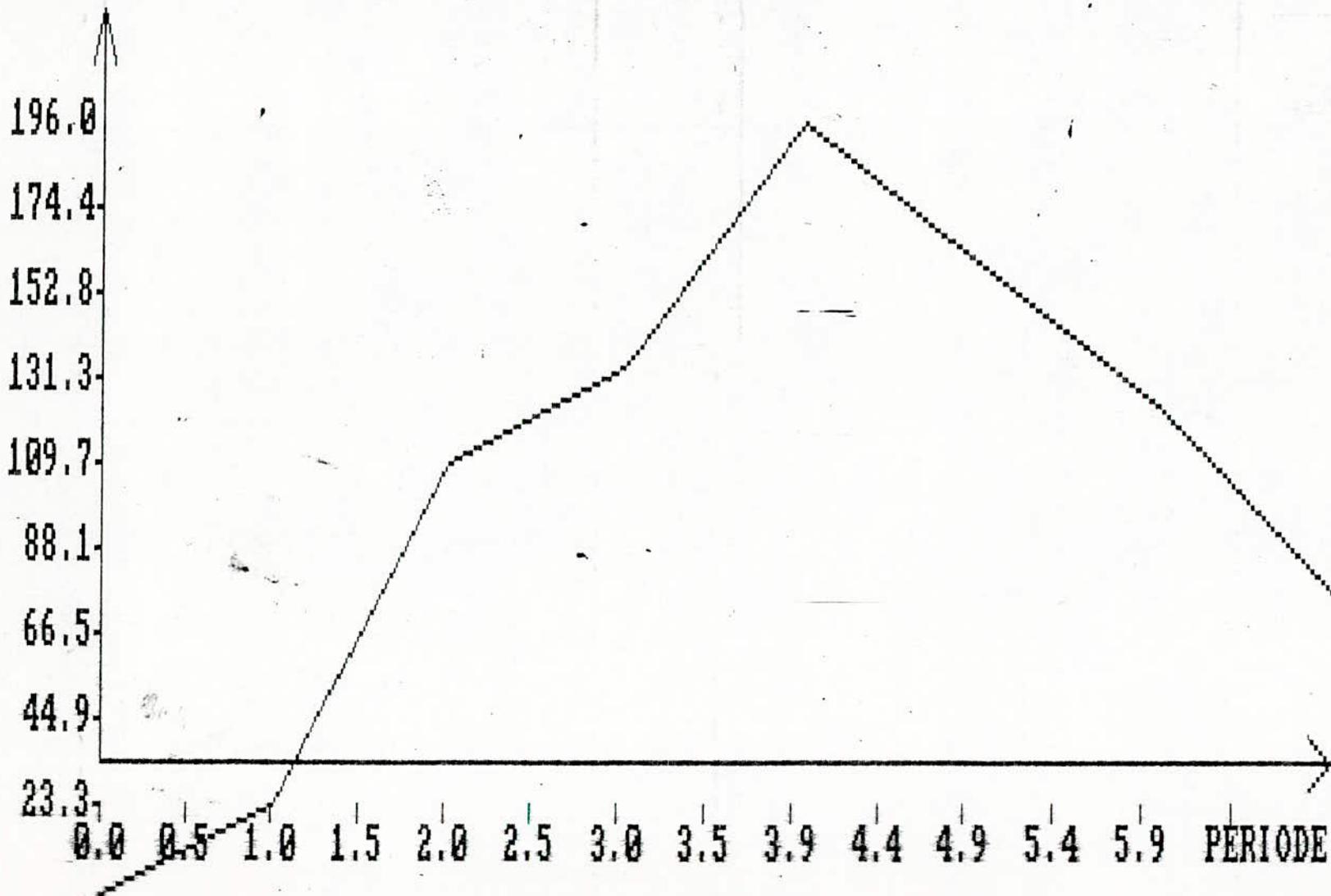


GRAPHE DE L'INTEGRALE DE X1-X2



GRAPHE MIN= 3.198914 MAX= 88.20512
GRAPHE DE L'INTEGRALE DE X1-X2

GRAPHE DE L'INTEGRALE DE X1-X3



GRAPHE X1-X3

MIN =

20.09686

MAX = 138.8329

GRAPHE DE L'INTEGRALE DE X2-X3

GRAPHE X1-X2

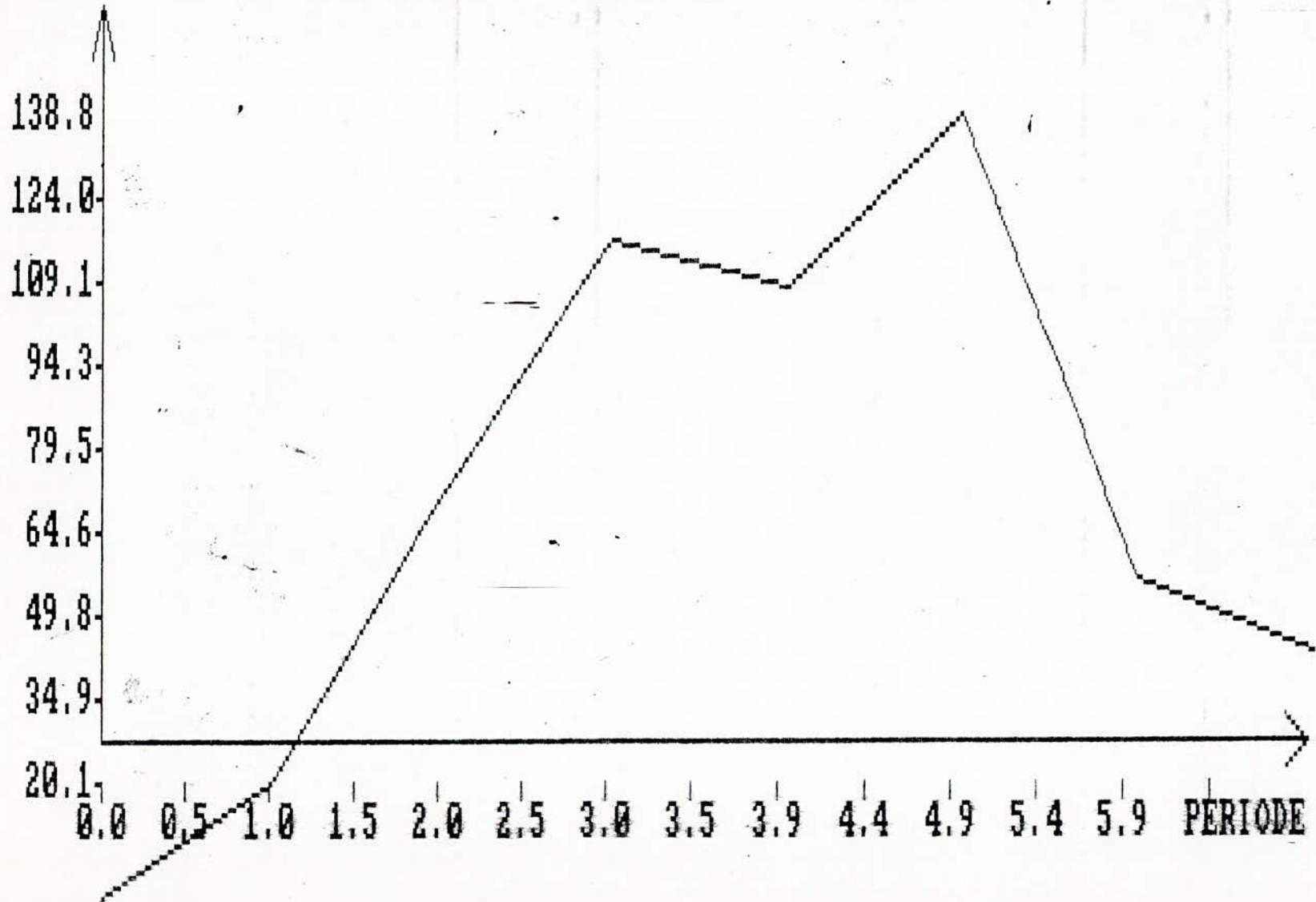
MIN =

23.29577

MAX = 196.0263

GRAPHE DE L'INTEGRALE DE X1-X3

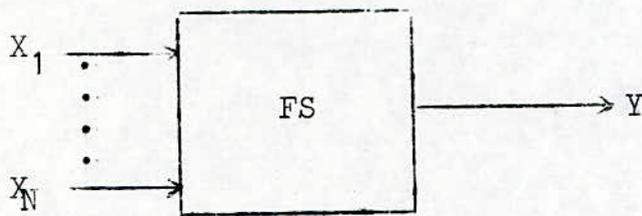
GRAPHE DE L'INTEGRALE DE X2-X3



GRAPHE X1-X3 MIN= 20.09686 MAX= 138.8329
GRAPHE DE L'INTEGRALE DE X2-X3

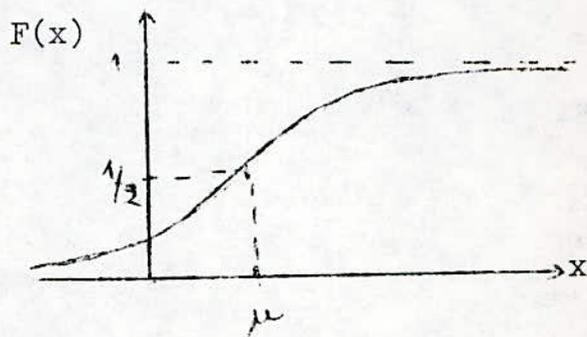
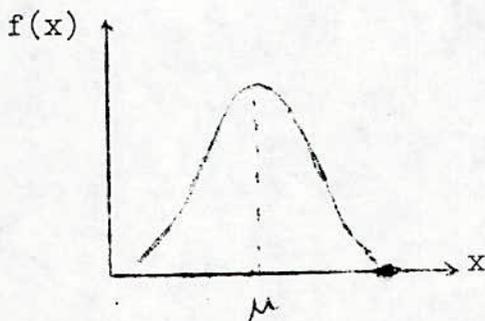
VIII- CONTROLE D'UN SOUS-SYSTEME STOECHIMETRIQUE
EN TEMPS DIFFERE

Soit le schéma fonctionnel suivant :



En temps différé on fera le contrôle optimal en considérant que les entrées X_i suivant des distributions statistiques normales

$$X_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$$



Pour cette distribution, on définit:

-fonction de densité de probabilité: $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$

-fonction de repartition : $F(x) = P(X \leq x)$

$$= \int_{-\infty}^x f(x) dx$$

-espérance mathématique:

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x) dx$$

-variance:

$$\sigma^2 = \text{var}(x)$$

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x-\mu)^2 f(x) dx$$

-ecart-type:

$$\sigma = \sqrt{\text{var}(x)}$$

La dépendance entre deux variables aléatoires continues X_1, X_2 est donnée par le coefficient de corrélation .

$$\rho = \text{covar}(X_1, X_2) / \sigma_1 \sigma_2 \quad \text{avec : } |\rho| \leq 1 ;$$

$$\text{covar}(X_1, X_2) = E((X_1 - E(X_1))(X_2 - E(X_2)))$$

si $\rho = 1$: X_1 et X_2 sont parfaitement corrélés

-- soient n variables aléatoires indépendantes, toutes réparties selon la loi de probabilité normale, on désigne respectivement par $F_i(x)$ et $f_i(x)$ la fonction de répartition et de densité de probabilité de la variable aléatoire X_i ;

$$\text{Soit } Z = \max Y = \min(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

