

3/1/89

جمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

24

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: GENIE INDUSTRIEL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

MISE EN OEUVRE D'UNE PROCEDURE DE PREVISION
DE LA CONSOMMATION DU MATERIEL STRATEGIQUE

DIRECTION DES APPROVISIONNEMENTS DE SONELGAZ

PROPOSE PAR :

SONELGAZ

ETUDIE PAR :

M^r L. CHELGHOU

M^r M. MENOVAR

DIRIGE PAR :

M^r K. HADRI

M^{me} M. BENYELLOUL

PROMOTION/ -- JUIN 1989 --

DEDICACES

A la mémoire de mon père.

A ma mère.

A toute ma famille.

A tous mes amis.

Je dédie ce mémoire.

CHELGHOUIM Lounès.

A ma mère.

A mes frères et à mes sœurs.

A mes neveux et à mes nièces.

A tous mes amis.

Je dédie ce mémoire.

MENOUAR Mourad.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à rendre hommage à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation. Nous reconnaissons vivement les efforts qu'ils ont déployés afin de nous assurer un meilleur enseignement.

Nous adressons nos vifs remerciements à :

Mr S.AMARA directeur de la Direction des Approvisionnements de SONELGAZ, de nous avoir accepté et confié le travail objet de ce mémoire.

Mr K.HADRI enseignant au département Génie Industriel de l'Ecole Nationale Polytechnique et Mme M.BENYELLOUL ingénieur d'étude à la Direction des Approvisionnements de SONELGAZ pour avoir accepté la supervision et le suivi de notre travail, pour l'aide précieuse qu'ils nous ont accordée, et pour les conseils qu'ils nous ont prodigués.

Mr H.BENALI analyste à la Direction des Approvisionnements pour son entière disponibilité.

Que l'ensemble du personnel de la Direction des Approvisionnements trouve ici l'expression de nos vifs remerciements. Leur esprit amical et leur coopération ont rendu notre séjour agréable et notre travail aisé.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à tous ceux qui, de près ou de loin, ont collaboré à l'élaboration de ce mémoire.

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : GENIE INDUSTRIEL

Promoteur : Mr. K. HADRI

Mme M. BENYELLOUL

Elève Ingénieur : CHELGHOU M LOUNES

MENOUAR MOURAD.

وزارة التعليم العالي

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

المصنحة : الهندسة الصناعية

الموجه : - حادري

- بن يلول

شلفوم لوناير

منور مراد

المدينة الوطنية المتعدد التقنيات

المكتبة - BIBLIOTHEQUE

Ecole Nationale Polytechnique

الموضوع : تهيئة طريقة تقدير لحاجيات الشركة الوطنية للكهرباء
والغاز من العتاد .

الملخص : دراستنا هذه تستهدف استعمال الاعلام الآلي لتهيئة طريقة
تقدير لحاجيات الشركة الوطنية للكهرباء والغاز من العتاد ،
وذلك بغية التوصل الى تمويل أحسن .
من بين جميع نماذج التقدير المناسبة ، تختار هذه الطريقة
لكل مخزن عام ولكل نوع من العتاد ، النموذج الأمثل ثم
تستعمله لتقدير الاحتياجات للسنتين المقبلتين .

SUJET : Mise en oeuvre d'une procédure de prévision de la consommation de matériel stratégique à SONEGAS.

RESUME : Nous avons développé une procédure informatisée de prévision qui sera utilisée à la Direction des Approvisionnements de la Société Nationale d'Electricité et du Gaz pour la prévision des besoins en matériels.

Pour chaque Magasin Général, et pour chaque article cette procédure cherche la technique du lissage qui modélise au mieux l'historique des sorties. Puis, elle établit la prévision pour les deux années futures.

SUBJECT : Development of a forecasting procedure for determining the demand of the equipments for SONEGAS.

SUBSTRACT : A computerised procedure for determining good estimates of the demand of the equipments for the gaz and electricity national company is developed.

In each general warehouse and for each item this procedure selects the most appropriate smoothing model and then determines the forecast values for the next two years.

SOMMAIRE

	<i>Page</i>
INTRODUCTION	01
CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL ET EXPOSE DU PROBLEME.	02
I- PRESENTATION DE SONELGAZ.	02
II- PRESENTATION DE LA DIRECTION DES APPROVISIONNEMENTS.	02
A/ DIVISION ACHAT.	03
B/ DIVISION MAGASINS GENERAUX ET TRANSIT.	03
C/ DIVISION GESTION ET SUIVI DU SYSTEME.	03
III- EVALUATION ET DIAGNOSTIC DES METHODES DE PREVISION UTILISEES.	07
VI- FORMULATION DU PROBLEME.	08
CHAPITRE II : LES METHODES DE PREVISION ET LES CRITERES DE CHOIX.	10
I- LA PREVISION.	10
II- CLASSIFICATION DES METHODES DE PREVISION.	11
III- LES CRITERES DE CHOIX D'UNE METHODE DE PREVISION.	13
IV- SELECTION DES METHODES LES MIEUX ADAPTEES A LA SITUATION DE SONELGAZ.	15
CHAPITRE III: LES METHODES DE PREVISION PAR LA TECHNIQUE DE LISSAGE.	18
I- LA METHODE DES MOYENNES MOBILES SIMPLES.	19
II- LA METHODE DU LISSAGE EXPONENTIEL SIMPLE.	20
III- LA METHODE DES MOYENNES MOBILES DOUBLES.	24
IV- LA METHODE DU LISSAGE EXPONENTIEL DOUBLE.	26
V- LA METHODE DE HOLT & WINTERS.	28
VI- LA METHODE DU FILTRAGE ADAPTATIF.	29

CHAPITRE IV : PROCEDURE D'ADAPTATION D'UN MODELE OPTIMAL.	33
I- COLLECTE DES DONNEES.	33
II- AJUSTEMENT DES DONNEES.	34
III- ADAPTATION D'UN MODELE OPTIMAL.	37
A/ PROGRAMME DE RECHERCHE DU MODELE OPTIMAL.	39
B/ PROGRAMME DE LA PREVISION.	40
C/ PROGRAMME DE LA SAISIE.	40
D/ PROGRAMME PRINCIPAL.	41
E/ LE LOGICIEL DBASE III PLUS.	41
F/ APPLICATION.	41
 CONCLUSION	 45
 BIBLIOGRAPHIE	
 ANNEXES	

INTRODUCTION

Depuis quelques années, il est accordé une attention de plus en plus importante à l'amélioration de la prise de décision. L'un des aspects de cette amélioration consiste à distinguer et à circonscrire les différents éléments qui composent le processus de prise de décision pour pouvoir les maîtriser individuellement et globalement.

La prévision était alors identifiée comme étant l'un des éléments clés de ce processus. De ce fait, il s'est avéré nécessaire d'intégrer des procédures formalisées de prévision à la prise de décision.

Pour répondre à une telle nécessité, plusieurs méthodes de prévision ont été développées. Le manager est convié à choisir celle qui est la plus appropriée à son objet et la plus proportionnée à ses informations et à ses moyens de calcul. Un tel choix exige la connaissance des caractéristiques fondamentales de chacune de ces méthodes.

Le recours à la prévision se manifeste dans différentes activités, entre autres dans la gestion des approvisionnements. En effet, pour éviter les pénuries et les surstockages, et par suite les surcoûts qu'ils engendrent, il est indispensable de faire une bonne prévision des besoins.

Pour la réalisation de ses travaux d'exploitation, d'équipement et de maintenance, la société nationale d'électricité et du gaz (SONELGAZ) utilise environ 1200 articles. Pour optimiser l'approvisionnement en ce matériel, la Direction des Approvisionnements ressent la nécessité d'améliorer la prévision des besoins.

Dans cet objectif, elle nous a confié le présent travail qui consiste à développer une procédure permettant d'établir les prévisions de consommation du matériel.

CHAPITRE I

PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL ET EXPOSE DU PROBLEME

I- PRESENTATION DE LA SONELGAZ :

SONELGAZ, Société Nationale de l'Electricité et du GAZ a été créée par l'ordonnance 69-59 du 28 juillet 1969, prenant la suite de l'établissement public EGA (Electricité et Gaz d'Algerie) lui même créé en 1948 à l'issue de la nationalisation de l'électricité et du gaz.

C'est une entreprise à caractère économique, sous tutelle du Ministère de l'Energie et des Industries Chimiques et Pétrochimiques.

SONELGAZ détient le monopole pour :

- La production et le transport de l'électricité.
- Le transport du gaz par canalisations secondaires pour la consommation nationale.
- La distribution de l'électricité et du gaz naturel sur l'ensemble du territoire national.

De part ces attributions, SONELGAZ est une société qui occupe une place stratégique dans l'économie Algérienne.

Pour accomplir sa mission, SONELGAZ s'est dotée de la structure présentée en annexe I.

II- PRESENTATION DE LA DIRECTION DES APPROVISIONNEMENTS (XK) :

La fonction approvisionnement regroupe l'ensemble des opérations destinées à satisfaire dans les meilleures conditions possibles de qualité, de prix, et de délais, les besoins en matériel nécessaires à la réalisation des travaux d'équipement, d'exploitation, et de maintenance .

Cette fonction est assurée par la Direction des Approvisionnements.

Pour remplir sa mission, la Direction des Approvisionnements dispose de trois divisions centrales (voir annexe II) :

1°/ Division ACHAT.

2°/ Division MAGASINS GENERAUX et TRANSIT.

3°/ Division GESTION et SUIVI DU SYSTEME.

A/ DIVISION ACHAT (XK/A)

La division achat est chargée de l'achat de matériel prévu par les ordres de commande émis par la division suivi et gestion.

Elle s'occupe de toutes les procédures allant de la réception d'un ordre de commande jusqu'à son exécution totale.

B/ DIVISION MAGASINS GENERAUX ET TRANSIT (XK/MT) :

La division magasins généraux est chargée de la gestion et du contrôle des infra-structures de stockage.

Elle s'occupe également des procédures de dédouanement, et du transport du matériel acheté.

C/ DIVISION GESTION ET SUIVI DU SYSTEME (XK/S) :

Ses principales fonctions consistent en :

- La prévision des consommations et des besoins.
- La gestion et la régulation des stocks.
- Le suivi du système de gestion des stocks.
- La gestion de la nomenclature.

Trois subdivisions se partagent ces fonctions. Il s'agit de :

- La subdivision nomenclature.
- La subdivision gestion des stocks (suivi).
- La subdivision gestion.

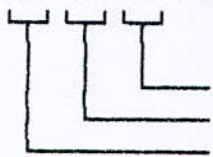
1°/ Subdivision nomenclature :

Pour identifier sans ambiguïté ni équivoque les différents articles qu'elle gère, la Direction des Approvisionnements a établi une nomenclature. Celle-ci consiste en l'identification de chaque article par un code appelé "numéro de nomenclature", formé de 7 chiffres, et dans lesquels :

- les deux premiers chiffres indiquent le groupe.
- le troisième chiffre le sous groupe.
- le quatrième chiffre la famille.
- les trois derniers chiffres permettent de distinguer les articles d'une même famille.

Exemple :

68 0 1 405 : boulon hexagonal HB 6/20 (diamètre 6 longueur fileté 20)



 famille
 sous groupe
 groupe

En plus de ce numéro de nomenclature, chaque article est caractérisé par un indice de préstandardisation (IP) se rapportant à la régularité de son approvisionnement.

La nomenclature est un facteur de normalisation. En effet, elle facilite les relations entre les hommes et les services, et elle est sensée constituer un langage commun aux magasiniers, utilisateurs, acheteurs, comptables,...

2°/ Subdivision gestion des stocks (suivi) :

Ce service a pour mission de suivre, de contrôler, et de mettre à jour le niveau des mouvements de matériel de tous les magasins.

3°/ Subdivision gestion :

Cette subdivision a pour charge deux tâches fondamentales :

a/ La gestion et la régulation des stocks :

cette tâche consiste à contrôler régulièrement le niveau des stocks de chaque article. En cas de rupture prévisionnelle des stocks, plusieurs actions éventuelles sont à entreprendre :

- . Transferer du matériel d'un magasin à un autre.
- . Activer les opérations d'achat et de reception.
- . Lancer un ordre de commande complémentaire.

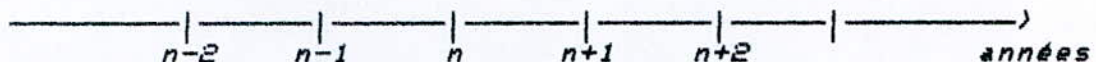
b/ La prévision de la consommation :

L'ensemble des articles est réparti en deux groupes distincts. Pour chacun d'eux, une méthode de prévision spécifique est utilisée.

Matériel stratégique :

Il est caractérisé par un important taux de rotation des stocks (matériel à consommation régulière). Sa prévision se fait pour deux années, c'est à dire qu'à la fin de l'année n (environ mois Octobre), les prévisions sont faites pour les années n+1 et n+2.

La Direction des Approvisionnements a opté pour un modèle à période fixe, quantité variable. Les prévisions se font par article selon le modèle suivant:



- On calcule la consommation moyenne (C_m) des trois dernières années (n-2, n-1, n) :

$$C_m = \frac{1}{3} \sum_{i=0}^2 C(n-i)$$

- A cette consommation moyenne, on ajoute 10% comme ajustement de l'année n (on part du principe que la consommation ne peut qu'augmenter).

- Pour avoir la prévision de l'année n+1, on doit ajouter encore 10% de C_m . On aura ainsi la prévision pour l'année n+1:

$$P = C_m + 10\%C_m + 10\%C_m = C_m \times 1,20$$

- La direction des approvisionnements se fixe un stock de sécurité de 4 mois soit un tiers de la prévision P.

- La quantité à commander est alors:

$$OC = P + 33\%P - (\text{stock} + \text{attendus}) + \frac{\text{sortie} \times (12 - \text{mois})}{\text{mois}}$$

Avec:

mois : Mois où est faite la prévision.

sortie : Cumul des sorties depuis Janvier jusqu'à "mois"

OC : ordre de commande

Deux cas peuvent se présenter:

1°/ $OC < 0$ ===> Il existe un surstockage qui peut couvrir les prévisions de l'année n+1.

2°/ $OC > 0$ ===> On établit un ordre de commande et on le transmet à la division achat.

Matériel aléatoire :

Il est caractérisé par une consommation aléatoire. Sa prévision est calculée selon la procédure suivante :

1°/ tracer une droite de tendance moyenne ajustant au mieux un nuage de 24 points représentant les consommations mensuelles des deux années passées (méthode des moindres carrés).

2°/ déterminer à partir de cette droite une consommation dite de référence.

3°/ chercher le besoin à l'aide d'un abaque à deux courbes.

Les difficultés rencontrées dans l'utilisation de cette méthode ont poussé les responsables de la prévision à introduire les simplifications suivantes :

La droite est déterminée à l'aide de deux points:

1°/ En abscisse la date 6; en ordonnée la moyenne arithmétique des 11 premières consommations mensuelles.

2°/ En abscisse la date 18; en ordonnée la moyenne arithmétique des 13 consommations mensuelles suivantes.

L'abaque est remplacé par un tableau à deux entrées (consommation de référence, nombre de mois à couvrir) donnant directement le besoin.

III- EVALUATION ET DIAGNOSTIC DES METHODES UTILISEES

L'évaluation d'une méthode de prévision consiste en la comparaison des valeurs prévues qu'elle donne et des valeurs réellement observées.

Comme son nom l'indique, le matériel aléatoire a une consommation irrégulière. De ce fait, les écarts entre les valeurs prévues et les valeurs réalisées sont peu significatifs pour nous renseigner sur l'efficacité de la méthode utilisée. Ce qui est plutôt intéressant dans ce cas est de suivre l'évolution de la consommation afin de savoir quand un article devient stratégique.

Pour le matériel stratégique, cette comparaison fait apparaître des écarts assez importants témoignant des limites de la méthode utilisée.

L'examen et l'analyse de cette méthode font ressortir certaines remarques. Parmi celles-ci, on peut citer :

i) L'historique de consommation servant à l'établissement des prévisions est fixé à trois années. Ceci nous semble insuffisant.

ii) La méthode de prévision utilisée est la même pour l'ensemble des articles stratégiques, alors que ces derniers présentent des différences évidentes du point de vue évolution de la consommation.

iii) Les paramètres, utilisés dans la formule de prévision (taux d'ajustement, taux de croissance), sont fixés tous les deux à 10%. Ceci a été justifié par le fait que le taux de croissance global de SONELGAZ se situe entre 7% et 12%. Cette justification est peu convaincante. Il aurait été plus intéressant de tester plusieurs variantes de ce taux et d'en choisir la meilleure.

iv) Lors d'une pénurie, la demande réelle en matériel n'est pas satisfaite et les sorties ne représentent en conséquence qu'une fraction de la demande.

v) Toute méthode de prévision nécessite pour son perfection-

nement une analyse des résultats. Ceci n'est pas très développé à la Direction des Approvisionnements.

IV- FORMULATION DU PROBLEME :

Les responsables de la prévision sont conscients des limites de la méthode actuellement utilisée. Soucieux d'améliorer au mieux possible leur prévision, ces responsables ont été incités à rechercher une autre méthode de prévision devant pallier aux insuffisances de la méthode actuelle, et apporter des améliorations en matière de précision et par suite d'efficacité à la fonction approvisionnement.

Cette tâche nous a été confiée. Elle fait l'objet de notre étude, qui consiste donc en la mise en oeuvre d'une procédure de prévision aussi générale, et aussi flexible que possible.

Comme l'évolution de la consommation peut différer d'un article à un autre et d'un magasin général à un autre, nous avons opté pour une procédure permettant de trouver, pour chaque article et pour chaque magasin, la méthode de prévision la plus appropriée. Celle-ci est choisie parmi l'ensemble des méthodes générales existantes.

Un tel travail ne peut être établi sans l'utilisation de l'informatique. En conséquence, nous avons orienté et développé cette étude dans l'optique d'une solution informatique.

Nous avons choisi en collaboration avec les responsables de la Direction des Approvisionnements de SONELGAZ quatre articles qui serviront d'application. Ces articles ont été retenus pour l'importance de leur niveau de consommation.

Les quatre articles sont :

- 4002027 : Compteur électrique monophasé.
- 4004025 : Compteur électrique triphasé.
- 4122411 : Compteur GAZ.
- 6930010 : Disjoncteur.

Remarque:

- Les caractéristiques techniques détaillées de chaque article sont données à l'annexe V.

Nous précisons, que dans notre travail, nous développerons une procédure générale applicable à l'ensemble des articles stratégiques. L'échantillon ne servira que d'application et de test.

Comme nous disposons, pour chaque article, de trois historiques de consommation relatifs aux trois magasins généraux, nous avons alors à tester notre procédure sur 12 historiques.

Les données de consommation disponibles sont annuelles et commencent à la période 1978.

CHAPITRE II
LES METHODES DE PREVISION ET LES CRITERES
DE SELECTION

I- LA PREVISION

Définition:

La prévision est une tentative de préjuger du comportement futur d'un phénomène donné. Elle constitue une réponse à la question: Comment un phénomène, analysé, peut-il se comporter dans un avenir plus ou moins proche ?
Dans l'entreprise, la prévision consiste souvent à déterminer la (ou les) valeur(s) future(s) d'une variable donnée.

