

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

6/95

وزارة التربية الوطنية

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

BIBLIOTHEQUE - المكتبة

Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT

*Genie Industriel*

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### SUJET

*Elaboration d'un modèle de prevision  
de la charge nodale adaptable  
aux postes electriques (H.T)  
du réseau SONELGAZ.*

Proposé par :

Mr GHEZAILI

(R & D SONELGAZ)

Etudié par :

M<sup>lle</sup> = FRANCIS Adla

M<sup>lle</sup> = BOUCHAFAA Bahia

Dirigé par :

M<sup>lle</sup> = ABOUN

Mr BOUZIANE

PROMOTION

*Juillet 1995.*

## ملخص

إن هدف هذا العمل هو إنجاز وسيلة مساعدة  
على أخذ القرارات عن طريق آلية وظيفة التنبؤ  
للمشحنة الكهربائية عند جميع المحطات الكهربائية  
لشبكة سونلغاز.

## RESUME

Ce travail contribue à l'élaboration d'un outil d'aide à la décision par la systématisation de la prévision de la charge électrique au niveau des postes HT du réseau SONELGAZ. Le modèle établi devra prévoir les pointes de la courbe de charge journalière et annuelle.

## ABSTRACT

This work is aimed contribute to set a help tool to decision by the automation of the function of prediction for electric load forecasting concerning all stations (HT) of electrical network of SONELGAZ. The model determined should forecast the points of the daily and yearly curve.

DEDICACES

*A Ma chère patrie,  
A Ma très chère mère qui ma comblé de sa tendresse et de son soutien moral durant  
toute ma formation,  
Toi qui est toujours dans mon coeur,  
Toi qui est pour moi une source de joie et de bonheur,  
Toi qui est pour moi l'exemple de courage et de sacrifice,  
Toi dont les paroles font naître une confiance aveugle,  
A mon chère père,  
A mes chers grands-parents particulièrement ma très chère grand mère mama Doudja,  
A mon très cher frère Abdelkader,  
A mes chères soeurs Sabeha et Atika,  
A la mémoire de mon oncle Moulay,  
A mes oncles et tantes ,  
A tous mes cousins et cousines plus particulièrement Zineb,  
A tous ceux que j'aime*

*Je dédie ce travail*

*Adla*

**DEDICACES**

*A mon cher et beau pays,  
A Ma très chère mère pour ses sacrifices et son soutien,  
Toi qui est toujours dans mon coeur,  
Toi qui est pour moi une source de joie et de bonheur,  
Toi dont les paroles font naître une confiance aveugle.  
A mon très cher père,  
A la mémoire de ma défunte soeur NAIMA  
A mes chers frères et soeurs,  
A ma tante DJAMILA,  
A mon oncle AMAR,  
A mon oncle HAMID pour son aide,  
A mes oncles et tantes,  
A tous mes cousins et cousines,  
A tous ceux que j'aime,  
Je dédie ce travail*

## REMERCIEMENTS

*A travers ces quelques lignes nous voudrions exprimer sincèrement notre gratitude et nos remerciements à tous ceux qui nous ont permis de près ou de loin de parvenir à achever ce travail.*

*Nous aimerions tout d'abord témoigner notre profonde reconnaissance à M<sup>lle</sup> ABOUN, notre directrice du département, pour tout le soutien et les facilités qu'elle nous a apportés afin que notre projet s'achève dans les meilleures conditions possibles.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à nos deux promoteurs M<sup>lle</sup> N.ABOUN et M<sup>eur</sup> M.BOUZIANE avec le concours de M<sup>eur</sup> M.GHEZALI de la direction recherche et développement (R&D) de SONELGAZ pour nous avoir guidées, assistées et encadrées. Nous remercions aussi toutes les personnes de la direction (R&D) , de la sous-direction des mouvements d'énergie et de la direction du transport de SONELGAZ qui ont collaboré avec nous depuis le début du projet.*

*Nous remercions aussi M<sup>eur</sup> MERAD et M<sup>eur</sup> SADAOUI pour leurs aides et soutiens tout le long de notre projet.*

*Nous présentons notre gratitude ainsi que notre reconnaissance à l'ensemble des enseignants qui ont contribué, directement ou indirectement , à notre formation et plus précisément à ceux du département Génie Industriel. Nous tenons aussi à remercier tous nos confrères d'études (Ali, Fatima, Karima) pour leurs critiques constructives, leurs présences et leurs aides sans oublier tout le personnel du centre de calcul ( El hadi, Hacène, Lila, Karima, M<sup>eur</sup> SI ELHADI et M<sup>eur</sup> SARI)*

*Nous ne saurions terminer sans remercier vivement notre président et nos membres du jury pour avoir expertiser notre travail et nous avoir honoré par leur présence.*

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....1  
 Présentation de L'Organisme d'accueil .....3

CHAPITRE I :

GENERALITES ET DEFINITIONS

I-1/ Introuction.....4  
 I-2/ Evolution des réseaux électriques.....4  
 I-3/ Définitions .....7  
 I-4/ Planification des réseaux.....7  
 I-5/ Exploitation des réseaux.....9  
 I-6/ Conclusion.....10

CHAPITRE II :

LA PROBLEMATIQUE

II-1/ Introduction.....11  
 II-2/ Position du problème.....13  
 II-3/ Méthodologie d'approche.....17  
 II-4/ Conclusion.....20

CHAPITRE III

METHODES DE PREVISION

III-1/ Introduction.....21  
 III-2/ Classification des méthodes de prévision.....21

III-2-1- Les méthodes qualitatives.....	21
III-2-2- Les méthodes Quantitatives.....	22
III-3/ Sélection des méthodes les mieux adaptées à la prévision de la charge.....	25
III-3-1- Les méthodes quantitatives contre les méthodes qualitatives.....	25
III-3-2- Les méthodes d'analyse des séries chronologiques contre les méthodes explicatives.....	26
III-4/ Les critères de choix d'une méthode de prévision.....	27
III-5/ A propos des séries chronologiques.....	29
III-5-1- Définition.....	29
III-5-2- Analyse descriptive d'une série chronologique.....	29
III-5-3- Les composantes d'une chronique.....	30
III-5-4- Modèles de chroniques.....	30
III-6/ Principes des méthodes choisies.....	32
III-6-1- Définition des variables.....	32
III-6-2- Moyennes mobiles simples.....	32
III-6-3- Moyennes mobiles doubles.....	33
III-6-4- Lissage exponentiel simple.....	33
III-6-5- Lissage exponentiel double.....	34
III-6-6- Méthode de Holt.....	35
III-6-7- Méthode de Holt et Winters.....	36
III-6-8- Filtrage adaptatif.....	38
III-6-9- Box et Jenkins.....	40

## CHAPITRE IV

### METHODOLOGIE DE RESOLUTION ET REALISATION DU LOGICIEL

IV-1/ Introduction.....	44
IV-2/ Algorithme général.....	44

<b>IV-3/ Conception de la base de données et gestion de fichiers.....</b>	<b>46</b>
<b>IV-3-1- Gestion de fichier.....</b>	<b>48</b>
<b>IV-4/ Procédures de choix d'options.....</b>	<b>50</b>
<b>IV-4-1- Procédures de prévision par sélection manuelle de la méthode.....</b>	<b>51</b>
<b>IV-4-2- Organigramme et algorithme généraux de prévision par choix automatique de la méthode de prévision.....</b>	<b>51</b>
<b>IV-5- Procédures des critères de choix des méthodes.....</b>	<b>54</b>
<b>IV-6- Algorithmes des méthodes de prévision.....</b>	<b>55</b>

## **CHAPITRE V**

### **APPLICATIONS ET INTERPRETATION DES RESULTATS**

<b>V-1/ Introduction.....</b>	<b>63</b>
<b>V-2/ Collecte des données.....</b>	<b>63</b>
<b>V-3/ Validation et interprétation des résultats .....</b>	<b>63</b>
<b>V-3-1/ Intreprétation des résultats de prévisions semestrielles.....</b>	<b>64</b>
<b>V-3-2/ Intreprétation des résultats de prévisions journalières.....</b>	<b>71</b>
<b>V-4/ Conclusion.....</b>	<b>74</b>

<b>CONCLUSION.....</b>	<b>75</b>
------------------------	-----------

## **BIBLIOGRAPHIE**

## **ANNEXES**



## INTRODUCTION



L'énergie électrique n'étant pas un bien directement stockable, il faut réaliser en permanence une compensation des aléas, c'est à dire un ajustement de la production à la consommation. Il n'en demeure pas moins vrai que la conjugaison d'aléas de toutes natures peut creuser l'écart entre la prévision et la réalisation par le jeu de ces ajustements successifs; et si aucune décision n'est prise par l'exploitant, le système production-transport évoluera vers un état pour lequel le risque d'avoir une forte dégradation de la qualité de service devient élevé.

Les besoins des consommateurs ne pourront donc être satisfaits, que par la maîtrise de la connaissance de la charge appelée, par la constitution d'une réserve optimale d'équipements couvrant les aléas d'exploitation et les indisponibilités programmées pour assurer la maintenance de l'outil et par un développement tenant compte des caractéristiques technico-économiques et des durées de construction des éléments constituant le système. C'est pour assurer la pratique de techniques et méthodes modernes permettant la rapidité, la systématisation de ces fonctions et enfin le maintien de la performance que la Société Nationale d'Electricité et du Gaz (SONELGAZ) a pensé élaborer un modèle de prévision de la charge nodale intégré avec les autres modèles d'analyse des réseaux.

Le but de la présente étude est l'élaboration d'un outil d'aide à la décision qui permettra la prévision à court et moyen terme de la charge électrique au niveau de chaque poste du réseau électrique à haute tension de SONELGAZ, Afin de répondre aux préoccupations d'une bonne gestion de l'énergie électrique.

Le plan de notre travail est établi de la manière suivante :

Le premier chapitre englobe des généralités sur l'évolution, la planification et l'exploitation des réseaux. Nous donnons des définitions sommaires des entités de notre

problème à savoir: Le poste électrique, la courbe de charge et enfin le dispatching économique[PEL, 71].

Le second chapitre présente la raison d'être de la systématisation de la prévision par la position de problème . Aussi nous nous inspirons de deux exemples d'application des modèles prévisionnelles.

Le troisième chapitre est consacré à la classification des méthodes de prévision, à la sélection et à la présentation de celles qui s'adaptent le mieux à notre problème.

Le quatrième chapitre porte sur l'élaboration de notre programme, illustré par les procédures de gestion de la base de données et les techniques de résolution pour la prévision. En s'inspirant des travaux réalisés par R. Irvin [IRV, 90] traitant de la prévision de la charge par la conception d'un modèle de prévision intégrant des techniques et des algorithmes existant dans un système détaillé supporté par une base de données.

Le dernier chapitre présente une application de notre modèle. Aussi nous exposons les données réelles qui représentent l'input de notre modèle et les prévisions qui en sont les outputs.

Enfin nous terminons notre travail par une conclusion et des suggestions permettant d'enrichir le modèle soumis pour le rendre accessible à tous les utilisateurs.

## PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

La SONELGAZ, Société Nationale de l'Electricité et du Gaz, détient le monopole de la production, du transport, de la distribution et de l'exportation de l'électricité et du gaz naturel.

La SONELGAZ a été créée en 1969, se substituant à E.G.A. ( Electricité et Gaz d'Algérie ). Dès sa mise en place, l'entreprise a effectué, outre la vente d'énergie, l'installation et l'entretien d'appareils domestiques fonctionnant à l'électricité et au gaz. Elle s'est attachée à promouvoir l'utilisation du gaz naturel et de l'électricité dans les secteurs industriel, artisanal et domestique. A partir de 1978, son action s'est concentrée sur le programme d'électrification totale du pays. Ainsi, elle a largement contribué à la modernisation de l'économie et des conditions de vie en Algérie.

L'entreprise prévoit d'une part d'augmenter ses livraisons en électricité par un renforcement des équipements de production, de transport et de distribution.

Sa stratégie de développement se caractérise par le souci constant de satisfaire les besoins d'une économie en plein essor et d'offrir à la clientèle une **qualité de service toujours meilleure.**

Pour être plus présente et plus efficace localement, La SONELGAZ s'est dotée de neuf zones de distribution mixtes, qui pilotent elles mêmes un certain nombre de centres de distribution correspondant au découpage administratif du territoire. A son tour, chaque centre regroupe plusieurs agences de distribution qui constituent les unités de base en liaison permanente avec la clientèle. Grâce à cette nouvelle organisation, la distribution est, aujourd'hui en mesure de satisfaire une demande d'environ 20.100 Gigawattheure( GWH).

# CHAPITRE I

## GENERALITES ET DEFINITIONS

## **I - GENERALITES ET DEFINITIONS**

### **I-1- INTRODUCTION:**

Le développement rapide que l'énergie électrique a connu depuis le début du siècle et le rôle essentiel qu'elle joue actuellement dans notre vie quotidienne sont en général attribués à deux facteurs:

- la facilité de transformation sous d'autres formes d'énergie: mécanique, thermique, lumineuse, chimique;
- La possibilité de mobiliser les énergies concurrentes telles que le pétrole, gaz, charbon et les sources spécifiques, hydrauliques et nucléaires.

Incontestablement, cette souplesse d'utilisation et de production de l'énergie électrique a largement contribué à son développement mais ce ne sont pas ces facteurs qui expliquent à eux seuls son essor et la place qu'elle occupe aujourd'hui dans les domaines industriel, agricole, de transport et dans le secteur tertiaire et domestique.

### **I-2- EVOLUTION DES RESEAUX ELECTRIQUES [PER, 84]:**

L'électricité apparaît comme le moyen le plus utilisable pour transmettre l'énergie à des distances importantes; les premiers réseaux ont été conçus pour transporter et distribuer l'électricité produite par des centrales hydrauliques ouvrant ainsi la voie à l'utilisation de sources d'énergie jusqu'alors inexploitées. Dès lors, le développement de l'énergie électrique apparaît comme indissociablement lié à la mise en place d'un réseau reliant les sites de production aux utilisateurs.

A l'origine, le transport de l'énergie électrique s'est révélé facile à réaliser. Mais des difficultés sont apparues dès que les puissances à transmettre et les distances à franchir sont devenues plus grandes. Une technique de transport s'est bâtie et s'est perfectionnée pour faire face aux problèmes liés aux augmentations constantes des puissances à transmettre.

Le rôle des réseaux électriques est de transporter l'électricité. Les moyens de production de l'énergie électrique sont, eux mêmes, une proportion de l'énergie totale telle qu'elle ne remette pas en cause leur existence. On distingue, traditionnellement, trois types de réseaux:

- Les réseaux de transport, liant les grands centres de production aux grands centres de consommation et les grandes régions entre elles, voire les pays.
- Les réseaux de répartitions qui, depuis les réseaux précédents, transportent l'énergie jusqu'aux abords des petites villes ou à l'intérieur des grandes villes, jusqu'à un groupe de villages ou chez les gros clients industriels;
- Les réseaux de distribution qui irriguent le terrain jusqu'à atteindre la clientèle domestique et les petites industries; les tensions de ces réseaux sont inférieures à 1 KV.

Dans le cadre de notre étude, nous nous intéressons au réseau de transport national à haute tension (voir annexe 3). Nous présentons le schéma synoptique de l'énergie électrique dans la figure 1-1.