La variable $Z = \max Y$ est le minimum de (X_1, X_2, \dots, X_n) ; pour que $Z \leq z$ il faut et il suffit que pour au moins un $i, (1 \leq i \leq n), X_i \leq z$ c-à-d que l'évènement $\min(X_1, X_2, \dots, X_n) \leq z$ est équivalent à

$$((X_1 \leq z) \cup (X_2 \leq z) \cup \dots \cup (X_n \leq z)) . \text{ On a donc :}$$

$$\min(X_1, X_2, \dots, X_n) \leq z = \bigcup_{i=1}^n (X_i \leq z)$$

De la formule de Morgan, on déduit:

$$\min(X_1, X_2, \dots, X_n) \leq z = \overline{\bigcap_{i=1}^n (X_i > z)}$$

Or pour tout $i (1 \leq i \leq n), P(X_i > z) = 1 - P(X_i \leq z) = 1 - F_i(z)$

Si les X_i sont indépendantes:

$$P\left(\bigcap_{i=1}^n (X_i > z)\right) = (1 - F_1(z))(1 - F_2(z)) \dots (1 - F_n(z))$$

et $P(\bigcap_{i=1}^n (X_i > z)) = P(\bigcup_{i=1}^n (X_i \leq z)) = 1 - ((1-F_1(z))(1-F_2(z)) \dots (1-F_n(z)))$

Donc la fonction de repartition de $Z = \max Y$ est donnée par:

$$H(Y) = 1 - (1-F_1(y))(1-F_2(y)) \dots (1-F_n(y))$$

et la densité de probabilité de $\max Y$ est donnée par:

$$h(y) = dH(y)/dy$$

- Si on a $\mu_i = \mu$ et $\sigma_i = \sigma$ pour tout i ($1 \leq i \leq n$)
on a $f_i(x) = f(x)$ et $F_i(x) = F(x)$

D'où pour $\max Y$ on a:

$$h(y) = nf(y)(1-F(y))^{n-1}$$

$$H(y) = 1 - (1-F(y))^n$$

- Si les variables aléatoires ne sont pas indépendantes, on définit alors la matrice de corrélation : $[\rho]$

$$[\rho] = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \dots & \rho_{1n} \\ & & & \\ & & & \\ & & & 1 \end{bmatrix}$$

avec: $\rho_{ij} = 1$ si $i=j$
 $\rho_{ij} = \rho_{ji}$

Un couple aléatoire (X_1, X_2) corrélé est distribué normalement si sa densité de probabilité est:

$$f_{12}(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left[\frac{(x_1-\mu_1)^2}{\sigma_1^2} + \frac{(x_2-\mu_2)^2}{\sigma_2^2} - 2\rho \frac{(x_1-\mu_1)(x_2-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2} \right]\right\}$$

avec: ρ coefficient de corrélation entre X_1, X_2

— Cas de deux variables aléatoires continues dépendantes:

Soit $Y = \min(X_1, X_2)$

X_1 et X_2 sont dépendantes avec un coefficient de corrélation: ρ

$$\begin{aligned} P(Y \leq z) &= P((X_1 \leq z) \cup (X_2 \leq z)) \\ &= P(X_1 \leq z) + P(X_2 \leq z) - P((X_1 \leq z) \cap (X_2 \leq z)) \end{aligned}$$

La fonction de repartition de Y sera:

$$F(y) = \int_{-\infty}^y f_1(x_1) dx_1 + \int_{-\infty}^y f_2(x_2) dx_2 - \int_{-\infty}^y \int_{-\infty}^y f_{12}(x_1, x_2) dx_1 dx_2$$

où: $f_i(x_i)$ fonction de densité de X_i $i=1,2$

$f_{12}(x_1, x_2)$ fonction de densité du couple (x_1, x_2)

La fonction de densité de Y sera:

$$f(y) = f_1(y) + f_2(y) - \frac{\partial}{\partial y} \int_{-\infty}^y \int_{-\infty}^y f_{12}(x_1, x_2) dx_1 dx_2$$

COEFFICIENT DE DETERMINATION (R^2) = 4.853071E-02

ERREUR-TYPE D'ESTIMATION = 24.08174

VALEURS DE SORTIE

VAL. ALEATOIRE	NO	Y	VALEUR SORTIE	X1	X2	Y MINIMUM	[X1, X2]
.9060293	1		50	60	50		50
.5139312	2		2	54	2		2
.7592263	3		45	53	45		45
.6435826	4		11	11	20		11
.62581	5		41	41	63		41
.573322	6		28	28	48		28
.6283161	7		11	11	67		11
.815878	8		24	56	24		24
.5521985	9		41	50	41		41
.3023027	10		29	29	58		29
.9976234	11		33	33	78		33
.7067383	12		17	19	17		17
.0130909	13		15	15	28		15
.9380256	14		32	39	32		32
.4401157	15		39	45	39		39
.636477	16		21	21	25		21
.5706058	17		7	7	78		7
.51937	18		8	47	8		8
.9779639	19		40	40	77		40
.3441279	20		4	4	52		4
.5396541	21		3	25	3		3
.9689738	22		22	22	33		22
.6764147	23		2	2	84		2
7.729529E-02	24		8	10	8		8
.216775	25		8	29	8		8
.6281854	26		5	9	5		5
.4558395	27		15	15	40		15
.9652059	28		17	17	45		17
.9298647	29		18	18	29		18
.9999219	30		0	0	21		0
.6722352	31		23	23	57		23
.6427474	32		23	24	23		23
.1076189	33		7	16	7		7
.2266062	34		12	12	26		12
.459351	35		2	2	18		2
.2153122	36		15	15	30		15
.8926461	37		12	39	12		12
.5352646	38		0	0	20		0
.8951522	39		20	39	20		20
.3386927	40		15	15	40		15
.1306191	41		27	51	27		27
.9304899	42		1	20	1		1
.5029084	43		27	76	27		27
.9831951	44		21	32	21		21
7.590506E-02	45		28	43	28		28
.8125507	46		2	58	2		2
.5082824	47		27	118	27		27

LA SOMME DES VALEURS DE LA SORTIE EST EGALE A 904

LA SOMME DE DIFFERENCES DES VALEURS D'ENTREES EST EGALE A -121

DEGREE DE L'EQUATION EST EGALE A 9

nombre des points connus est égal à 47

MOYENNE N

11.59574468085106

24.36170212765957

VARIANCE V

1064.811

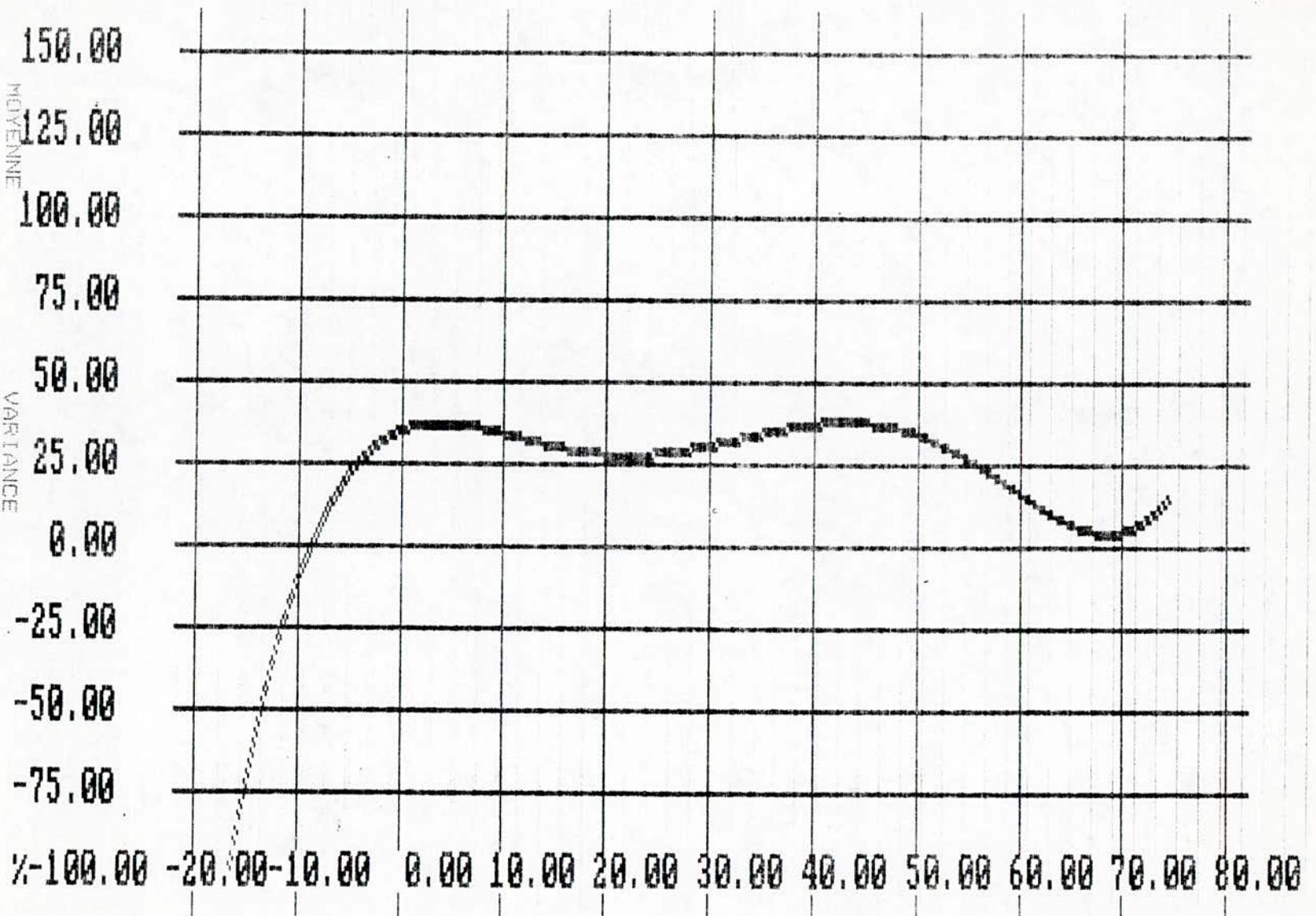
960.3663274745606

ECART-TYPE SQR(V)