Remarque:

Il est important de distinguer la fonction de prévision de la fonction de planification. La différence réside dans le fait que la prévision décrit les situations futures, tandis que la planification exploite les résultats de cette prévision pour organiser suivant un plan, les actions nécessaires à entreprendre.

La prévision est un outil pour la planification.

Rôle de la prévision:

A l'instar d'autres techniques de recherche opérationnelle, la prévision est un élément clé dans la procédure de prise de décision. En effet, la connaissance par avance, à l'aide des prévisions, des comportements futurs d'une situation donnée, permet au gestionnaire d'entreprendre au bon moment les actions les plus intéressantes pour l'entreprise.

En conséquence, il faut retenir que la prévision n'est qu'un moyen d'amélioration de la prise de décision et non une fin en soi.

Les limites de la prévision:

La prévision ne donne pas des valeurs strictement égales aux réalisations, il y a toujours un écart entre elles. Plus faible est l'écart, meilleure aura été la prévision.

II- CLASSIFICATION DES METHODES DE PREVISION:

Pour répondre aux diverses situations où la prévision est nécessaire, plusieurs méthodes de prévision ont été développées. L'annexe III est une classification des méthodes courantes et générales. Dans ce qui suit, nous présenterons leurs principes généraux et leurs fondements.

Les méthodes de prévision se divisent en deux catégories:

- 1°/ Les méthodes qualitatives.
- 2°/ Les méthodes quantitatives.

A/ LES METHODES QUALITATIVES:

Ces méthodes consistent à faire un sondage et à interroger les experts et les personnes ayant un avis sur l'avenir de la variable à prévoir.

Il est important de souligner la subjectivité de ces méthodes qui se basent sur l'intuition et le jugement des personnes interrogées.

B/ LES METHODES QUANTITATIVES:

L'élément commun de ces méthodes est que les prévisions sont fondées presque exclusivement sur les données historiques. En effet, ces méthodes développent une prédiction des valeurs futures en se basant sur une série de valeurs des données passées.

Dans cette catégorie, on peut distinguer:

- 1°/ Les méthodes causales (ou les régressions).
- 2°/ Les méthodes d'analyse des séries chronologiques.

1°/ Les méthodes causales:

Les méthodes causales exigent la recherche de variables ayant une relation causale avec la variable à prévoir. Elles se basent non seulement sur les valeurs passées de la variable à prévoir, mais aussi sur celles des autres variables causales.

2°/ Les méthodes d'analyse des séries chronologiques:

Ces méthodes sont fondées uniquement sur l'exploitation du passé de la variable à prévoir. Elles peuvent être classées comme suit:

a/ Les méthodes élémentaires: Ce sont des applications de règles simples telles que: la prévision est égale à la réalisation la plus récente, la prévision est égale à la réalisation la plus récente augmentée de $\alpha\%$ ($\alpha\%$ est un taux de croissance à fixer)...etc.

De tels modèles sont utiles au début de la création de l'entreprise pour deux raisons:

- 1°/ Ils n'exigent qu'une seule valeur (la plus récente).
- 2°/ Ils permettent à l'entreprise de constituer un historique.

b/ Les méthodes d'extrapolation de tendances: Ces méthodes sont basées sur l'extrapolation linéaire, exponentielle, en forme de S, ou autres formes.

c/ Les méthodes de décompositions: Leur principe est de décomposer la série chronologique en quatre principales composantes: tendance, saison, cycle et aléa.

Ces méthodes exigent un grand nombre d'observations qui doivent être mensuelles.

d/ Les méthodes de lissages: On regroupe sous le nom de lissage, l'ensemble des méthodes dont la caractéristique principale est de donner un poids prépondérant aux valeurs récentes de la série d'observations. L'objectif de ces méthodes est de lisser la série chronologique, c'est à dire de réduire les fluctuations importantes dans la séquence historique et de fonder une prévision sur les valeurs intermédiaires lissées.

Parmi ces méthodes, on peut citer:

- 1°/ Les moyennes mobiles simples.
- 2°/ Les moyennes mobiles doubles.
- 3°/ Le lissage exponentiel simple.
- 4°/ Le lissage exponentiel double.
- 5°/ La méthode de HOLT & WINTERS.
- 6°/ Le filtrage adaptatif.

e/ La méthode de BOX-JENKINS: Cette méthode est l'une des plus puissantes et des plus précises parmi les méthodes de prévision utilisées aujourd'hui. Elle peut traiter des données présentant une loi de comportement complexe, et de découvrir un modèle qui leur soit bien adapté. En revanche, cette méthode est compliquée et coûteuse: sa complexité est supérieure

à celle de toutes les autres méthodes et le temps de passage sur ordinateur est très élevé, ce qui rend son utilisation onéreuse.

Le gestionnaire doit décider s'il accepte de payer un prix plus élevé pour une précision meilleure.

Dans cette méthode, on distingue les modèles suivants:

- 1°/ Le modèle AR (Auto-Regressive).
- 2°/ Le modèle MA (Moving Average).
- 3°/ Le modèle ARMA (Auto-Regressive Moving Average).

III- LES CRITERES DE CHOIX D'UNE METHODE DE PREVISION:

Un éventail de méthodes a été mis à la disposition du prévisionniste. Ce dernier se doit de choisir la mieux adaptée à sa situation particulière. Quels seraient alors les critères de choix ?

Cinq critères fondamentaux peuvent servir à sélectionner la méthode adéquate. Ils méritent donc une grande attention:

- 1°/ L'horizon temporel.
- 2°/ La disponibilité des données et leur configuration.
- 3°/ La précision.
- 4°/ Le coût d'utilisation de la méthode.
- 5°/ La facilité d'application de la méthode.

1°/ L'horizon temporel:

L'horizon temporel désigne le nombre de périodes pour lesquelles on désire une prévision. Certaines méthodes ne sont valables que pour prévoir une ou deux périodes à l'avance, alors que d'autres peuvent être appliquées à plusieurs périodes futures.

Les gestionnaires utilisent plutôt la terminologie: court terme, moyen terme et long terme.

Toutefois, il faut noter que les trois termes sont souvent employés de façons différentes, selon l'entreprise, le secteur d'activité et le problème posé. De même la longueur de la période peut être l'année, le mois, la semaine...etc.

A la Direction des Approvisionnements de SONEGAS, où la période est l'année, le court terme se rapporte à un horizon temporel inférieur ou égal à deux périodes, le moyen terme à un horizon temporel supérieur à deux périodes et inférieur ou égal à cinq périodes, et le long terme à un horizon temporel supérieur à cinq périodes.

2°/ La disponibilité des données et leur configuration:

Deux caractéristiques fondamentales des données peuvent affecter le choix d'une méthode de prévision:

a/Le nombre de données disponibles: L'applicabilité de certaines méthodes est conditionnée par la disponibilité d'un grand nombre d'observations.

b/La configuration temporelle des données :
L'utilisation de certaines méthodes nécessite des données mensuelles; tandis que d'autres méthodes peuvent être appliquées à des observations aussi bien annuelles que mensuelles suivant la longueur de la période sur laquelle on effectue la prévision.

3°/ La précision:

La précision est l'erreur relative de la prévision:

$$\text{Précision} = \frac{\text{Valeur prédite} - \text{Valeur réelle}}{\text{Valeur réelle}}$$

Pour certaines entreprises une erreur maximale de plus ou moins 10% peut être considérée comme admissible, mais pour d'autres une erreur de 5% signifierait le désastre. C'est pourquoi, lors du choix d'une méthode, le prévisionniste doit tenir compte du degré de précision demandé.

4°/ Le coût d'utilisation de la méthode:

Il y a en général trois éléments de coût mis en jeu par l'application d'une méthode de prévision, à savoir:

- Le coût de développement.
- Le coût de stockage.
- Le coût d'exploitation.

a/Le coût de développement: Ce coût englobe les frais de main d'oeuvre et de temps machine nécessaires au développement et à la mise en application de la méthode.

b/Le coût de stockage: Pour utiliser le programme de calcul d'une méthode de prévision, il faut stocker dans le dispositif de mémoire de l'ordinateur le programme et les données nécessaires. La quantité d'informations à stocker peut être importante, ce qui peut engendrer un coût de stockage élevé.

c/Le coût d'exploitation: Ce coût est lié à chaque passage (RUN) du programme sur l'ordinateur pour obtenir une prévision. Il inclut, là encore, la main d'oeuvre et le temps machine correspondant à chaque passage sur ordinateur.

Parfois, ces coûts peuvent constituer une charge financière importante que certaines entreprises ne peuvent supporter.

5°/ La facilité d'application de la méthode:

Comme le gestionnaire est tenu pour responsable de ses décisions, il ne fonde ses prévisions que sur les méthodes dont il comprend le fonctionnement et les limites. La méthode à choisir doit donc non seulement satisfaire les exigences de la situation, mais aussi convenir au gestionnaire qui utilisera la méthode.

De façon générale, les méthodes complexes et extrêmement mathématiques ont beaucoup moins d'attrait que les techniques plus simples que l'on peut comprendre sans être obligé de subir une période de formation plus ou moins longue.

IV- SELECTION DES METHODES LES MIEUX ADAPTEES A LA SITUATION SONELGAZ:

Dans ce qui précède, nous avons classé les méthodes de prévision existantes, puis nous avons examiné cinq critères fondamentaux de sélection.

Il nous reste une tâche importante qui consiste à choisir, sur la base de ces critères, la (ou les) méthode(s) appropriée(s) à la Direction des Approvisionnements de SONELGAZ.

Le tableau de l'annexe IV résume les caractéristiques des diverses méthodes relativement aux cinq critères. Ce tableau servira de guide et de support pour le choix des méthodes adéquates.

A/ LES METHODES QUANTITATIVES CONTRE LES METHODES QUALITATIVES:

Le tableau de l'annexe IV révèle que les méthodes qualitatives sont, en général, appliquées aux études de long terme et exigent pour être mises en oeuvre des coûts élevés, tandis que les méthodes quantitatives sont utilisées dans les prévisions à moyen et court termes et demandent des coûts relativement plus faibles. Du point de vue de la prévision, les méthodes quantitatives donnent des résultats plus exacts que les méthodes qualitatives.

Sur la base de ces trois critères (coût, précision et horizon temporel), les méthodes quantitatives sont les plus appropriées aux caractéristiques de la situation SONEGAS.

B/ LES METHODES D'ANALYSE DES SERIES CHRONOLOGIQUES CONTRE LES METHODES CAUSALES:

Souvent, le prévisionniste est confronté à choisir entre les méthodes causales et les méthodes d'analyse des séries chronologiques. La question qui se pose est: Est ce qu'une méthode causale donnerait des résultats plus fiables qu'une méthode d'analyse des séries chronologiques?

Généralement le choix des méthodes causales est conditionné par la possibilité de trouver les variables causales et la disponibilité des données. D'autre part, ces méthodes sont employées lorsqu'on a très peu de variables à prévoir.

Or, la Direction des Approvisionnements de SONEGAS gère environ 1200 articles présentant des différences dans l'évolution de la consommation. L'application de ces méthodes exigerait alors la recherche de variables ayant une relation causale avec la consommation de chaque article. En conséquence, nous avons opté pour les méthodes d'analyse des séries chronologiques.

Remarque:

L'application des méthodes causales à la Direction des Approvisionnements de SONEGAS pourrait faire l'objet d'un autre projet d'étude.

C/ LES METHODES DE LISSAGE CONTRE LES AUTRES METHODES D'ANALYSE DES SERIES CHRONOLOGIQUES:

Le tableau de l'annexe IV, montre que, relativement aux cinq critères de choix, les méthodes de lissage sont les plus adéquates à la situation SONEGAS. Les autres méthodes sont éliminées pour les raisons suivantes:

1°/ Les méthodes élémentaires: Les expériences, apportées par les divers ouvrages, indiquent que les méthodes élémentaires sont de faible précision et ne sont utiles que pour prévoir une période à l'avance. D'autre part, ces méthodes ne constituent qu'un cas particulier des méthodes de lissage. C'est pourquoi, elles sont écartées.

2°/ Les méthodes d'extrapolation de tendance:

Ces méthodes donnent principalement l'évolution de la variable à prévoir. Elles sont donc utiles pour la prévision à long terme. De ce fait, Nous ne les appliquons pas à la Direction des Approvisionnements de SONELGAZ.

3°/ Les méthodes de décompositions: Ces méthodes ne peuvent pas, pour le moment, être appliquées à la Direction des Approvisionnements de SONELGAZ car on ne dispose pas de données mensuelles.

4°/ La méthode de BOX-JENKINS: La méthode de BOX-JENKINS est certes coûteuse et compliquée, mais elle est intéressante et extrêmement efficace. Les spécialistes sont convaincus de sa puissance à prévoir avec une grande précision. Son application à la Direction des Approvisionnements de SONELGAZ est impossible pour le moment, puisqu'elle exige un très grand nombre d'observations (environ 50 données) qui doivent être mensuelles.

Cependant, son application dans le futur à SONELGAZ n'est pas à exclure. La direction devra alors procéder au stockage des données mensuelles.

Nous avons jugé alors utile de présenter les principes fondamentaux de la méthode à l'annexe XVI.

Ainsi, partant d'un ensemble de méthodes de prévision, nous avons choisi, sur la base de cinq critères fondamentaux, les six méthodes de lissage afin de les appliquer à la Direction des Approvisionnements de SONELGAZ.

CHAPITRE III

LES METHODES DE PREVISION PAR LA TECHNIQUE DE LISSAGE

Les méthodes de prévision par la technique de lissage sont des méthodes empiriques d'extrapolation, c'est à dire de prolongement de l'évolution passée. Leur hypothèse de base est qu'une certaine loi (horizontale, tendancielle, ...) se dissimule sous les valeurs de la variable à prévoir. Cette loi est représentée par les observations historiques mais affectée de fluctuations aléatoires.

On essaie alors de faire apparaître au mieux le comportement de la série chronologique en faisant la distinction entre la loi de base et les fluctuations aléatoires.

Pour le faire, on a recourt au lissage de la série au moyen d'un filtre linéaire (transformation linéaire des observations). Cette opération consiste à remplacer chaque observation de la série par une somme pondérée (combinaison linéaire) d'un certain nombre d'observations qui lui sont antérieures. La série lissée obtenue servira de base pour les prévisions futures.

Les différentes formes que peut prendre le système de pondération permettent de distinguer plusieurs méthodes de prévisions. Les plus importantes d'entre elles sont :

- Les moyennes mobiles simples.
- Le lissage exponentiel simple.
- Les moyennes mobiles doubles.
- Le lissage exponentiel double.
- Le lissage de HOLT et WINTERS.
- Le filtrage adaptatif.

I- LA METHODE DES MOYENNES MOBILES SIMPLES

Principe:

Le lissage par les moyennes mobiles consiste à prendre la moyenne des N réalisations les plus récentes et l'employer comme prévision de la prochaine réalisation.

Le nombre N est un paramètre à spécifier.

Procédé mathématique:

La prévision pour la période $t+1$ est donnée par la formule suivante :

$$P(t+1) = \frac{Q(t)+Q(t-1)+Q(t-2)+\dots+Q(t-N+1)}{N}$$

$$P(t+1) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} Q(t-i) \quad (1)$$

Où $Q(t-i)$ $i=1,2,\dots,N+1$ est la réalisation observée à la période $t-i$.

On peut aussi l'exprimer sous la forme d'une relation de récurrence:

$$P(t+1) = \frac{Q(t)}{N} + \frac{Q(t-1)+Q(t-2)+\dots+Q(t-N+1)}{N}$$

$$P(t+1) = \frac{Q(t)}{N} + \frac{Q(t-1)+Q(t-2)+\dots+Q(t-N+1)+Q(t-N)}{N} - \frac{Q(t-N)}{N}$$

$$P(t+1) = \frac{Q(t)}{N} + P(t) - \frac{Q(t-N)}{N}$$

$$P(t+1) = P(t) + \frac{Q(t)-Q(t-N)}{N} \quad (2)$$

Remarques:

i)- La formule (1) montre que pour calculer une prévision pour la période $t+1$ on a besoin des N dernières réalisations. D'où la nécessité de stocker à chaque période les valeurs des N observations précédentes.

ii)- Elle montre aussi que le système de pondération attribue des poids égaux ($1/N$) à chacune de ces N observations.

iii)- La formule (2) montre que la prévision pour la période $t+1$ n'est qu'un ajustement de la prévision calculée pour la période t .

Avantages:

1°/ La méthode des moyennes mobiles est l'une des plus simples méthodes de prévision. Appliquée aux séries stationnaires, elle donne des résultats satisfaisants.

2°/ Elle est facilement assimilable et aisément applicable : elle n'exige ni des connaissances théoriques approfondies, ni des moyens informatiques puissants.

Limitations:

1°/ Le choix de N (nombre d'observations incluses dans la moyenne) est une tâche très importante dans le processus de prévision par les moyennes mobiles.

2°/ L'utilisation de la méthode des moyennes mobiles n'est justifiée que pour les séries chronologiques manifestant un comportement horizontal.

II- LA METHODE DU LISSAGE EXPONENTIEL SIMPLE

La méthode de lissage exponentiel simple est venue pour remédier aux deux inconvénients majeurs que présente l'emploi de la méthode des moyennes mobiles, à savoir :

- Le calcul d'une prévision par la moyenne mobile sur N périodes nécessite le stockage des N dernières valeurs.
- Le système de pondération donne un poids égal à chacune des N dernières valeurs et un poids nul pour les autres.

Principe:

Le lissage exponentiel consiste à prendre une somme pondérée de toutes les réalisations observées, de telle façon que les observations les plus récentes se voient affectées des poids les plus prépondérants. Ceci est possible grâce à une série de pondérations décroissant exponentiellement.

Procédé mathématique:

La représentation de la méthode des moyennes mobiles nous a conduit à la formule de récurrence suivante :

$$P(t+1) = \frac{Q(t)}{N} - \frac{Q(t-N)}{N} + P(t) \quad (3)$$

Où $P(t), P(t+1)$: prévisions respectivement pour les périodes t et $t+1$.
 $Q(t), Q(t-N)$: valeurs réalisées respectivement aux périodes t et $t-N$.

N : Nombre de périodes incluses dans la moyenne.

Supposons que l'on n'ait à notre disposition que la valeur la plus récente et la prévision pour cette même période. Dans cette situation la formule (3) peut être modifiée de telle sorte qu'à la place de la valeur observée à la période $(t-N)$ on puisse employer une valeur approchée; soit $P(t)$. La formule (3) devient alors :

$$P(t+1) = \frac{Q(t)}{N} - \frac{P(t)}{N} + P(t) = \frac{1}{N} Q(t) + \left(1 - \frac{1}{N}\right) P(t)$$

Et en remplaçant $1/N$ par α on aura la formule générale utilisée pour le calcul d'une prévision par la méthode du lissage exponentiel simple :

$$P(t+1) = \alpha Q(t) + (1-\alpha)P(t) \quad (4)$$

Où α est une constante telle que $0 \leq \alpha \leq 1$

En développant la formule de récurrence (4), on obtient l'expression de $P(t+1)$ en fonction des valeurs réelles passées :

$$P(t+1) = \alpha Q(t) + \alpha(1-\alpha)Q(t-1) + \alpha(1-\alpha)^2 Q(t-2) + \dots \quad (5)$$

La formule (4) peut aussi être écrite de la façon suivante :

$$P(t+1) = P(t) + \alpha [Q(t) - P(t)] = P(t) + \alpha e(t) \quad (6)$$

Où $e(t)$ est l'erreur de prévision à la période t .