SCHÉMA ÉNERGETIQUE DE L'ÉLECTRICITÉ

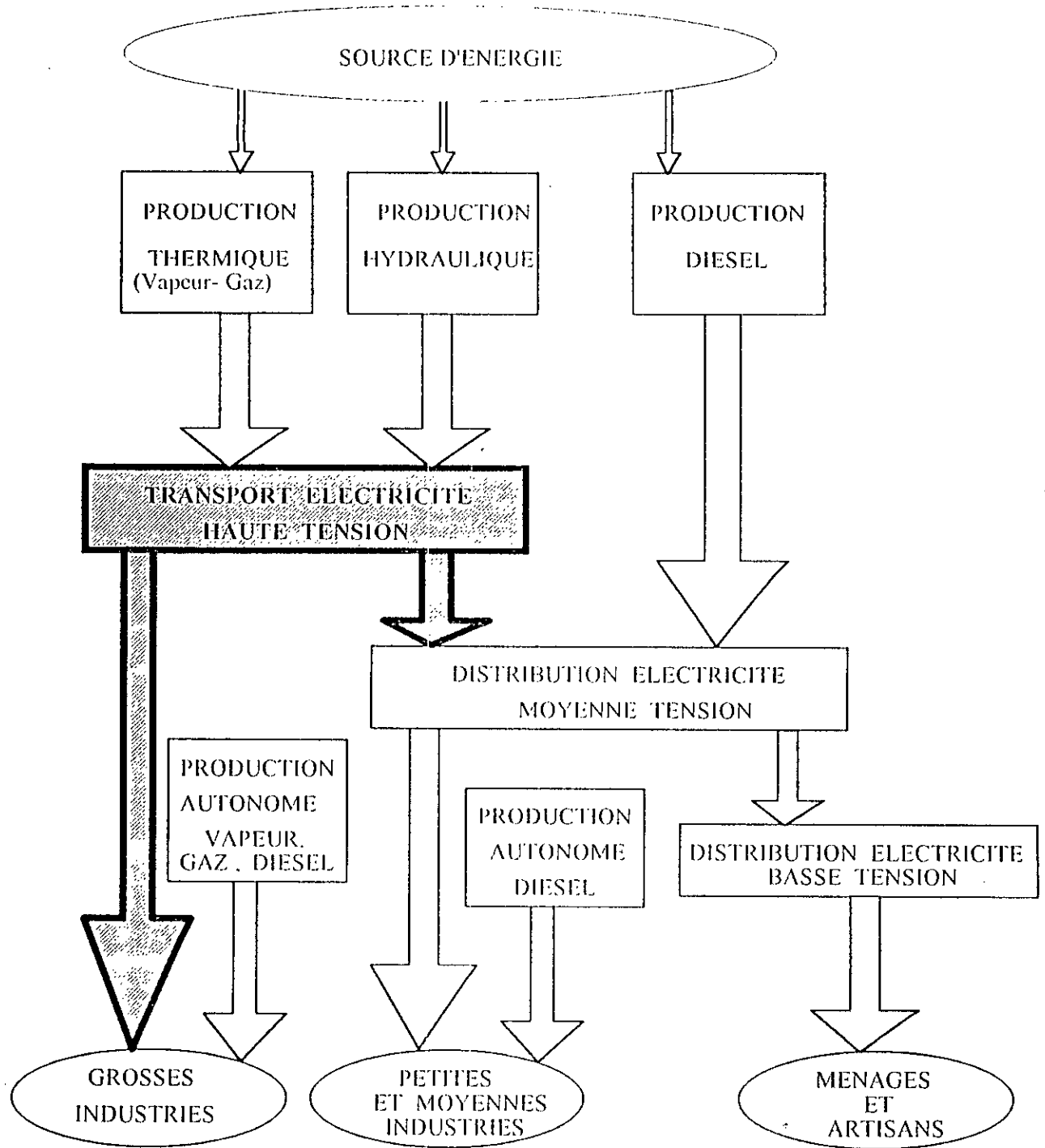


FIGURE I-1

**1-3- DEFINITIONS:**

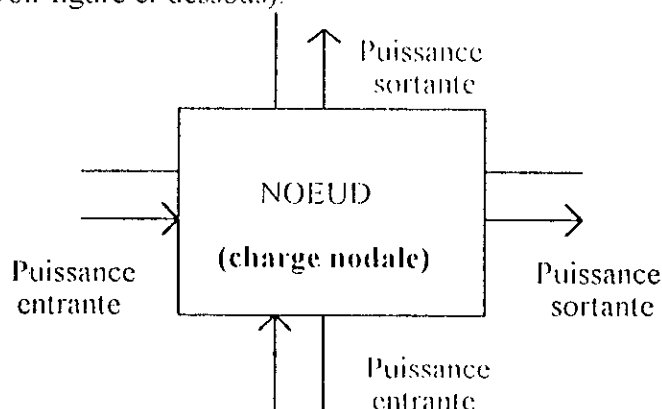
**1-3-1- Le poste électrique:** Le rôle d'un poste électrique haute tension (HT) est de :

- transformer la haute tension en une moyenne tension
- répartir la haute tension en haute et moyenne tensions.

En général, un poste électrique est composé d'un ensemble d'appareils électriques de mesure, de contrôle et de réglage.

**1-3-2- La courbe de charge :** Pour caractériser la consommation d'un type d'énergie (solaire, électrique,...), il importe de connaître l'énergie totale consommée en un laps de temps déterminé, ainsi que la manière dont cette énergie est consommée; c'est à dire l'appel instantané de puissances . Ceci se traduit par une courbe de puissance ou courbe de consommation.

La consommation en énergie électrique au niveau d'un poste à un instant donné est dite charge nodale (voir figure ci-dessous).

**1-4- LA PLANIFICATION DES RESEAUX :**

Bien que le prix du kilowattheure (KWH) soit peu élevé, le développement du réseau de transport et de distribution de l'énergie électrique met en jeu des masses financières très importantes vue la taille du réseau qui est en évolution continue comme nous le montrent le tableau 1-1 et la Figure 1-2 ci-dessous .



Niveau de tension	1970	1980	1990	1991	1992	Evolution (%) 1991-1992	Taux annuel moyen (%) (1991/1980)
220 KV		2.531	5.262	4.992	5.629	12,76	6,37
150 KV	1.563	47	69	46	68	47,83	-0,20
90 KV	304	422	415	469	444	-5,33	0,96
60 KV	1.784	2.827	4.848	4.743	4.966	4,70	4,82
Toutes tensions confondues	3.651	5.827	10.594	10.250	11.107	8,36	5,27

TABLEAU I-1: Evolution du réseau de transport électricité en kilomètres de lignes [SON,92]

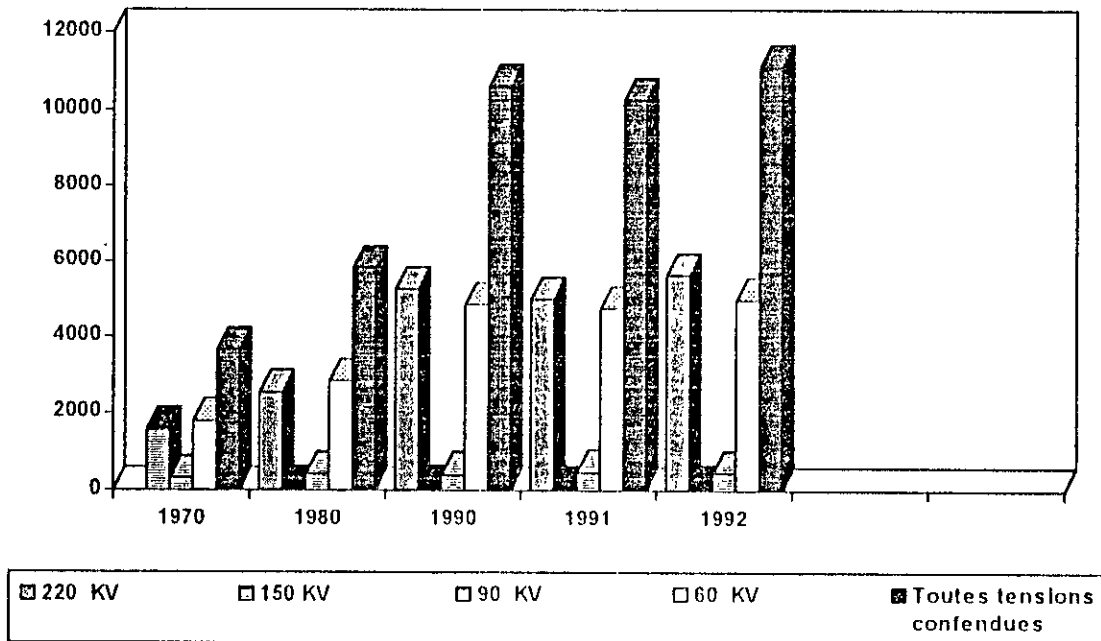


FIGURE I-2: Histogramme de l'évolution du réseau de transport électricité en kilomètres de lignes

Nous remarquons une évolution du réseau électrique dans le temps. La décroissance notée entre 1991 et 1992 des longueurs de lignes de tension 90 KV est due à un déclassement de tension (transfert de tension dans une ligne de tension élevé vers une ligne de tension plus faible) et non à une suppression de lignes.

De plus, lors de la planification d'un réseau, des considérations techniques et économiques essentiellement liées aux puissances à transporter et au coût sont à prendre en compte.

En régime normal, à un instant donné, il y a égalité entre la production et la consommation de puissance active. Or, tout déséquilibre entre ces deux entités entraîne une variation de la fréquence engendrant une perturbation de la qualité du service public ainsi qu'une insécurité du réseau.

Un réseau conçu initialement est dynamique; il est toujours exposé à des changements suivant la croissance de la demande en énergie électrique. Il est donc important avant de procéder à son extension de faire une étude préalable de l'évolution de la consommation future.

#### **1-5- L'EXPLOITATION DU RESEAU [ELE,79]:**

Une fois le réseau conçu, il faut l'utiliser en tenant compte du caractère particulier du fonctionnement des ouvrages du réseau, du coût de production d'énergie par les centrales et du caractère fluctuant de la demande.

La gestion des réseaux répond à cet objectif; elle consiste à définir des programmes annuels d'utilisation des ouvrages puis des programmes hebdomadaires, plus précis, enfin des programmes journaliers, encore plus détaillés. De plus, il est nécessaire de prendre des mesures de sauvegarde et de protection du réseau, vue la nature du service qui est en même temps public et continu.

La gestion prévisionnelle du réseau est un problème de dispatching économique. C'est un centre où aboutissent en permanence toutes les informations sur l'état du réseau devenant ainsi une source de contrôle et de décision capable de réagir en permanence à toutes les perturbations qui peuvent se présenter et de jouer le rôle d'un cerveau qui appréhende les phénomènes et décide. On y gère des programmes horaires, journaliers, hebdomadaires et annuels pour pouvoir faire face à une demande de consommation .

Lors de notre visite à ce centre, nous avons constaté que ces fonctions (prévision de charges) sont accomplies par :

- L'estimation de la charge future sur la base de résultats déjà connus par un ajustement manuel et un recours à l'expérience acquise dans le domaine.
- La corrélation empirique établie entre l'évolution de la demande en énergie électrique et les variations de variables influençant le système (température, nébulosité).

**1-6-1- Rôle du dispatching économique (D.E) [PEL, 71]:**

C'est un organisme de gestion ayant pour rôle:

- de pourvoir les usagers en alimentation électrique à tout moment et en tout point du réseau dans les meilleures conditions possibles de puissance, de tension, de fréquence et de sécurité.
- De faire face aux écarts aléatoires dans un programme prévu de production. Ces écarts peuvent être dus soit à la mise hors service d'un équipement, soit à une nette différence avec la consommation prévue. De plus, il doit agir en quelques minutes et ne peut donc faire appel qu'aux équipements en service à l'instant considéré.

**1-6- CONCLUSION :**

La connaissance de la charge est nécessaire pour équilibrer la demande et la production d'énergie électrique. Cependant, cette dernière ne peut se stocker que sous une quantité limitée. C'est pourquoi, la gestion de l'énergie électrique est une fonction indispensable du dispatching économique (D.E) dans le but de sauvegarder le réseau électrique et d'assurer une bonne qualité de son service.

CHAPITRE II

PROBLEMATIQUE

## II - PROBLEMATIQUE

### II-1 - INTRODUCTION :

La connaissance des charges électriques et la maîtrise de leurs lois de variation jouent un rôle très important dans l'économie des ressources énergétiques ( ajustement optimal et continu de la production et de la consommation ), le dimensionnement optimal des équipements ( lignes, transformateurs, centrales...) et la conduite optimale du réseau (sécurité et suivie des réseaux en régime perturbé, garantie de la qualité de service, ect.). Ces charges sont à caractère variable dans le temps, car elles sont liées à une activité humaine et à des phénomènes météorologiques.

Les analyses annuelles des courbes de charges relevées systématiquement en juin et décembre au niveau des 56 postes, ont montré que ces charges peuvent être décomposées en :

- composante saisonnière caractérisée par un taux d'évolution plus ou moins régulier;
- composante accidentelle ou aléatoire liée aux activités humaines;
- composante météorologique liée aux conditions climatiques "température nébulosité".

Les différentes applications faisant appel à une connaissance préalable de la charge sont représentées dans la figure II-1.

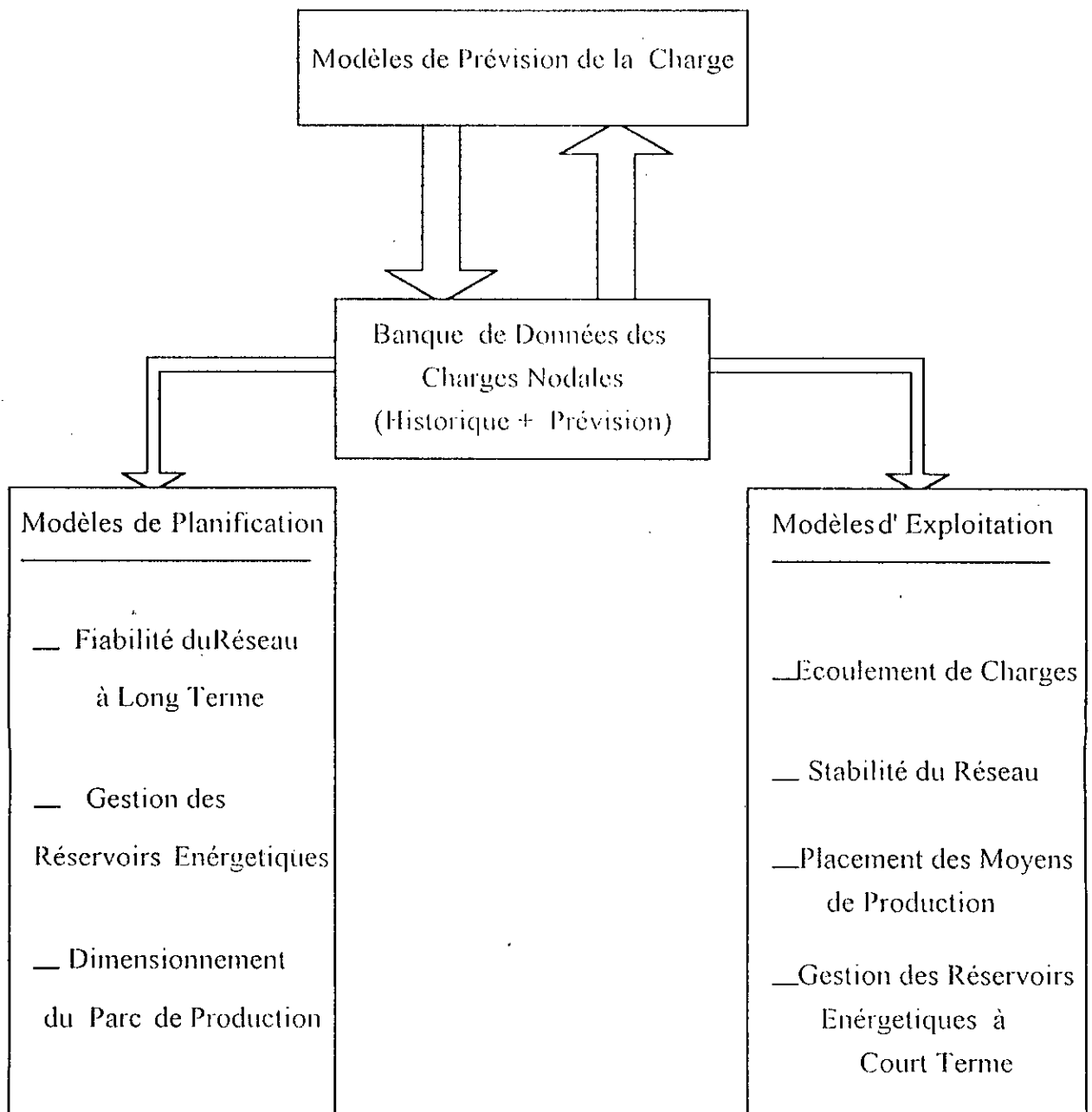


FIGURE II-1: Représentation des différentes applications de la prédiction de charge

**II-2- POSITION DU PROBLEME**

Satisfaire 24 heures sur 24 les besoins en électricité avec les qualités requises, d'une demande en évolution permanente exige une organisation sans faille. Tenant compte de cette situation, la SONELGAZ s'efforce toujours d'améliorer la qualité de son service usant du matériel et des techniques dont elle dispose.

Les Tableaux (II-1, II-2) et figures (II-2, II-3) ci-dessous présentant l'évolution du nombre d'abonnés en électricité et la vente d'énergie électrique, montrent que les calculs par ajustement manuel sont de plus en plus complexes et nécessitent un temps considérable. Les erreurs deviennent inévitables et la vérification ou l'évaluation des écarts de prévision sont pratiquement impossibles.

Par type d'abonnés	1970	1980	1990	1991	1992	Evolution (%) 1991-1992	Taux annuel moyen (%) (1991/1980)
Basse Tension	717000	1595000	3138813	3288476	3452637	4,99	6,80
Moyenne Tension	3302	7718	20811	22236	23624	6,24	10,10
Haute Tension	12	43	58	57	59	3,50	2,60
Vente totale	720314	1602761	3159682	3310769	3476320	5,00	6,82

**TABLEAU II-1: Evolution des abonnés en électricité en unités**

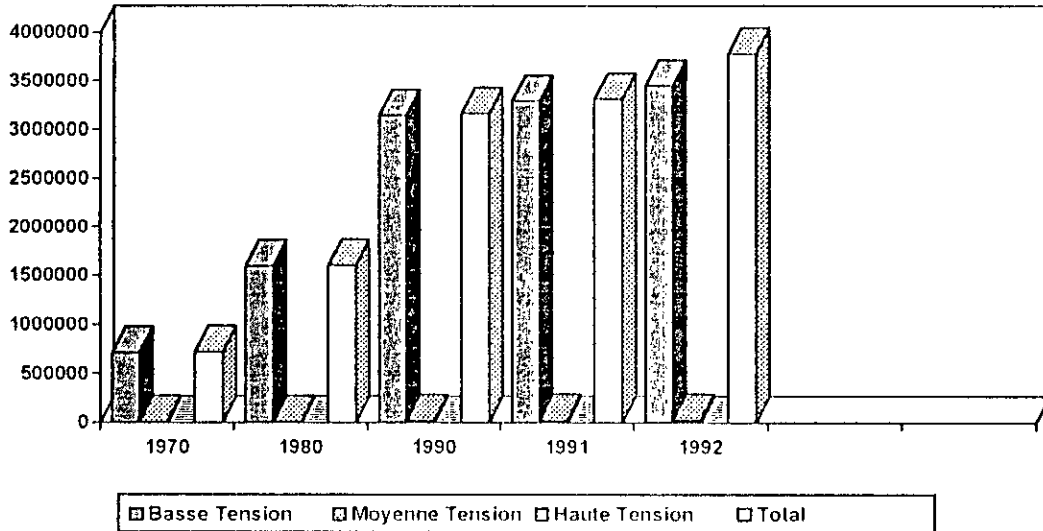


FIGURE II-2: Histogramme de l'évolution des abonnés en électricité en unités

Nous remarquons une évolution galopante du nombre d'abonnés en électricité. Cette croissance est due à plusieurs facteurs :

- Le développement très rapide des consommations des gros clients industriels durant la décennie 1970;
- La densification des activités P.M.E. - P.M.I.;
- La dynamique démographique et son corollaire en matière de logement;
- programme massif et volontariste d'électrification rurale.