32.63144683837891

30.98978

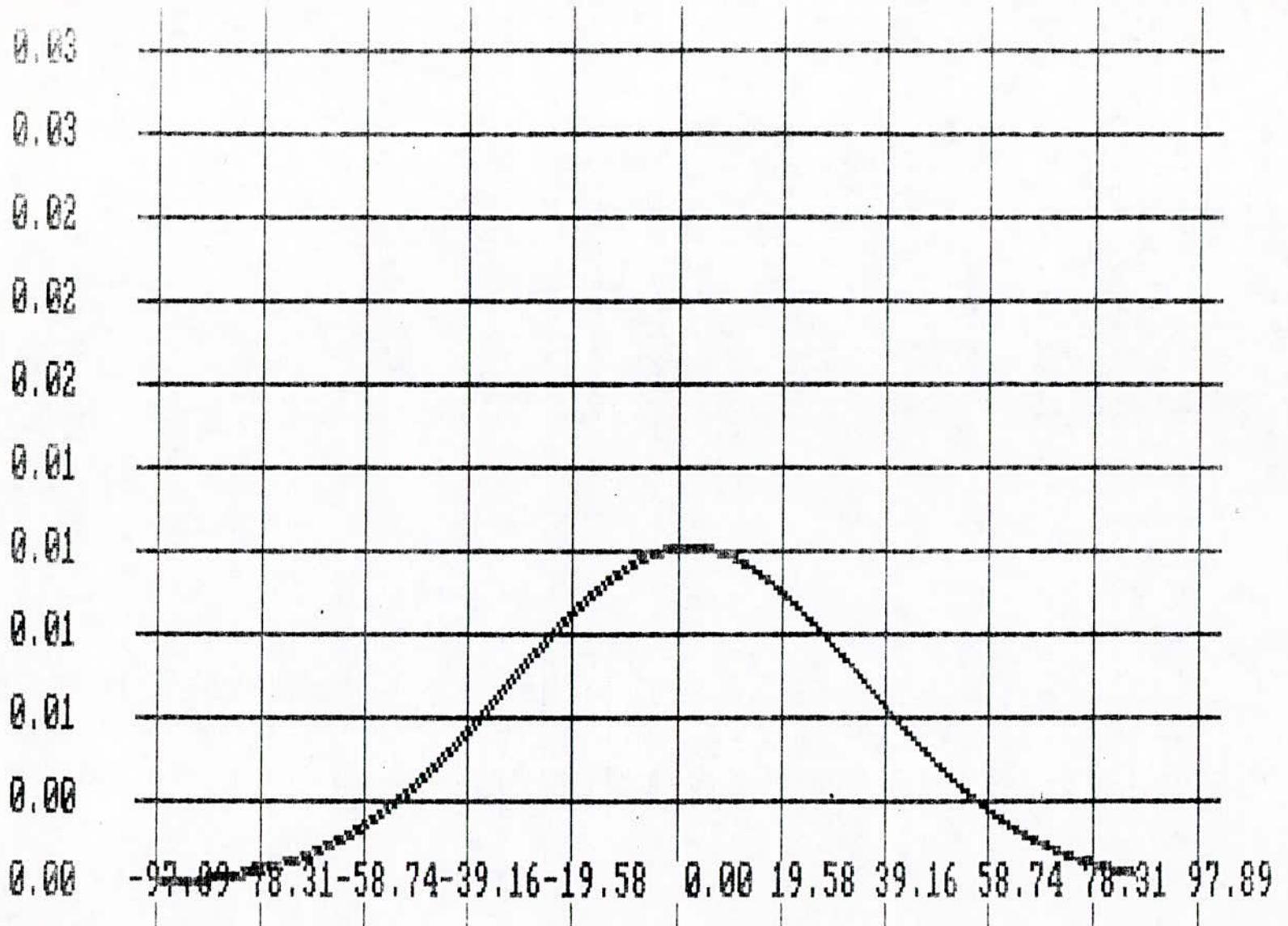
CONSTANTE = 36.40803



MOYENNE
11.596
24.562
VARIANCE
1064.8
960.37
ECART -TYPE
32.631
30.99

CALCUL DE PROBABILITE SELON LA LOI DE GAUSS
ENTER LA VALEUR DE X1=ENTER LA VALEUR DE X2=FREQUENCE=
PROBABILITE=.5415766

FREQUENCE (Y) = .3563207
PROBABILITE (Y) = .3215194



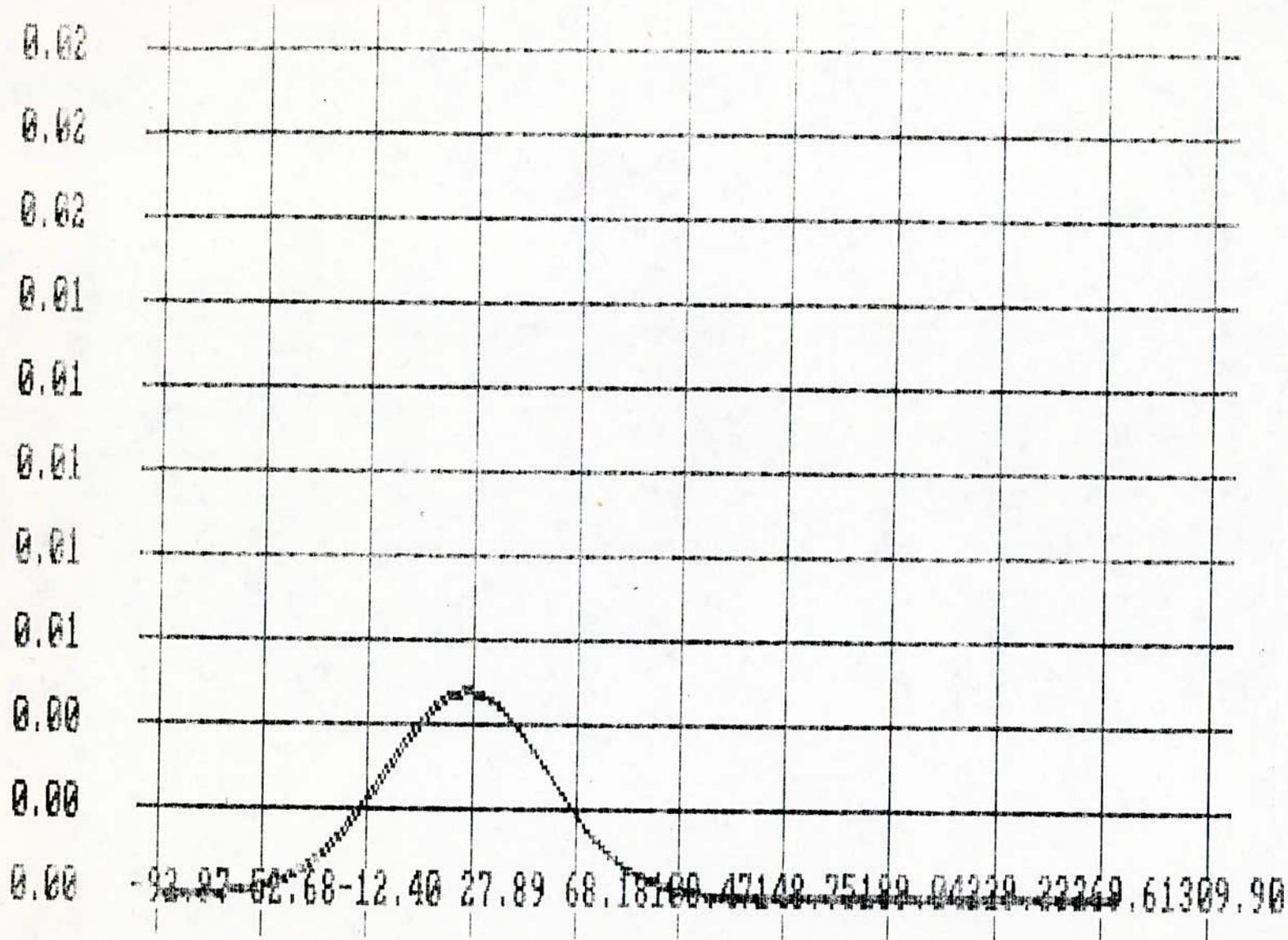
100.00

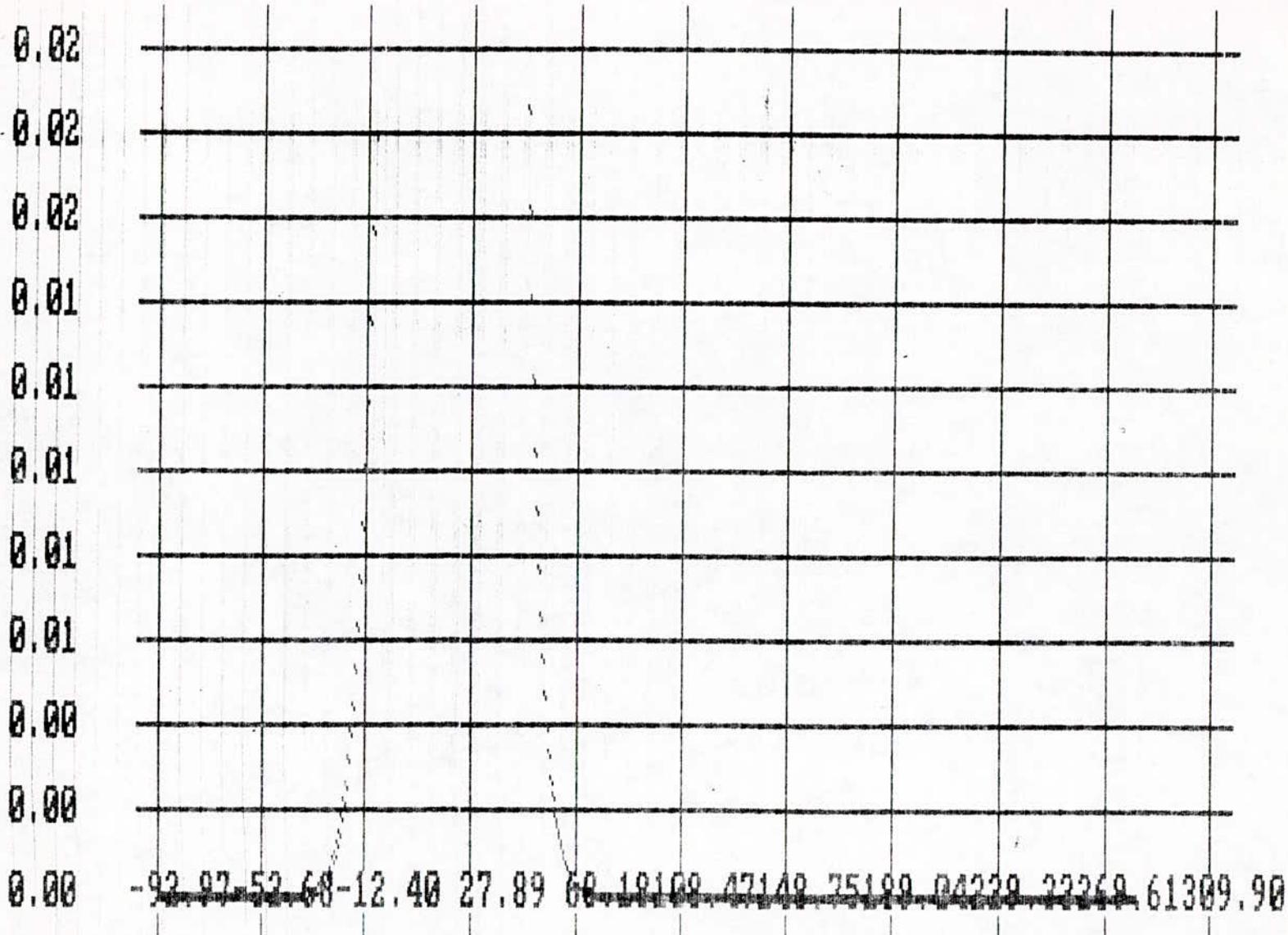
1000.00

10000.00

DISTRIBUTION DE L'ENTREE XI

DISTRIBUTION DE L'ENTREE X2





CALCUL DE LA DIFFERENCE ENTRE ENTREE ET SORTIE
DISTRIBUTION DE LA SORTIE

MOYENNE

11.596

24.362

REGULATS SONT PRESENTES SOUS LA FORME D'UN GRAPHIQUE
18.25531914893617

VARIANCE

1054.8

950.37

177.0204

EGCART-TYPE

32.631

30.99

13.30489921569824

IX-CONCLUSION

Cette recherche a été orientée dans le but de pouvoir résoudre le problème de contrôle des grands systèmes stoechiométriques. Le modèle du système que nous avons proposé garantit une certaine souplesse dans son application dans les cas concrets bien déterminés aussi bien dans le domaine technologique qu'économique .

Notre étude s'est basée sur le contrôle optimal du sous-système, élément fondamental du système entier , la suite de ce travail consiste en la coordination de l'ensemble des solutions trouvées pour chaque sous-système afin de trouver la solution finale du grand système.

Soulignons que la solution du contrôle optimal d'un système stoechiométrique est donnée par l'analyse des stocks ou plutôt par la connaissance du volume total de stocks nécessaire et la façon dont il est reparti pour la commande optimale .

Cependant dans le cas où on ne peut pas trouver une solution optimale pour le fonctionnement du système en temps réel, seul l'utilisateur pourra juger quelles décisions faut-il prendre en tenant compte des différentes contraintes régissant le système .

Enfin, cette étude est le début de la prévision de la solution du problème de contrôle optimal d'une multitude de systèmes industriels et économiques, elle montre aussi le puissant rôle que joue la simulation dans la recherche du meilleur fonctionnement des systèmes .