Remarques:

i) La formule (4) montre que, pour calculer une prévision pour la période $t+1$, on n'a besoin que de la valeur réelle et de la prévision à la période t .

ii) La formule (5) montre que le système de pondération attribue des poids décroissants aux valeurs anciennes : α étant compris entre 0 et 1, la série $\alpha, \alpha(1-\alpha), \alpha(1-\alpha)^2, \dots$ est alors décroissante.

iii) La formule (6) montre que la prévision pour la période $t+1$ calculée par lissage exponentiel est simplement la prévision à la période t plus α fois l'erreur de cette prévision.

Avantages:

1°/ La méthode du lissage exponentiel possède les mêmes avantages que la méthode des moyennes mobiles (simplicité de développement, facilité d'application).

2°/ Elle élimine la nécessité de stockage des valeurs historiques de la variable à prévoir.

Limitations:

1°/ La détermination de la pondération appropriée (choix du α) se fait expérimentalement. La méthode la plus utilisée consiste à choisir α qui minimise la somme des erreurs passées. La recherche du minimum se fait par balayage du domaine (0,1).

2°/ Le lissage exponentiel ne peut être utilisé que lorsqu'on est en droit de considérer comme horizontale la loi de comportement historique des données. Ceci du fait qu'il ne s'adapte pas rapidement aux variations que peut présenter la variable objet de la prévision.

3°/Le calcul des prévisions par le lissage exponentiel se fait selon un processus itératif :

$$P(t+1) = \alpha Q(t) + (1-\alpha)P(t) \quad t=0,1,2,\dots$$

Pour $t=0$ on aura : $P(1) = \alpha Q(0) + (1-\alpha) P(0)$

Or $Q(0)$ n'existe pas, et $P(0)$ ne peut pas être calculé. D'où la nécessité de trouver une autre approche pour estimer la valeur initiale de $P(1)$. Les deux approches les plus utilisées consistent à estimer $P(1)$ par :

- 1°/ La première observation de l'historique.
- 2°/ La moyenne des deux ou trois premières données.

Quelques extensions du lissage exponentiel simple:

Le lissage exponentiel, comme le lissage par les moyennes mobiles, définit un système de pondération tel que chaque observation se voit attribuée un poids qui ne dépend que du décalage périodique de cette observation par rapport à la période pour laquelle on fait la prévision.

Certains auteurs voient en cette caractéristique la raison pour laquelle le lissage exponentiel ne parvient pas à suivre les grandes fluctuations que peut présenter la loi sous-jacente associée à la série chronologique.

En remplaçant la constante du lissage α par un paramètre $\alpha(t)$ qu'on calcule pour chaque période, ces auteurs ont réussi à rendre le lissage exponentiel simple, plus efficace et plus général.

Les différents procédés qui ont été développés pour le calcul de $\alpha(t)$ ont donné lieu à plusieurs variétés du lissage exponentiel simple révisé (ou adaptatif).

La plus importante d'entre elles est celle développée par D.W TRIGG & A.G LEACH et dont la procédure peut être résumée comme suit :

a/ On définit

$$- \text{L'erreur moyenne} \quad ME(t) = \frac{1}{N(t)} \sum_{i \leq t} e(t)$$

- La déviation absolue moyenne $MAD(t) = \frac{1}{N(t)} \sum_{i \leq t} |e(t)|$

$N(t)$ étant le nombre de périodes jusqu'à t .

b/ On calcule

- L'erreur moyenne lissée:

$$SME(t) = B e(t) + (1-B) SME(t-1)$$

- La déviation absolue moyenne lissée:

$$SMAD(t) = B |e(t)| + (1-B) SMAD(t-1)$$

B étant une constante de lissage dont la valeur recommandée est comprise entre 0,05 et 0,20

c/ On calcule le rapport

$$T(t) = \frac{SME(t)}{SMAD(t)}$$

d/ Trigg & Leach proposent deux expressions pour le paramètre $\alpha(t)$:

$$1^\circ/ \alpha(t) = |T(t)| \quad (\text{Trigg-Leach method})$$

$$2^\circ/ \alpha(t) = |T(t-1)| \quad (\text{delayed Trigg-Leach method})$$

Deux autres variétés beaucoup plus puissantes ont été développées par D.C WHYBARK et J.D DENNIS (bibliographie n°8). Néanmoins, elles restent très compliquées relativement à celle déjà décrite.

III- LA METHODE DES MOYENNES MOBILES DOUBLES :

Principe:

Le principe de la méthode des moyennes mobiles doubles peut être représenté par la procédure suivante :

Etape 1 : lisser la série chronologique par les moyennes mobiles simples : remplacer chaque terme de cette série par la moyenne des N termes qui le précèdent.

Etape 2 : Appliquer la méthode des moyennes mobiles simples à la série lissée (obtenue à l'étape 1). La moyenne mobile obtenue est appelée moyenne mobile double.

Etape 3 : Etablir une prévision égale à la moyenne mobile simple augmentée de la différence entre la moyenne mobile simple (étape 1) et la moyenne mobile double (étape 2),

Et enfin corriger cette prévision à l'aide d'un coefficient d'ajustement .

Procédé mathématique:

Moyenne mobile simple :

$$P'(t) = \frac{Q(t)+Q(t-1)+Q(t-2)+\dots+Q(t-N+1)}{N}$$

Moyenne mobile double :

$$P''(t) = \frac{P'(t)+P'(t-1)+P'(t-2)+\dots+P'(t-N+1)}{N}$$

Prévision non ajustée :

$$\begin{aligned} a(t) &= P'(t) + \left[P'(t) - P''(t) \right] \\ &= 2 \times P'(t) - P''(t) \end{aligned}$$

Coefficient d'ajustement :

$$b(t) = \frac{2}{N-1} \times \left[P'(t) - P''(t) \right]$$

Prévision finale (ajustée):

$$P(t+1) = a(t) + b(t)$$

Remarque:

On peut aussi calculer une prévision pour la période $t+m$ ($m > 1$) :

$$P(t+m) = a(t) + m \times b(t)$$

Avantages:

1°/ La méthode des moyennes mobiles doubles permet, tout en réduisant les fluctuations aléatoires des données, de suivre la tendance.

2°/ Elle permet le calcul des prévisions pour plusieurs périodes.

Limitations:

La méthode des moyennes mobiles doubles souffre des mêmes limitations que la méthode des moyennes mobiles simples:

- Elle nécessite le stockage d'un grand nombre ($2 \times N$) de données.

- Elle ne tient compte que des N dernières observations auxquelles elle attribue le même poids ($1/N$).

IV-LA METHODE DU LISSAGE EXPONENTIEL DOUBLE :

Principe:

Le principe de la méthode du lissage exponentiel double est identique à celui de la méthode des moyennes mobiles doubles. On peut alors le représenter par la procédure suivante :

Etape 1 : Appliquer à la série chronologique un lissage exponentiel simple (remplacer chaque terme de cette série par la somme pondérée de tous les termes qui le précèdent).

Etape 2 : Appliquer à la série lissée (obtenue à l'étape 1) la méthode du lissage exponentiel simple. On obtient la série du lissage exponentiel double.

Etape 3 : Calculer une prévision pour la période à venir égale à la valeur du lissage exponentiel simple (étape 1) augmentée de la différence entre cette même valeur et celle calculée à l'étape 2.

Et enfin, corriger la prévision calculée à l'aide d'un coefficient d'ajustement.

Procédé mathématique:

lissage exponentiel simple :

$$P'(t) = aQ(t) + (1-a)P'(t-1)$$

lissage exponentiel double :

$$P''(t) = aP'(t) + (1-a)P''(t-1)$$

Prévision non ajustée :

$$\begin{aligned} a(t) &= P'(t) + \left[P'(t) - P''(t) \right] \\ &= 2 \times P'(t) - P''(t) \end{aligned}$$

Coefficients d'ajustement :

$$b(t) = \frac{a}{1-a} \times \left[P'(t) - P''(t) \right]$$

Prévision finale (ajustée) :

$$P(t+1) = a(t) + b(t)$$

Remarque:

On peut aussi calculer une prévision pour la période $t+m$
($m > 1$) :

$$P(t+m) = a(t+1) + m \times b(t+1)$$

Avantages:

1°/ Le lissage exponentiel double permet d'obtenir des résultats aussi précis que ceux de la méthode des moyennes mobiles doubles, et ceci beaucoup plus facilement (on n'a besoin de stocker que trois données).

2°/ IL peut traiter aussi bien la loi horizontale que la loi tendancielle. Il peut s'adapter rapidement aux variations que peut présenter la loi horizontale.

Limitations:

Le lissage exponentiel double a les mêmes limitations que le lissage exponentiel simple, à savoir :

- Difficulté dans le choix du α .
- Il n'existe pas de règle générale pour l'initialisation.

V- LA METHODE DE HOLT & WINTERS :

Dans un premier temps, Holt et Winters ont exprimé les équations du lissage exponentiel double par des formules de récurrence :

Formule pour $a(t)$:

$$\begin{aligned} a(t) &= 2 \times P'(t) - P''(t-1) \\ &= 2 \left[\alpha Q(t) + (1-\alpha)P'(t-1) \right] - \left[\alpha P'(t) - (1-\alpha)P''(t-1) \right] \\ a(t) &= 2\alpha Q(t) + 2(1-\alpha)P'(t-1) - \alpha \left[\alpha Q(t) + (1-\alpha)P'(t-1) \right] + \\ &\quad + (1-\alpha)P''(t-1) \\ &= \alpha(2-\alpha)Q(t) + (1-\alpha)(2-\alpha)P'(t-1) + (1-\alpha)P''(t-1) \\ &= \left[1-(1-\alpha)^2 \right] Q(t) + (1-\alpha) \left[(2-\alpha)P'(t-1) + P''(t-1) \right] \end{aligned}$$

Sachant que

$$a(t-1) + b(t-1) = \frac{2-\alpha}{1-\alpha} P'(t-1) + \frac{1}{1-\alpha} P''(t-1)$$

et en posant

$$B = 1-(1-\alpha)^2$$

L'expression de $a(t)$ devient

$$a(t) = B Q(t) + (1-B) \left[a(t-1) + b(t-1) \right]$$

Formule pour b(t):

En suivant la même démarche que pour a(t), on aboutit à l'expression suivante :

$$b(t) = \frac{\alpha}{2-\alpha} \left[a(t) - a(t-1) \right] + \frac{2(1-\alpha)}{2-\alpha} b(t-1)$$

Et en posant $\mu = \frac{\alpha}{2-\alpha}$ on aura

$$b(t) = \mu \left[a(t) - a(t-1) \right] + (1-\mu) b(t-1)$$

Donc le lissage exponentiel double peut être présenté ainsi :

$$\left[\begin{array}{l} a(t) = B Q(t) + (1-B) (a(t-1) - b(t-1)) \\ b(t) = \mu (a(t) - a(t-1)) + (1-\mu) b(t-1) \end{array} \right.$$

Pour généraliser le lissage exponentiel double, Holt et Winters ont considéré les paramètres B et μ comme des constantes indépendantes l'une de l'autre, et qu'on détermine dans l'intervalle (0,1).

De ce fait, la méthode proposée par Holt et Winters apporte plus d'efficacité à la méthode du lissage exponentiel double. Mais aussi plus de paramètres à évaluer, et plus d'opérations à exécuter.

V- LE FILTRAGE ADAPTATIF :

Les méthodes du lissage déjà décrites fondent leur prévision sur la base d'une somme pondérée des observations passées. Chacune d'entre elles définit un système de pondération qui ne varie pas d'une période à une autre.

Ceci a été vu comme un inconvénient par certains chercheurs en prévision, qui pour rendre plus efficace l'opération du lissage, et par suite plus précise la méthode de prévision correspondante, ont tenté de déterminer un système de pondération tel que les poids varient pour s'ajuster d'une période à une autre, de façon à mieux s'adapter aux variations que peut présenter la loi de base sous-jacente à la série.

Principe:

Le principe du filtrage adaptatif peut être décrit selon la procédure suivante :

a/ On fixe

- Le nombre N d'observations à inclure dans la somme pondérée.

- Les poids initiaux $w(i)$ $i = 1, 2, \dots, N$.

b/ Partant de la période $N+1$, on exécute les étapes suivantes:

Etape 1 : Calculer une prévision pour cette période en utilisant la somme pondérée des N observations précédentes.

Etape 2 : Calculer l'erreur de prévision (écart entre la valeur réelle et la prévision de cette période).

Etape 3 : Ajuster les poids initiaux de façon à réduire l'erreur calculée (on utilise pour cela la méthode d'optimisation dite des gradients).

On répète ces étapes pour toutes les observations suivantes.

c/ On calcule ensuite la somme des carrés des erreurs.

Si cette somme d'erreurs est considérée comme acceptable, on utilise les derniers poids pour prévoir.

Sinon, on recommence la procédure précédente en prenant comme poids initiaux les derniers poids calculés à l'étape 3.

Procédé mathématique:

Calcul d'une prévision :

$$P(t+1) = \sum_{i=1}^N W(i) Q(t-N+i)$$

Calcul de l'erreur :

$$e(t+1) = | P(t+1) - Q(t+1) |$$

Ajustement des poids :

L'utilisation de la méthode des gradients pour la réduction de l'erreur, nous conduit à l'expression suivante :

$$W'(i) = W(i) + \alpha \times K \times e(t+1) \times Q(t-N+i)$$

Avec :

- i : variant de 1 à N .
- $W'(i), W(i)$: respectivement nouveau et ancien poids.
- K : constante appelée coefficient d'apprentissage.
- $e(t+1)$: erreur de prévision à la période $t+1$.
- $Q(t-i+1)$: Valeur observée à la période $t-N+1$.

Somme des carrés des erreurs :

$$scer = \sum_{i=N+1}^n e^2(t)$$

avec n : nombre d'observations disponibles

Avantages:

1°/ La méthode du filtrage adaptatif est beaucoup plus puissante que les méthodes du lissage simple et double.

2°/ Son fondement est assez simple de point de vue conceptuel et son mécanisme d'utilisation est pratique : elle ne met en jeu que de simples équations.

Limitations:

1°/ Elle nécessite l'initialisation de plusieurs paramètres : N , $W(i)$ $i=1,2,\dots,N$ et K .

On peut utiliser comme poids initiaux ceux de la méthode des moyennes mobiles, c'est à dire $W(i) = 1/N$ pour $i=1,2,\dots,N$.

Les valeurs recommandées pour la constante K se situent entre 0,08 et 0,12

2°/ L'efficacité de la méthode du filtrage adaptatif dépend considérablement de la convergence de la méthode des gradients utilisée pour la réduction de l'erreur, elle même fortement influencée par le choix du nombre N , des poids initiaux, et enfin de la constante d'apprentissage K .

Pour accélérer la convergence de la méthode, il est recommandé de standardiser les valeurs des observations (les rendre toutes comprises entre 0 et 1). Ceci est possible en les divisant par la constante de standardisation suivante :

$$FS = \sqrt{\sum_{i=1}^N [Q(t-i)]^2}$$

3°/ Les opérations de calcul à exécuter dans la procédure du filtrage adaptatif sont trop nombreuses pour qu'il soit pratique de les exécuter à la main. L'utilisation de l'ordinateur est alors indispensable.

CHAPITRE IV
PROCEDURE D'ADAPTATION D'UN MODELE
OPTIMAL

Les méthodes de lissage décrites au chapitre III sont toutes concurrentes pour être utilisées à SONELGAZ. Mais, comme les articles présentent des différences du point de vue évolution de la consommation, nous avons jugé préférable de trouver pour chaque article et pour chaque magasin général la méthode de lissage adéquate. La recherche de cette dernière s'effectue en trois phases:

- 1°/ Collecte des données.
- 2°/ Ajustement des données.
- 3°/ Adaptation d'un modèle optimal.

I- COLLECTE DES DONNEES :

Au centre de toute application d'une technique de prévision, de tout développement d'un système de prévision, se trouve le rôle primordial que jouent les données. En effet, toute technique de prévision exige la collecte et le traitement d'un volume conséquent de données.

Il est évident que la prévision dépend directement de la précision des données sur lesquelles elle est fondée. Il est important alors, que le prévisionniste connaisse le niveau de fiabilité des données utilisées.

Lors de la collecte des données, nous avons été confrontés à trois principaux problèmes:

- 1°/ Le nombre de données disponibles est réduit.
- 2°/ Les données sont annuelles.
- 3°/ Le degré de fiabilité des données collectées.

En effet, à la Direction des Approvisionnements, seules les valeurs de consommation des années 1978 à 1988 sont disponibles, soit onze valeurs. Parmi elles, seules celles de 1984 à 1988 sont facilement accessibles (stockées dans des disquettes). Les valeurs de 1978 à 1983 sont enregistrées dans des dossiers et sont souvent difficilement accessibles.

D'autre part, ces données sont annuelles alors qu'il est beaucoup plus intéressant de stocker les données au niveau de détails le plus poussé (mensuelles) et de faire ensuite des regroupements, plutôt que d'enregistrer des agrégats et de découvrir plus tard qu'il aurait fallu les décomposer plus finement.

Quant à la fiabilité, il faut noter qu'il existe de nombreuses sources d'erreurs lors de la collecte des données. Les erreurs les plus fréquentes sont celles de saisie.

Remarque:

Le tableau de l'annexe VI donne, pour les quatre articles, les quantités de matériel sorti des trois magasins.

Puisque la mémoire visuelle supplée les défaillances de la mémoire des chiffres, il est plus commode, face à une série de nombres, d'élaborer des graphiques pour visualiser les données. La construction du graphique est simple et évidente. Il suffit de porter en abscisse la période d'observation et en ordonnée la valeur de la consommation. On obtient des lignes brisées représentant l'évolution de la consommation dans le temps (voir l'annexe VII).

Ces courbes révèlent une non homogénéité des données dans le temps, on distingue ainsi des points "anormaux" ou "aberrants".

Ces anomalies sont provoquées notamment par:

- Des pénuries suite à la rupture des stocks de l'article ou de ses articles complémentaires.
- Des sorties excessives suite à des actions volontaristes exagérées des utilisateurs ou à des pénuries (effets psychologiques).
- Des erreurs de saisie.

Comme les méthodes de prévision sont assez sensibles à ces perturbations, il est prudent de les redresser, et une phase de correction des données (ajustement) est donc nécessaire.

II- AJUSTEMENT DES DONNEES:

Il n'existe pas de méthodes spéciales d'ajustement des points aberrants. Nous avons adopté une procédure générale basée sur l'écart moyen par rapport à la tendance.

Les différentes étapes de la procédure peuvent être décrites comme suit:

Etape 1:

Déterminer les deux paramètres de la droite des moindres carrés a et b .

$$q(t) = at + b$$

Etape 2:

Calculer l'écart moyen: $EM = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Q(t) - q(t)|$

Où n : nombre de données.

$Q(t)$: donnée brute de la période t .

$q(t)$: valeur de la droite des moindres carrés à la période t .

Remarque:

Nous prenons la valeur absolue $|Q(t) - q(t)|$ pour éviter la compensation entre les écarts positifs et les écarts négatifs.

Etape 3:

Tracer les deux droites limites $+2*EM$ et $-2*EM$ par rapport à la droite des moindres carrés.

Tous les points extérieurs à ces limites doivent être ajustés.