Par type d'abonnés	1970	1980	1990	1991	1992	Evolution (%) 1991-1992	Taux annuel moyen (%) (1991/1980)
Basse Tension	495	1415	4676	5071	5774	13,86	12,30
Moyenne Tension	760	2068	4643	4636	4941	6,58	7,71
Haute Tension	252	1909	3694	3715	3762	1,27	6,24
Vente totale	1507	5392	13013	13422	14477	7,86	8,64

TABLEAU II-2: Evolution des ventes électricité en GWh

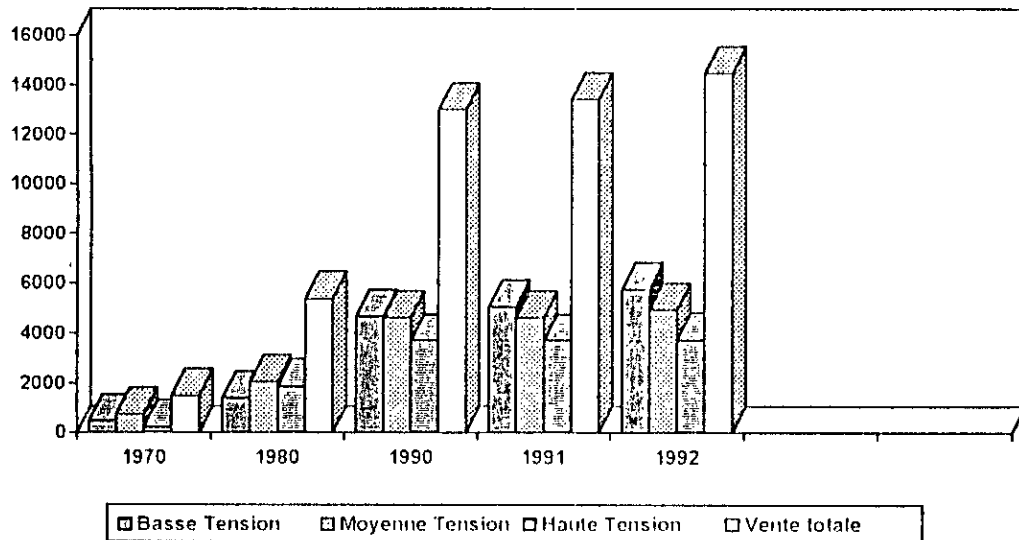


FIGURE II-3: Histogramme de l'évolution des ventes électricité en GWh

Nous remarquons une évolution des ventes de l'énergie électrique. Celle-ci est due aux mêmes raisons de l'évolution des abonnés en électricité.

La maîtrise d'une forte demande en énergie électrique nécessite tout particulièrement la recherche de l'efficacité dans la coordination des études, leur suivi et leur application dans les domaines technico-économiques (planification, avant projet, engineering, technique d'exploitation) et de gestion (information et communication, informatique, statistiques, finances, gestion du personnel...) ainsi qu'un contrôle continu de l'évolution des techniques.

Actuellement, les prévisions à court et moyen termes utilisent les méthodes suivantes:

- L'estimation de la charge future sur la base de résultats déjà connus par un ajustement manuel et un recours à l'expérience acquise dans le domaine;
- La corrélation établie de manière qualitative entre l'évolution de la demande en énergie électrique et les variations des paramètres influant sur le système.

Mais aujourd'hui, ces procédures ne sont plus adéquates pour faire l'objet d'une systématisation faisant partie d'un package des différentes fonctions d'analyse des réseaux. Par contre, de nouvelles démarches dans le domaine de la prévision, orientées vers la programmation et l'organisation, se révèlent capables de générer des performances tout à fait remarquables surtout, pour la prise de décisions, fonction cruciale du manager.

Le problème est posé dans le cadre suivant:

- Conception d'un modèle de prévision systématique pouvant être adapté à tous les postes électriques haute tension;
- Gain de temps dans le traitement des calculs;
- intégration du modèle avec les systèmes d'analyses des réseaux électriques existants, constituant un package régissant la conduite du réseau (Figure II-1).

C'est pour répondre à ces préoccupations que peut naître un quelconque intérêt pour l'établissement d'un modèle de prévision de la charge nodale. Notre travail consiste en l'élaboration d'un algorithme adaptatif, lié au rythme d'appel d'énergie au niveau de chaque poste du réseau électrique et permettant une représentation d'approche de l'évolution future de ce type de phénomène. Ce travail implique

- La mise en place d'une base de données;

- L'établissement d'une bibliothèque de méthodes de prévision adaptées à ce domaine;
- L'automatisation de la prévision de la charge nodale.

### **II-3- METHODOLOGIE D'APPROCHE:**

Le modèle de prévision que nous avons à élaborer doit prévoir la charge pour chaque poste du réseau électrique. Par conséquent, il doit s'adapter à tout type de changements survenus sur la consommation de l'électricité pour éviter la nécessité de changer le modèle de prévision. Pour résoudre ce problème nous nous sommes inspirées des exemples que nous illustrons ci- dessous.

#### **a - Développement et application d'un système de prévision de la charge[IRV,90] :**

La privatisation de l'alimentation en énergie électrique en Grande Bretagne, met en exergue le problème de la prévision de la charge. En particulier, les compagnies de distribution ont besoin de prévoir, de manière précise, la demande en énergie électrique pour faciliter la gestion de la charge, l'autoproduction et la planification des systèmes électriques. Les compagnies productrices et la compagnie du réseau continueront à avoir de grands intérêts dans la prévision de la charge.

Pour que les compagnies régionales d'électricité (CREs) fonctionnent avec profit au sein de l'industrie privée, il est essentiel qu'elles soient capables de prévoir avec précision la demande de leurs consommateurs. La recherche des auteurs sur ces nécessités fondamentales est l'objet de l'article étudié par R- Irving [IRV, 90].

Celui-ci définit les fonctions supportées dans un système de prévision de la charge électrique et indique l'intégration des techniques et des algorithmes de prédiction basée sur l'analyse statistique ou mathématique des données historiques. L'objectif de ce produit est de répondre aux besoins spécifiques de l'industrie britannique de l'alimentation en électricité, mais cela peut être considéré comme une première étape vers son utilisation comme mesure générale dans la gestion de l'énergie.

Le modèle de prévision défini contient un algorithme mettant à jour les paramètres auto-adaptables pour éviter de changer fréquemment le modèle de prévision. L'interface homme-machine est conçue spécialement pour le distributeur d'électricité et utilise une terminologie familière à l'utilisateur.

#### **a-1- L'algorithme de prévision de la charge:**

Le système de prévision de la charge présenté est doté d'un modèle " Auto-Regressive Integrated Moving Average" ( ARIMA). Les paramètres du modèle sont changés continuellement suivant les petites variations périodiques dans la demande temporelle de la charge.

#### **a-2- Equipement**

L'interface homme-machine du système de prévision a été spécialement conçue suivant les exigences du distributeur en énergie électrique.

##### **a-2-1- Construction et diagnostic des modèles**

Un moyen permettant aux utilisateurs d'ajuster et construire les modèles (ARIMA) est inclus. Celui-ci est basé sur des graphiques permettant à l'utilisateur d'examiner:

- les graphes des Séries temporelles;
- les écarts de prévision;
- les paramètres du modèle;
- les fonctions d'auto-corrélation.

##### **a-2-2- Modification et manipulation des données**

L'utilisateur peut, par lui même, apporter des modifications sur les séries temporelles.

Ces modifications sont utiles pour accomplir les différentes fonctions ci-dessous:

- l'élimination et le remplacement des points de données erronées;
- les données manquantes peuvent être remplacées par des valeurs alternatives;
- la base de temps d'une série temporelle peut être modifiée.

### a-3- Base de données de la prévision de la charge

La base de données de la prévision de la charge contient les données d'entrée pour les programmes de la prévision de la charge ainsi que les données de sorties ( Les prévisions elles-mêmes).

### a-4- Conception du software

Le programme de prévision de la charge est conçu en FORTRAN 77 . Cette étude est basée sur la philosophie de WIMP (Windows - Icône- Mouse - Pointers) . La structure interne du software est aussi modulaire que possible pour permettre l'introduction d'options et applications additionnelles ultérieures.

## b- Automated Load Forecasting Assistant(ALFA) [JAB, 88] :

Cet exemple étudié par K-Jabbour( [JAB, 88]) , présente un système expert (ALFA) pour la prévision à court terme de la consommation de l'électricité. Celui-ci est en cours d'application au centre de recherche N.M.P.C (Niagara Mohawk Power Corporation's).

### b-1- Méthodologie de prévision

La technique de prévision présentée dans cet article, est basée sur les modèles explicatifs, introduisant l'influence des variables climatiques sur la charge électrique.

#### b-1-1 Le modèle de la charge

Avant l'élaboration du modèle ALFA, les prévisions de la charge se faisaient de façon intuitive; les opérateurs recherchaient un jour précédant pour lequel les paramètres climatiques étaient les mêmes que ceux du jour à prévoir. Cette recherche étant purement manuelle, avec une base de données limitée.

Pour cela la recherche des auteurs dans le domaine de la gestion énergétique s'est orientée vers l'amélioration des méthodes existantes tout en introduisant un outil informatique doté d'une base de données plus riche et d'un algorithme de recherche plus rapide.

Les paramètres retenus dans le modèle de régression multiple sont les suivants:

- La base de la charge constituée par des données horaires sur un historique de quinze ans.
- La périodicité de la charge:

La charge électrique montre des variations sur trois périodes fondamentales:

- \* La périodicité journalière mettant en évidence le creux et les deux pointes maximales de la courbe de charge.
- \* La périodicité hebdomadaire de la charge créée par une demande plus faible chaque fin de semaine;
- \* La saisonnalité créée par l'augmentation de la demande pendant l'été et l'hiver (pointe été, pointe hiver);

- L'effet du climat:

La charge résiduelle est la différence entre la charge réelle et la charge statique. Il a été démontré la corrélation entre la consommation de la charge et différentes variables climatiques pour justifier l'application des méthodes de régression. Le modèle mathématique est défini comme suit:

$$\text{charge électrique} = \text{charge statique} + \text{charge résiduelle} + \text{bruit.}$$

#### II-4- CONCLUSION

Le modèle de prévision de la charge doit être compatible avec les modèles d'analyse des réseaux électriques existants, pour concevoir ainsi un package de toutes les fonctions du réseau ( Planification, exploitation et prévision ).

Après avoir défini et bien cerné le problème, une étude de l'état de l'art des méthodes de prévision s'impose .

CHAPITRE III

METHODES DE PREVISION

## III - METHODES DE PREVISION

### III-1- INTRODUCTION:

Les progrès des approches scientifiques telles que la recherche opérationnelle, l'économétrie et les statistiques, permettent d'approfondir et d'établir des techniques et méthodes modernes de la fonction de prévision, de plus en plus précises et s'adaptant de mieux en mieux aux différents aspects que reflètent les situations réelles.

La prévision étant 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?

### III-2- CLASSIFICATION DES METHODES DE PREVISION [WHE, 83]

Pour répondre aux diverses situations nécessitant l'utilisation de la prévision, plusieurs méthodes de prévision ont été développées suivant le domaine d'application de chacune d'entre elles. Une classification des méthodes courantes et générales est donc indispensable pour une meilleure prévision selon le cas qui se pose (Figure III-1).

Les méthodes de prévision se divisent en méthodes quantitatives et qualitatives.

#### III-2-1- Les méthodes qualitatives :

Ces méthodes consistent à faire un sondage et à interroger les experts et les personnes ayant un avis à donner sur l'évolution 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.



**III-2-2- Les méthodes 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 explicatives ( ou les régressions)
- 2- les méthodes d'analyse des séries chronologiques.

**a- Les méthodes explicatives :**

Les méthodes explicatives 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 explicatives.

**b- 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 :

**b-1- Les méthodes de lissage :**

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'observation. 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:

- les moyennes mobiles simples;
- les moyennes mobiles doubles;

- le lissage exponentiel simple;
- le lissage exponentiel double;
- la méthode de Holt;
- La méthode de Holt-Winters;

**b-2- Méthode du filtrage adaptatif:**

La prévision par cette méthode est basée sur les observations historiques. La technique est appliquée à tout type de loi de données.

**b-3- Méthode de Box et Jenkins:**

La méthode de Box et Jenkins est bien adaptée au traitement de séries chronologiques complexes et aux situations pour lesquelles la loi de base n'est pas apparente. Elle est certes, coûteuse et compliquée mais elle est intéressante et extrêmement efficace car sa précision est plus importante que celle des autres méthodes quantitatives.

La figure III-1 illustre la classification des différentes méthodes de prévision .

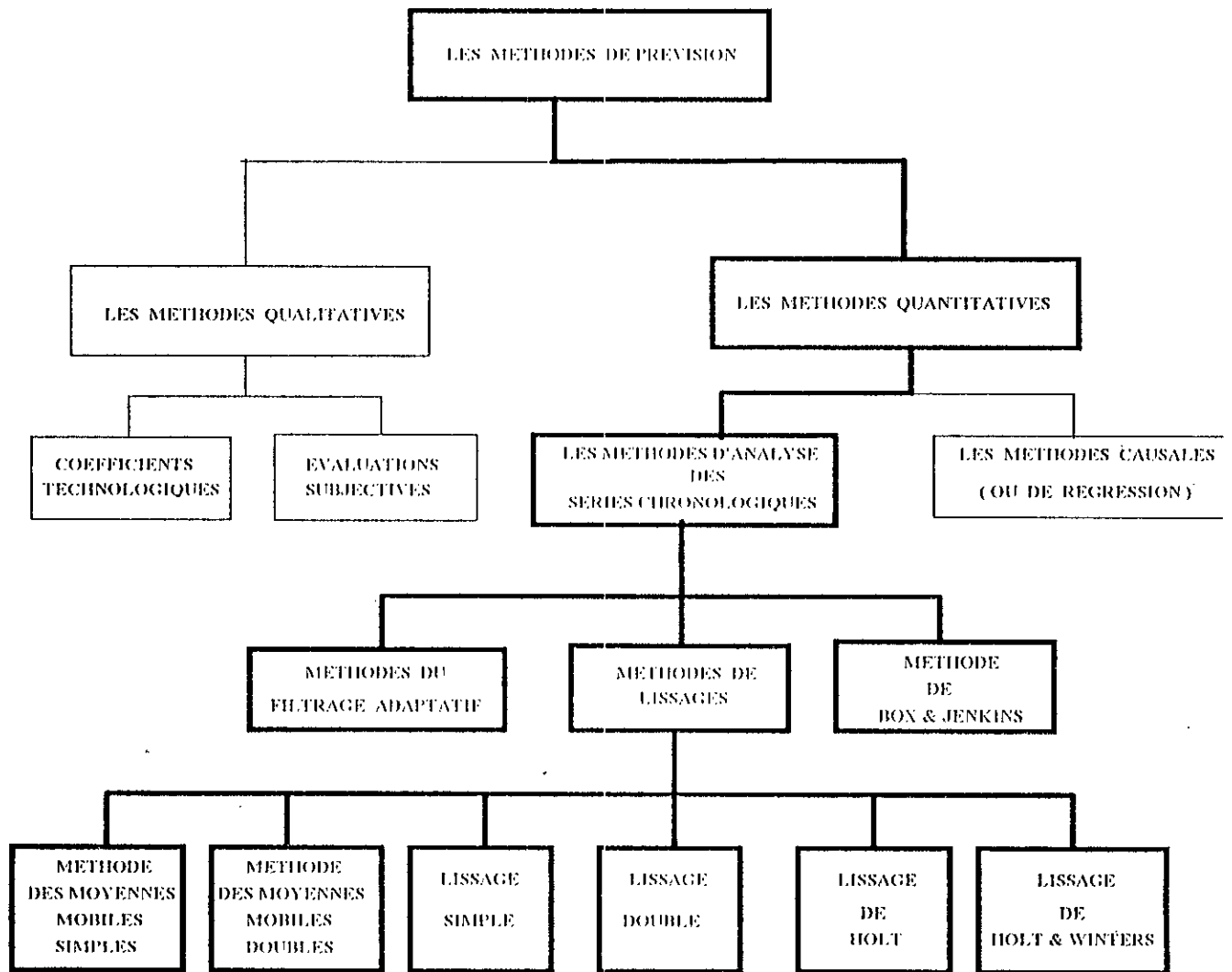


FIGURE III-1: Classification des méthodes de prévision

### III-3- SELECTION DES METHODES LES MIEUX ADAPTEES A LA PREVISION DE CHARGE

La tâche la plus importante consiste à choisir sur la base de certains critères, là ou les méthode(s) appropriée(s) pour la prévision de la charge nodale la mieux adaptée à notre problème.

#### III-3-1 Les méthodes quantitatives contre les méthodes qualitatives :

Les méthodes qualitatives sont, en général, appliquées aux études de long terme et exigent pour leur mise en oeuvre des coûts élevés tandis que les méthodes quantitatives sont utilisées pour les prévisions à moyen et court terme et les coûts qu'elles engendrent sont relativement faibles. Du point de vue de la précision, les méthodes quantitatives donnent des résultats plus fiables que ceux donnés par les méthodes qualitatives (voir TABLEAU III-1).