ANNEXE:

1. ALGORITHME DU CALCUL DE T, V_0 ET V_M

1- Hypothèses:

Connaissant les entrées $X_i(t)$, les commandes de stocks $S_i(t)$
on procède ainsi:

$$\begin{aligned} \text{soient les contraintes suivantes } & X_i(t) \geq 0 \\ & Y(t) \geq 0 \\ & 0 \leq V_i(t) \leq V_{Mi} \end{aligned}$$

$$\text{on a : } V_i(t) = V_{0i} + \int_0^t -S_i(\tau) d\tau$$

$$\text{d'où: } -V_{0i} \leq - \int_0^t S_i(\tau) d\tau \leq V_{Mi} - V_{0i}$$

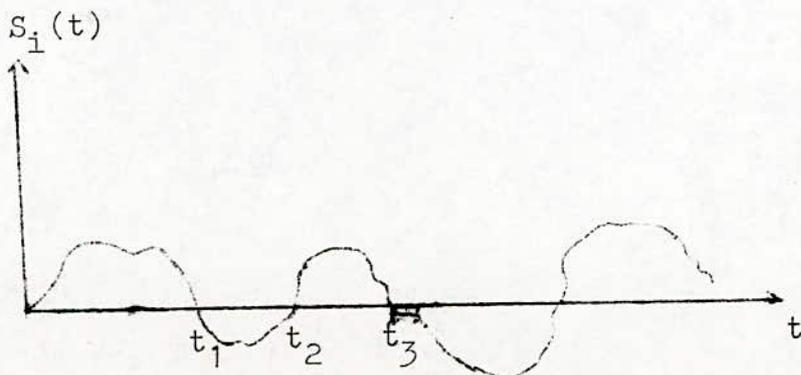
Les volumes V_{0i} et V_{Mi} vérifiant les inégalités ci-dessus
sont:

$$V_{0i} = \left| \min_{t \in [0, T]} \int_0^t -S_i(\tau) d\tau \right|$$

$$V_{Mi} = V_0 + \max_{t \in [0, T]} \int_0^t -S_i(\tau) d\tau$$

$$\text{avec: } \int_0^T S_i(t) dt = 0$$

La fonction $S_i(t)$ étant déterminée telle que:



On détermine les passages par zero de $S_i(t)$, soient les temps:

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

En pratique, la période $T = t_i$

et on peut trouver t_i' tel que : $t_i' = kT$

L'hypothèse suivante est évidente:

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

Pour des raisons de simplifications on choisit:

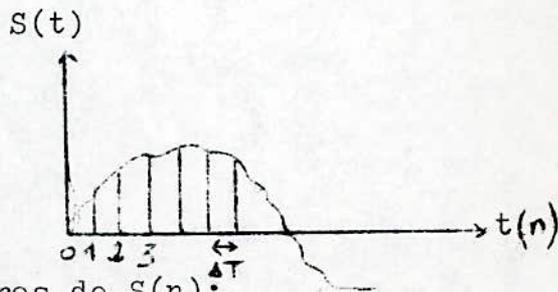
$$V_0 = 1/2V_M \text{ et on obtient:}$$

$$V_0 = \max_{t \in [(m-1)T, mT]} \left| \int_0^t -S(\tau) d\tau \right|, m=0, 1; \dots, L \quad L \text{ donné}$$

2- Calculs:

On fait un échantillonnage de $S(t)$:

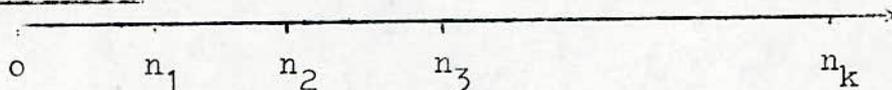
$$S(t) = \Delta T \sum_0^n S(n)$$



Puis on détermine les zeros de $S(n)$:

$$0, n_1, n_2, \dots, n_k$$

Calcul de T:



Pour n_i , on a : $S(n_i) = 0 \quad i=0, \dots, k$

on calcule:

$$1- \quad 2n_1, 3n_1, \dots, mn_1, Ln_1$$

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

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

⋮

$$\min(|Ln_1 - n_1|, |Ln_1 - n_2|, \dots, |Ln_1 - n_k|) = D(1,L)$$

$$\text{on prend: } E(1,L) = \sum_{i=2}^L D(1,i)$$

on calcule:

$$2- \quad 2n_2, 3n_2, \dots, mn_2, Ln_2$$

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

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

⋮

$$\min(|Ln_2 - n_1|, |Ln_2 - n_2|, \dots, |Ln_2 - n_k|) = D(2,L)$$

$$\text{on prend: } E(2,L) = \sum_{i=2}^L D(2,i)$$

.....

on calcule:

$$L- \quad 2n_L, 3n_L, \dots, mn_L, Ln_L$$

$$\text{on prend: } E(L,L) = \sum_{i=2}^L D(L,i)$$

Enfin on prendra:

$$\min(E(1,L), E(2,L), \dots, E(L,L)) = E(\omega, L)$$

$$\text{d'où : } T = n_\omega$$

Calcul de V_0 et V_M :

$$V_0^{(1)} = \min(S(1), S(2), \dots, S(T))$$

$$V_0^{(2)} = \min(S(T+1), S(T+2), \dots, S(2T))$$

·
·
·

$$V_0^{(p)} = \min(S((p-1)T+1), S((p-1)T+2), \dots, S(pT))$$

$$V_0 = \max(V_0^{(1)}, V_0^{(2)}, \dots, V_0^{(p)})$$

$$V_M^{(1)} = \max(S(1), S(2), \dots, S(T))$$

$$V_M^{(2)} = \max(S(T+1), S(T+2), \dots, S(2T))$$

·
·
·

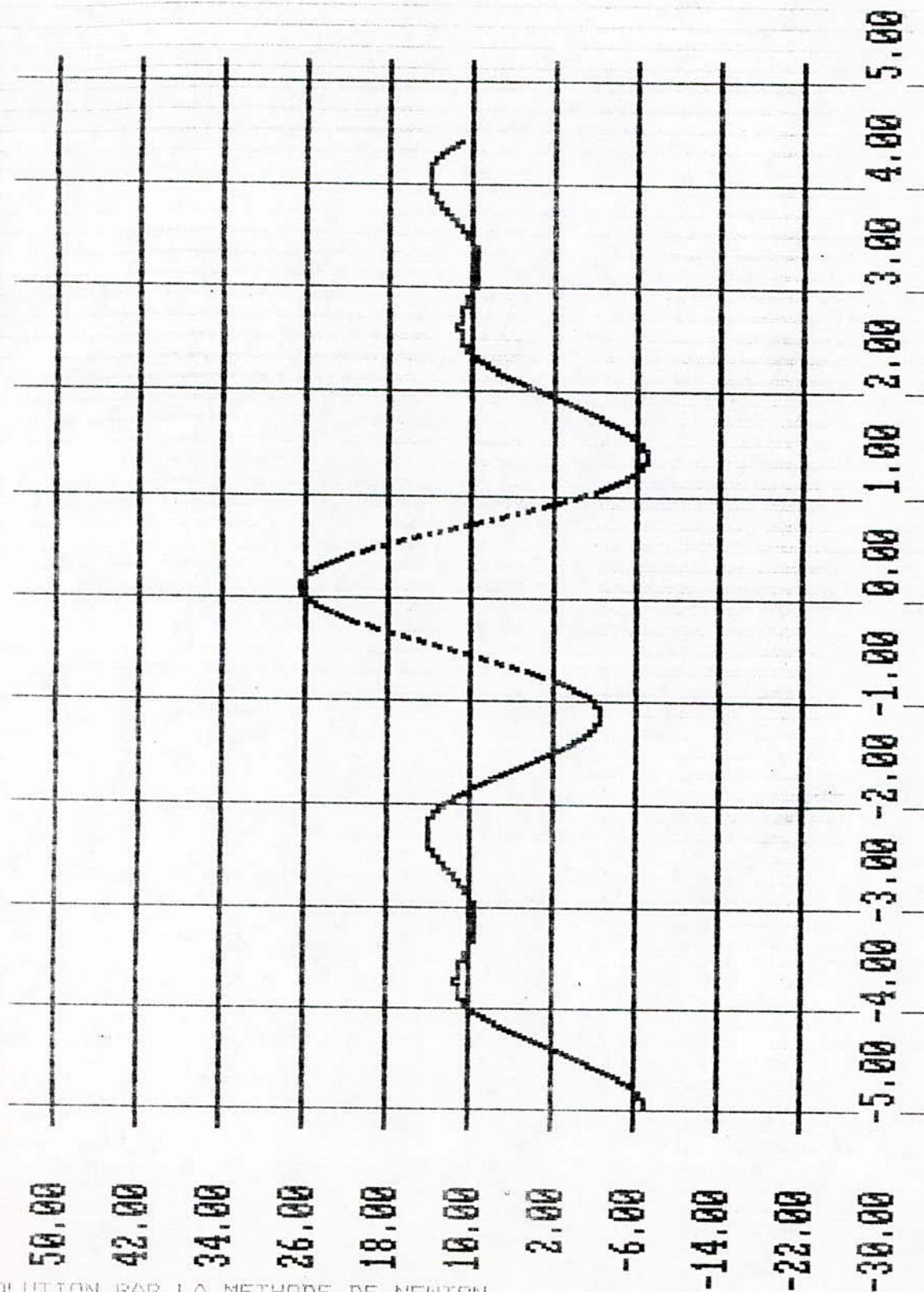
$$V_M^{(p)} = \max(S((p-1)T+1), S((p-1)T+2), \dots, S(pT))$$

$$V_M = V_0 + \max(V_M^{(1)}, V_M^{(2)}, \dots, V_M^{(p)})$$

Conclusion: Sur la base de $X(n)$ et $S(n)$ on a déterminé :

T, V_0 et V_M

COPYRIGHT BMT ET MS



RESOLUTION PAR LA METHODE DE NEWTON

COEFFICIENTS DE FOURIER 1 ère groupe

16.83333

1.403527

9.416667

7.166667

-2.184616

-1.

1.166667

85	2178
86	2310
87	2370
88	2406
89	2418
90	2490
91	2502
92	2598
93	2670
94	2670
95	2718
96	2742
97	2850
98	2886
99	2886
100	2958
101	3078
102	3162
103	3162
104	3174
105	3198
106	3282
107	3318
108	3414
109	3462
110	3498
111	3546
112	3654
113	3654
114	3678
115	3750
116	3894
117	3918
118	4038
119	4074
120	4086
121	4146
122	4146
123	4242
124	4470
125	4518
126	4578
127	4638
128	4638
129	4866
130	5118
131	5118
132	5130
133	5130
134	5622
135	5622
136	5658
137	5718
138	6114
139	6114
140	6198
141	6318
142	6738
143	6918

VALEUR MINIMALE DE EDW(L) EST EGALE A 7 [pour le calcul de la periode T
16.83333 1.403527 9.416667 7.166667 -2.184616 -1.

VALEURS TROUVES DE VO ET VM

	26.42806		.7114148
	26.42267		.7948428
	26.38732		.2347903
	26.38949		1.298091
	26.22679		.3164916
	26.10179		1.333955
	26.16299		.3012114
	26.11388		1.532507
	26.35513		.806705
	25.30878		.6700645
	25.57007		3.473699E-02
	25.57986		.6976414
	3.473699E-02		
	.2347903		
	.3012114		
	.3164916		
	.6700645		
	.6976414		
	.7114148		
	.7948428		
	.806705		
	1.298091		
	1.333955		
	1.532507		

VALEUR MINIMALE EST EGALE A 3.473699E-02

VALEUR MXIMALE EST EGALE A 26.42806

25.30878	3.473699E-02
25.57007	.2347903
25.57986	.3012114
26.10179	.3164916
26.11388	.6700645
26.16299	.6976414
26.22679	.7114148
26.35513	.7948428
26.38732	.806705
26.38949	1.298091
26.42267	1.333955
26.42806	1.532507