Remarque:

Les limites $\pm 2*EM$ ont été déterminées expérimentalement comme suit:

- Nous avons tracé pour les 12 courbes les différentes limites: $\pm EM$; $\pm 1.5*EM$; $\pm 2*EM$; $\pm 2.5*EM$; $\pm 3*EM$.

- Les limites $\pm 2*EM$ sont les plus intéressantes, car elles ne rejettent que les points aberrants. Ceci dans les 12 courbes considérées.

Etape 4:

L'ajustement se fait comme suit:

- Si deux points successifs $Q(t)$ et $Q(t+1)$ sont extérieurs aux limites et sont de part et d'autre de la

tendance, le point le plus éloigné soit $Q(t)$ sera ramené sur la limite correspondante et sa valeur devient:

$$Q'(t) = q(t) + 2*EM \quad \text{si } Q(t) > q(t)$$

$$Q'(t) = q(t) - 2*EM \quad \text{si } Q(t) < q(t)$$

Le point $Q(t+1)$ aura alors la valeur:

$$Q'(t+1) = Q(t+1) + [Q(t) - Q'(t)] \quad \text{si } Q(t+1) < q(t)$$

$$Q'(t+1) = Q(t+1) - [Q'(t) - Q(t)] \quad \text{si } Q(t+1) > q(t)$$

- Si deux points successifs $Q(t)$ et $Q(t+1)$ sont extérieurs aux limites et sont du même côté par rapport à la tendance, les deux points seront ramenés sur la limite correspondante et auront les valeurs suivantes:

$$\left[\begin{array}{l} Q'(t) = q(t) + 2*EM \\ \text{et} \\ Q'(t+1) = q(t) + 2*EM \end{array} \quad \text{si } Q(t) > q(t) \text{ et } Q(t+1) > q(t+1) \right.$$

$$\left[\begin{array}{l} Q'(t) = q(t) - 2*EM \\ \text{et} \\ Q'(t+1) = q(t) - 2*EM \end{array} \quad \text{si } Q(t) < q(t) \text{ et } Q(t+1) < q(t+1) \right.$$

- Si un seul point est extérieur aux limites, il sera alors ramené sur la limite correspondante et aura la valeur suivante:

$$Q'(t) = q(t) + 2*EM \quad \text{si } Q(t) > q(t)$$

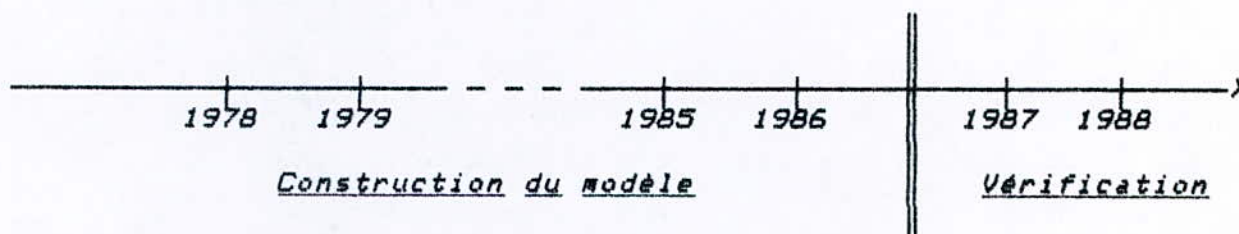
$$Q'(t) = q(t) - 2*EM \quad \text{si } Q(t) < q(t)$$

Le tableau de l'annexe VIII donne les données de consommation après ajustement.

III-ADAPTATION D'UN MODELE OPTIMAL:

Cette phase consiste à chercher pour chaque article et pour chaque magasin général le modèle de prévision adéquat, et à faire ensuite la prévision. Nous opérerons comme suit:

Nous décomposons les données recueillies en deux sous ensembles:



La détermination de la méthode optimale et de ses paramètres s'effectuera en utilisant le premier sous ensemble de données. Son efficacité sera testée sur le second sous ensemble.

Le choix de la méthode optimale et de ses paramètres se fera par simulation des six modèles de lissage sur le premier sous ensemble.

Nous partons de l'hypothèse fondamentale impliquée par la technique de lissage: la valeur réelle observée est déterminée par une loi d'une part, et par l'intervention du hasard d'autre part. On peut écrire algébriquement:

$$\text{Réel} = \text{Loi} + \text{Hasard}$$

La prévision cherche à identifier la loi sous jacente aux données. Par conséquent, il existe toujours un écart entre les valeurs prévues et celles réellement observées. Cet écart est appelé erreur de prévision.

$$e(t) = P(t) - Q(t) \quad t \text{ indique la période.}$$

Lorsqu'on effectue une prévision sur plusieurs périodes, il est plus intéressant de considérer l'erreur moyenne. Si nous calculons la moyenne arithmétique, nous la trouvons proche de zéro, car il y a dans une large mesure compensation des erreurs positives par les erreurs négatives. Pour éviter ce problème, nous pouvons calculer:

- soit ce qu'on appelle d'ordinaire l'écart absolu moyen (EMA) qui est simplement la moyenne arithmétique de l'erreur absolue sur plusieurs périodes:

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n | e(t) | = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n | P(t) - Q(t) |$$

n étant le nombre de périodes.

- soit le carré moyen de l'erreur (CME) obtenu en élevant au carré chacune des erreurs individuelles et en calculant la racine carrée de la moyenne arithmétique des ces carrés:

$$CME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [P(t) - Q(t)]^2}$$

L'avantage de la deuxième variante est qu'elle pénalise beaucoup plus les grands que les faibles écarts de prévision. Pour les faibles écarts; par exemple, en calculant l'écart absolu moyen une erreur de 2 pèse deux fois plus qu'une erreur de 1. Cependant, lorsqu'on calcule le carré moyen de l'erreur, une erreur de 2 est élevée au carré, donc pèse quatre fois plus qu'une erreur de 1.

L'adoption du carré moyen de l'erreur implique donc que nous préférons avoir plusieurs écarts faibles par rapport à la valeur prévue, plutôt qu'un écart important.

Dans ce qui suit, le carré moyen de l'erreur nous servira de critère de choix. En effet, nous simulerons chacune des méthodes concurrentes avec les données du premier sous ensemble, nous calculerons leurs carrés moyens de l'erreur puis nous choisirons, celle qui le minimise, comme méthode optimale.

Il faut noter, que pour chaque méthode, nous déterminons ses paramètres (exemple: α , N , ...) optimaux sous la base du même critère.

L'emploi de l'ordinateur, qui permet de passer au crible très rapidement un grand nombre de méthodes, est plus qu'indispensable.

A/ PROGRAMME DE RECHERCHE DU MODELE OPTIMAL :

Le programme de simulation, intitulé " METHODE " et qui consiste à chercher la méthode optimale, comprend six parties. Chacune représente le programme d'une méthode de lissage.

Partie 1: Méthode des moyennes mobiles simples:

Dans cette méthode, Nous devons décider sur le nombre N d'observations à inclure dans le calcul de la moyenne. Nous procédons expérimentalement en essayant les différentes valeurs possibles de N ($N = 1, 2, \dots$). Pour chaque valeur de N , Nous calculons le carré moyen de l'erreur, et nous choisissons la valeur de N pour laquelle ce carré est minimal. Soient $NOPT$ cette valeur de N et $EMMS$ l'erreur correspondante.

Partie 2: Méthode des moyennes mobiles doubles:

Le problème est identique, nous devons choisir le nombre N optimal. Nous procédons alors de la même façon que précédemment. Nous obtenons $XNOPT$ comme valeur optimale de N et $EMMD$ comme erreur minimale.

Partie 3: Méthode de lissage exponentiel simple:

Pour cette méthode, il s'agit de choisir une valeur de a . Une façon d'opérer est de faire un balayage de l'intervalle $(0,1)$ par un pas de $0,1$. Nous choisissons $ALPOPT$ la valeur de a qui minimise le carré moyen de l'erreur ($ELES$).

Partie 4: Méthode de lissage exponentiel double:

Nous procédons de la même façon que le lissage exponentiel simple pour déterminer $XALPOPT$ la valeur optimale de a et $ELED$ l'erreur correspondante.

Partie 5: Méthode de HOLT & WINTERS :

Nous devons décider sur deux paramètres $LANDA$ et RO appartenant à l'intervalle $(0,1)$. Nous ferons varier $LANDA$ avec un pas de $0,1$ dans cet intervalle. Pour chaque valeur de $LANDA$, nous ferons varier RO avec un pas de $0,1$. Pour chaque couple $(LANDA, RO)$, nous calculons le carrés moyen de l'erreur et nous choisirons le couple qui le minimise. Les valeurs optimales sont $LANOPT$, $ROOP$ et EHW .

Partie 6: Méthode de FILTRAGE ADAPTATIF :

Dans cette méthode, nous affectons à N la valeur optimale obtenue dans la méthode des moyennes mobiles simples. La constante d'apprentissage est fixée à 0.08 et les poids sont initialisés à $1/N$.
Nous devons mémoriser les poids optimums $W(i)$ $i = 1,2,3,\dots,N$.

Une fois les six parties exécutées, nous comparons les six erreurs optimales obtenues. Nous choisirons la méthode correspondant à l'erreur minimale. Cette méthode est alors mémorisée avec ses paramètres dans une base de données pour servir à la prévision.

Remarque:

- Les organigrammes des différentes méthodes sont donnés aux annexes IX, X, XI, XII, XIII et XIV.

B/ LE PROGRAMME DE LA PREVISION:

Certes, la recherche de la méthode optimale est importante, mais il ne faut pas perdre de vue que nous devons faire une prévision. En conséquence, nous avons développé un deuxième programme intitulé "PREVISION" qui calcule, suivant la méthode optimale choisie, la prévision pour les deux périodes futures.

C/ LE PROGRAMME DE SAISIE:

Ce programme consiste à saisir les nouvelles données, les classer et les stocker dans une base de données. La saisie peut être soit une nouvelle donnée de consommation, soit l'ajout d'un nouveau article dans la nomenclature, soit la suppression d'un article.

D/ LE PROGRAMME PRINCIPAL :

Ce programme, appelé "PROJET", est conçu pour articuler et piloter les trois programmes décrits précédemment. Il présente alors un ensemble de menus à l'utilisateur. En fonction du choix de ce dernier, uniquement les programmes nécessaires sont exécutés, et les résultats seront simultanément visualisés sur l'écran et mémorisés.

A titre de complément, nous avons développé un certain nombre de traits, d'options et d'éléments d'assistance. La philosophie de base est que même des gestionnaires sans expérience antérieure en informatique peuvent les appliquer avec un minimum d'entraînement. Ainsi, sont inclus dans le programme des moyens de contrôle des réponses des utilisateurs afin de vérifier qu'elles se tiennent dans les limites plausibles. Les erreurs sont alors détectées à l'avance, et l'utilisateur est prévenu de l'erreur commise.

L'organigramme de pilotage des différents programmes est présenté à l'annexe XV.

E/ LE LOGICIEL DBASE III PLUS :

Toute la programmation a été faite à l'aide du logiciel DBASE III PLUS pour les deux raisons suivantes :

- Il est l'un des logiciels qui répondent au mieux aux exigences de la gestion. En effet, il permet de manipuler les fichiers et les bases de données avec une extrême facilité.

- Il est le plus utilisé à la Direction des Approvisionnements.

F/ APPLICATION :

Nous avons appliqué la procédure pour déterminer les prévisions pour les années 1987 et 1988. Les résultats de cette application peuvent être englobés dans les trois points suivants :

1°/ Nous avons constaté une nette dominance des méthodes du lissage simple (moyennes mobiles simples, lissage exponentiel simple et filtrage adaptatif). En effet, sur les 24 cas (12 cas pour chaque année) le filtrage adaptatif a été choisi 14 fois, les moyennes mobiles simples 7 fois, et le lissage exponentiel simple 3 fois. Le classement des différentes méthodes est présenté dans le tableau suivant :

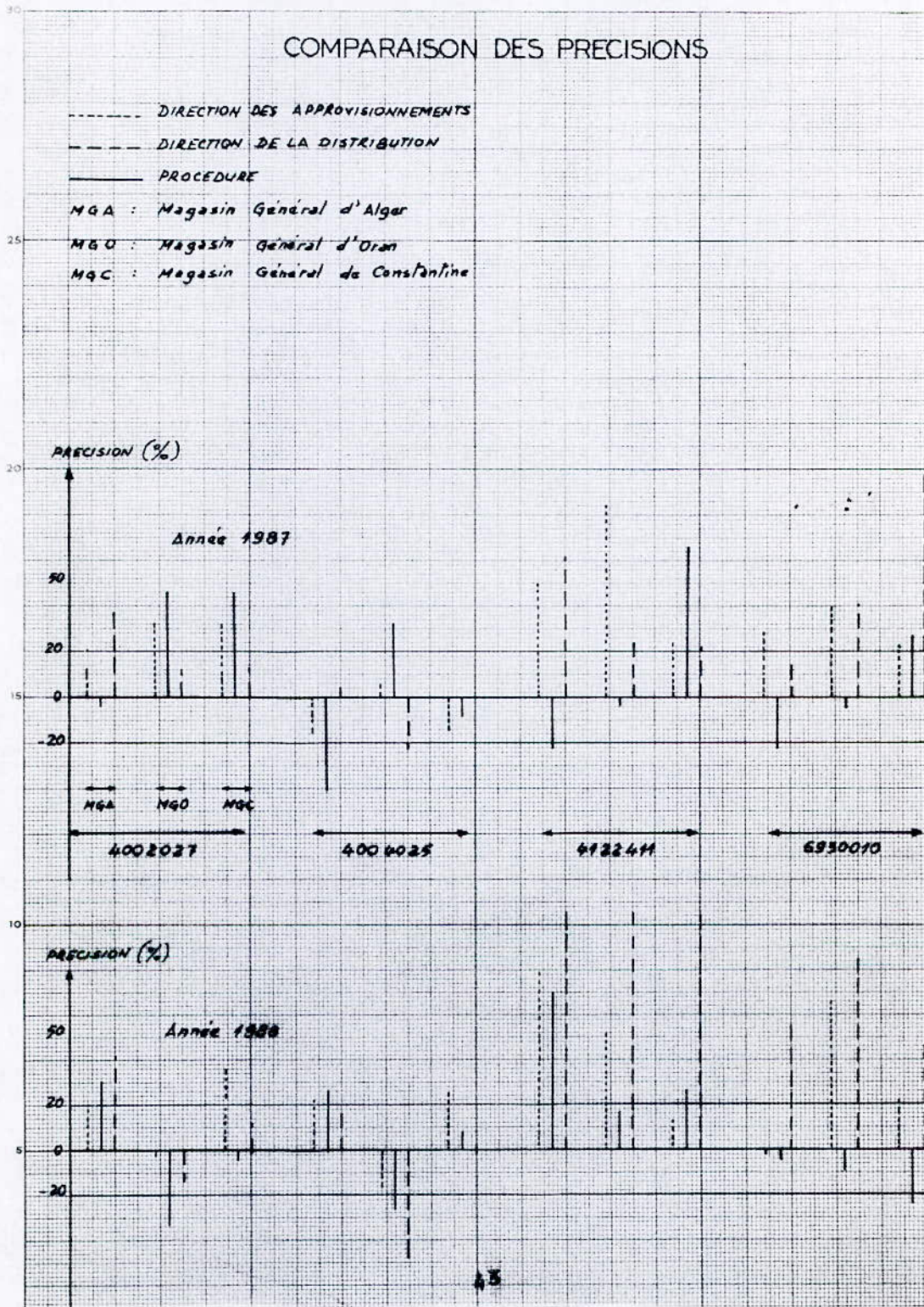
Classement des méthodes

Méthode → Rang ↓	Filtrage Adaptatif	Moyenne Mobile Simple	Lissage Expo- nentiel Simple	Moyenne Mobile Double	Lissage Expo- nentiel Double	HOLT et WINTERS
1	14	7	3	0	0	0
2	5	9	8	2	0	0
3	4	8	4	2	5	1
4	1	0	8	7	6	2
5	0	0	1	7	7	9
6	0	0	0	6	6	12

La dominance des méthodes du lissage simple s'explique par le fait que l'évolution des sorties des articles choisis ne présente pas une tendance rigide. La dominance du filtrage adaptatif est due à sa capacité d'adaptation aux fluctuations que présentent les données.

2°/ Nous avons comparé la précision des prévisions données par la procédure à celle des prévisions fournies par la Direction de la Distribution et par la Direction des Approvisionnements. Cette comparaison est illustrée par les deux graphiques suivants :

COMPARAISON DES PRECISIONS



3°/ Nous avons exécuté la procédure sur les deux micro-ordinateurs OLIVETTI M24 et IBM PS2. Les temps d'exécution des différentes parties de la procédure sont reportés sur le tableau suivant :

Temps d'exécution de la procédure :

MACHINE →	OLIVETTI M24	IBM PS2
METHODE ↓		
AJUST	17s	05s
MMS	47s	12s
MMD	32s	08s
LES	51s	13s
LED	1mn 28s	23s
FA	36mn 17s	7mn 34s
HW	10mn 09s	2mn 39s
TOTAL	50mn 21s	11mn 14s
PREVISION	04s	01s

CONCLUSION

Dans notre étude, nous avons mis au point une procédure de prévision informatisée applicable à la Direction des Approvisionnements de SONELGAZ. Elle permet de prévoir les sorties annuelles des articles.

Cette procédure traite les quatre fonctions essentielles de la prévision, à savoir :

- La saisie.
- Le traitement des données.
- La recherche de la méthode appropriée.
- Le calcul des prévisions par la méthode choisie.

Dans la recherche de la méthode appropriée, nous nous sommes restreints aux méthodes du lissage, car elles sont les seules qui répondent aux caractéristiques actuelles de la Direction des Approvisionnements.

L'application de la procédure aux quatre articles choisis a révélé que les méthodes du lissage simple (les moyennes mobiles simples, le lissage exponentiel simple et le filtrage adaptatif) modélisent mieux les données. Ceci est dû au fait que ces données ne présentent pas une tendance rigide.