ANNEE	Prévision qualitative	Lissage exponentiel	Box et Jenkins
1968	5749	5974	4755
1969	3858	4470	4403
1970	4013	2958	3284
1971	6033	5657	4785
1972	9782	8958	8748
Moyenne	5887	5603	5595
T.E.M.A	15.9 %	15.1 %	14.0 %

TABLEAU III-1

Source: [Mab, 75]

T.E.M.A : Taux d'erreur Moyenne Absolue.

Le tableau ci-dessus est un exemple d'étude [Mab, 75] de comparaison entre la prévision des ventes d'une entreprise, historiquement basée sur les jugements des vendeurs et des dirigeants et deux méthodes quantitatives différentes. Cette comparaison est basée sur l'écart moyen absolu et le taux d'erreur moyenne absolue.

D'après ce tableau nous remarquons que les deux méthodes quantitatives donnent des résultats meilleurs que la prévision qualitative, sur la période de cinq ans couverte par l'étude. De plus, Mabert a constaté qu'en terme de rapidité et de coût, les méthodes quantitatives étaient plus attrayantes.

Sur la base de ces trois critères (coût, précision et horizon temporel: court ou moyen terme), le choix de méthode quantitatives s'avère tout à fait justifié pour le problème à traiter.

### **III-3-2- Les méthodes d'analyse des séries chronologiques contre les méthodes explicatives :**

Souvent, l'expert est amené 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 explicative donnerait des résultats plus fiable qu'une méthode d'analyse des séries chronologiques?

Généralement, le choix des méthodes explicatives est conditionné par la possibilité de trouver toutes les variables causales et la disponibilité des données. D'autre part, ces méthodes sont utilisées lorsque le nombre de variables à prévoir n'est pas très grand.

Or, nous avons à prévoir la consommation d'énergie électrique au niveau de tous les postes du réseau de SONEGAS. Pour cela nous ne disposons que des données de la variable représentant la consommation d'électricité au niveau des postes électriques. Les historiques des variables explicatives n'existent pas. De ce fait, seules les méthodes d'analyse des séries chronologiques seront appliquées pour le problème objet de l'étude.

### III-4- LES CRITERES DE CHOIX D'UNE METHODE DE PREVISION:[WHE,83]

Le passage en revue des différentes méthodes de prévision existantes nous a permis de les classer (Figure III-1) et de sélectionner les plus appropriées à notre problème. Quels sont alors les critères de ce choix?

Vu le problème posé, nous avons retenu les caractères suivants :

- **L'horizon temporel:** C'est l'intervalle de temps qui sépare le moment où la prévision est effectuée et le moment pour lequel on désire prévoir. Selon l'horizon considéré, on distingue entre prévision à court et moyen terme. 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.

- **La loi d'évolution des données:** Plusieurs paramètres rentrent en jeu dans le choix d'une technique de prévision. Parmi ces paramètres l'existence d'une saisonnalité, d'une tendance et d'une composante aléatoire.

- **La précision et la disponibilité des données:** Au centre de toute application d'une méthode de prévision, les données jouent un rôle important. La prévision dépend directement de la précision des données. Pour certaines méthodes il faut avoir un historique très riche.

- **Possibilité d'application :** La possibilité d'application des méthodes de prévision est le dernier critère qu'on retient, pour adapter à la situation les méthodes de prévision. Le principal aspect de ce critère est l'attrait intuitif de la méthode pour son utilisateur, c'est à dire sa compréhension plus ou moins grande pour la méthode et la précision que présentent pour lui les résultats de cette méthode.

Le tableau III-2 représente une comparaison entre les différentes techniques de prévision quantitatives sur la base des critères énumérés précédemment.

	LISSAGE						CONTROLE	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	Filtre Adaptatif	Box et Jenkins
HORIZON TEMPOREL	Immédiat Moins D'1 Mois	X	X	X	X	X	X	X
	Court 1à3 Mois	X	X	X	X	X	X	X
	Moyen Moins de 2 Ans	X	X	X	X	X	X	X
LOI DE DONNEES	Horizontale	X	X				X	X
	Tendance			X	X	X	X	X
	Saisonnaire						X	X
DONNEES	Besoin min. en Données	5-10	2	10-20	3		5 Sais.	6 Sais.
PRECISION	Prediction De La Loi	2	3.5	2	2.5		7	10
APPLICAT.	Facilité	10	8	9	7		7	4

TABLEAU III-2: Comparaison entre les techniques de prévision retenues

(1) : Moyenne mobile simple, (2) : Lissage exponentiel simple, (3) : Moyenne mobile double, (4) : Lissage exponentiel double, (5) : Lissage de Holt  
(6) : Lissage de Holt et Winters

Pour l'appréciation de la facilité d'application et de la précision nous avons considéré une échelle de 0 à 10 où 0 représente le minimum et 10 le maximum.

Le tableau III-2 montre que:

- Les méthodes choisies sont toutes applicables à très court, court et moyen terme;
- La méthode de Box et Jenkins ainsi que le Filtrage adaptatif sont applicables quelle que soit la loi des données;
- Les méthodes de lissage n'exigent pas un grand nombre de données historiques.

### III-5- A PROPOS DES SERIES CHRONOLOGIQUES

#### III-5-1- Définition :

Une série chronologique ou chronique est définie comme étant une suite d'observations d'un même phénomène échelonnées régulièrement dans le temps. On appelle une série chronologique ou chronique une suite  $y_t$  d'observations d'un même phénomène indexé dans le temps.

Il est nécessaire de faire la présentation graphique d'une chronique: c'est, en général, le premier traitement que l'on effectue car le schéma met souvent en évidence un grand nombre de propriétés de la chronique.

#### III-5-2- Analyse descriptive d'une série chronologique :

Pour analyser une chronique, trois approches générales peuvent être envisagées. La première consiste à ajuster la chronique à un modèle déterministe, dans la seconde, on suppose que l'observation  $y_t$  se déduit des précédentes :  $y_t = f(y_{t-1}, \dots, y_{t-k})$  et la troisième



fait intervenir des variables exogènes autres que le temps pour expliquer la chronique étudiée.

### III-5-3- Les composantes d'une chronique :

Il est classique d'expliquer l'évolution d'une chronique par trois types de variations : la composante tendancielle, la composante saisonnière et la composante accidentelle. C'est la démarche classique à utiliser dans le modèle d'ajustement ( on ajoute parfois une composante cyclique lorsqu'on étudie des séries d'indices économiques agrégés sur de longues périodes). Toutes les composantes n'interviennent pas nécessairement dans la chronique étudiée.

-**tendance ( trend )** : On appelle tendance d'une chronique la résultante de l'ensemble des facteurs explicatifs de son évolution. La tendance d'une chronique n'est pas, nécessairement, monotone; la variation n'est pas toujours régulière ou dans le même sens.

- **Les variations saisonnières** : On appelle variations saisonnières, les variations dues à des facteurs exogènes apparaissant de façon régulière. Elles définissent une période dans la série, qui correspond au délai séparant l'influence d'un même facteur. On appelle période, l'intervalle de temps séparant deux variations saisonnières résultant du même facteur.

- **les variations accidentelles** : Elles sont dues à l'effet du hasard. Les facteurs qui interviennent sont sans explication claire mais contribuent à la valeur numérique de l'observation.

### III-5-4- Modèles de chroniques :

Il existe, en pratique, trois modèles généraux de chroniques, articulant les composantes de façon différente. On utilise les notations suivantes :

$y_t$  : Chronique donnée

$c_t$  : Chronique définie par la tendance au temps

$v_t$  : Chronique des variations saisonnières

$e_t$  : Chronique des variations accidentelles

- **Modèle additif** : Il consiste à poser :

$$y_t = c_t + v_t + e_t \quad (1)$$

Suivant ce modèle, les différentes composantes s'ajoutent pour former la chronique. Ce modèle est, particulièrement simple lorsque les variations saisonnières n'évoluent pas en fonction du temps; la reconnaissance du modèle additif est plus complexe dans le cas contraire.

- **Modèle multiplicatif** : Le deuxième modèle est multiplicatif; il suppose que les variations saisonnières et le facteur accidentel ont un effet multiplicatif sur la taille des observations.

On note :

$$y_t = c_t (1 + s_t) (1 + r_t) \quad (2)$$

avec :  $v_t = c_t s_t$  et  $e_t = (c_t + v_t) r_t$

Dans la mesure où les termes sont positifs, on peut calculer le logarithme :

$$\log y_t = \log c_t + \log (1 + s_t) + \log (1 + r_t) \quad (3)$$

On retrouve, ici, un modèle additif.

- **Deuxième modèle multiplicatif** : Le troisième modèle est le suivant :

$$y_t = c_t + c_t s_t + e_t \quad (4)$$

C'est un modèle multiplicatif dont la particularité par rapport au précédent est que seule, la variation saisonnière  $v_t$  est proportionnelle à la tendance :  $v_t = c_t s_t$

Comme la variation accidentelle correspond à un facteur inexplicable, il est difficile de dire à partir d'une simple représentation graphique, si elle est proportionnelle ou pas à la tendance.

**III-6- PRINCIPES DES METHODES DE PREVISION CHOISIES :**

Nous allons présenter la méthodologie de chacune des méthodes choisies.

**III-6-1- Définition des variables :**

$T$  : nombre d'observations ;

$y_t$  : la consommation à l'instant  $t$  ;

$S'_t$  : la variable simplement lissée à partir de  $y_t$  ;

$S''_t$  : la variable doublement lissée à partir de  $y_t$  ;

$S_{t+h}$  : valeur prévue à l'instant  $t$  pour un horizon  $h$  ;

$h$  : horizon temporel

$\alpha, \gamma, \delta$  : constantes de lissage exponentiel;

$d$  : degré de différentiation non saisonnier;

$p$  : nombre de paramètres auto régressif;

$q$  : nombre de paramètre moyenne mobile;

$\phi_j$  : les estimations des paramètres "Auto régressif"  $j=1, \dots, p$

$\theta_j$  : les estimations des paramètres "Moyenne mobile"  $j=1, \dots, q$

$p_1$  : période de saisonnalité

**III-6-2- Moyennes mobiles simples [WHITE, 83]**

Le principe de cette méthode est de prendre un ensemble d'observations et d'en calculer la moyenne et de considérer celle-ci comme prévision pour la prochaine période. A chaque apparition d'une nouvelle observation, on calcule une nouvelle moyenne et nous la considérons comme valeur prévue.

Sa formule mathématique est la suivante:

$$S_{t+1} = \frac{1}{T} y_t + \frac{1}{T} y_{t-1} + \dots + \frac{1}{T} y_{t-T+1} \quad (5)$$

$$S_{t+1} = \frac{1}{T} \sum_{i=t-T+1}^t y_i \quad (6)$$

On voit d'après la formule (5) que la méthode des moyennes mobiles affecte le même poids à chacune des  $T$  dernières observations précédant la prévision sans tenir compte des autres observations.

### III-6-3- Moyennes mobiles doubles [WHE, 83]

Cette méthode s'effectue en trois étapes:

**étape 1** : Lisser la série initiale par les moyennes mobiles simples en remplaçant chaque terme de cette série par la moyenne des  $T$  derniers termes.

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

**étape 3** : R ressortir la prévision à partir de la formule suivante:

$$S_{t+h} = a'_t + h b_t \quad (7)$$

$$a'_t = 2 S'_t - S''_t ;$$

$$b_t = \frac{2}{T-1} (S'_t - S''_t)$$

Puisque cette méthode découle de celle des moyennes mobiles simples, elle présente les mêmes limites d'application.

### III-6-4- Le lissage exponentiel simple [MEL, 90]

Le fait que les méthodes des moyennes mobiles affectent le même poids à chacune des  $T$  observations et aucun poids à celles relevées avant la période  $(t-T)$  et qu'elles nécessitent le stockage d'un nombre très grand de données historiques, donne lieu à la recherche d'autres méthodes, éventuellement celles de lissage.

**Champs d'application:** Le lissage exponentiel simple est utilisé pour la prévision de séries chronologiques ne présentant ni tendance ni saisonnalité .

On prévoit la valeur de la variable à l'instant  $T+1$  à partir des  $T$  observations de la chronique dont on dispose, de la manière suivante :

$$S_{T+1} = \alpha_0 y_T + \alpha_1 y_{T-1} + \dots + \alpha_T y_0 \quad (8)$$

soit encore

$$S_{T+1} = \sum_{t=0}^T \alpha_t y_{T-t} \quad (9)$$

En pratique, il s'agit dans cette méthode de combiner par une moyenne pondérée, la dernière observation disponible  $y_t$  à l'instant  $t$  et la dernière prévision calculée à l'instant  $t-1$  pour l'instant  $t$ .

Nous avons

$$S'_t = \alpha y_{t-1} + (1-\alpha) S'_{t-1} \quad (10)$$

**Initialisation et choix de la constante  $\alpha$  :**

on pose :

$$S'_1 = y_1$$

$\alpha$  est choisi comme étant la valeur qui minimise la somme des carrés des résidus :

$$\sum_{t=0}^{T-h} e_t^2 = \sum_{t=0}^{T-h} (S_{t+h} - y_{t+h})^2 \quad (11)$$

### III-6-5- Le lissage exponentiel double [MEL, 90]

Le lissage exponentiel double est une méthode plus générale que le lissage exponentiel simple. On a besoin de stocker seulement trois données historiques. De plus, la méthode n'est pas limitée par les inconvénients des méthodes des moyennes mobiles.

**Champs d'application:** Le lissage exponentiel double est utilisé pour la prévision de séries chronologiques présentant une tendance linéaire. Dès le départ, nous supposons une fonction linéaire:

$$S_{t+h} = S_{t_1} + h a_t \quad (12)$$

Nous voulons déterminer les valeurs de  $S_{t_1}$  et de  $a_t$ . Pour cela nous procédons comme suit :

1 - Nous effectuons un premier lissage simple sur la série  $y_t$  à partir de quoi on obtient la série  $S'_t$  telle que :

$$S'_t = \alpha y_t + (1-\alpha) S'_{t-1}$$

2- Nous procédons à un deuxième lissage de la série ( $S'_t$ ) et on obtient la série ( $S''_t$ ) telle que :

$$S''_t = \alpha S'_t + (1-\alpha) S''_{t-1}$$

$$S_{t+h} = (2 S'_t - S''_t) + h (S'_t - S''_t) \alpha / (1-\alpha) \quad (13)$$

**Initialisation et choix de la constante  $\alpha$ :**

Nous posons

$$S_1 = y_1 ; S'_1 = S_1 ; S''_1 = S'_1 .$$

La constante du lissage est choisie de telle sorte à minimiser la somme des carrés des résidus.

### III-6-6- Méthode de HOLT [MEL, 90]

Cette méthode découle de la méthode du lissage exponentiel double; c'est à dire qu'elle conserve la fonction de prévision linéaire :

$$S_{t+h} = S_{t_1} + h a_t \quad (14)$$

$S_{t_1}$  représente le niveau de la tendance et  $a_t$  la pente de la tendance

C'est une méthode qui utilise des formules de mise à jour par le lissage de la manière suivante :

$$S1_t = \alpha y_t + (1-\alpha) (S1_t + a_t)$$

$$a_t = \gamma ( S1_t - S1_{t-1} ) + ( 1-\gamma) a_{t-1}$$

Les constantes  $\alpha$  et  $\gamma$  sont choisies de telle sorte à minimiser la somme des carrés des résidus.

### III-6-7- Méthode de HOLT & WINTERS [MEL, 90]:

**Champs d'application:** La méthode est utilisée pour la prévision de séries chronologiques présentant une variation tendancielle et une variation saisonnière .

C'est une généralisation de la méthode de HOLT, conçue pour une fonction de prévision linéaire .

Il y a deux manières de combiner la tendance et la composante saisonnière :

- 1- Par addition, pour le cas d'un modèle additif;
- 2- Par multiplication pour le cas d'un modèle multiplicatif.

Le lissage exponentiel et saisonnier de Winters est fondé sur trois équations, chacune ayant pour fonction de lisser une des trois composantes de la série (l'aléa, la tendance et la saisonnalité).

**\*Modèle de Winters additif :** La composante saisonnière est ajoutée dans la fonction de prévision linéaire sous la forme :

$$S_{t+h} = S1_t + h a_t + I_{t+h} \quad \text{Puisque le phénomène est périodique;}$$

$$I_{t+h} = I_{t+h-p} \quad \text{si } h < p \quad \text{ou}$$

$$I_{t+h} = I_{t+h-2p} \quad \text{si } h < 2p \text{ et ainsi de suite.}$$

Nous aurons donc :

$$SI_t = \alpha(y_t - I_{t-p}) + (1 - \alpha)(SI_{t-1} + a_{t-1})$$

$$a_t = \gamma(SI_t - SI_{t-1}) + (1 - \gamma)a_{t-1}$$

$$I_t = \delta(y_t - SI_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$$

La fonction de prévision est

$$S_{t+h} = SI_t + h a_t + I_{t+h} \quad (15)$$

Les variables initiales des itérations seront comme suit [MEL,90]:

-  $SI_1$  : moyenne de la première période disponible;

-  $a_1 = 0$ ;

-  $I_1 = y_1 - SI_1$  pour les variables de la première période.

Le choix optimal de  $\alpha, \gamma, \delta$  est obtenu par minimisation de la somme des carrés des résidus (11).