VOLUME V[m]=VO+V[m_{ax}] 26.46279

Programme n° 1 : max. de la sortie

```

10 KEY OFF : CLS : CLEAR : RESET
20 DEFINT I,N
30 PRINT "ENTRER LE NOMBRE DE CAS";
35 LPRINT "ENTRER LE NOMBRE DE CAS";
40 INPUT N
50 PRINT N
55 LPRINT N
60 DIM X1(N),X2(N),Y(N),V1(N),V2(N),D1(N),D2(N),S1(N),S2(N),SP1(N),SP2(N)
70 PRINT "VOLUME MAXIMALE V1M"
75 LPRINT "VOLUME MAXIMALE V1M"
80 INPUT V1M
90 PRINT V1M
95 LPRINT V1M
100 PRINT "VALEUR SATURATION XM"
105 LPRINT "VALEUR SATURATION XM"
110 INPUT XM
120 PRINT XM
125 LPRINT XM
130 PRINT "VOLUME INITIALE V1(0)"
135 LPRINT "VOLUME INITIALE V1(0)"
140 INPUT V1(0)
150 PRINT V1(0)
155 LPRINT V1(0)
160 PRINT "VOLUME INITIALE V2(0)"
165 LPRINT "VOLUME INITIALE V2(0)"
170 INPUT V2(0)
180 PRINT V2(0)
185 LPRINT V2(0)
190 PRINT "VOLUME MAXIMALE V2M "
195 LPRINT "VOLUME MAXIMALE V2M "
200 INPUT V2M
210 PRINT V2M
215 LPRINT V2M
220 RANDOMIZE TIMER
230 LOCATE 25,1:PRINT"NO";TAB(5);"X1";TAB(13);"X2";TAB(21);"Y";TAB(28);"V1";TAB
(36);"V2";TAB(44);"S1";TAB(52);"S2";TAB(60);"SP1";TAB(68);"SP2"
235 LOCATE 25,1:LPRINT"NO";TAB(5);"X1";TAB(13);"X2";TAB(21);"Y";TAB(28);"V1";T
(36);"V2";TAB(44);"S1";TAB(52);"S2";TAB(60);"SP1";TAB(68);"SP2"
240 FOR I=1 TO N
250 X1(I)=INT(XM*RND(1));X2(I)=INT(XM*RND(1))
260 S1(I)=XM-X1(I)
270 IF S1(I)<=V1(I-1) THEN GOTO 290
280 S1(I)=V1(I-1)
290 S2(I)=XM-X2(I)
300 IF S2(I)<=V2(I-1) THEN GOTO 320
310 S2(I)=V2(I-1)
320 D1(I)=X1(I)+S1(I) : D2(I)=X2(I)+S2(I)
330 IF D2(I)<=D1(I) THEN GOTO 390
340 Y(I)=D1(I) : S2(I)=D1(I)-X2(I)
350 IF 0<=S2(I) THEN GOTO 380
360 IF ABS(S2(I))<=V2M-V2(I-1) THEN GOTO 380
370 SP2(I)=V2(I-1)-S2(I)-V2M : S2(I)=V2(I-1)-V2M : GOTO 440
380 SP2(I)=0 : GOTO 440
390 Y(I)=D2(I) : S1(I)=D2(I)-X1(I)
400 IF 0<=S1(I) THEN GOTO 430
410 IF ABS(S1(I))<=V1M-V1(I-1) THEN GOTO 430
420 SP1(I)=V1(I-1)-S1(I)-V1M : S1(I)=V1(I-1)-V1M : GOTO 440
430 SP1(I)=0
440 V1(I)=V1(I-1)-S1(I) : V2(I)=V2(I-1)-S2(I)
450 PRINT TAB(1);I;TAB(5);X1(I);TAB(13);X2(I);TAB(21);Y(I);TAB(28);V1(I);TAB(3
V2(I);TAB(44);S1(I);TAB(52);S2(I);TAB(60);SP1(I);TAB(68);SP2(I)
455 LPRINT TAB(1);I;TAB(5);X1(I);TAB(13);X2(I);TAB(21);Y(I);TAB(28);V1(I);TAB(
;V2(I);TAB(44);S1(I);TAB(52);S2(I);TAB(60);SP1(I);TAB(68);SP2(I)

```

```
450 PRINT TAB(1); I; TAB(5); X1(I); TAB(13); X2(I); TAB(21); Y(I); TAB(28); V1(I); TAB
; V2(I); TAB(44); S1(I); TAB(52); S2(I); TAB(60); SP1(I); TAB(68); SP2(I)
455 LPRINT TAB(1); I; TAB(5); X1(I); TAB(13); X2(I); TAB(21); Y(I); TAB(28); V1(I); TAB
); V2(I); TAB(44); S1(I); TAB(52); S2(I); TAB(60); SP1(I); TAB(68); SP2(I)
460 NEXT I
465 LPRINT :LPRINT
470 CLS
480 LOCATE 2,4: PRINT O;TAB(XM+5);XM
481 LOCATE 2,4: LPRINT O;TAB(XM+5);XM
482 LOCATE 25,4 :PRINT O;TAB(XM+5);XM
485 LOCATE 25,4 :LPRINT O;TAB(XM+5);XM
490 LOCATE 2,1 :Z#=CHR$(196):ZI#=STRING$(76,Z#)
500 PRINT ZI#
502 LPRINT ZI#
510 FOR I=1 TO N
520 D#=CHR$(219) :R#=STRING$(Y(I),D#)
530 PRINT I;TAB(5);CHR$(179);R#;TAB(60);"Y(";I;")=";TAB(70);Y(I)
535 LPRINT I;TAB(5);CHR$(179);R#;TAB(60);"Y(";I;")=";TAB(70);Y(I)
540 NEXT I
545 LPRINT :LPRINT
550 CLS :LOCATE 2,4: PRINT O;TAB(XM+5);XM
555 LOCATE 2,4:LPRINT O;TAB(XM+5);XM
560 LOCATE 25,4 :PRINT O;TAB(XM+5);XM
565 LOCATE 25,4 :LPRINT O;TAB(XM+5);XM
570 LOCATE 2,1 :Z#=CHR$(196):ZI#=STRING$(76,Z#)
580 PRINT ZI#
585 LPRINT ZI#
590 FOR I=1 TO N
600 D#=CHR$(219):R#=STRING$(X1(I),D#)
610 PRINT I;TAB(5);CHR$(179);R#;TAB(60);"X1(";I;")=";TAB(70);X1(I)
615 LPRINT I;TAB(5);CHR$(179);R#;TAB(60);"X1(";I;")=";TAB(70);X1(I)
620 NEXT I
625 LPRINT :LPRINT
630 CLS :LOCATE 2,4: PRINT O;TAB(XM+5);XM
635 LOCATE 2,4:LPRINT O;TAB(XM+5);XM
640 LOCATE 25,4 :PRINT O;TAB(XM+5);XM
645 LOCATE 25,4 :LPRINT O;TAB(XM+5);XM
650 LOCATE 2,1 :Z#=CHR$(196):ZI#=STRING$(76,Z#)
660 PRINT ZI#
665 LPRINT ZI#
670 FOR I=1 TO N
680 D#=CHR$(219):R#=STRING$(X2(I),D#)
685 PRINT I;TAB(5);CHR$(179);R#;TAB(60);"X2(";I;")=";TAB(70);X2(I)
690 LPRINT I;TAB(5);CHR$(179);R#;TAB(60);"X2(";I;")=";TAB(70);X2(I)
700 NEXT I
705 LPRINT :LPRINT
710 CLS:LOCATE 2,4:PRINT O;TAB(35);0;TAB((V1(0)/5)+35);V1(0)
715 LOCATE 2,4:LPRINT O;TAB(35);0;TAB((V1(0)/5)+35);V1(0)
720 LOCATE 25,4 :PRINT O;TAB(35);0;TAB((V1(0)/5)+35);V1(0)
725 LOCATE 25,4 :LPRINT O;TAB(35);0;TAB((V1(0)/5)+35);V1(0)
730 LOCATE 2,1 :Z#=CHR$(196):ZI#=STRING$(76,Z#)
740 PRINT ZI#
745 LPRINT ZI#
750 FOR I=1 TO N
760 D#=CHR$(219):RI#=STRING$(V1(I)/5 ,D#):RIA#=STRING$(SP1(I)/5 ,D#)
770 PRINT I;TAB(5);CHR$(179);RIA#;TAB(25);SP1(I);TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB(
V1(";I;")=";TAB(75);V1(I)
775 LPRINT I;TAB(5);CHR$(179);RIA#;TAB(25);SP1(I);TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB
"V1(";I;")=";TAB(75);V1(I)
780 NEXT I
785 LPRINT :LPRINT
790 CLS:LOCATE 2,4:PRINT O;TAB(35);0;TAB((V2(0)/5)+35);V2(0)
795 LOCATE 2,4:LPRINT O;TAB(35);0;TAB((V2(0)/5)+35);V2(0)
800 LOCATE 25,4 :PRINT O;TAB(35);0;TAB((V2(0)/5)+35);V2(0)
```

```

720 LOCATE 25,4:PRINT 0;TAB(35);0;TAB((V1(0)/5)+35);V1(0)
725 LOCATE 25,4:LPRINT 0;TAB(35);0;TAB((V1(0)/5)+35);V1(0)
730 LOCATE 2,1:Z#=CHR$(196):ZI#=STRING$(76,Z#)
740 PRINT ZI#
745 LPRINT ZI#
750 FOR I=1 TO N
760 D#=CHR$(219):RI#=STRING$(V1(I)/5,D#):RIA#=STRING$(SP1(I)/5,D#)
770 PRINT I;TAB(5);CHR$(179);RIA#;TAB(25);SP1(I);TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB(67);
V1(";I;")=";TAB(75);V1(I)
775 LPRINT I;TAB(5);CHR$(179);RIA#;TAB(25);SP1(I);TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB(67);
"V1(";I;")=";TAB(75);V1(I)
780 NEXT I
785 LPRINT:LPRINT
790 CLS:LOCATE 2,4:PRINT 0;TAB(35);0;TAB((V2(0)/5)+35);V2(0)
795 LOCATE 2,4:LPRINT 0;TAB(35);0;TAB((V2(0)/5)+35);V2(0)
800 LOCATE 25,4:PRINT 0;TAB(35);0;TAB((V2(0)/5)+35);V2(0)
805 LOCATE 25,4:LPRINT 0;TAB(35);0;TAB((V2(0)/5)+35);V2(0)
810 LOCATE 2,1:Z#=CHR$(196):ZI#=STRING$(76,Z#)
820 LPRINT ZI#
830 FOR I=1 TO N
840 D#=CHR$(219):RI#=STRING$(V2(I)/5,D#):RIA#=STRING$(SP2(I)/5,D#)
850 PRINT I;TAB(5);CHR$(179);RIA#;TAB(25);SP2(I);TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB(67);
V2(";I;")=";TAB(75);V2(I)
855 LPRINT I;TAB(5);CHR$(179);RIA#;TAB(25);SP2(I);TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB(67);
"V2(";I;")=";TAB(75);V2(I)
860 NEXT I
865 LPRINT:LPRINT
870 CLS:LOCATE 1,10:PRINT "DIFFERENCE ENTRE SORTIE-ENTREE"
875 LOCATE 1,10:LPRINT "DIFFERENCE ENTRE SORTIE-ENTREE"
880 LOCATE 2,1:Z#=CHR$(196):ZI#=STRING$(76,Z#)
890 PRINT ZI#
895 LPRINT ZI#
900 FOR I=1 TO N
910 D#=CHR$(219):RI#=STRING$(ABS(S1(I)),D#)
920 IF S1(I)>= 0 THEN PRINT I;TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB(67);"S1(";I;")=";S1(I)
925 IF S1(I)>= 0 THEN LPRINT I;TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB(67);"S1(";I;")=";S1(I)
930 IF S1(I)<0 THEN PRINT I;TAB(35+S1(I));RI#;CHR$(179);TAB(67);"S1(";I;")=";S1(I)
935 IF S1(I)<0 THEN LPRINT I;TAB(35+S1(I));RI#;CHR$(179);TAB(67);"S1(";I;")=";S1(I)
940 NEXT I
945 LPRINT:LPRINT
950 CLS:LOCATE 1,10:PRINT "DIFFERENCE ENTRE SORTIE-ENTREE"
955 LOCATE 1,10:LPRINT "DIFFERENCE ENTRE SORTIE-ENTREE"
960 LOCATE 2,1:Z#=CHR$(196):ZI#=STRING$(76,Z#)
970 PRINT ZI#
975 LPRINT ZI#
980 FOR I=1 TO N
990 D#=CHR$(219):RI#=STRING$(ABS(S2(I)),D#)
1000 IF S2(I)>= 0 THEN PRINT I;TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB(67);"S2(";I;")=";S2(I)
1002 IF S2(I)>= 0 THEN LPRINT I;TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB(67);"S2(";I;")=";S2(I)
1010 IF S2(I)<0 THEN PRINT I;TAB(35+S2(I));RI#;CHR$(179);TAB(67);"S2(";I;")=";S2(I)
1015 IF S2(I)<0 THEN LPRINT I;TAB(35+S2(I));RI#;CHR$(179);TAB(67);"S2(";I;")=";S2(I)
1020 NEXT I
1030 PRINT "MERCI ,BYE,BYE "
1035 LPRINT:LPRINT "MERCI ,BYE,BYE "