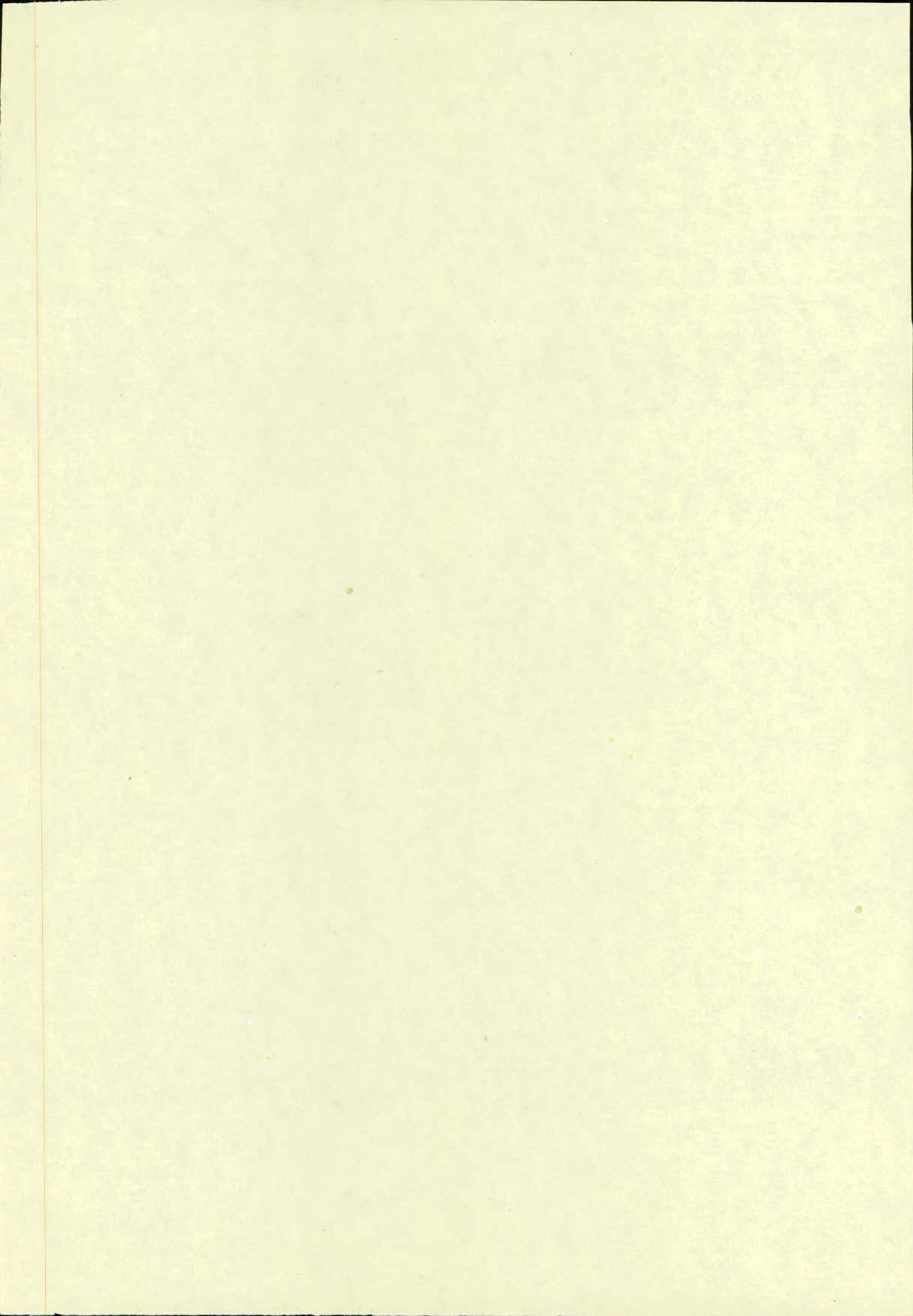
Parmi ces méthodes du lissage simple, le filtrage adaptatif donne des résultats plus précis. Ceci est dû à sa capacité de s'adapter aux fluctuations que présentent les données. En revanche, son temps de passage sur le micro-ordinateur est très important relativement aux autres méthodes. Il appartient alors, aux responsables de décider de son utilisation.

D'autres méthodes beaucoup plus puissantes et beaucoup plus performantes telle que la méthode de Box et Jenkins, n'ont pas pu être utilisées puisqu'elles exigent un grand nombre de données qui doivent être mensuelles. Pour une éventuelle application future, nous suggérons à la Direction des Approvisionnements de procéder au stockage mensuelle des sorties du matériel.

D'autres part, étant convaincus que toute méthode de prévision nécessite pour son perfectionnement l'étude et l'examen de ses résultats, nous aurions souhaiter approfondir l'analyse des résultats de la procédure et utiliser les informations que peut fournir cette analyse pour trouver dans quelles directions il faut orienter les améliorations. Ceci peut faire l'objet d'une autre étude.

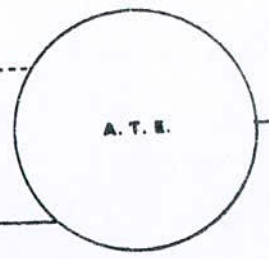
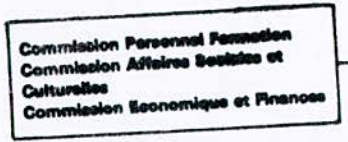
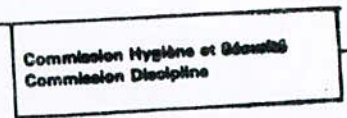
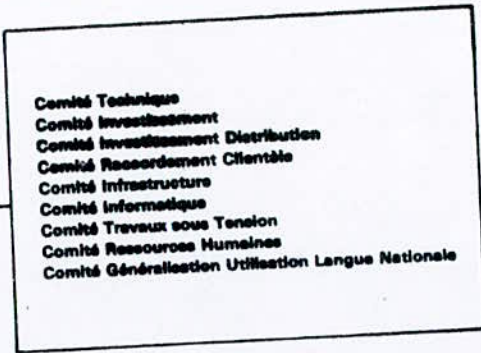
BIBLIOGRAPHIE

- 1°/ D. ZAJDENWEBER.
" La prévision à court terme "
Edition : DUNOD ECONOMIE -Paris- 1969.
- 2°/ C. CHATFIELD.
" The analysis of time series "
" Theory and practice "
Edition : CHAPMAN AND HALL LTD 1975.
- 3°/ G. BOX and G.M. JENKINS.
" Time series analysis. Forecasting and Control "
Edition : HOLDEN - DAY 1970.
- 4°/ S.C. WHEELWRIGHT et S. MAKRIDAKIS.
" Méthodes de prévision pour la gestion "
LES EDITIONS DE L'ORGANISATION -Paris- 1983.
- 5°/ B. COUTROT et F. DROESBEKE.
" Les méthodes de prévision "
Edition : PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE 1984.
- 6°/ J. MOTHES.
" Prévisions et décisions statistiques dans l'entreprise."
Edition : DUNOD -Paris- 1969.
- 7°/ QUITTARD PINON et F.LIGNELEL.
" Eléments de statistiques. Séries chronologiques scalaires "
Edition : OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRES (OPU) 1983.
- 8°/ REVUES:
- " OPERATIONAL RESEARCH QUARTELY "
Volum 28, Number 2,ii,1977 Page 425 .
 - " THE JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY "
Volum 32, Number 9,ix,1981 Page 775 .

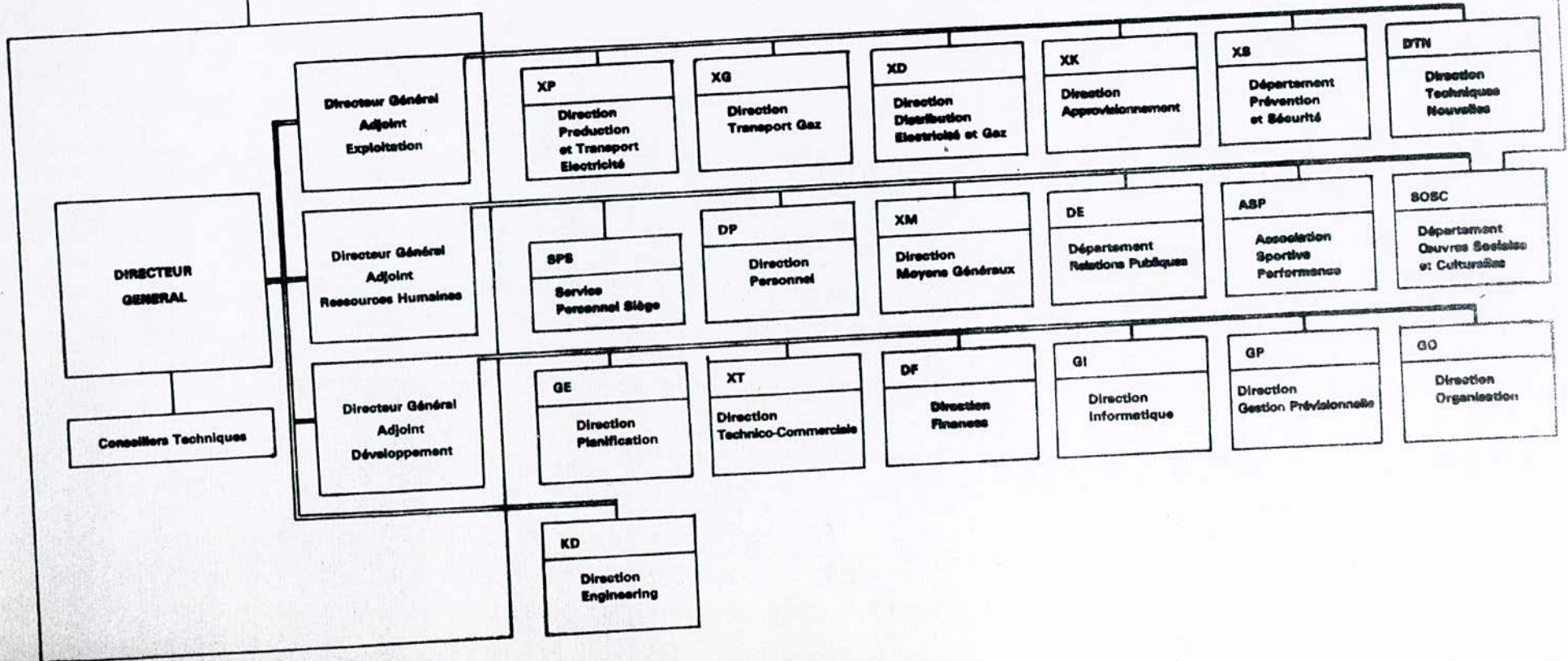


ANNEXES

- ANNEXE I : STRUCTURE DE SONELGAZ.
- ANNEXE II : MACRO STRUCTURE DE LA DIRECTION DES APPROVISIONNEMENTS.
- ANNEXE III : CLASSIFICATION DES METHODES DE PREVISION.
- ANNEXE IV : COMPARAISON DES METHODES DE PREVISION SUR LA BASE DES CINQ CRITERES FONDAMENTAUX.
- ANNEXE V : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES 4 ARTICLES.
- ANNEXE VI : HISTORIQUE DES SORTIES DES 4 ARTICLES.
- ANNEXE VII : COURBES D'EVOLUTION DES SORTIES DES 4 ARTICLES.
- ANNEXE VIII : HISTORIQUE DES SORTIES DES 4 ARTICLES APRES AJUSTEMENT.
- ANNEXE IX : ORGANIGRAMME DE LA METHODE DES MOYENNES MOBILES SIMPLES.
- ANNEXE X : ORGANIGRAMME DE LA METHODE DES MOYENNES MOBILES DOUBLES.
- ANNEXE XI : ORGANIGRAMME DE LA METHODE DU LISSAGE EXPONENTIEL SIMPLE.
- ANNEXE XII : ORGANIGRAMME DE LA METHODE DU LISSAGE EXPONENTIEL DOUBLE.
- ANNEXE XIII : ORGANIGRAMME DE LA METHODE DE HOLT & WINTERS.
- ANNEXE XIV : ORGANIGRAMME DE LA METHODE DU FILTRAGE ADAPTATIF.
- ANNEXE XV : ORGANIGRAMME DU PILOTAGE DES DIFFERENTS PROGRAMMES
- ANNEXE XVI : LA METHODE DE BOX & JENKINS

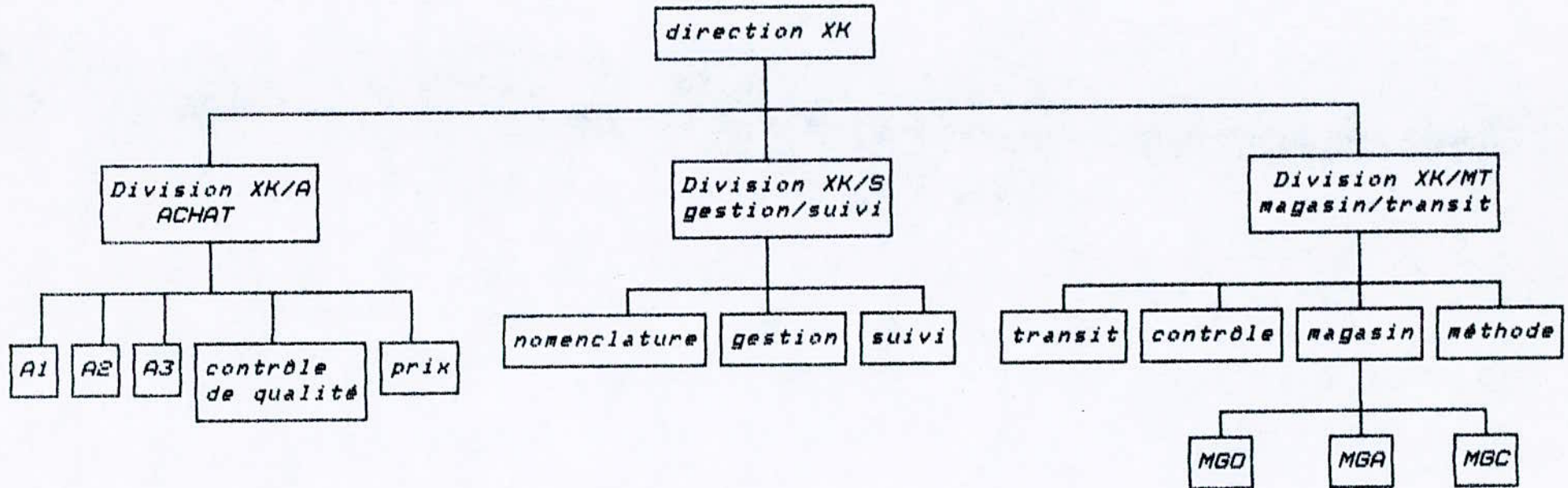


STRUCTURE SONELGAZ



ANNEXE II

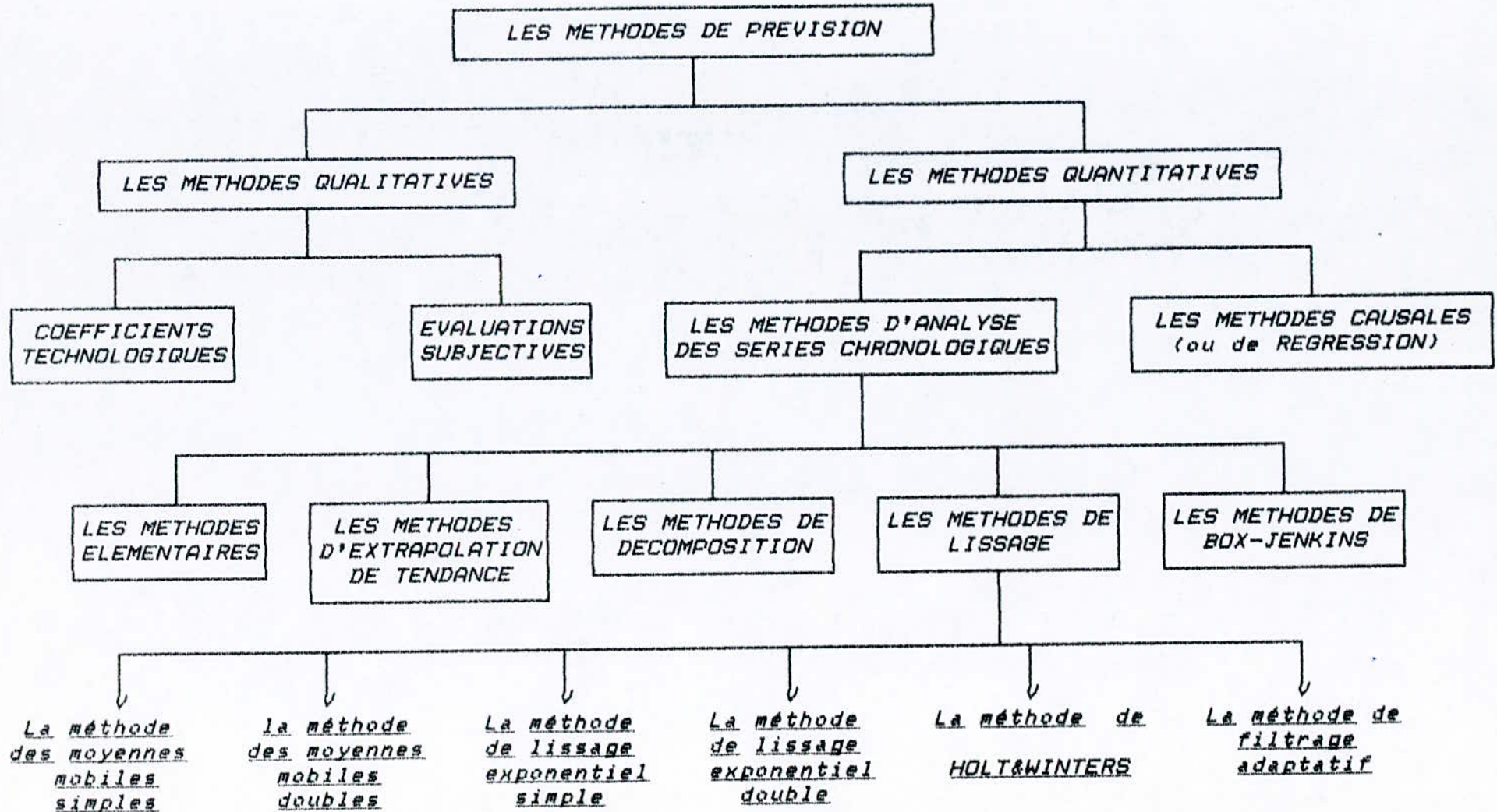
MACRO STRUCTURE DE LA DIRECTION DES APPROVISIONNEMENTS.



A1 : Achat d'appareillage électrique.
A2 : // de matériel de ligne.
A3 : // // // gaz.
MGD: Magasin général d'ORAN.
MGA: // // d'Alger.
MBC: // // de CONSTANTINE.

ANNEXE III

CLASSIFICATION DES METHODES DE PREVISION.



ANNEXE IV

COMPARAISON DES METHODES DE PREVISION SUR LA BASE
DE SIX CRITERES FONDAMENTAUX.

* METHODES * * * CRITERES *	METHODES GENERALES et COURANTES DE PREVISION						DIRECTION DES APPROVISIONNEMENTS DE SONELGAZ	
	QUANTITATIVES					QUALITATIVES		
	SERIES CHRONOLOGIQUES					METHODES CAUSALES (REGRESSION)	TECHNO- LOGIQUES	SUB- JECTIVES
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)			
HORIZON TEMPOREL	court terme	long terme	court terme	court terme	moyen terme	moyen terme	long terme	
DONNEES: *Nombre	1	/	/	/	>50	>10	/	
*Nature	M ou A	M ou A	M	M ou A	M	M ou A	/	
PRECISION	faible	bonne	bonne	bonne	très bonne	bonne	bonne	
COUT	faible	moyen	moyen	moyen	fort	moyen	fort	
FACILITE d'APPLICATION	facile	facile	faci- le	facile	diffi- cile	facile	facile	

NOTATION:

(1) : Les méthodes élémentaires.
 (2) : // // d'extrapolation.
 (3) : // // de décomposition.
 (4) : // // de lissage.

(5) : Les méthodes de BOX-JENKINS.
 M : Mensuelles.
 A : Annuelles.

ANNEXE V

CARACTERISTIQUES DES QUATRE ARTICLES

ARTICLE : 4002027

Compteur électrique monophasé, simple tarif.

Tension : 220 Volt

Intensité nominale : 10/30 Ampère

ARTICLE : 4004025

Compteur électrique triphasé, simple tarif.