\* **Modèle de WINTERS multiplicatif** : On utilise cette fois la fonction de prévision avec une composante saisonnière multiplicative :

$$S_{t+h} = (SI_t + h a_t) I_{t+h} \quad (16)$$

Par analogie avec le modèle de WINTERS additif, on aura :

$$SI_t = \alpha(y_t / I_{t-p}) + (1 - \alpha)(SI_{t-1} + a_{t-1})$$

$$a_t = \gamma(SI_t - SI_{t-1}) + (1 - \gamma)a_{t-1}$$

$$I_t = \delta(y_t / SI_t) + (1 - \delta)I_{t-p}$$

L'initialisation des variables et le choix des constantes se font de la même manière que dans le cas d'un modèle additif.



III-6-8- Méthode du filtrage adaptatif [WHE,83]:

Dans chacune des méthodes décrites auparavant, l'idée est de calculer la prévision en considérant une somme pondérée des observations passées. Cette somme peut s'écrire comme suit:

$$S_{t+1} = \sum_{i=1}^N w_i y_{t-i+1} \tag{17}$$

$$H = \sqrt{\sum_{i=1}^N y_{t-i+1}^2}$$

- avec  $S_{t+1}$  = prévision pour la période  $t+1$
- $w_i$  = poids attribué à l'observation  $i$
- $y_i$  = valeur observée à la période  $i$
- $N$  = nombre de pondérations

La méthode de prévision par le filtrage adaptatif consiste à déterminer la meilleure pondération. Nous allons présenter une procédure générale pour la détermination de la pondération d'une série chronologique par la figure (III-2):

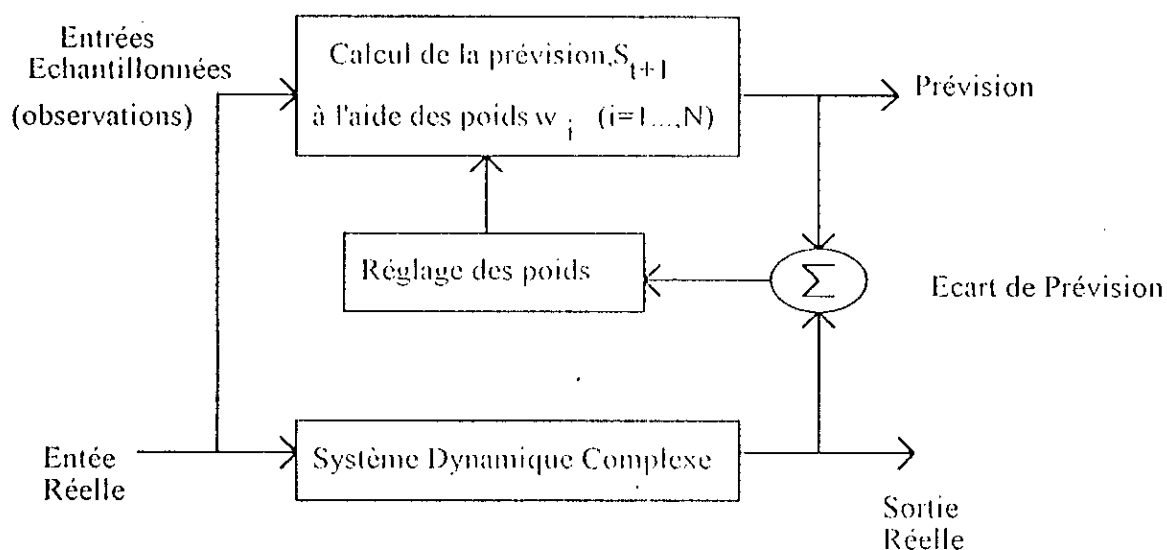


FIGURE-III-2

La partie inférieure de la figure reflète les événements qui se développent dans le monde réel et réagissent les uns sur les autres au sein d'un système dynamique complexe dont la sortie est une variable. Tout ce qui est au-dessus de ce niveau de réalité représente la prévision souhaitée. La pratique consiste à développer un ensemble de poids, à estimer l'écart de prévision, et pour finir à réajuster ces poids de telle sorte à réduire l'écart. Ce réglage des coefficients de pondération est réalisé par le filtrage adaptatif.

L'utilisation du filtrage adaptatif en tant que technique de prévision, comporte deux phases distinctes. La première est l'adaptation d'un ensemble de poids confrontés aux données historiques, et la seconde est l'utilisation de ces poids.

Il est nécessaire de spécifier le nombre de poids  $N$  et le coefficient d'apprentissage  $k$  (le choisir égal à  $1/N$ ). Le choix de  $N$  est conditionné par la longueur de la période de saisonnalité en cas d'existence de celle-ci. La méthode du filtrage adaptatif se compose de quatre étapes.

**étape 1** : Nous calculons la prévision pour la période  $t+1$  en utilisant la formule (17)

**étape 2** : Nous calculons ensuite l'écart sur cette prévision, en prenant la différence entre la prévision de cette période et la valeur observée pour la période  $t+1$ .

**étape 3** : Nous calculons sur la base de l'écart trouvée précédemment les nouvelles valeurs des poids en utilisant la formule ci-après:

$$w_i' = w_i + 2k e_{t+1} y_{t-i+1} / H^2 \quad (18)$$

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

$$t = N+1, N+2, \dots, T$$

$w_i'$  = nouveau poids de l'observation  $i$

$w_i$  = ancien poids de l'observation  $i$

$k$  = coefficient d'apprentissage

$e_{t+1}$  = écart-type de la prévision de la période  $t+1$

$y_{t-i+1}$  = valeur observée de la période  $t-i+1$

**étape 4** : Nous calculons la prévision de la période suivante en utilisant le jeu de poids ajusté ( $w_j'$ ). Nous éliminons l'observation la plus ancienne pour en introduire une nouvelle; mais dans la phase de réglage, on réajuste les poids chaque fois que nous obtenons une prévision nouvelle. Lorsque nous arrivons aux  $N$  dernières observations, nous pouvons calculer la prévision de  $T+1$ .

### III-6-9- Méthode de Box & Jenkins [MEL, 90]

Contrairement aux autres méthodes de nature déterministe, la méthode de Box et 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 en cet instant  $t$ . La série chronologique est dès lors considérée comme une réalisation particulière d'un processus stochastique.

La méthode permet en plusieurs étapes de trouver un modèle susceptible de représenter la série chronologique et ensuite déterminer les prévisions. On distingue cinq étapes:

- L'analyse préliminaire;
- Le choix du modèle (spécification ou identification);
- L'ajustement du modèle (estimation);
- La validation du modèle (adéquation);
- La prévision.

Le diagramme suivant (FIGURE III-3) présente ces cinq étapes en parallèle avec les étapes de la démarche scientifique, où l'analyse exploratoire conduit à l'élaboration d'un modèle et l'analyse confirmatoire permet de l'accepter ou de le rejeter.

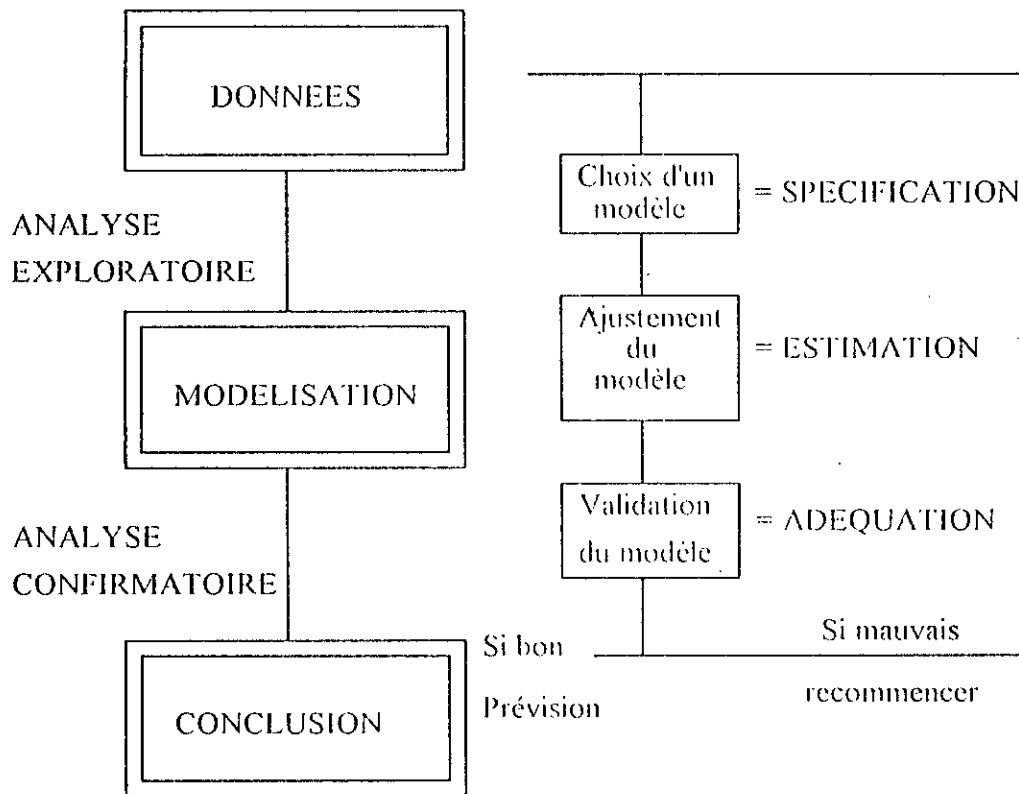


FIGURE III-3

**-Principe de la méthode :**

La procédure itérative de BOX & JENKINS [MEL;90] décrite à partir du diagramme présenté à la figure III-3, se décompose en cinq étapes :

- **L'analyse préliminaire:** Rendre le processus stationnaire est la préoccupation de cette étape, pour cela les options prises sont les suivantes :

- Transformer les données (transformation logarithmique, inverse, racine carrée) suivant la série qui se présente;

- Travailler en différence première ordinaire (en présence de tendance ou variations de niveau), en différence première saisonnière (en présence d'un comportement périodique de périodes), en différences premières ordinaire et saisonnière (en présence d'une tendance et d'une saisonnalité), voire en différence seconde. Ce choix est plutôt subjectif car il fait intervenir la connaissance de l'utilisateur dans le domaine statistique.

- **La spécification du modèle:** Elle consiste à déterminer le processus générateur de la série chronologique étudiée en se basant sur la forme des fonctions auto corrélation et auto corrélation partielle de la série étudiée (éventuellement transformée). Elle se base sur :

- Le choix du modèle (ARIMA, SARIMA) ( voir annexe n°1) dont les corrélogrammes rapprochent le plus les corrélogrammes théoriques;

- La détermination des ordres  $p, q$  des parties autorégressives et en moyennes mobiles.

- **L'estimation des paramètres:** Elle vise à estimer les paramètres des modèles identifiés dont les ordres  $(p, q)$  ont été sélectionnés à l'étape précédente.

- **L'adéquation du modèle:** Cette étape a pour objectif de contrôler si le modèle choisi (étape identification) et estimé (étape estimation) est correct. On commence par vérifier si la procédure itérative de la méthode d'optimisation non linéaire a convergé puis on passe à l'analyse des résidus.

Celle-ci consiste à voir s'il ne reste pas d'auto-corrélation ou d'auto-corrélation partielle résiduelle (tests individuels et la statistique de BOX & PIERCE Q)

- **La prévision:** Une fois le modèle choisi, estimé et validé, la prévision vient d'elle même. Ainsi, elle est déterminée suivant le modèle retrouvé.

**Remarque:**

Cette technique est extrêmement efficace dans un certain nombre de situations. Mais elle est bien plus coûteuse que la plupart des méthodes vues précédemment. Le problème qui se pose est que pour identifier les ordres  $p$  et  $q$ , il faut comparer les auto-corrélations et auto-corrélations partielles à des corrélogrammes de modèles connus ainsi le modèle sera retenu expérimentalement. La situation spécifique pour laquelle on a besoin d'établir des prévisions, ainsi que le jugement personnel de l'utilisateur, seront des facteurs décisifs pour le choix final. Pour cette raison cette méthode ne sera pas retenue pour la sélection

automatique de la méthode de prévision ce qui n'exigera pas de l'utilisateur une connaissance du domaine de la prévision.

### **III-7- CONCLUSION:**

Nous avons décrit les critères que l'on peut employer pour évaluer des méthodes de prévision concurrentes, et adapter la méthode la plus appropriée à une situation donnée. Ces critères conduisent à une sélection des méthodes retenues pour le modèle. L'élaboration de ce dernier fera l'objet du prochain chapitre.

# CHAPITRE IV

## METHODOLOGIE DE RESOLUTION ET REALISATION DU LOGICIEL

## IV - METHODOLOGIE DE RESOLUTION ET REALISATION DU LOGICIEL

### IV-1- INTRODUCTION :

Il ne faut pas perdre de vue qu'un système de prévision doit évoluer avec l'entreprise et ne peut être optimal de manière objective. On parle seulement d'un système le mieux adapté compte tenu des objectifs de l'entreprise.

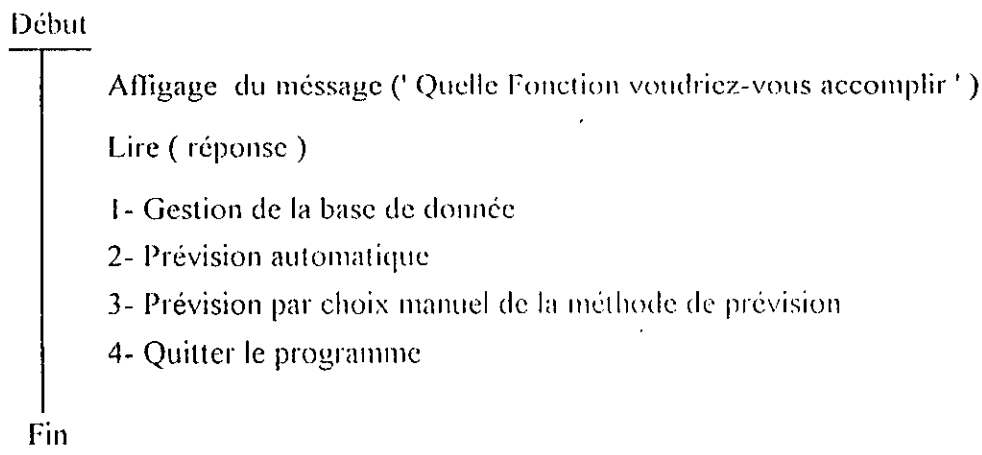
La programmation est une partie importante de notre travail. En effet, c'est lors de la mise en oeuvre des différentes méthodes choisies dans le chapitre précédent et du déroulement de notre modèle adaptatif que nous aurons atteint notre objectif final, à savoir la prévision de la charge au niveau de chaque poste électrique.

La programmation de notre algorithme a été faite en Langage FORTRAN 77 [STR, 82] utilisant le logiciel PWB (Programmers Work Bench 5.1) pour les raisons suivantes:

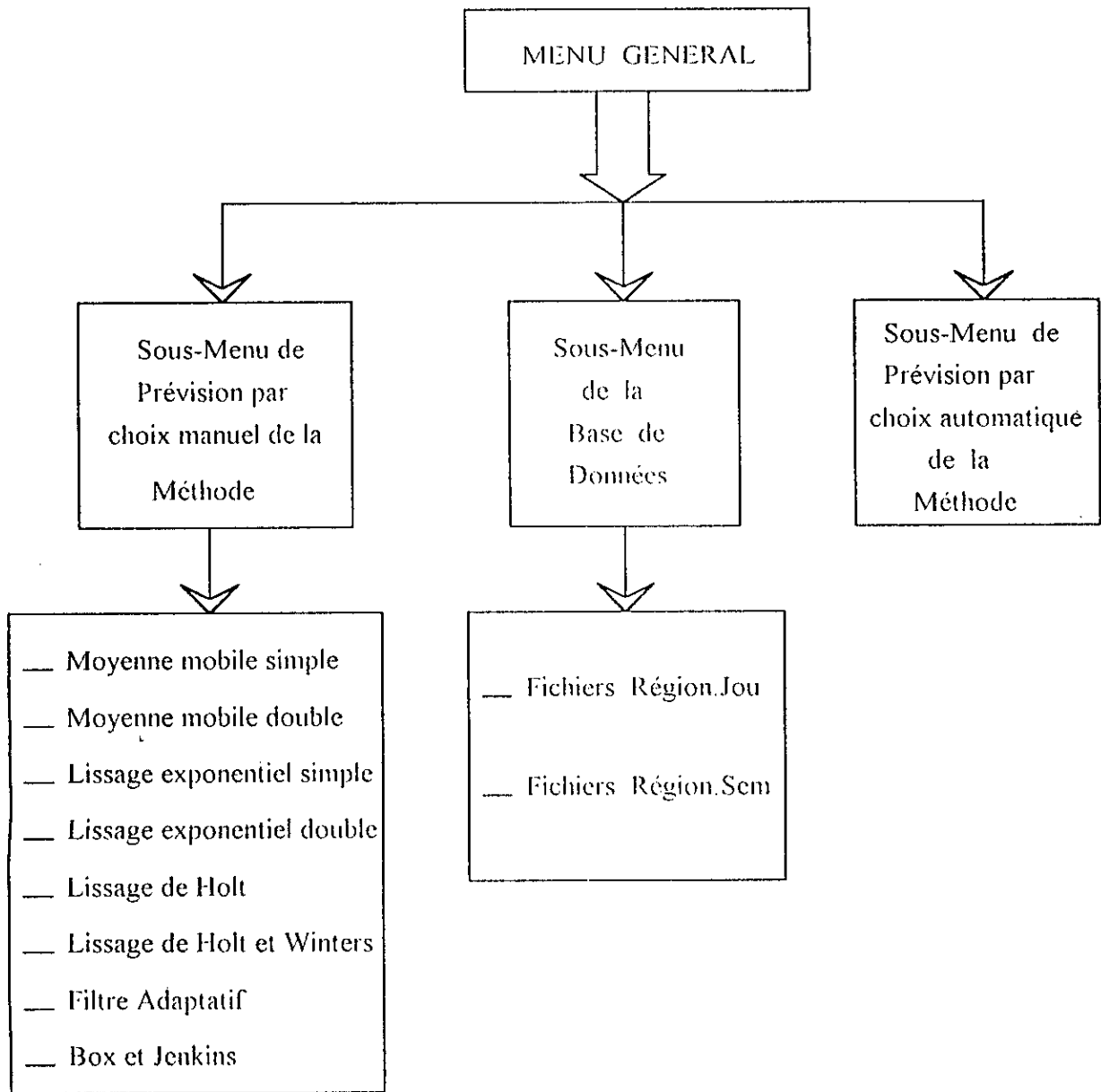
- Langage répondant au mieux aux exigences de la gestion;
- Déjà utilisé pour les autres programmes des modèles d'analyse des réseaux.