```

3. Programme n°2 : Minimisation du surplus

```
5 LPRINT "PROGRAMME DE LA VALEUR MOYENNE DE LA SORTIE"
7 LPRINT
10 KEY OFF : CLS : CLEAR : RESET
20 DÉFINI I , N
30 PRINT "ENTRER LE NOMBRE DE CAS";
35 LPRINT "ENTRER LE NOMBRE DE CAS";
40 INPUT N
50 PRINT N
55 LPRINT N
60 DIM X1(N), X2(N), Y(N), V1(N+1), V2(N+1), D1(N), D2(N), S1(N), S2(N), SP1(N), SP2(N)
70 PRINT "VOLUME MAXIMALE V1M"
75 LPRINT "VOLUME MAXIMALE V1M"
80 INPUT V1M
90 PRINT V1M
95 LPRINT V1M
100 PRINT "VALEUR SATURATION M"
105 LPRINT "VALEUR SATURATION M"
110 INPUT M
120 PRINT M
125 LPRINT M
130 PRINT "VOLUME INITIALE V1(0)"
135 LPRINT "VOLUME INITIALE V1(0)"
140 INPUT V1(0)
150 PRINT V1(0)
155 LPRINT V1(0)
160 PRINT "VOLUME INITIALE V2(0)"
165 LPRINT "VOLUME INITIALE V2(0)"
170 INPUT V2(0)
180 PRINT V2(0)
185 LPRINT V2(0)
190 PRINT "VOLUME MAXIMALE V2M"
195 LPRINT "VOLUME MAXIMALE V2M"
200 INPUT V2M
210 PRINT V2M
211 LPRINT V2M
212 PRINT "VALEUR MOYENNE YMOY";
213 LPRINT "VALEUR MOYENNE YMOY";
214 INPUT L
216 PRINT L
218 LPRINT L
220 RANDOMIZE TIMER
230 LOCATE 25, 1: PRINT "NO"; TAB(5); "X1"; TAB(13); "X2"; TAB(21); "Y"; TAB(28); "V1";
36); "V2"; TAB(44); "S1"; TAB(52); "S2"; TAB(60); "SP1"; TAB(68); "SP2"
235 LOCATE 25, 1: LPRINT "NO"; TAB(5); "X1"; TAB(13); "X2"; TAB(21); "Y"; TAB(28); "V1";
36); "V2"; TAB(44); "S1"; TAB(52); "S2"; TAB(60); "SP1"; TAB(68); "SP2"
240 FOR I=1 TO N
250 X1(I)=INT( M*RND(1)); X2(I)=INT( M*RND(1))
252 Z =L
260 S1(I)=Z -X1(I)
270 IF S1(I)>V1(I-1) THEN S1(I)=V1(I-1)
290 S2(I)=Z -X2(I)
300 IF S2(I)> V2(I-1) THEN S2(I)=V2(I-1)
320 D1(I)=X1(I)+S1(I) : D2(I)=X2(I)+S2(I)
330 IF D2(I)<=D1(I) THEN Y(I)=D2(I); S1(I)=D2(I)-X1(I) : GOTO 350
340 Y(I)=D1(I) : S2(I)=D1(I)-X2(I)
350 IF 0<=S1(I) THEN GOTO 380
```

```

270 IF S1(I)>V1(I-1) THEN S1(I)=V1(I-1)
290 S2(I)=Z -X2(I)
300 IF S2(I)> V2(I-1) THEN S2(I)=V2(I-1)
320 D1(I)=X1(I)+S1(I) : D2(I)=X2(I)+S2(I)
330 IF D2(I)<=D1(I) THEN Y(I)=D2(I);S1(I)=D2(I)-X1(I) :GOTO 350
340 Y(I)=D1(I) : S2(I)=D1(I)-X2(I)
350 IF 0<=S1(I) THEN GOTO 380
360 IF ABS(S1(I))<=V1M-V1(I-1) THEN GOTO 380
370 SP1(I)=V1(I-1)-S1(I)-V1M : S1(I)=V1(I-1)-V1M : GOTO 390
380 SP1(I)=0
390 IF S2(I)>=0 THEN GOTO 420
400 IF ABS(S2(I))<=V2M-V2(I-1) THEN GOTO 420
410 SP2(I)=V2(I-1)-S2(I)-V2M : S2(I)=V2(I-1)-V2M :GOTO 440
420 SP2(I)=0
430 IF SP1(I)=0 AND SP2(I)=0 THEN GOTO 450
440 IF Z =L THEN GOTO 480
450 V1(I)=V1(I-1)-S1(I) : V2(I)=V2(I-1) -S2(I)
460 PRINT TAB(1);I;TAB(5);X1(I);TAB(13);X2(I);TAB(21);Y(I);TAB(28);V1(I);T
;V2(I);TAB(44);S1(I);TAB(52);S2(I);TAB(60);SP1(I);TAB(68);SP2(I)
465 LPRINT TAB(1);I;TAB(5);X1(I);TAB(13);X2(I);TAB(21);Y(I);TAB(28);V1(I)
);V2(I);TAB(44);S1(I);TAB(52);S2(I);TAB(60);SP1(I);TAB(68);SP2(I)
470 NEXT I
475 END
480 IF SP1(I)>=SP2(I) THEN Z =Z +SP1(I) : GOTO 500
490 Z =Z +SP2(I)
500 IF Z <= M THEN GOTO 260
510 Z = M : GOTO 260

```

4. Programme n° 3 : Influence de la valeur moyenne sur le

```

5 LPRINT "PROGRAMME DE MINIMISATION DU SURPLUS "; "COPYRIGHT -BMT & MS-"
7 LPRINT "INFLUENCE DE LA VALEUR MOYENNE SUR LE SURPLUS"
10 KEY OFF : CLS : CLEAR : RESET
20 DEFINT I , N
30 PRINT "ENTRER LE NOMBRE DE CAS";
35 LPRINT "ENTRER LE NOMBRE DE CAS";
40 INPUT N
50 PRINT N
55 LPRINT N
60 DIM X1(N), X2(N), Y(N), V1(N), V2(N), D1(N), D2(N), S1(N), S2(N), SP1(N), SP2(N)
70 PRINT "ENTRER LE VOLUME MAXIMALE V1M"
75 LPRINT "ENTRER LE VOLUME MAXIMALE V1M"
80 INPUT V1M
90 PRINT V1M
92 LPRINT V1M
94 DEFINT Z , M
100 PRINT "VALEUR SATURATION M"
102 LPRINT "VALEUR SATURATION M"
110 INPUT M
120 PRINT M
125 LPRINT M
130 PRINT "VOLUME INITIALE V1(0)"
135 LPRINT "VOLUME INITIALE V1(0)"
140 INPUT V1(0)
150 PRINT V1(0)
155 LPRINT V1(0)
160 PRINT "VOLUME INITIALE V2(0)"
165 LPRINT "VOLUME INITIALE V2(0)"
170 INPUT V2(0)
180 PRINT V2(0)
185 LPRINT V2(0)
190 PRINT "VOLUME MAXIMALE V2M"
195 LPRINT "VOLUME MAXIMALE V2M"
200 INPUT V2M
210 PRINT V2M
215 LPRINT V2M
216 DIM SP(M+1)
220 RANDOMIZE TIMER
231 FOR I=1 TO N
232 X1(I)=INT( M*RND(1)):X2(I)=INT( M*RND(1))
233 NEXT I
234 FOR Z = 0 TO M
235 K=99999999#:OPT=0
237 SP(Z) = 0
238 PRINT:PRINT :PRINT "YMOY="; Z
239 PRINT :LOCATE 25, 1:PRINT "NO"; TAB(5); "X1"; TAB(13); "X2"; TAB(21); "Y"; TAB(29);
V1"; TAB(36); "V2"; TAB(44); "S1"; TAB(52); "S2"; TAB(60); "SP1"; TAB(68); "SP2"
240 LPRINT:LPRINT :LPRINT "YMOY="; Z;
241 LPRINT :LOCATE 25, 1:LPRINT "NO"; TAB(5); "X1"; TAB(13); "X2"; TAB(21); "Y";
B(28); "V1"; TAB(36); "V2"; TAB(44); "S1"; TAB(52); "S2"; TAB(60); "SP1"; TAB(68); "SP2"
245 FOR I=1 TO N
252 YT=Z
260 S1(I)=YT-X1(I)
270 IF S1(I)>V1(I-1) THEN S1(I)=V1(I-1)
290 S2(I)=YT-X2(I)
300 IF S2(I)>V2(I-1) THEN S2(I)=V2(I-1)
320 D1(I)=X1(I)+S1(I) : D2(I)=X2(I)+S2(I)
330 IF D2(I)<=D1(I) THEN Y(I)=D2(I):S1(I)=D2(I)-X1(I) :GOTO 350
340 Y(I)=D1(I) : S2(I)=D1(I)-X2(I)
350 IF OK<=S1(I) THEN GOTO 380
360 IF ABS(S1(I))<=MIN(Y(I), V1(I)-S1(I)) THEN GOTO 380

```

```

350 IF S1(I) <= V1M - V1(I-1) THEN GOTO 380
360 IF ABS(S1(I)) <= V1M - V1(I-1) THEN GOTO 380
370 SP1(I) = V1(I-1) - S1(I) - V1M : S1(I) = V1(I-1) - V1M : GOTO 390
380 SP1(I) = 0
390 IF S2(I) >= 0 THEN GOTO 420
400 IF ABS(S2(I)) <= V2M - V2(I-1) THEN GOTO 420
410 SP2(I) = V2(I-1) - S2(I) - V2M : S2(I) = V2(I-1) - V2M : GOTO 440
420 SP2(I) = 0
430 IF SP1(I) = 0 AND SP2(I) = 0 THEN GOTO 450
440 IF YT = Z THEN GOTO 479
450 V1(I) = V1(I-1) - S1(I) : V2(I) = V2(I-1) - S2(I)
460 PRINT TAB(1); I; TAB(5); X1(I); TAB(13); X2(I); TAB(21); Y(I); TAB(28); V1(I); TAB
; V2(I); TAB(44); S1(I); TAB(52); S2(I); TAB(60); SP1(I); TAB(68); SP2(I)
461 LPRINT TAB(1); I; TAB(5); X1(I); TAB(13); X2(I); TAB(21); Y(I); TAB(28); V1(I); TAB
); V2(I); TAB(44); S1(I); TAB(52); S2(I); TAB(60); SP1(I); TAB(68); SP2(I)
462 SP(Z) = SP(Z) + SP1(I) + SP2(I)
470 NEXT I
472 IF K >= SP(Z) THEN K = SP(Z) : OPT = Z
473 PRINT "taper sur la barre d'espace pour continuer"
474 IF INKEY$ <> " " THEN 474 : PRINT
476 NEXT Z
477 CLS
478 GOTO 520
479 IF Z = M THEN GOTO 450
480 IF SP1(I) >= SP2(I) THEN YT = Z + SP1(I) : GOTO 500
490 YT = Z + SP2(I)
500 IF YT <= M THEN GOTO 260
510 YT = M : GOTO 260
514 LPRINT : LPRINT
520 LOCATE 1, 1 : PRINT TAB(10); "YMOY"; TAB(20); "SP"
522 LOCATE 1, 1 : LPRINT TAB(10); "YMOY"; TAB(20); "SP"
524 PRINT "-----"
526 LPRINT "-----"
530 FOR Z = 0 TO M
540 PRINT TAB(10); Z; TAB(20); SP(Z)
545 LPRINT TAB(10); Z; TAB(20); SP(Z)
550 NEXT Z
560 PRINT : PRINT : PRINT TAB(10); "VAL. MOY. = "OPT"" ; TAB(30); "SP("OPT") = "K"
565 LPRINT : LPRINT : LPRINT TAB(10); "VAL. MOY. = "OPT"" ; TAB(30); "SP("OPT") = "K