Tension : 220/380 Volt

Intensité nominale : 10/30 Ampère

ARTICLE : 4122411

Compteur GAZ

Débit nominal : 4 mètres cube par heure.

Débit gaz naturel : 6 mètres cube par heure.

Débit propane : 3,6 mètres cube par heure.

ARTICLE : 6930010

Disjoncteur.

Pouvoir de coupure : 6 KVA

Nombre de pôles : 2

Nombre de pôles protégés : 1

Intensité nominale : 10/30 Ampère.

ANNEXE VI

HISTORIQUES DES SORTIES DES 4 ARTICLES

ANNEE ->		1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
ARTICLE ↓												
4002027	MGA	37 781	34 701	44 759	40 345	40 355	43 755	45 952	42 499	34 831	43 205	35 200
	MGD	33 814	50 520	49 993	60 801	26 792	47 904	43 659	44 980	44 045	36 010	47 140
	MGC	37 257	31 826	46 414	42 600	46 938	48 283	46 882	63 858	63 528	49 399	50 987
4004025	MGA	2 914	4 180	3 509	6 100	7 486	9 519	6 501	9 371	14 222	14 630	10 694
	MGD	2 516	5 825	6 883	6 760	7 400	10 000	3 693	18 322	12 195	12 816	19 436
	MGC	3 313	5 217	6 782	6 778	7 980	15 808	6 165	16 418	13 893	15 114	13 901
4122411	MGA	6 982	12 154	10 879	13 930	14 442	10 268	23 212	18 600	27 382	20 463	9 318
	MGD	18 483	15 210	13 869	20 218	20 558	8 340	8 611	16 911	16 452	11 077	7 086
	MGC	22 964	13 576	16 802	24 437	15 282	19 771	11 116	20 792	19 602	15 980	13 715
6930010	MGA	23 524	15 632	19 808	29 411	27 419	25 535	24 404	24 859	24 836	15 350	27 600
	MGD	7 948	28 304	22 725	7 227	16 351	24 341	24 706	23 232	30 505	27 375	18 880
	MGC	20 039	18 204	23 957	27 200	30 905	28 059	26 520	48 293	37 296	22 284	34 002

ANNEXE VII

COURBES D'EVOLUTION DES SORTIES DES 4 ARTICLES

Figure 1: Evolution des sorties de l'article 4002027.

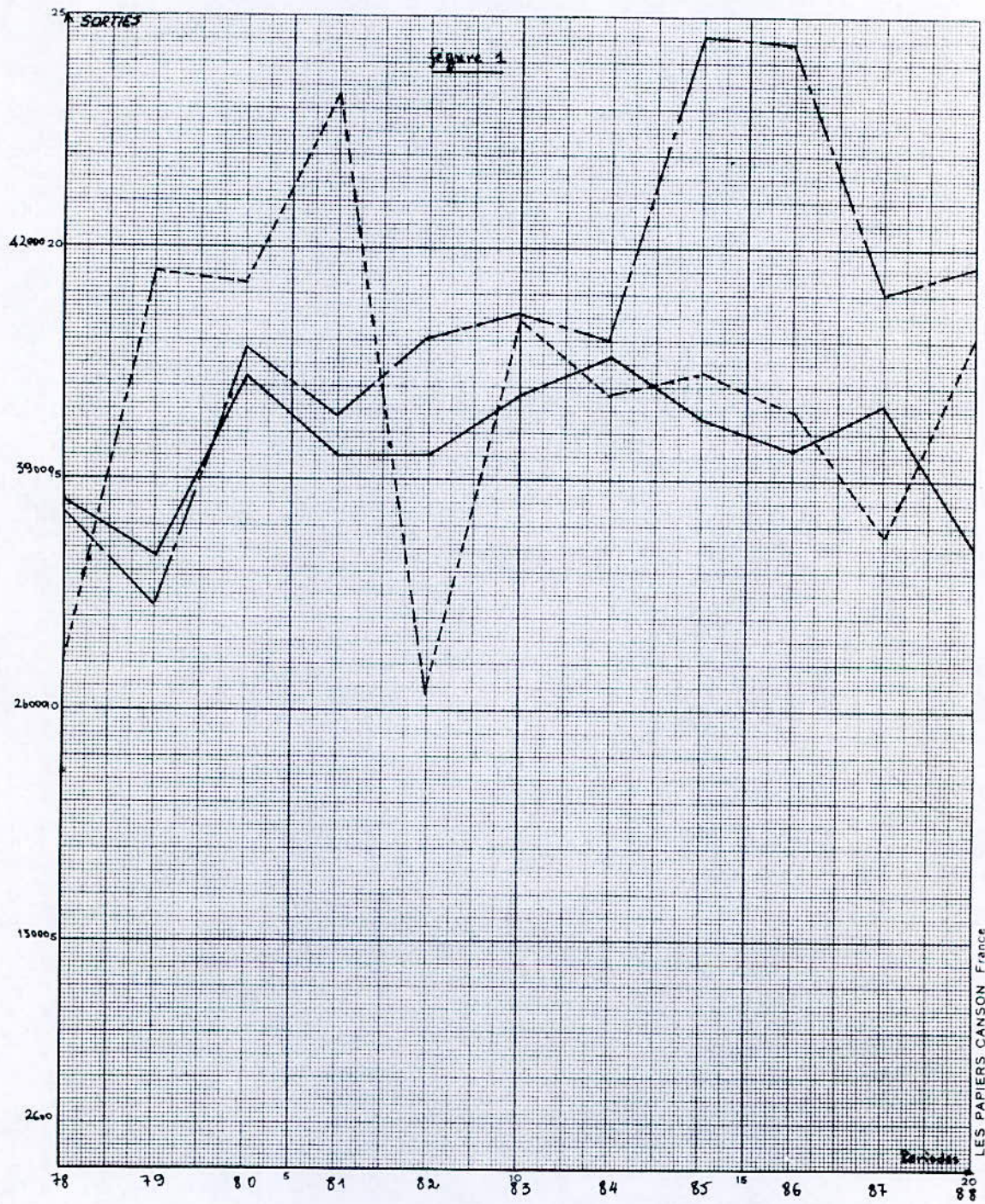
Figure 2: Evolution des sorties de l'article 4004025.

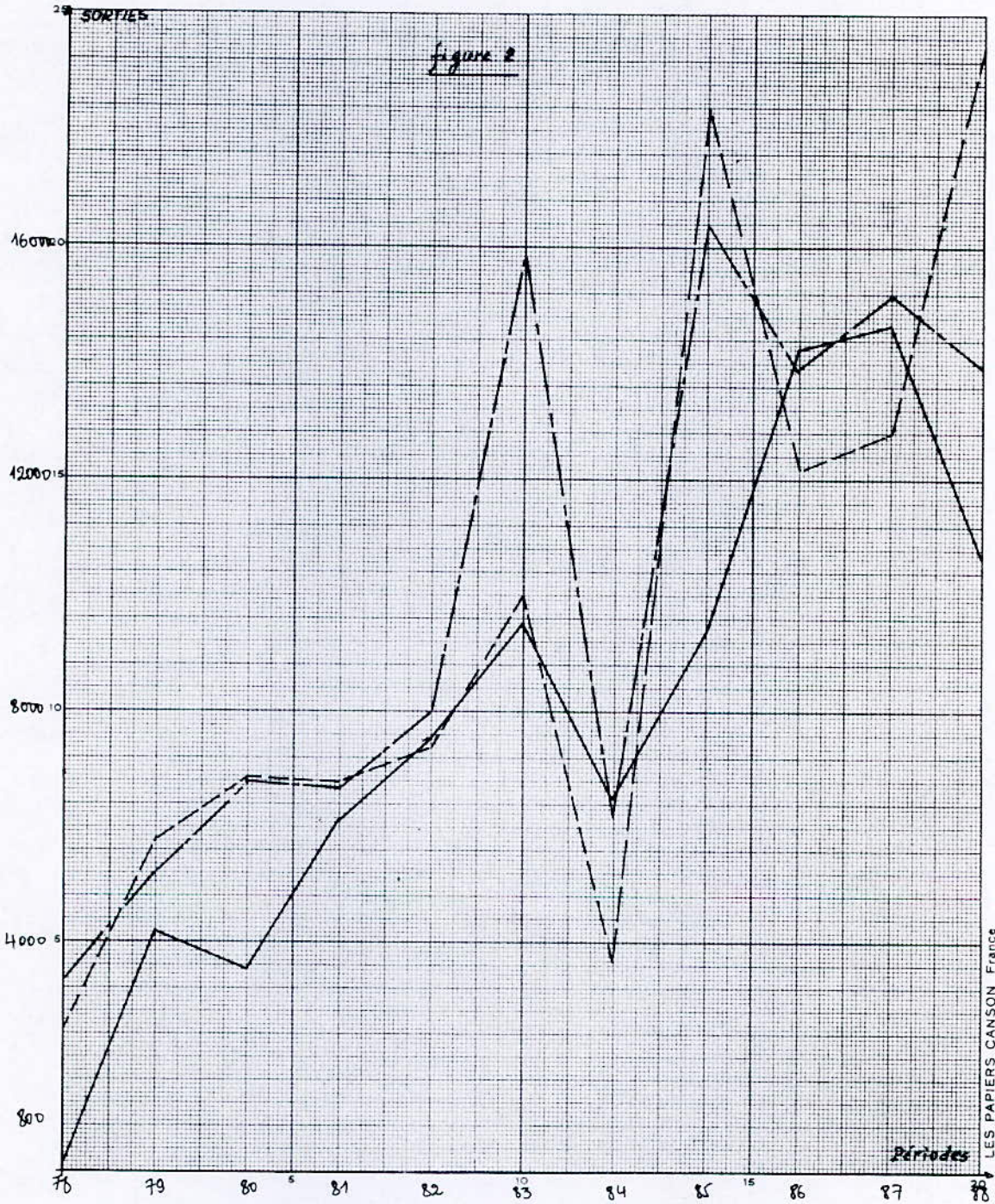
Figure 3: Evolution des sorties de l'article 4122411.

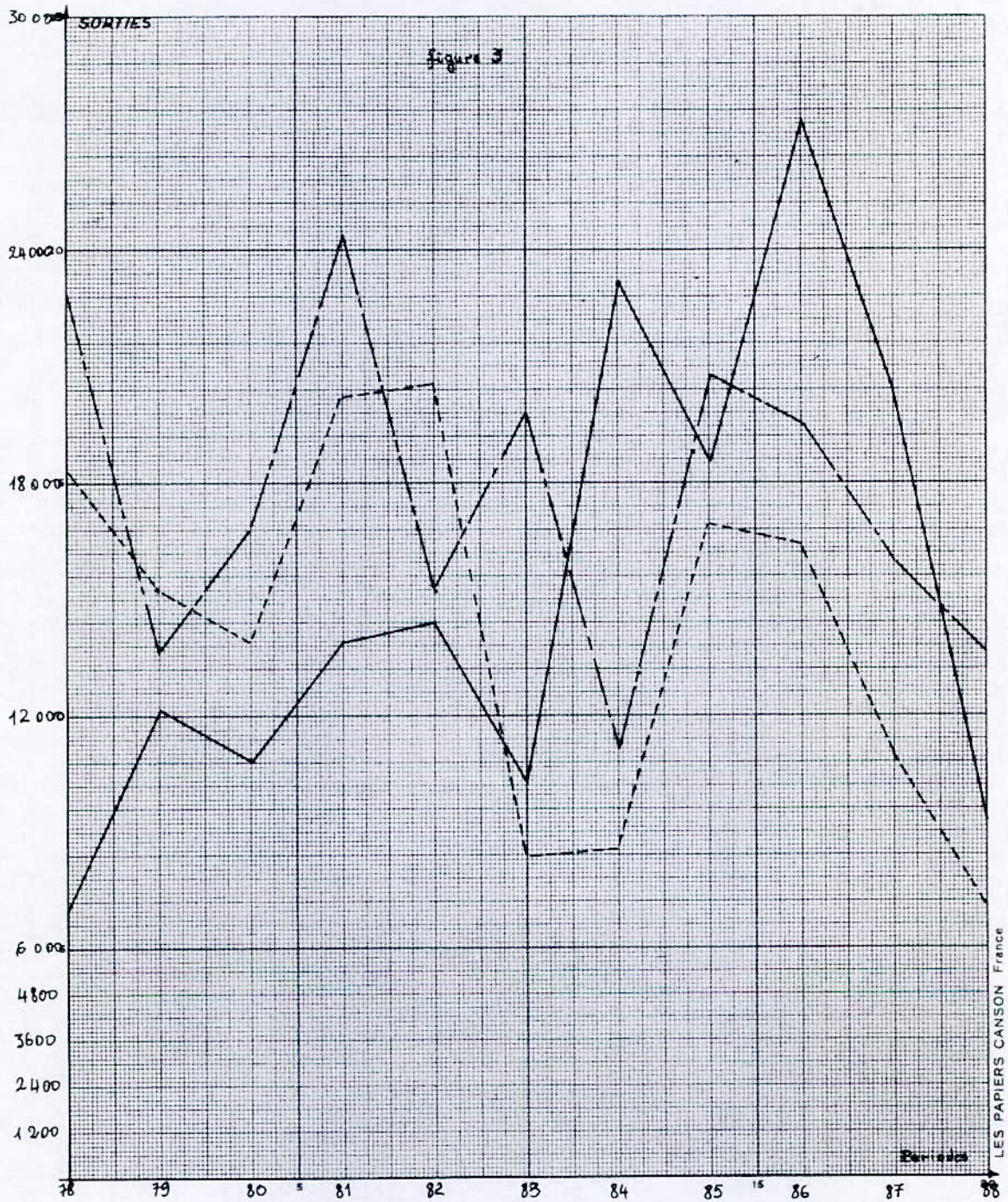
Figure 4: Evolution des sorties de l'article 6930010.

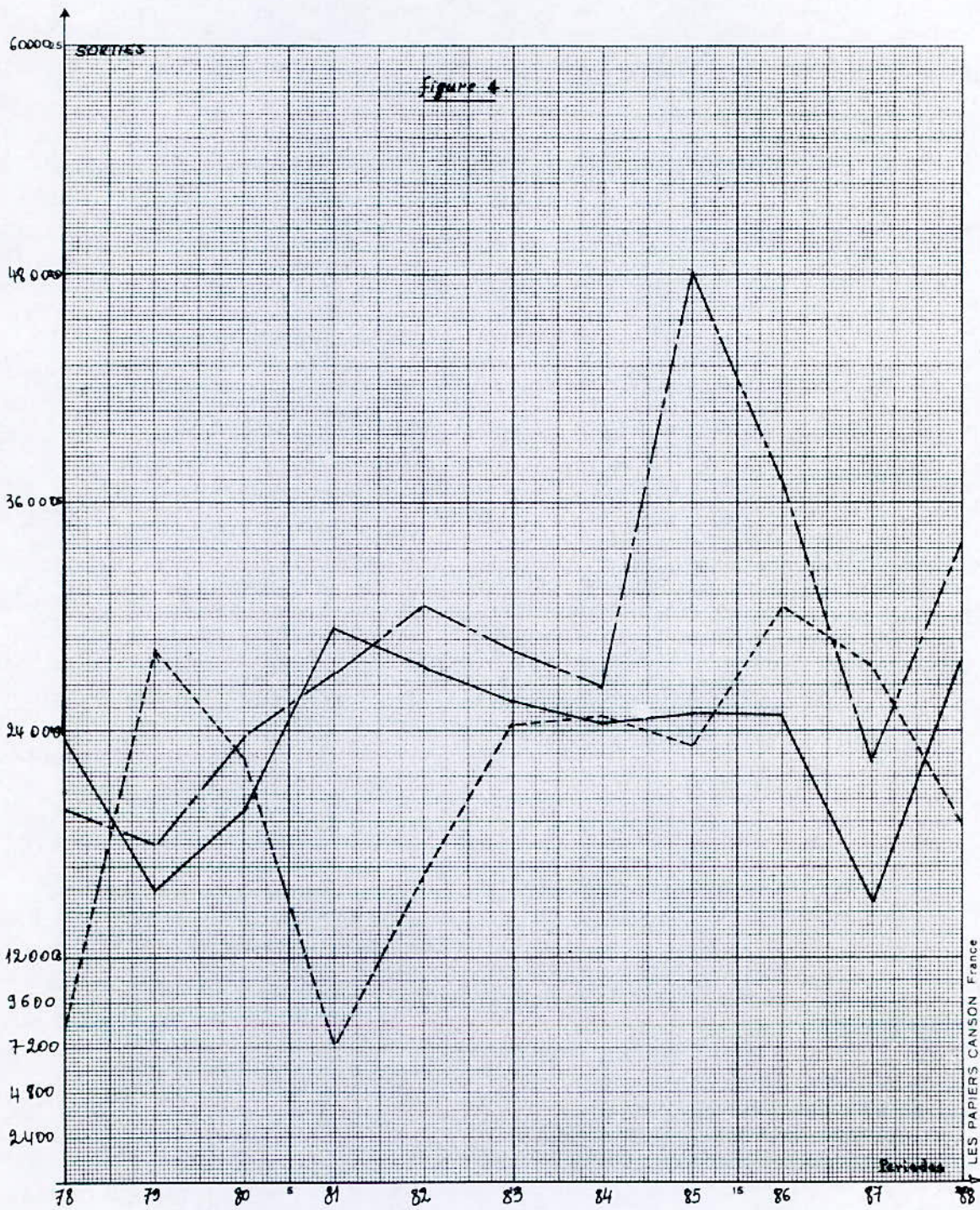
Notations:

————— : Magasin Général d'ALGER (MGA).
- - - - - : Magasin Général d'ORAN (MGO).
——— - —— : Magasin Général de Constantine (MGC).