### IV-2- L'ALGORITHME GENERAL :

Il regroupe les fonctions de gestion de la base de données, la prévision automatique ainsi que la possibilité de prévision par choix manuel de la méthode. L'algorithme ainsi que l'organigramme sous forme d'arborescence sont présentés comme suit :







ALGORITHME GENERAL SOUS FORME D'ARBORESCENCE

### IV-3- CONCEPTION DE LA BASE DE DONNEES ET GESTION DE FICHIERS :

La base de données que nous avons conçue contient les données d'entrées c'est à dire l'historique de la charge et cela pour le déroulement du modèle de prévision. Une fois la prévision obtenue, elle constituera à son tour une donnée pour les modèles d'analyses des réseaux (exploitation et planification).

Le réseau électrique Haute Tension est subdivisé en cinq régions (Alger, Oran, Annaba, Setif, Sud), comprenant chacune un ensemble de postes électriques. Tenant compte de cette disposition, nous avons procédé comme suit :

- Affectation à chaque fichier le nom de la région qu'il représente ( **Région.EXT**);
- Extension du nom du fichier à **.JOU** ( EXT= JOU) s'il s'agit des données journalières ou à **.SEM** ( EXT= SEM) s'il s'agit des données semestrielles. Notons que nous nous intéressons seulement aux pointes des courbes de charge journalière et annuelle au niveau des postes.
- Enregistrement dans chaque fichier les postes contenus dans la région dénoté poste(région, i) c'est le  $i^{ème}$  poste de la région;

Chaque enregistrement du fichier ( **Région.JOU**) regroupe les informations suivantes :

- La date à laquelle l'observation est relevée;
- L'ensemble des charges au niveau de chaque poste. La position de l'observation de la charge dépend :
  - du code du poste (région, i);
  - de la pointe de la courbe. Celle-ci admet trois valeurs:
    - 0 pour représenter le creux ;
    - 1 pour la pointe maximale du matin ;
    - 2 pour représenter la pointe maximale du soir .

La position de la charge du poste i à la pointe j est:

$$\text{Position} = 3 * (i - 1) + j + 1 .$$

Pour l'enregistrement du fichier ( Région.SEM) les informations sont regroupées de la manière suivante :

- La date à laquelle l'observation est relevée ( jour - 12 - année, jour - 06 - année);
- L'ensemble des charges de chaque poste de la région considérée.

La figure IV-1 présente la base de données et ses fichiers.

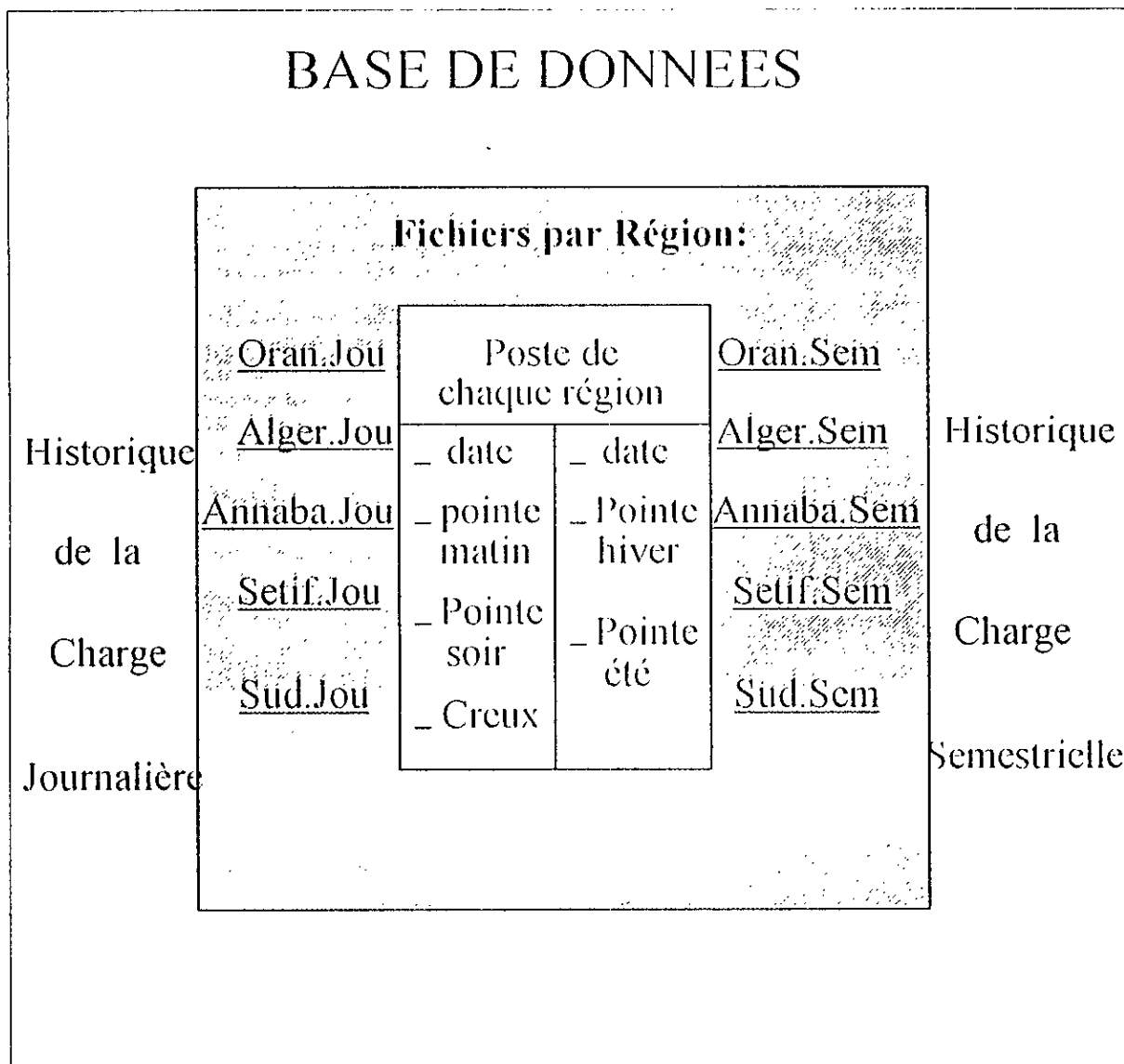


FIGURE IV-1:Schema synoptique de la base de données

**IV-3-1- Gestion de fichiers :**

La gestion du fichier permettra l'archivage, le retrait des données, la modification des informations et leur mise à jour.

**1 - Définitions :**

**a- Fichier :**

Un fichier est un ensemble de données pouvant être manipulées par plusieurs utilisateurs ayant la même vue de ces données.

**b- Enregistrement :**

Un enregistrement est un ensemble de champs ou d'informations caractérisant une donnée.

**c- Enregistrement formaté :**

Sa longueur est égale au nombre de caractères qui le composent et est fixe. Dans un fichier formaté, tous les enregistrements doivent avoir la même longueur et sont tous du même type.

**2- Procédures de gestion de fichiers :**

Les procédures de gestion de fichiers sont présentées comme suit :

**A- Procédure de saisie**

Début

Pointer ( **Region.EXT, Position** )

Avec l'enregistrement faire

Lire la date de l'information

Lire les informations

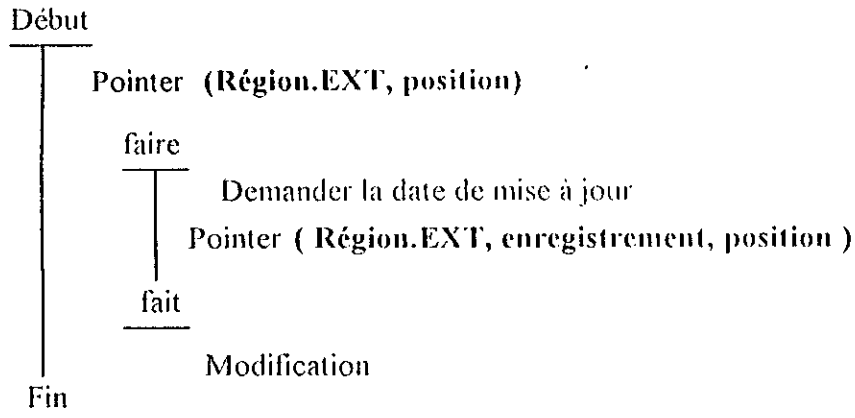
fait

Ecrire ( **Region.EXT, enregistrement** )

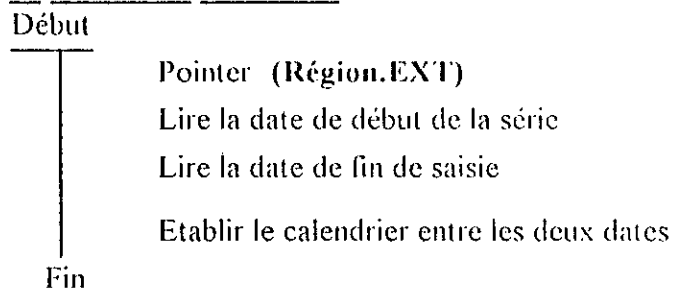
Fin



**D- Procédure Mise à Jour**



**E- Procédure calendrier**



**IV-4- PROCEDURES DE CHOIX D'OPTIONS:**

Nous offrons à l'utilisateur le choix d'options de résolution:

- 1- Option de sélection manuelle de la méthode de prévision;
- 2- Option de choix automatique de la méthode de prévision.

**IV-4-1- Procédure de prévision par sélection manuelle de la méthode de prévision:**

Début

Pointer ( Région.EXT, position )  
 Lire ( Région.EXT, enregistrement, position )  
 Affichage du message ( ' méthodes prévisionnelles ' )  
 Ecrire ( ' quelle est la méthode de prévision de votre choix ' )  
 Lire réponse

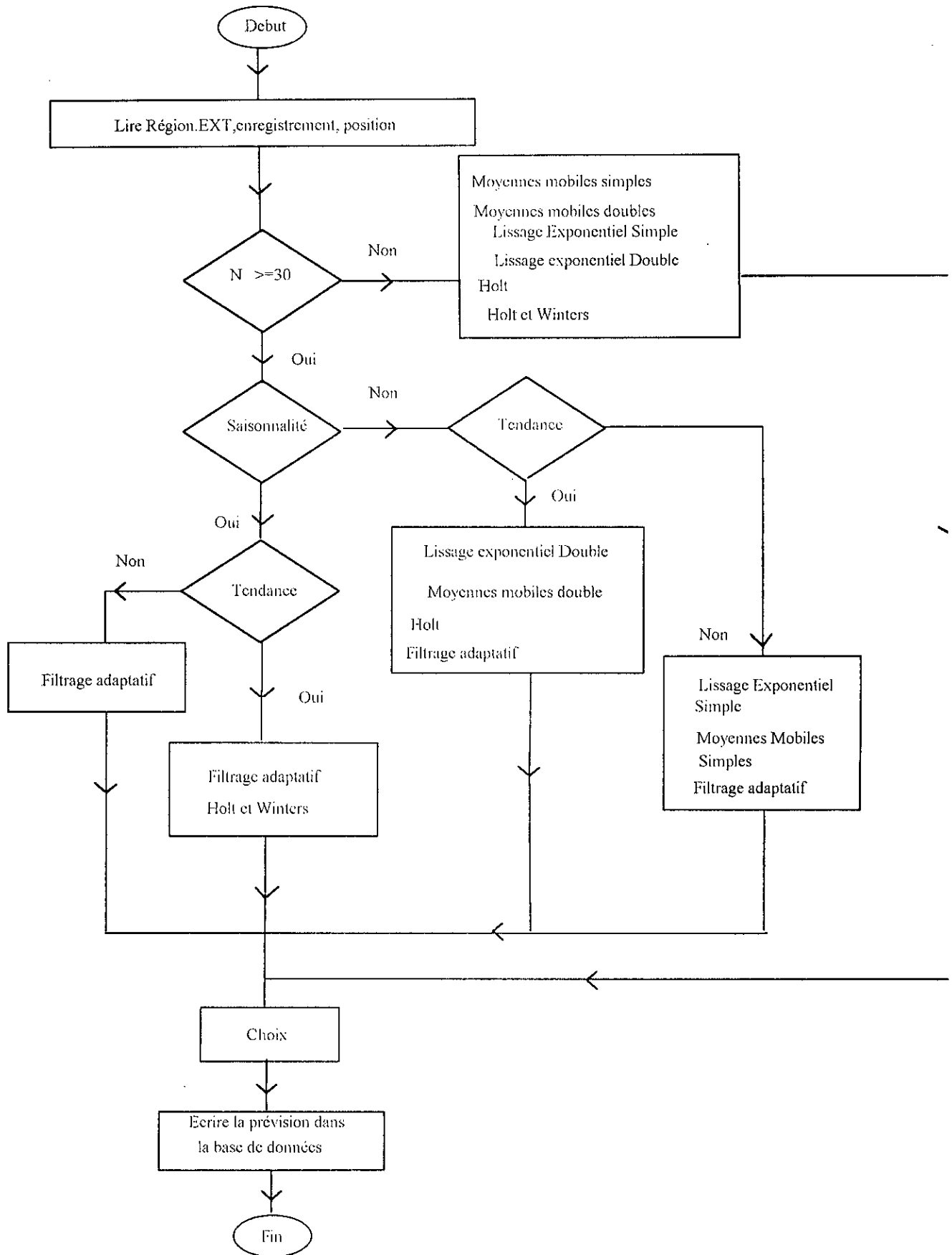
- 1- Moyenne Mobile Simple
- 2- Moyenne Mobile Double
- 3- Lissage Exponentiel Simple
- 4- Lissage Exponentiel Double
- 5- Méthode de Holt
- 6- Holt et Winters additifs
- 7- Filtrage Adaptatif
- 8- Box et Jenkins

Fin

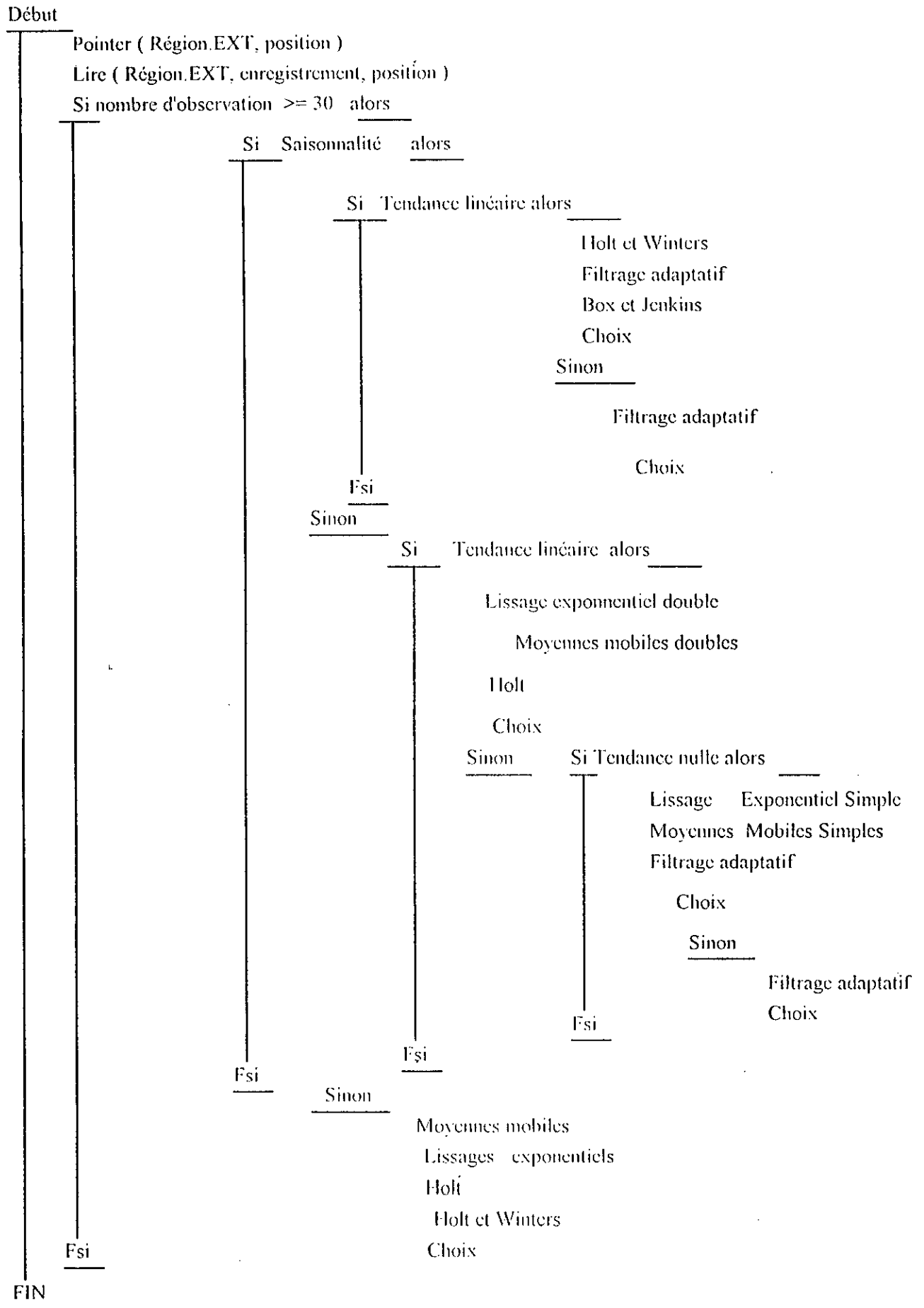
**IV-4-2- Organigrammes et procédures généraux de prévision Par choix automatique de la méthode de prévision :**

Nous allons présenter l'algorithme de résolution de notre modèle de prévision de la charge par le choix automatique de la méthode. Pour la prévision de la charge journalière nous allons sélectionner entre les méthodes de prévision choisies dans le chapitre III (moyennes mobiles simples, moyennes mobiles doubles, lissage exponentiel simple, lissage exponentiel double, lissage de Holt, méthode de Holt et Winters et filtrage adaptatif) suivant les critères retenus ( horizon temporel, loi de variation des données, existence d'un historique assez riche, précision du résultat). Par contre pour la prévision semestrielle nous choisirons entre les méthodes de lissage. Pour ce cas la méthode du filtrage adaptatif n'a pas été sélectionnée vu que l'historique existant n'est pas suffisant.