```

5. Programme n° 4 : Influence du volume max. sur le surplus

```
5 LPRINT "PROGRAMME DE MINIMISATION DU SURPLUS"; "COPYRIGHT -BMT & MS- 1985"
7 LPRINT "INFLUENCE DU VOLUME MAXIMALE SUR LE SURPLUS"
10 KEY OFF : CLS : CLEAR : RESET
20 DEFINT I , N
30 PRINT "ENTRER LE NOMBRE DE CAS";
35 LPRINT "ENTRER LE NOMBRE DE CAS";
40 INPUT N
50 PRINT N
55 LPRINT N
60 DIM X1(N), X2(N), Y(N), V1(N), V2(N), D1(N), D2(N), S1(N), S2(N), SP1(N), SP2(N)
70 PRINT "ENTRER LE VOLUME MAXIMALE V1M"
75 LPRINT "ENTRER LE VOLUME MAXIMALE V1M"
80 INPUT V1M
90 PRINT V1M
93 LPRINT V1M
94 DEFINT Z , M
100 PRINT "VALEUR SATURATION M"
102 LPRINT "VALEUR SATURATION M"
110 INPUT M
120 PRINT M
125 LPRINT M
130 PRINT "VOLUME INITIALE V1(0)"
135 LPRINT "VOLUME INITIALE V1(0)"
140 INPUT V1(0)
150 PRINT V1(0)
155 LPRINT V1(0)
160 PRINT "VOLUME INITIALE V2(0)"
165 LPRINT "VOLUME INITIALE V2(0)"
170 INPUT V2(0)
180 PRINT V2(0)
185 LPRINT V2(0)
190 PRINT "VOLUME MAXIMALE V2M"
195 LPRINT "VOLUME MAXIMALE V2M"
200 INPUT V2M
210 PRINT V2M
211 LPRINT V2M
212 V1=V1M: V2=V2M
214 U=V1M: V=V2M
216 DIM SP(U, V)
220 RANDOMIZE TIMER
231 FOR I=1 TO N
232 X1(I)=INT( M*RND(1)): X2(I)=INT( M*RND(1))
233 NEXT I
234 K=99999999#: OPT=0
236 U=V1M: V=V2M
237 SP(U, V) = 0
238 PRINT : LOCATE 25, 1: PRINT "NO"; TAB(5); "X1"; TAB(13); "X2"; TAB(21); "Y"; TAB(28)
1"; TAB(36); "V2"; TAB(44); "S1"; TAB(52); "S2"; TAB(60); "SP1"; TAB(68); "SP2"
239 PRINT : PRINT "V1M="; V1M; "V2M="; V2M; TAB(40); "V1(0)="; V1(0); "V2(0)"; V2(0)
240 LPRINT : LPRINT "V1M="; V1M; "V2M="; V2M; TAB(40); "V1(0)="; V1(0); "V2(0)"; V2(0)
241 LPRINT : LOCATE 25, 1: LPRINT "NO"; TAB(5); "X1"; TAB(13); "X2"; TAB(21); "Y"; TAB(28)
"V1"; TAB(36); "V2"; TAB(44); "S1"; TAB(52); "S2"; TAB(60); "SP1"; TAB(68); "SP2"
247 FOR I=1 TO N
252 YT=M
260 S1(I)=YT-X1(I)
270 IF S1(I)>V1(I-1) THEN S1(I)=V1(I-1)
```

```

270 IF S1(I)>V1(I-1) THEN S1(I)=V1(I-1)
290 S2(I)=YT-X2(I)
300 IF S2(I)>V2(I-1) THEN S2(I)=V2(I-1)
320 D1(I)=X1(I)+S1(I) : D2(I)=X2(I)+S2(I)
330 IF D2(I)<=D1(I) THEN Y(I)=D2(I):S1(I)=D2(I)-X1(I) :GOTO 350
340 Y(I)=D1(I) : S2(I)=D1(I)-X2(I)
350 IF 0<=S1(I) THEN GOTO 380
360 IF ABS(S1(I))<=V1M-V1(I-1) THEN GOTO 380
370 SP1(I)=V1(I-1)-S1(I)-V1M : S1(I)=V1(I-1)-V1M : GOTO 390
380 SP1(I)=0
390 IF S2(I)>=0 THEN GOTO 420
400 IF ABS(S2(I))<=V2M-V2(I-1) THEN GOTO 420
410 SP2(I)=V2(I-1)-S2(I)-V2M : S2(I)=V2(I-1)-V2M :GOTO 450
420 SP2(I)=0
450 V1(I)=V1(I-1)-S1(I) : V2(I)=V2(I-1)-S2(I)
460 PRINT TAB(1);I;TAB(5);X1(I);TAB(13);X2(I);TAB(21);Y(I);TAB(28);V1(I);TA
;V2(I);TAB(44);S1(I);TAB(52);S2(I);TAB(60);SP1(I);TAB(68);SP2(I)
461 LPRINT TAB(1);I;TAB(5);X1(I);TAB(13);X2(I);TAB(21);Y(I);TAB(28);V1(I);T
);V2(I);TAB(44);S1(I);TAB(52);S2(I);TAB(60);SP1(I);TAB(68);SP2(I)
462 SP(U ,V )=SP(U ,V )+SP1(I)+SP2(I)
470 NEXT I
473 PRINT "taper sur la barre d'espace pour continuer"
474 IF INKEY$<>" " THEN 474:PRINT
477 CLS
526 LPRINT "-----"
565 V1M =V1M -2 :V2M=V2M-2:V1(0)=V1(0)-2:V2(0)=V2(0)-2
570 IF V1M>5 AND V2M>5 THEN GOTO 234
580 U=V1 : V=V2
590 PRINT :PRINT :PRINT TAB(5);"V1M";TAB(15);"V2M";TAB(25);"SP"
595 LPRINT :LPRINT :LPRINT TAB(5);"V1M";TAB(15);"V2M";TAB(25);"SP"
600 PRINT "-----"
605 LPRINT "-----"
610 PRINT TAB(5);U;TAB(15);V;TAB(25);SP(U,V);
615 LPRINT TAB(5);U;TAB(15);V;TAB(25);SP(U,V);
620 U=U-2:V=V-2
630 IF U>5 AND V>5 THEN GOTO 610
632 LPRINT :LPRINT
635 LPRINT "PROGRAMME DE MINIMISATION DU SURPLUS";"COPYRIGHT -BMT & MS- 198
637 LPRINT "INFLUENCE DU VOLUME MAXIMALE SUR LE SURPLUS"

```

6. Programme n° 5 : Matrice des distances (courbes)

```
5 LPRINT "PROGRAMME DE TRACE DE COURBE DES INTEGRALES"  
10 KEY OFF:CLS:RESET:CLEAR  
20 INPUT "ENTRER LE NOMBRE DE CAS ";N  
30 DIM X1(N),X2(N),X3(N),X11(N),X12(N),X13(N),X21(N),X22(N),X23(N)  
40 DIM X31(N),X32(N),X33(N),D(3,3),X(N),V(N)  
50 FOR I=1 TO N  
60 X1(I)=RND*100:X2(I)=RND*100:X3(I)=RND*100  
70 X11(I)=(X1(I)-X1(I)):X12(I)=(X1(I)-X2(I)):X13(I)=(X1(I)-X3(I))  
80 X21(I)=X2(I)-X1(I):X22(I)=0:X23(I)=X2(I)-X3(I)  
90 X31(I)=X3(I)-X1(I):X32(I)=X3(I)-X2(I):X33(I)=X3(I)-X3(I)  
100 PRINT I,X1(I),X2(I),X3(I)  
105 LPRINT I,X1(I),X2(I),X3(I)  
110 NEXT I  
120 CLS:PRINT  
125 LPRINT:LPRINT  
130 LOCATE 1,1:PRINT TAB(35);"X1 ":Z#="_":ZI#=STRING$(76,Z#):PRINT ZI#  
135 LOCATE 1,1:LPRINT TAB(35);"X1 ":Z#="_":ZI#=STRING$(76,Z#):LPRINT ZI#  
140 FOR I=1 TO N  
150 R#=CHR$(219):RI#=STRING$(X1(I)/5,R#)  
160 PRINT I;TAB(6);CHR$(179);RI#;TAB(57);"X1(";I;")=";X1(I)  
165 LPRINT I;TAB(6);CHR$(179);RI#;TAB(57);"X1(";I;")=";X1(I)  
170 NEXT I  
180 PRINT:PRINT  
185 LPRINT:LPRINT  
190 PRINT "press la barre d'espace pour continuer"  
200 IF INKEY#<>" " THEN 200  
210 CLS  
220 LOCATE 1,1:PRINT TAB(35);"X2 ":Z#="_":ZI#=STRING$(76,Z#):PRINT ZI#  
225 LOCATE 1,1:LPRINT TAB(35);"X2 ":Z#="_":ZI#=STRING$(76,Z#):LPRINT ZI#  
230 FOR I=1 TO N  
240 R#=CHR$(219):RI#=STRING$(X2(I)/5,R#)  
250 PRINT I;TAB(6);CHR$(179);RI#;TAB(57);"X2(";I;")=";X2(I)  
255 LPRINT I;TAB(6);CHR$(179);RI#;TAB(57);"X2(";I;")=";X2(I)  
260 NEXT I  
270 PRINT "press la barre d'espace pour continuer"  
280 IF INKEY#<>" " THEN 280  
290 CLS  
300 LOCATE 1,1:PRINT TAB(35);"X3 ":Z#="_":ZI#=STRING$(76,Z#):PRINT ZI#  
305 LOCATE 1,1:LPRINT TAB(35);"X3 ":Z#="_":ZI#=STRING$(76,Z#):LPRINT ZI#  
310 FOR I=1 TO N  
320 R#=CHR$(219):RI#=STRING$(X3(I)/5,R#)  
330 PRINT I;TAB(6);CHR$(179);RI#;TAB(57);"X3(";I;")=";X3(I)  
335 LPRINT I;TAB(6);CHR$(179);RI#;TAB(57);"X3(";I;")=";X3(I)  
340 NEXT I  
350 PRINT "press la barre d'espace pour continuer"  
360 IF INKEY#<>" " THEN 360  
370 CLS:LOCATE 1,1:PRINT TAB(35);"X12":Z#="_":ZI#=STRING$(76,Z#):PRINT ZI#  
375 LOCATE 1,1:LPRINT TAB(35);"X12":Z#="_":ZI#=STRING$(76,Z#):LPRINT ZI#  
380 FOR I=1 TO N  
390 R#=CHR$(219):RI#=STRING$(ABS(X12(I)/5),R#)  
400 IF X12(I)<0 THEN PRINT I;TAB(35+(X12(I)/5));RI#;CHR$(179);TAB(57);"X12(")  
405 IF X12(I)<0 THEN LPRINT I;TAB(35+(X12(I)/5));RI#;CHR$(179);TAB(57);"X12"  
410 IF X12(I)>=0 THEN PRINT I;TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB(57);"X12(";I;")=";X12(I)  
415 IF X12(I)>=0 THEN LPRINT I;TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB(57);"X12(";I;")=";X12(I)  
420 NEXT I  
430 PRINT "press la barre d'espace pour continuer"  
440 IF INKEY#<>" " THEN 440
```

```

420 NEXT I
430 PRINT "press la barre d'espace pour continuer"
440 IF INKEY$<>" " THEN 440
450 CLS:LOCATE 1,1:PRINT TAB(35);"X13":Z$="_":ZI$=STRING$(75,Z$):PRINT ZI$
455 LOCATE 1,1:LPRINT TAB(35);"X13":Z$="_":ZI$=STRING$(76,Z$):LPRINT
460 FOR I=1 TO N
470 R$=CHR$(219):RI$=STRING$(ABS(X13(I)/5),R$)
480 IF X13(I)>=0 THEN PRINT I;TAB(35);CHR$(179);RI$ ;TAB(57);"X13(";I;")="
485 IF X13(I)>=0 THEN LPRINT I;TAB(35);CHR$(179);RI$ ;TAB(57);"X13(";I;")="
490 IF X13(I)<0 THEN PRINT I;TAB(35+(X13(I)/5));RI$ ;CHR$(179);TAB(57);"X13(");I;")=";X13(I)
495 IF X13(I)<0 THEN LPRINT I;TAB(35+(X13(I)/5));RI$ ;CHR$(179);TAB(57);"X13(");I;")=";X13(I)
500 NEXT I
510 PRINT "press la barre d'espace pour continuer"
520 IF INKEY$<>" " THEN 520
530 CLS:LOCATE 1,1:PRINT TAB(35);"X23":Z$="_":ZI$=STRING$(76,Z$):PRINT ZI$
535 LOCATE 1,1:LPRINT TAB(35);"X23":Z$="_":ZI$=STRING$(76,Z$):LPRINT
540 FOR I=1 TO N
550 R$=CHR$(219):RI$=STRING$(ABS(X23(I)/5),R$)
560 IF X23(I)>=0 THEN PRINT I;TAB(35);CHR$(179);RI$ ;TAB(57);"X23(";I;")="
565 IF X23(I)>=0 THEN LPRINT I;TAB(35);CHR$(179);RI$ ;TAB(57);"X23(";I;")="
570 IF X23(I)<0 THEN PRINT I;TAB(35+(X23(I)/5));RI$ ;CHR$(179);TAB(57);"X23(");I;")=";X23(I)
575 IF X23(I)<0 THEN LPRINT I;TAB(35+(X23(I)/5));RI$ ;CHR$(179);TAB(57);"X23(");I;")=";X23(I)
580 NEXT I
600 GOTO 680
610 S=0 : V(0)=S : MAX=-9999 : MIN=9999 : K=0
620 M=ABS(X(1))
630 FOR J=1 TO N
640 S=S+X(J) : K=K+1 : V(K)=S : IF S > MAX THEN MAX=S : IF S < MIN THEN MIN=S
650 IF ABS(S) > M THEN M=ABS(S)
660 NEXT J
662 PRINT "GRAPHE " ;T$;" MIN=";MIN;" MAX=";MAX
665 LPRINT "GRAPHE " ;T$;" MIN=";MIN;" MAX=";MAX
670 RETURN
680 D(1,1)=0 : D(2,2)=0 : D(3,3)=0
690 FOR I =1 TO N
700 X(I)=X12(I)
710 NEXT I
720 GOSUB 610
730 D(1,2)=M
740 D(2,1)=M
742 T$="X1-X2"
746 GOSUB 1430
750 FOR I = 1 TO N
760 X(I)=X13(I)
770 NEXT I
780 GOSUB 610
790 D(1,3)=M
800 D(3,1)=M
802 T$="X1-X3"
804 GOSUB 1430
810 FOR I = 1 TO N
820 X(I)=X23(I)
830 NEXT I
840 GOSUB 610
850 D(2,3)=M