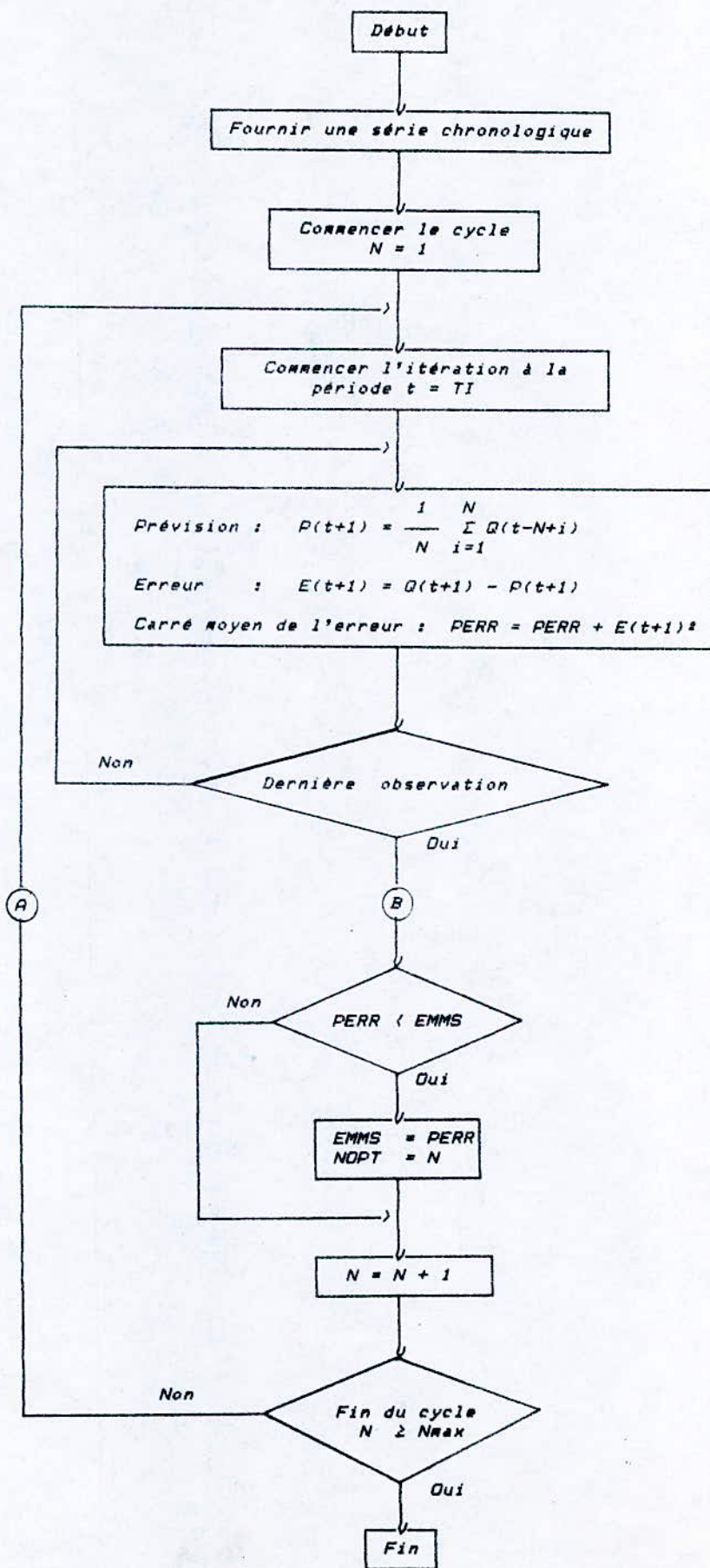
ANNEXE VIII

HISTORIQUES DES SORTIES DES 4 ARTICLES APRES AJUSTEMENT

ANNEE ->		1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
ARTICLE ↓												
4002027	MGA	37 781	34 701	44 749	40 345	40 355	43 755	45 952	42 499	34 831	43 505	35 200
	MGD	33 814	50 520	49 993	54 979	56 046	47 904	43 659	44 980	44 045	36 010	47 140
	MGC	37 257	31 826	46 414	42 600	46 938	48 283	46 882	42 441	63 528	49 399	50 987
4004025	MGA	2 914	4 180	3 599	6 100	7 486	9 519	6 501	9 371	8 525	14 630	10 964
	MGD	2 516	5 825	6 883	6 760	7 400	10 000	6 475	15 540	12 195	12 816	19 436
	MGC	3 313	5 217	6 782	6 778	7 980	13 844	8 129	16 232	13 893	15 114	13 901
4122411	MGA	6 982	12 154	10 879	13 930	14 442	10 268	23 212	18 600	10 875	20 463	9 318
	MGD	18 483	15 210	13 869	20 218	20 558	8 340	8 611	16 911	16 452	11 077	7 086
	MGC	22 964	13 576	16 802	24 437	15 282	19 771	11 116	20 792	19 602	15 980	13 715
6930010	MGA	23 524	29 616	19 808	29 411	27 419	25 535	24 404	24 859	24 836	31 232	27 600
	MGD	7 948	28 042	22 725	7 812	16 351	24 341	24 706	23 232	30 505	27 375	18 880
	MGC	20 039	18 204	23 957	27 200	30 905	28 059	26 520	41 060	37 296	25 475	34 002