L'organigramme ainsi que l'algorithme de cette option sont comme suit :

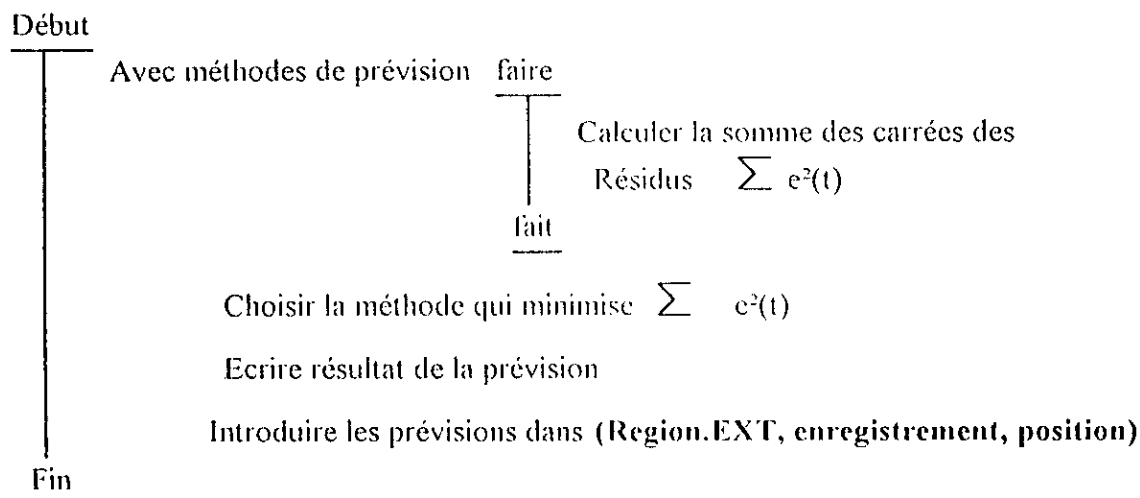






**IV-5- PROCÉDURES DES CRITERES DE CHOIX DES METHODES**

**IV-5-1- Procédure de choix :** Cette procédure consiste à choisir parmi les méthodes utilisées, celles qui minimise l'écart entre réalisation et prévision.



**IV-5-2- Procédure de recherche et estimation de la tendance:**

L'idée de base est de calculer les moyennes mobiles de la série à étudier et de déterminer leur évolution en fonction du temps.

La recherche et l'estimation de la tendance se fait par la technique suivante [BEN,89] :

Début

Pas (0) : soit la série chronologique  $y_t, t = 1, \dots, T$  de (Région.EXT, position)

Pas (1) :  $m_t$  est la série obtenue par moyennes mobiles d'ordre k de la série  $y_t$  par la formule suivante:

\* Si k est impair 
$$m_t = \frac{1}{k} \sum_{i=t-\frac{k-1}{2}}^{t+\frac{k-1}{2}} y_i; \quad t=(k+1)/2, \dots, T-(k-1)/2$$

\* Si k est pair 
$$m_t = \frac{1}{k} \sum_{i=t-\frac{k}{2}}^{t+\frac{k}{2}-1} y_i + \frac{1}{2k} (y_{t-\frac{k}{2}} + y_{t+\frac{k}{2}}) \quad t=k/2+1, \dots, T-k+1$$

Pas (2) : -Si la série  $m_t$  n'a pas de tendance, il en est de même pour  $y_t$ .

- Si la série  $m_t$  est une droite de pente  $\Delta$ , la série  $y_t$  a une tendance linéaire;

#### IV-5-3- Recherche et estimation de la saisonnalité:

La saisonnalité est la reproduction du phénomène observé de manière régulière, c'est à dire après des intervalles de temps de longueurs constantes, dits périodes de saisonnalité ( $p_1$ ). Toutes les valeurs observées séparées par  $p_1$  ont plus ou moins le même écart par rapport à la courbe des moyennes mobiles d'ordre  $p_1$ .

La technique utilisée pour la recherche de la saisonnalité est la suivante:

Pas (0) : soit une série chronologique  $y_t, t = 1, \dots, T$ , de (Région.EXT, position),

Fixer une marge d'erreur  $\varepsilon$ ,

Donner la période soupçonnée  $p_1$

Pas (1) :  $m_t$  est la série obtenue par moyennes mobiles d'ordre  $p_1$  de la série  $y_t$ ;

Pas (2) : Calculer les écarts  $F_t = y_t - m_t \quad t = LI, \dots, LS$

\* Si  $p_1$  est pair alors  $LI = (p_1/2) + 1, LS = T - p_1 + 1$ ;

\* Si  $p_1$  est impair alors  $LI = (p_1 + 1)/2, LS = T - (p_1 - 1)/2$ ;

- Si pour tout  $t = LI, \dots, LS$

$$\left| \frac{F_{t+p_1} - F_t}{F_t} \right| \leq \varepsilon$$

alors la série est saisonnière de période  $p_1$

- Sinon la série n'est pas saisonnière.

#### IV-6- ALGORITHMES DES METHODES DE PREVISION

##### IV-6-1- Procédure de Prévission par moyennes mobiles simples:

Pas (0) : soit une série chronologique  $y_t, t = 1, \dots, T$ ; de (Région. EXT, position)

donner un ordre initial de la moyenne mobile  $k_i$  et un ordre final  $k_f$ ;

La valeur "MIN" de la somme des carrés des résidus est initialisée à  $+\infty$

$k = k_i$

Pas (1) : - Calculer  $S_t$ , la moyenne mobile d'ordre  $k$  pour tout  $t$  variant entre 1 et  $T-k$ ;

Pas (2) : Evaluer la somme des carrés des résidus  $(y_t - S_t)$  par la formule suivante:

$$\sum_{t=0}^{T-1} e_t^2 = \sum_{t=0}^{T-1} (S_{t+1} - y_{t+1})^2;$$

Pas (3) : - Comparer la somme évaluée à MIN;

- Si cette valeur est supérieure ou égale à MIN aller au pas (4);

- Sinon Affecter la valeur de la somme des carrés des résidus à MIN;

la valeur optimale de l'ordre des moyennes mobiles est  $k_{opt} = k$ ;

aller au pas (4);

Pas (4) : - Si  $k = k_f$  aller au pas (5);

- Sinon  $k = k + 1$ ; aller au pas (1);

Pas (5) : Calculer la prévision par moyennes mobiles simples d'ordre  $k = k_{opt}$ ;

Stop

#### IV-6-2- Procédure de Prévision par moyennes mobiles doubles :

Pas (0) : - Soit une série chronologique  $y_t$ ,  $t = 1, \dots, T$ ; de ( Région. EXT, position)

- La valeur "MIN" de la somme des carrés des résidus est initialisée à  $+\infty$ ;

Pas (1) : - Calculer  $S'_t$ , la moyenne mobile d'ordre  $k$ , relative à la série  $y_t$  pour tout  $t$  variant entre 1 et  $T - k + 1$ ;

- Calculer  $S''_t$ , la moyenne mobile d'ordre  $k$  relative à la série  $S'_t$  pour tout  $t$  variant entre 1 et  $T - 2k + 2$ ;

- Poser :

$$a_t = 2 S'_t - S''_t, \quad t = 1, \dots, T;$$

$$b_t = 2 (S'_t + S''_t) / (k-1), \quad t = 1, \dots, T;$$

$$S_t = a_t + b_t, \quad t = 1, \dots, T;$$

Pas (2) : Evaluer la somme des carrés des résidus  $(y_t - S_t)$  par la formule suivante :

$$\sum_{t=0}^{T-1} e_t^2 = \sum_{t=0}^{T-1} (S_{t+1} - y_{t+1})^2$$

- Pas (3) :
- Comparer la somme évaluée à MIN;
  - Si cette valeur est supérieure ou égale à MIN aller au pas (4);
  - Sinon Affecter la valeur de la somme des carrés des résidus à MIN;
  - la valeur optimale de l'ordre des moyennes mobiles est  $k_{opt} = k$ ;
  - aller au pas (4);
- Pas (4) :
- Si  $k = k_f$  aller au pas (5);
  - Sinon  $k = k + 1$ ; aller au pas (1);
- Pas (5) : Calculer la prévision par moyenne mobiles doubles d'ordre  $k = k_{opt}$ ;
- Stop.

#### IV-6-3- Procédure de prévision par lissage exponentiel simple :

- Pas (0) :
- Soit une série chronologique  $y_t$ ,  $t = 1, \dots, T$ ; de ( Région. EXT , position)
  - La valeur "MIN" de la somme des carrés des résidus est initialisée à  $+\infty$
  - Initialiser  $\alpha$  à 0,1
  - Aller au pas (1)

- Pas (1) :
- Poser  $S_1 = y_1$  ;
  - Calculer  $S_t$  par lissage exponentiel simple de la série  $y_1$  suivant la formule suivante:

$$S_t = \alpha y_t + (1-\alpha) S_{t-1}, \quad t = 2, \dots, T;$$

- Aller au pas (2)

- Pas (2) : Evaluer la somme des carrés des résidus  $(y_t - S_t)$  par la formule suivante:

$$\sum_{t=0}^{T-1} e_t^2 = \sum_{t=0}^{T-1} (S_{t+1} - y_{t+1})^2$$

- Aller au pas (3)

- Pas (3) : Comparer la somme évaluée à MIN;
- Si cette valeur est supérieure ou égale à MIN aller au pas (4);

- Sinon Affecter la valeur de la somme des carrés des résidus à MIN;

$$\alpha_{\text{opt}} = \alpha;$$

aller au pas (4);

Pas (4) : - Si  $\alpha = 1$  ; aller au pas (5);

- Sinon  $\alpha = \alpha + 1$ ; aller au pas (1);

Pas (5) : - Calculer la prévision par lissage exponentiel simple avec  $\alpha = \alpha_{\text{opt}}$ ;

- Stop.

#### IV-6-4- Procédure de prévision par lissage exponentiel double:

Pas (0) : - Soit une série chronologique  $y_t$ ,  $t = 1, \dots, T$ ; de (Région. EXT, position)

La valeur "MIN" de la somme des carrés des résidus est initialisée à  $+\infty$ ;

$$\alpha = 0,1;$$

$$S'_1 = y_1 ; S''_1 = y_1 ; a_1 = 0 ; b_1 = 0 ; S_1 = y_1$$

Pas (1) : - Calculer  $S'_t$ , par lissage exponentiel simple de la série  $y_t$  pour tout  $t$  variant entre 2 et  $T$ ;

- Calculer  $S''_t$  par lissage exponentiel simple relatif à la série  $S'_t$  pour tout  $t$  variant entre 2 et  $T$ ;

- Poser :

$$a_t = 2 S'_t - S''_t, \quad t = 2, \dots, T;$$

$$b_t = \alpha (S'_t - S''_t) / (1-\alpha), \quad t = 2, \dots, T;$$

$$S_t = a_t + b_t, \quad t = 2, \dots, T;$$

Pas (2) : Evaluer la somme des carrés des résidus  $(y_t - S_t)$  par la formule suivante:

$$\sum_{t=0}^{T-1} e_t^2 = \sum_{t=0}^{T-1} (S_{t+1} - y_{t+1})^2$$

Pas (3) : Comparer la somme évaluée à MIN:

- Si cette valeur est supérieure ou égale à MIN aller au pas (4);

- Sinon Affecter la valeur de la somme des carrés des résidus à MIN;

$$\alpha_{opt} = \alpha;$$

aller au pas (4);

- Pas (4) :
- Si  $\alpha = 1$  ; aller au pas (5);
  - Sinon  $\alpha = \alpha + 1$ ; aller au pas (1);

- Pas (5) :
- Calculer la prévision par lissage exponentiel double avec  $\alpha = \alpha_{opt}$ ;
  - Stop.

#### IV-6-5- Procédure de prévision par lissage de HOLT:

Pas (0) : - Soit une série chronologique  $y_t$ ,  $t = 1, \dots, T$ , de (Région, EXT, position)

La valeur "MIN" de la somme des carrés des résidus est initialisée à  $+\infty$ ;

$$\alpha = 0; \gamma = 0;$$

$$S'_1 = y_1 ; a_1 = 0 ; S_1 = y_1$$

Pas (1) : - Calculer la prévision  $S_t$ , par lissage de HOLT pour tout  $t$  variant entre 2 et  $T$  suivant les étapes :

$$S1_t = \alpha y_t + (1-\alpha) (S1_{t-1} + a_{t-1}), \quad t = 2, \dots, T;$$

$$a_t = \gamma (S1_t - S1_{t-1}) + (1-\gamma) a_{t-1}, \quad t = 2, \dots, T;$$

$$S_t = S1_t + a_t, \quad t = 2, \dots, T;$$

Pas (2) : Evaluer la somme des carrés des résidus  $(y_t - S_t)$  par la formule suivante:

$$\sum_{t=0}^{T-1} e_t^2 = \sum_{t=0}^{T-1} (S_{1,t+1} - y_{t+1})^2$$

Pas (3) : Comparer la somme évalué à MIN:

- Si cette valeur est supérieure ou égale à MIN aller au pas (4);
- Sinon Affecter la valeur de la somme des carrés des résidus à MIN;

$$\alpha_{opt} = \alpha; \gamma_{opt} = \gamma;$$

aller au pas (4);

- Pas (4) :
- Si  $\gamma = 1$  ; aller au pas (5);
  - Sinon  $\gamma = \gamma + 1$ ; aller au pas (1);

- Pas (5) : - Si  $\alpha = 1$  ; aller au pas (6);  
 - Sinon  $\alpha = \alpha + 1$ ; aller au pas (1);
- Pas (6) : - Calculer la prévision par lissage exponentiel double avec  
 $\alpha = \alpha_{opt}$  et  $\gamma = \gamma_{opt}$ ;  
 - Stop.

#### IV-6-6- Procédure de Holt et Winters:

- Pas (0) : - Soit une série chronologique  $y_t$ ,  $t=1, \dots, T$  de la (Région.EXT, position);  
 La valeur "MIN0" de la somme des carrés des résidus du modèle additif est initialisée à  $+\infty$ ;  
 La valeur "MIN1" de la somme des carrés des résidus du modèle multiplicatif est initialisée à  $+\infty$ ;  
 Soit  $p$  la période de la série à prévoir  
 ( $k=0$  pour le modèle additif et 1 pour le modèle multiplicatif);  
 Initialiser avec un modèle additif;
- Pas (1) : Calculer les prévisions de la série chronologique suivant les formules de Holt & Winters;  
 Si  $k=0$  appliquer le modèle additif  
 Si non appliqué le modèle multiplicatif  
 Soit MIN0 la valeur minimisant la somme des carrés des résidus par le modèle additif;  
 aller à pas (2)
- Pas (2) : Comparer MIN1 et MIN0;  
 - Si MIN1 est supérieure à MIN0 alors le modèle est additif sinon le modèle est multiplicatif;
- Pas (3) : Calculer la prévision par le modèle choisi et les paramètres optimaux.  
 STOP.



**IV-6-7- Procédure de prévision par Filtrage Adaptatif:**

Pas (0) : - Soit une série chronologique  $y_t$ ,  $t=1, \dots, T$  de la (Région.EXT, position);

- Choix du nombre de pondération  $N$
- Poser  $k=1/N$
- Initialiser  $w_i$  à  $k$
- Aller à pas (2)

Pas (1) : - Calculer la prévision  $S_{t+1}$  par la formule suivante:

$$S_{t+1} = \sum_{i=1}^N w_i y_{t-i+1}$$

$$H = \sqrt{\sum_{i=1}^N y_{t-i+1}^2}$$

- Evaluer  $e_t$  comme suit:

$$e_{t+1} = S_{t+1} - y_{t+1}; \quad t = N+1, \dots, T$$

- Aller à pas (2)

Pas (2) : - Calculer les nouvelles pondérations  $w'_i$

$$w'_i = w_i + 2 * k * e_{t+1} * y_{t-i+1} / H^2 \quad i=1, \dots, N$$

- Aller à (3)

Pas (3) : - Si  $t > T$  Stop.