```

```

830 NEXT I
840 GOSUB 610
850 D(2,3)=M
860 D(3,2)=M
862 T$="X2-X3"
864 GOSUB 1430
1430 P=N
1480 DEF FNX(X)=59 + X*568/P
1490 DEF FNY(Y)=172 - (Y-MIN)*128/(MAX-MIN)
1500 SCREEN 2 : KEY OFF : CLS
1502 L=FNY(MIN)
1510 LOCATE 3,1 : PRINT TAB(20) "GRAPHE DE L'INTEGRALE DE "; T$
1515 LOCATE 3,1 : LPRINT TAB(20) "GRAPHE DE L'INTEGRALE DE "; T$
1530 REM TRACAGE DES AXES DE COORDONNEES
1540 LINE(59,31)-(54,41):LINE(64,41)-(59,31):LINE-(59,172)
1550 LINE(59,L)-(624,L):LINE-(614,L-5):LINE(614,L+5)-(624,L)
1560 LOCATE 24,1
1570 PRINT TAB(72) "PERIODE"
1575 LPRINT TAB(72) "PERIODE"
1580 FOR I = 59 TO 611 STEP 40
1590 LINE(I,L)-(I,L+4)
1600 NEXT I
1610 FOR I = 172 TO 52 STEP -16
1620 LINE(55,I)-(59,I)
1630 NEXT I
1640 BY=MIN : PX=39*P/552 : PY=15*(MAX-MIN)/120
1650 FOR I = 22 TO 6 STEP -2
1660 LOCATE 1,3
1670 PRINT USING "###.#"; BY
1680 BY=BY+PY
1690 NEXT I
1700 LOCATE 23,5
1710 FOR I = 59 TO 539 STEP 40
1720 BX=(I-59)*P/568
1730 PRINT USING "###.#"; BX;
1740 NEXT I
1750 C=FNY(V(0)) : L=FNX(0)
1760 LINE(L,C)-(L,C)
1770 REM TRACAGE DE LA COURBE
1780 FOR I = 1 TO P
1790 C=FNY(V(I))
1800 L=FNX(I)
1810 LINE-(L,C)
1820 REM IF N$="E" THEN LINE-(FNX(I-1),C):LINE-(L,C)
1830 NEXT I
1831 W$=INKEY$: IF W$="" THEN 1831
1832 IF T$="X2-X3" GOTO 1850
1840 RETURN
1850 END

```

7. Programme n° 6 : Matrice des distances

```
5 PRINT "PROGRAMME -MATRICE DES DISTANCES- POUR N ENTREES "; "COPYRIGHT
& MS- "
7 LPRINT "PROGRAMME -MATRICE DES DISTANCES- POUR N ENTREES "; "COPYRIGHT
& MS- "
10 KEY OFF;CLS: CLEAR: RESET
20 DEFINT I,N
24 DEFINT J,N
30 PRINT "DONNER LE NOMBRE D'ENTREES"
35 LPRINT "DONNER LE NOMBRE D'ENTREES"
40 INPUT N
50 PRINT N
55 LPRINT N
70 DEFINT K,L
80 PRINT "DONNER LE NOMBRE DE CAS"
85 LPRINT "DONNER LE NOMBRE DE CAS"
90 INPUT L
100 PRINT L
102 LPRINT L
104 DIM X(N,L),D(N-1,N,L),Y(N-1,N,L),YM(N,N),V(N)
110 PRINT "DONNER LA VALEUR DE SATURATION"
115 LPRINT "DONNER LA VALEUR DE SATURATION"
120 INPUT S
130 PRINT S
135 LPRINT S
140 RANDOMIZE TIMER
150 FOR I=1 TO N
160 FOR K=1 TO L
170 X(I,K) =INT(S *RND(1))
180 NEXT K
190 NEXT I
200 FOR I=1 TO N-1
210 FOR J=I+1 TO N
220 Y(I,J,0)= 0 : YM(I,J)=0
230 NEXT J
240 V(I)=0
250 NEXT I
260 FOR K=1 TO L
270 FOR I=1 TO N-1
280 FOR J=I+1 TO N
290 D(I,J,K)=X(I,K)-X(J,K)
294 Y(I,J,K)=Y(I,J,K-1)+D(I,J,K)
300 IF YM(I,J)<ABS(Y(I,J,K)) THEN YM(I,J)=ABS(Y(I,J,K))
310 NEXT J
320 NEXT I
330 NEXT K
334 VM=10000000#
336 CLS
340 FOR I=1 TO N
350 FOR J= 1 TO N
360 IF I=J THEN YM(I,J)=0 : GOTO 380
370 IF I<J THEN GOTO 380
374 YM(I,J)=YM(J,I)
380 PRINT TAB(J*5);YM(I,J) ;
385 LPRINT TAB(J*5);YM(I,J) ;
390 V(I)=V(I)+YM(I,J)
400 NEXT J
```

```

404 PRINT
405 LPRINT
406 PRINT
408 LPRINT
410 IF VM>=V(I) THEN VM=V(I);R=I
420 NEXT I
424 PRINT "-----"
426 LPRINT "-----"
430 FOR I=1 TO N
450 PRINT TAB(I*5);V(I);
455 LPRINT TAB(I*5);V(I);
460 NEXT I
464 PRINT
465 LPRINT
466 PRINT
468 LPRINT
470 PRINT "VOLUME OPTIMAL VM ="VM" ";TAB(35);"R ="R""
473 LPRINT "VOLUME OPTIMAL VM ="VM" ";TAB(35);"R ="R""
475 PRINT :PRINT
477 LPRINT :LPRINT
480 FOR I=1 TO N
485 PRINT TAB(I*5);YM(I,R);
487 LPRINT TAB(I*5);YM(I,R);
490 NEXT I
580 CLS:PRINT
585 LPRINT :LPRINT
590 FOR I=1 TO N
600 LOCATE 1,1:PRINT TAB(35);"X"I":Z#="_":ZI#=STRING$(76,Z#):PRINT ZI#
602 LOCATE 1,1:LPRINT TAB(35);"X"I":Z#="_":ZI#=STRING$(76,Z#):LPRINT ZI#
610 FOR K=1 TO L
620 R#=CHR$(219):RI#=STRING$(X(I,K),R#)
630 PRINT K;TAB(6);CHR$(179);RI# ;TAB(57);"X "I"(";K;")="";X(I,K)
635 LPRINT K;TAB(6);CHR$(179);RI# ;TAB(57);"X "I"(";K;")="";X(I,K)
640 NEXT K
650 PRINT :PRINT
655 LPRINT :LPRINT
660 PRINT "press la barre d'espace pour continuer"
670 IF INKEY$<>" " THEN 670
674 CLS
680 NEXT I
680 CLS
700 FOR I=1 TO N-1
710 FOR J=I+1 TO N
720 FOR K=1 TO L
730 R#=CHR$(219):RI#=STRING$(ABS(D(I,J,K)),R#)
740 IF D(I,J,K)<0 THEN PRINT K;TAB(35+(D(I,J,K)));RI#;CHR$(179);TAB(57);"I
J"(";K;")="";D(I,J,K)
745 IF D(I,J,K)<0 THEN LPRINT K;TAB(35+(D(I,J,K)));RI#;CHR$(179);TAB(57);"
J"(";K;")="";D(I,J,K)
750 IF D(I,J,K)>=0 THEN PRINT K;TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB(57);"D"I""J"(";K;
D(I,J,K)
755 IF D(I,J,K)>=0 THEN LPRINT K;TAB(35);CHR$(179);RI#;TAB(57);"D"I""J"(";K;
;D(I,J,K)
760 NEXT K
770 PRINT "press la barre d'espace pour continuer"
780 IF INKEY$<>" " THEN 780
785 LPRINT :LPRINT
790 NEXT J
800 NEXT I

```

BIBLIOGRAPHIE

Technique de l'ingénieur :

H1: 340 Notion de système . Par M.FELEGRIN et J.CHINAL

H3:8200 Controle de production . Par J.FAUCONNIER

H3:8340 Controle-Commande industriel . Par J.LEVY

Commande des systemes multidimensionnels .Par A.FOSSARD

Technique de l'ingénieur :

Fichiers techniques de la production .Par J.Y.GOURET

Static multivel systems .Par J.D.SCHOEFFLER

Dynamic décomposition techniques .Par J.D.PEARSON

Distributed multilevel systems .Par D.A.WISMER

Introduction to BASIC programming . . . HEWLETT PACKARD

Informatique computer science.Par E.DIDAY et G.GOVAERT . RAIRO

La gestion de production assistée par ordinateur.Par G.DOUMEINGTS et
D.BREUIL et L.PUM . ED.HERMES

Probabilités .Par B.VAUQUOIS . ED. Collection methodes

Statistiques et . . . probabilités.Par P.PACE et R.CLUZEL

Probabilités, statistiques et sondages .PAR G.PUZION et
M.REPUSSARD . ED. VUIBERT

RESUME

Dans cette étude nous proposons une méthode d'analyse et de contrôle optimal d'un grand système multidimensionnel .

Ce travail a été traité par des méthodes de modélisation et de simulation sur ordinateur .

La méthode développée est illustrée par une application industrielle : le contrôle de production d'une unité de montage d'un système électronique .