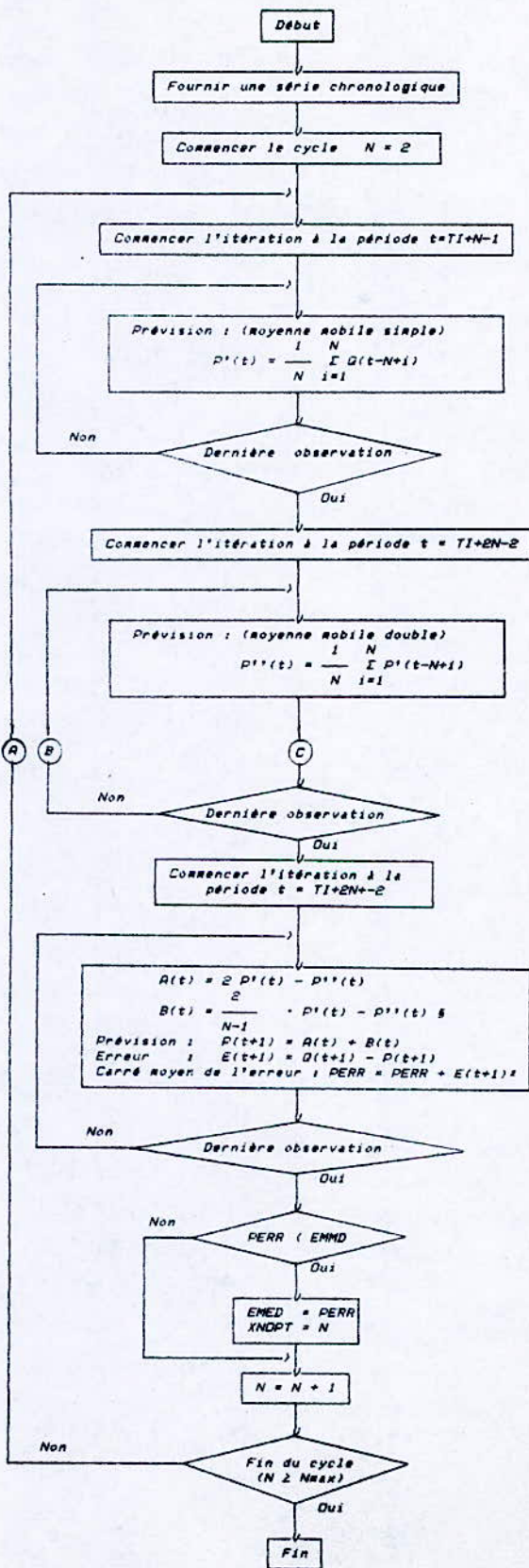
ANNEXE IX

ORGANIGRAMME DE LA METHODE DES MOYENNES MOBILES SIMPLES



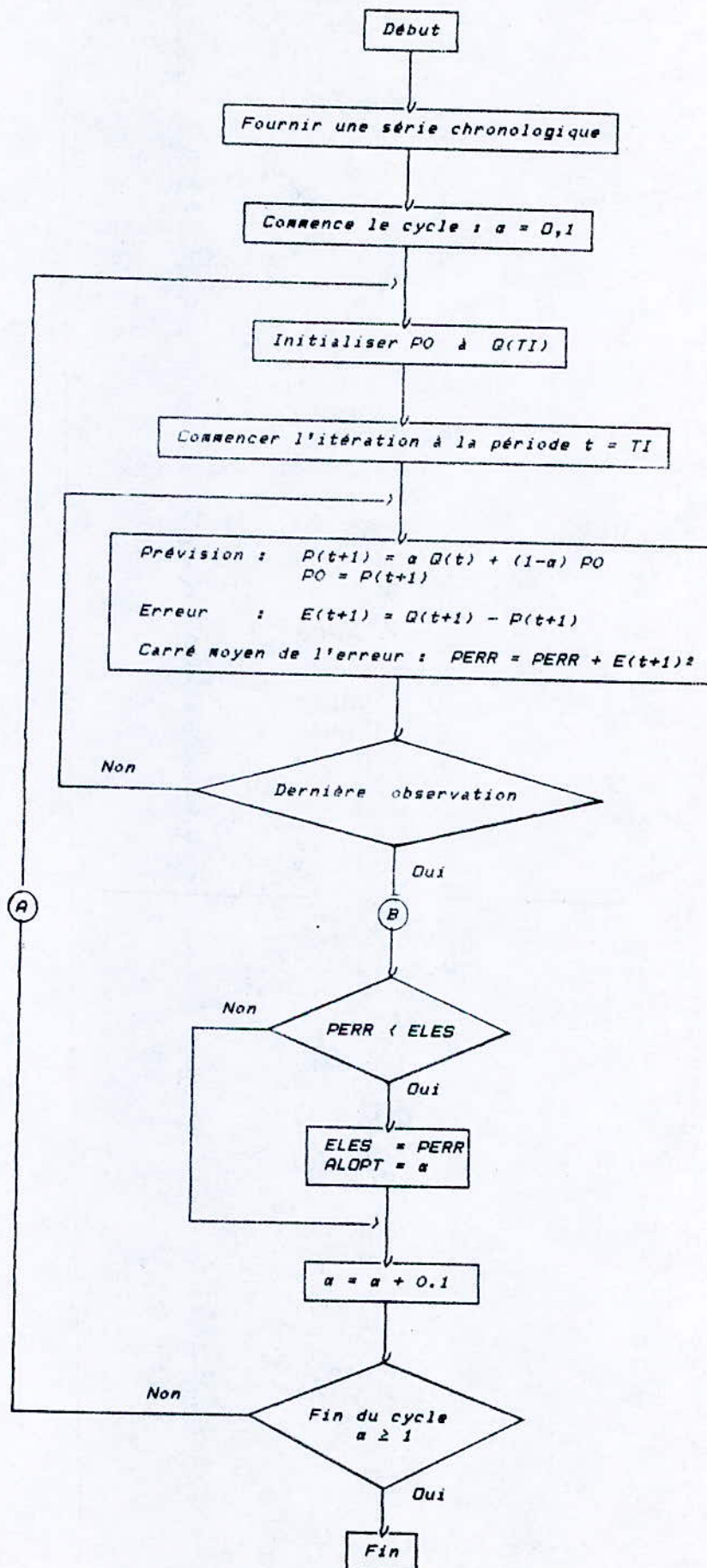
ANNEXE X

ORGANIGRAMME DE LA METHODE DES MOYENNES MOBILES DOUBLES



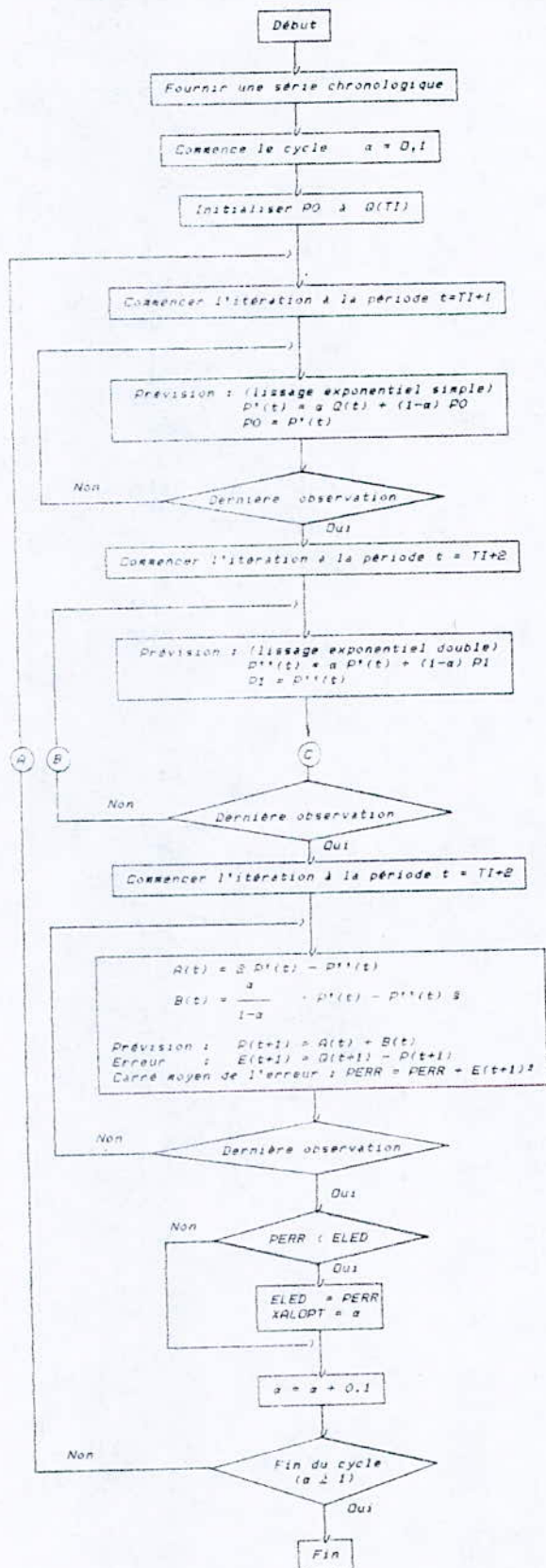
ANNEXE XI

ORGANIGRAMME DE LA METHODE DU LISSAGE EXPONENTIEL SIMPLE

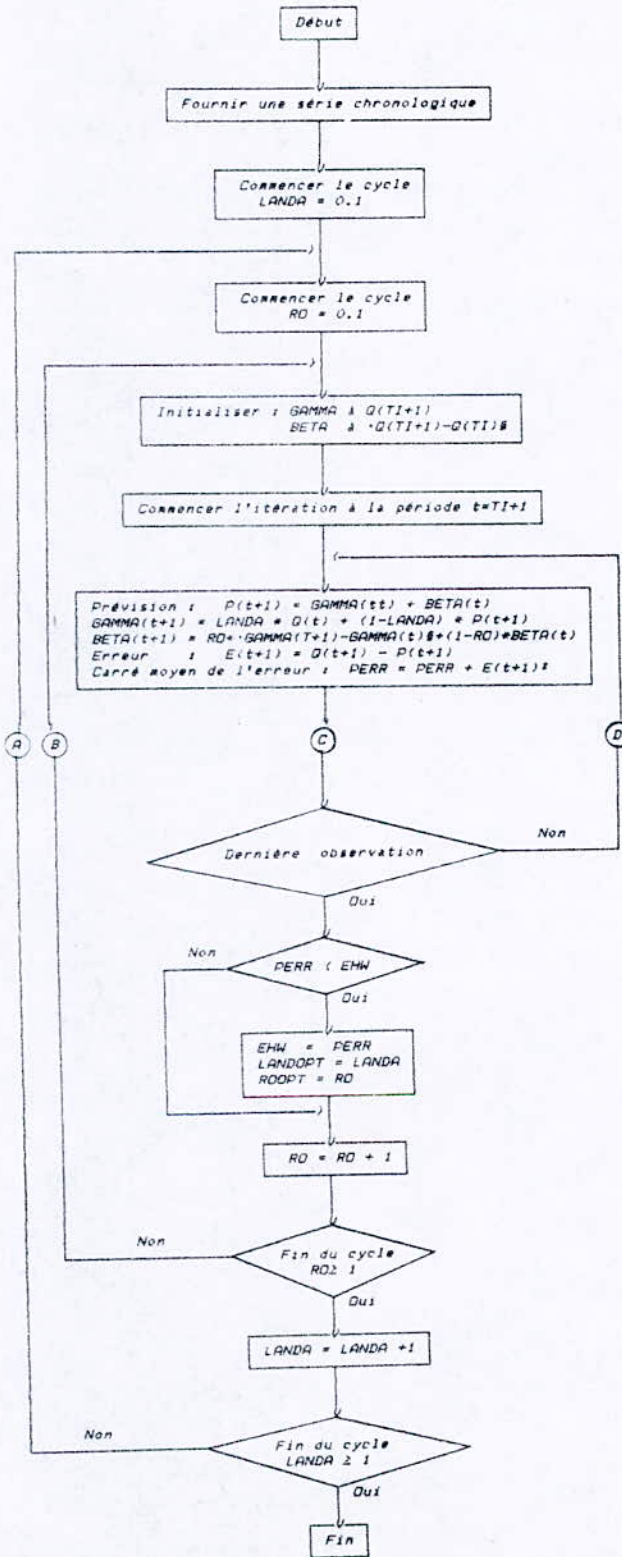


ANNEXE XII

ORGANIGRAMME DE LA METHODE DU LISSAGE EXPONENTIEL DOUBLE

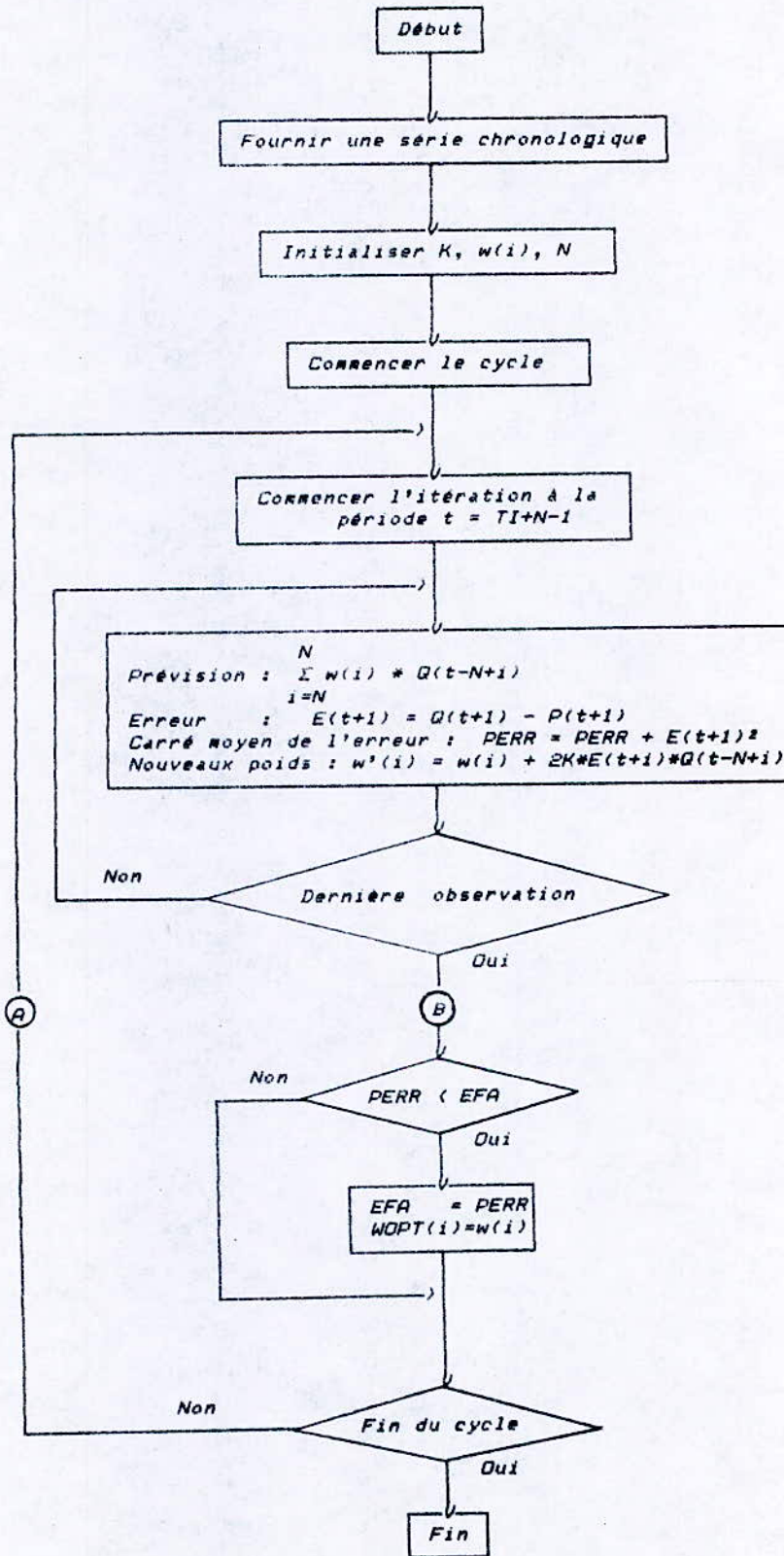


ANNEXE XIII
 ORGANIGRAMME DE LA METHODE DE HOLT ET WINTERS



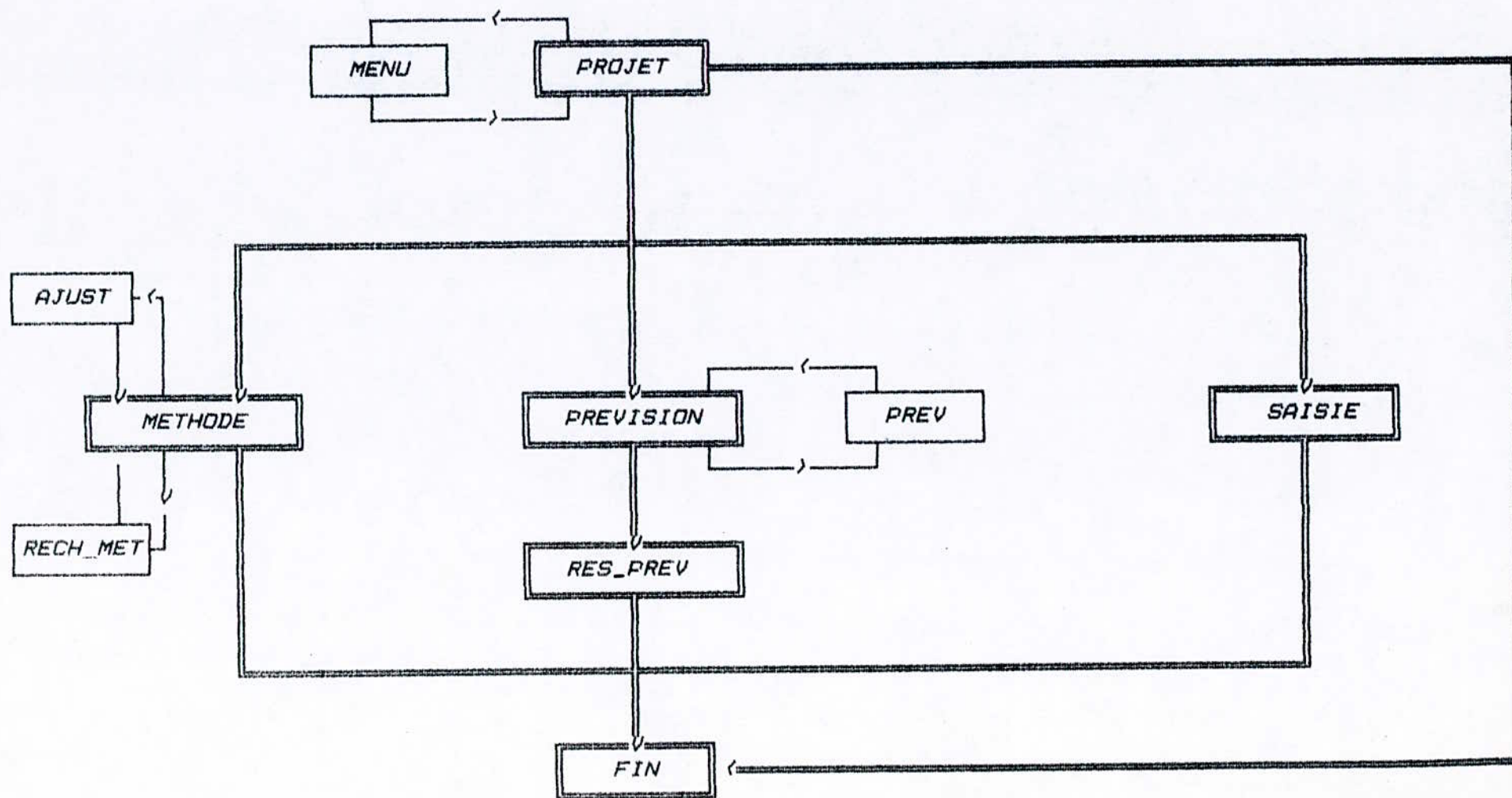
ANNEXE XIV

ORGANIGRAMME DE LA METHODE DU FILTRAGE ADAPTATIF



ANNEXE XV

ORGANIGRAMME DE PILOTAGE DES DIFFERENTS PROGRAMMES



ANNEXE XVI

LA METHODE DE BOX-JENKINS

Les méthodes de prévision déjà décrites admettent qu'il existe une loi fondamentale sous-jacente représentée par les données historiques, qui en outre manifestent un certain comportement aléatoire. On essaye, alors, d'isoler le mieux possible cette loi fondamentale afin de l'utiliser comme base des projections dans le futur.

Mais il existe des cas où la situation concrète est beaucoup plus complexe : La loi sous-jacente n'est pas immédiatement apparente, car elle résulte de la combinaison d'une tendance, d'un facteur saisonnier, d'un facteur cyclique, ainsi que de fluctuations aléatoires.

GEORGES BOX et GWILING JENKINS ont pu établir une technique de prévision très sophistiquée, bien plus englobante, et qui satisfait efficacement le problème de prévision dans des cas pareils.

1- FONDEMENT DE LA METHODE :

Contrairement aux autres méthodes de prévision caractérisées par leur nature empirique et uniquement déterministe, la méthode de Box-Jenkins introduit le caractère aléatoire au phénomène objet de la prévision : chaque valeur observée y_t est envisagée comme la valeur particulière d'une variable aléatoire $Y(t)$ dont la distribution de probabilité décrit toutes les valeurs possibles à cet instant t .

La série chronologique est dès lors considérée comme étant une réalisation particulière d'un processus stochastique discret, à valeurs réelles.

Une importance particulière est réservée aux processus stationnaires, et ceci vu les qualités statistiques de l'analyse qu'ils engendrent.

Le processus purement aléatoire -encore appelé bruit blanc- est un processus stochastique stationnaire particulièrement simple; il est constitué d'une série de variables aléatoires indépendantes, de moyennes nulles, et de même variance σ^2 .

A/ QUELQUES OPERATEURS UTILISES DANS LA METHODES DE BOX-JENKINS :

1°/ Opérateur de retard :

Il est défini par : $By_t = y_{t-1}$ quelque soit t .

Et en général $B^n y_t = y_{t-n}$ quelque soit n .

B est linéaire:

$$B(ay_t + bz_t) = B(ay_t) + B(bz_t) = aBy_t + bBz_t = ay_{t-1} + by_{t-1}$$

B peut être traité comme une variable à la quelle l'algèbre classique peut être appliqué :

$$a_0 y_t + a_1 y_{t-1} + a_2 y_{t-2} + \dots + a_p y_{t-p} =$$

$$(a_0 + a_1 B + a_2 B^2 + \dots + a_p B^p) y_t = A(B) y_t$$

2°/ Opérateur d'avance :

C'est l'opérateur inverse de B ; on le défini comme suit:

$$Fy_t = y_{t+1} \text{ quelque soit } t.$$

F possède les mêmes propriétés que B .

3°/ Opérateur de différence :

Il est défini par : $Dy_t = y_t - y_{t-1}$ quelque soit t .

On peut aussi l'exprimer en fonction de B :

$$Dy_t = y_t - By_t = (1-B)y_t$$

D est alors linéaire.

Et d'après le développement de NEWTON on aura:

$$D^n y_t = (1-B)^n y_t = \sum_{k=0}^n (-1)^k \binom{n}{k} B^k y_t$$

4°/ Opérateur de sommation :

C'est l'opérateur inverse de D; on le définit par:

$$S y_t = \sum_{k=-\infty}^t y_k \quad \text{quelque soit } t.$$

On a :

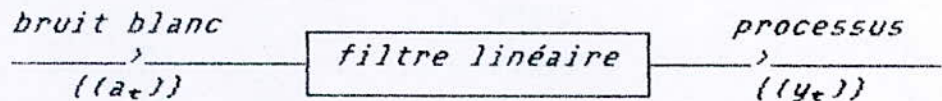
$$S y_t = y_t + y_{t-1} + y_{t-2} + \dots = (1 + B + B^2 + \dots) y_t = \frac{1}{1-B} y_t = \frac{1}{D} y_t$$

B/ GENERATION DES PROCESSUS STOCHASTIQUES PAR FILTRAGE LINEAIRE DES BRUITS BLANCS :

1°/ Notion de filtre linéaire :

Pour construire leurs modèles, Box et Jenkins sont partis du fait que si les termes successifs d'une série chronologique sont fortement dépendants, le processus stochastique $\{Y(t)\}$ générateur de cette série peut, lui même, être engendré par un processus bruit blanc $\{a(t)\}$, dont la loi de distribution est normale, de moyenne nulle, et de variance σ_a^2 .

Le processus $\{a(t)\}$ se transforme en processus $\{y(t)\}$ par filtrage linéaire selon le schéma suivant:



L'opération de filtrage linéaire consiste à prendre une combinaison linéaire (somme pondérée) des termes successifs du bruit blanc :

$$y_t = \mu + a_t + \pi_1 a_{t-1} + \pi_2 a_{t-2} + \pi_3 a_{t-3} + \dots$$

$$y_t = \mu + (1 + \pi_1 B + \pi_2 B^2 + \pi_3 B^3 + \dots) a_t$$

$$y_t = \mu + \pi(B) a_t$$

En général, μ est un paramètre qui détermine le niveau du processus, et $\pi(B)$ est l'opérateur linéaire qui transforme a_t en y_t (on l'appelle souvent fonction du filtre).

La série des poids $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots$ peut être finie ou infinie, convergente ou divergente.

Si elle est convergente, le filtre est stable, le processus $\{y(t)\}$ est stationnaire, et μ sera la moyenne autour de laquelle ce processus varie.

Et si elle est divergente, le filtre est instable, le processus $\{y(t)\}$ est non stationnaire, et μ n'aura aucune signification particulière.

2°/ Les différentes classes de processus :

Pour exploiter cette notion de filtre linéaire, Box et Jenkins ont assimilé les erreurs de prévision à un bruit blanc. Les différentes formes que peut prendre l'opérateur linéaire $\pi(B)$, leur ont permis de construire trois grandes classes de processus :

a- Les processus en moyenne mobile MA :

En général, un processus en moyenne mobile d'ordre q , noté MA(q) s'écrit :

$$y_t = e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-q}$$

$$y_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) e_t$$

$$y_t = \theta(B) e_t$$

b- Les processus autoregrésifs AR :

Un processus est dit autoregrésif d'ordre p , et noté AR(p) s'il s'écrit sous la forme suivante :

$$y_t = \delta_1 y_{t-1} + \delta_2 y_{t-2} + \dots + \delta_p y_{t-p} + e_t$$

$$y_t - \delta_1 y_{t-1} - \delta_2 y_{t-2} - \dots - \delta_p y_{t-p} = e_t$$

$$\delta(B) y_t = e_t$$

Et si le polynôme $\delta(B)$ est inversible on peut écrire :

$$y_t = \delta^{-1}(B) e_t$$

c- Les processus mixtes :

Un processus mixte d'ordre p, q noté $ARMA(p, q)$ est une combinaison d'un processus en moyenne mobile $MA(q)$, et d'un processus autoregressif $AR(p)$. Il s'écrira alors :

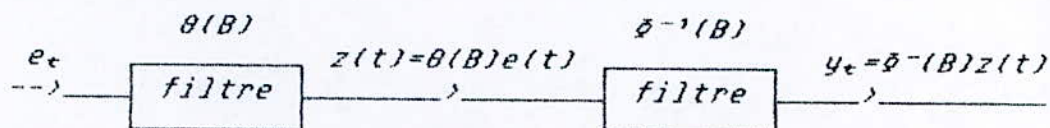
$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \phi_3 y_{t-3} + \dots + \phi_p y_{t-p} + e_t + \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2} + \dots + \theta_q e_{t-q}$$

Ou sous une forme condensée :

$$\phi(B)y_t = \theta(B)e_t$$

$$y_t = \phi^{-1}(B)\theta(B)e_t$$

Le processus $ARMA(p, q)$ est vu comme le résultat d'un double filtrage linéaire :



Ces trois classes de processus permettent la modélisation des séries chronologiques stationnaires, c'est à dire à comportement horizontal (non tendanciel et non saisonnier). Pour étendre leur technique aux séries non stationnaires, Box et Jenkins ont défini d'autres processus plus généraux :

d- Les processus mixtes intégrés ARIMA :

La non stationnarité est souvent due à la présence d'une tendance. Pour supprimer cette dernière on applique à la série un filtre de différence d'ordre d . On obtient alors le processus $ARIMA(p, d, q)$, qui s'écrit sous la forme condensée suivante :

$$\phi(B) D^d y_t = \theta(B) e_t$$

$$y_t = (D^d)^{-1} \phi^{-1}(B) \theta(B) e_t$$

2- Les processus mixtes intégrés et saisonniers SARIMA :

Pour tenir compte de la saisonnalité des données, Box et Jenkins l'ont incluse dans un modèle saisonnier multiplicatif SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s, qui n'est en fait que la combinaison de deux modèles ARIMA l'un non saisonnier et l'autre purement saisonnier.

L'étude d'un tel modèle est très délicate et pose de sérieux problèmes d'identification et d'estimation.

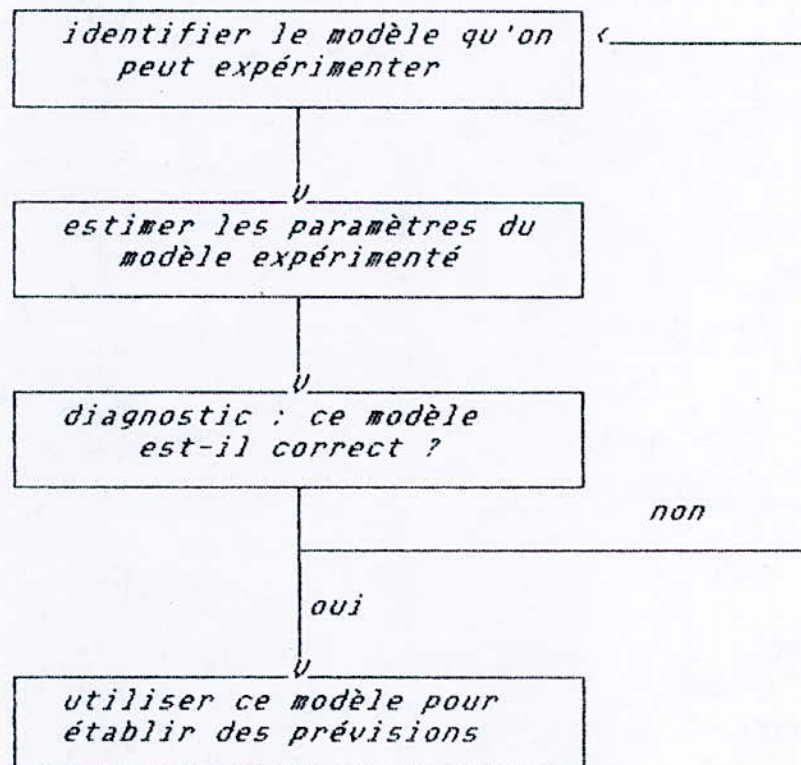
II- MODELISATION DES SERIES CHRONOLOGIQUES :

Ayant admis que la série chronologique est engendrée par un processus stochastique, Box et Jenkins devaient répondre à un ensemble de questions successives :

- Comment déterminer le processus générateur ?
- Comment vérifier la validité de ce choix ?
- Comment utiliser cette démarche dans un but de prévision ?

...

Ceci les a amené à établir une procédure méthodologique qu'ils ont résumé dans le diagramme suivant :



1^{ère} étape : Identification du modèle

Cette étape consiste au choix d'un modèle spécifique par la détermination des paramètres éventuels : p, d, q, s, P, D, Q

Ceci se fait par l'examen et l'analyse des fonctions d'autocorrélation et d'autocorrélation partielle :

- Une tendance est révélée par le fait que toutes les autocorrélations sont différentes de zéro.

- Un facteur saisonnier est révélé par le fait que les autocorrélations les plus élevées se reproduisent à un intervalle constant de périodes (s périodes).

Nous devons alors "stationnariser" la série en éliminant ces deux facteurs; pour cela on applique à la série deux filtres de différence : le premier d'ordre d pour la tendance normale, le second d'ordre D pour la tendance saisonnière.

d et D sont tels que la stationnarité de la série différenciée est garantie. C'est à dire que ses autocorrélations fluctuent toutes autour de zéro.

On examine les nouvelles autocorrélations et autocorrélations partielles, tout en considérant séparément celles qui sont saisonnières et celles qui ne le sont pas :

- Si la fonction d'autocorrélation tend vers zéro, c'est le modèle autoregressif qui convient. Son ordre p sera le nombre d'autocorrélations partielles différentes de zéro.

- Si la fonction d'autocorrélation partielle tend vers zéro, c'est le modèle en moyenne mobile qui convient. Son ordre q sera le nombre d'autocorrélations différentes de zéro.

- Si ces deux fonctions tendent simultanément vers zéro, c'est le modèle mixte qui convient.

2^{ème} étape : Estimation des paramètres du modèle identifié

Une fois qu'on a retenu un modèle on doit estimer ses paramètres. Les méthodes d'estimation utilisées recourent au principe du maximum de vraisemblance : minimisation de la somme moyenne des carrés des résidus. Cependant, les équations mises en jeu peuvent être non linéaires; on a alors besoin d'algorithmes spéciaux pour cette optimisation non linéaire.

3^{ème} étape : Validation du modèle identifié et estimé

Cette étape consiste à vérifier si le modèle choisi est convenable. Ceci se fait par l'analyse des résidus (et) calculés à partir de ce modèle.

Si les autocorrélations des résidus fluctuent tous autour de zéro, ces résidus peuvent être considérés comme la réalisation d'un bruit blanc, et le modèle choisi est correcte.

Sinon, le modèle testé est incorrect; il faut alors soit l'ajuster, soit le modifier. Pour cela, on peut encore utiliser les résidus pour rechercher la direction dans laquelle il convient d'apporter les modifications.

4^{ème} étape : calcul des prévisions à partir du modèle retenu

si le test précédent affirme la validité du modèle testé, on se trouve alors dans l'étape finale de la procédure, et qui consiste à calculer la ou les prévisions.

Généralement, on cherche à minimiser l'erreur quadratique moyenne. Pour un processus linéaire ce minimum est assuré par l'espérance conditionnelle; l'erreur de prévision est alors nulle en moyenne et de variance minimale.

CONCLUSION

La méthode de Box-Jenkins est la plus générale, la plus puissante, et la plus précise parmi les méthodes de prévision disponibles. Elle est capable de traiter des séries chronologiques à comportement quelconque et de découvrir le modèle qui leur soit le plus approprié, pour enfin l'utiliser très facilement pour produire des prévisions.

Cependant, elle reste une méthode très complexe, très exigeante en matière de données et de connaissances théoriques, et enfin très coûteuse.