Sinon aller à pas (1).

**IV-6-8- Procédure de Box et Jenkins**

Pas (0) : soit la série  $y_t$  de (Région.EXT).

Pas (1) : - Stationnariser la série

- Obtenir les paramètres  $p, d, q$  et la série transformée  $w_t$

Pas (2) :

Estimer les paramètres

$$\theta_j \quad j=1, \dots, q$$

$$\phi_i \quad i=1, \dots, p$$

Pas (3) : - Calculer les valeurs des résidus  $e_t = w_t - w'_t$

- Calculer les auto corrélations des résidus jusqu'au rang  $K$

- Calculer la statistique Q du Portemanteau

Pas (4) :

Si  $Q < \chi_{0,95}^2 (K-p-q)$  aller à (5)

Sinon aller à (1)

Pas (5) : - Calculer les prévisions.

Stop

# CHAPITRE V

## APPLICATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

## V-APPLICATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

### V-1- INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons donner quelques indications sur les données qui ont été mises à notre disposition pour valider notre modèle élaboré ainsi que les résultats obtenus après la mise en oeuvre de l'algorithme.

### V-2- COLLECTE DES DONNEES :

Les données recueillies concernent les consommations journalières et semestrielles de quelques(5) postes du réseau électrique haute tension. Elles ont été collectées à partir de:

- En ce qui concerne les données semestrielles, il a été mis à notre disposition des bulletins de charge contenant la charge été et hiver de 1984 à 1993.

- Pour les données journalières, nous avons disposé de listing de la consommation journalière des postes électrique où il a fallu appliquer la loi de Kirchoff pour faire ressortir les consommations journalières du 1-12-94 jusqu'au 31-03-95

Ces postes ont été sélectionnés par le chef du département (R&D) pour raison de disponibilité de l'information.

### V-3- VALIDATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS :

La validation est l'étape la plus cruciale lors l'établissement d'un modèle de prévision. En effet, elle nous informe sur son aptitude à retracer l'évolution du système.

Pour notre application, nous avons sélectionné un ensemble de postes ayant un historique de 120 observations pour la prévision journalière et une chronique de 17 observations pour les prévisions semestrielles. Ensuite nous comparons les consommations réelles au niveau des postes choisis à celles fournies par le modèle de prévision optimal qui répond aux critères de sélection:

- historique existant;
- horizon temporel;
- variation de la loi des données;

- précision critère important de la sélection;
- Possibilité d'application.

Pour juger de la validité de la méthode de prévision choisie par notre algorithme nous utiliserons les critères suivant :

- L'erreur quadratique moyen:

$$\text{RMSE}(e) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T e_t^2} \quad (1)$$

$$e_t = y_t - S_t \quad t=1, \dots, T$$

ce critère est exprimé dans les mêmes unités que les données. Il représente la déviation entre la valeur prévue et la valeur réelle. C'est la statistique la plus utilisée à cette fin.

- l'écart absolu moyen en pourcentage définit par la formule

$$\text{MAPE}(e) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{|e_t|}{y_t} \quad (2)$$

### V-3-1- Interprétation des résultats de prévision semestrielle :

Pour notre application dans le cas de la prévision semestrielle, nous avons sélectionné un échantillon de postes pour lesquels l'information est disponible. Les résultats de la comparaison entre réalisations et prévisions données par notre algorithme sont représentés dans les tableaux et figures (V-1, V-2, V-3, V-4, V-5) suivants :

Poste : Alger - est	Réalisations	Prévisions	Méthode choisie par notre logiciel	Ecart relatif %
jj - 12 - 90	164	169	Holt et Winters	3
jj - 06 - 91	196	210	Holt et Winters	7
jj - 12 - 91	162	172	Holt et Winters	6
jj - 06 - 92	200	205	Holt et Winters	2.5
jj - 12 - 92	180	168	Holt et Winters	6.5
jj - 06 - 93	210	213	Holt et Winters	1.5
jj - 12 - 93	190	180	Holt et Winters	5

TABLEAU V-1: Réalisations et prévisions pour le poste Alger-est

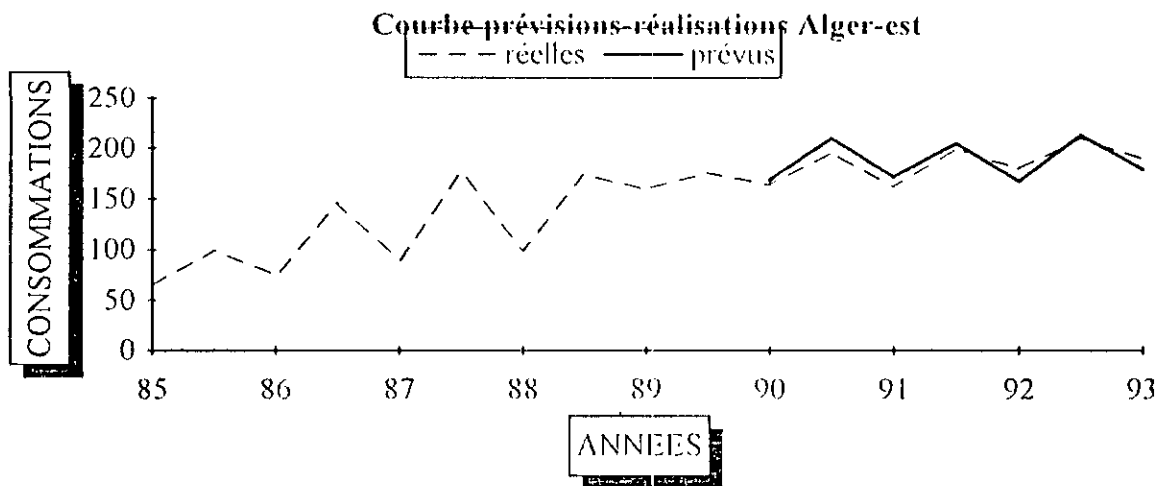


FIGURE V-1

Poste : Batna	Réalisations	Prévisions	Méthode choisie par notre logiciel	Ecart relatif %
jj - 12 - 90	76	82	Holt	8
jj - 06 - 91	86	80	Holt	7
jj - 12 - 91	78	85	Holt	9
jj - 06 - 92	87	83	Holt	4.5
jj - 12 - 92	82	86	Holt	5
jj - 06 - 93	90	86	Holt	4.5
jj - 12 - 93	85	88	Holt	3.5

TABLEAU V-2: Réalisations et prévisions pour le poste Batna

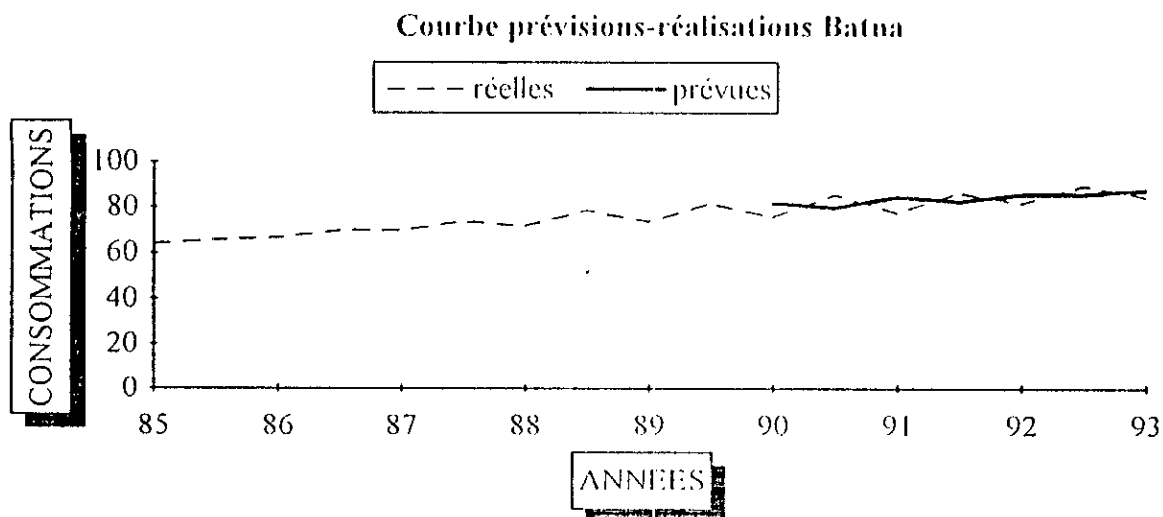


FIGURE Y-2

Poste :Skikda	réalisations	prévisions	Méthode choisie par notre logiciel	écart relatif %
jj - 12 - 90	125	132	Lissage simple	5.6
jj - 06 - 91	108	116	Holt	7.5
jj - 12 - 91	135	124	Holt	8
jj - 06 - 92	112	118	Holt	5.4
jj - 12 - 92	140	120	Holt	14
jj - 06 - 93	115	123	Holt	7
jj - 12 - 93	148	126	Holt	15

TABLEAU V-3: Réalisations et prévisions pour le poste Skikda

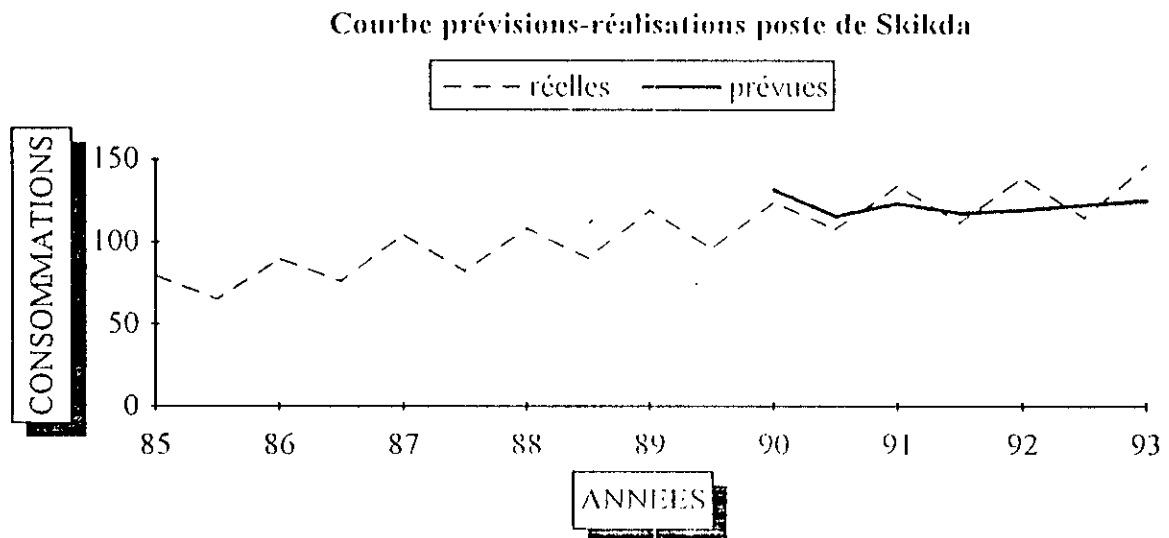


FIGURE V-3



Poste :El Hassi	réalisations	prévisions	Méthode choisie par notre logiciel	écart relatif %
jj - 12 - 90	98	108	Lissage simple	10
jj - 06 - 91	160	132	Holt	17
jj - 12 - 91	133	154	Holt	16
jj - 06 - 92	170	176	Holt	3.5
jj - 12 - 92	111	128	Holt	15
jj - 06 - 93	175	175	Holt	0
jj - 12 - 93	120	117	Holt	2.5

TABLEAU V-4: Réalisations et prévisions du poste El-Hassi

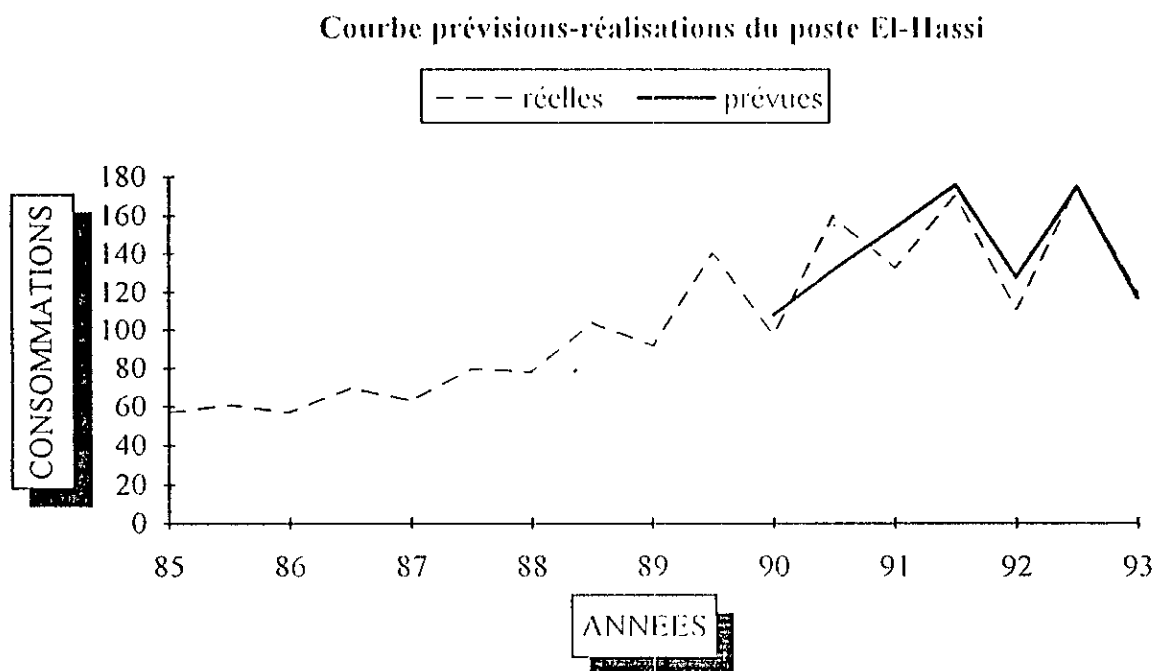


FIGURE V-4

Poste :H- Messaoud	réalisations	prévisions	Méthode choisie par notre logiciel	Ecart relatif
jj - 12 - 90	66	72	Lissage simple	9
jj - 06 - 91	79	74	Holt	6
jj - 12 - 91	74	81	Holt	9.5
jj - 06 - 92	74	81	Holt	9.5
jj - 12 - 92	87	79	Holt	9.2
jj - 06 - 93	80	85	Holt	6.2
jj - 12 - 93	85	85	Holt	0

TABLEAU V-5: Réalisations et prévision pour le poste H- Messaoud

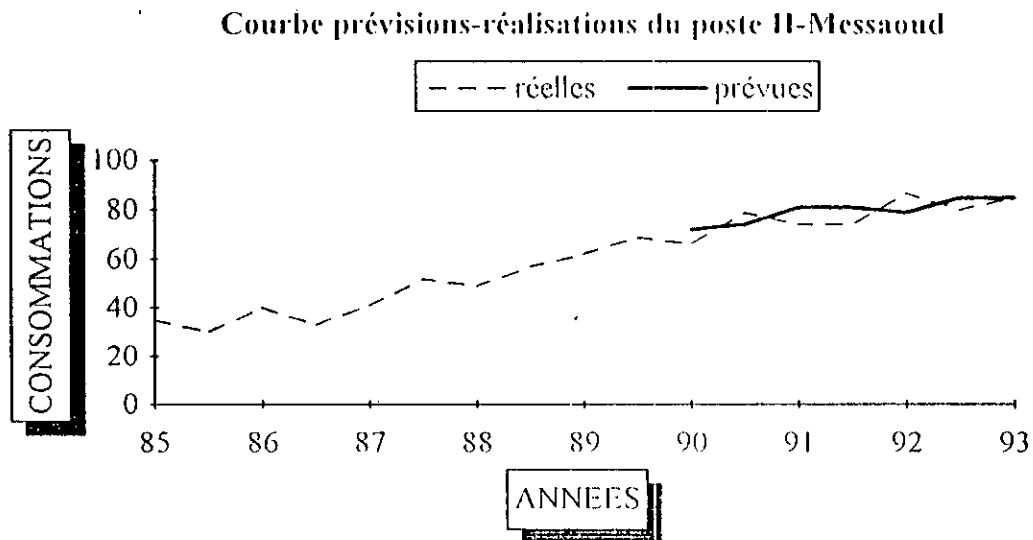


FIGURE V-5

Afin de vérifier l'adéquation de notre application pour les prévisions semestrielles nous avons regroupé dans le tableau suivant l'écart relatif moyen et l'erreur moyenne quadratique:

Les postes électriques	MAPE	RMSE
Alger- est	4,5 %	9.25
Batna	6 %	5
Skikda	9 %	13.2
El Hassi	9%	15.4
H- Messaoud	7 %	5.6

**Tableau V-6: Résultats de prévisions semestrielles**

Les conclusions inspirées des tableaux et figures précédentes (V-1, V-2, V-3, V-4, V-5, V-6) obtenus par l'application de notre logiciel pas à pas; c'est à dire le calcul des prévisions, semestre par semestre sont :

- Le programme que nous avons établi s'adapte aux changements des séries chronologiques, pour chaque poste il adapte la méthode optimale, en tenant compte des critères retenus.
- La précision est meilleure lorsque l'historique est plus riche;
- Dans le tableau représentant l'écart relatif moyen et l'erreur quadratique moyenne les résultats de l'application de notre logiciel sont satisfaisantes du moment où ils n'excèdent pas les 10% [MEL,90] pour le MAPE et le RMSE obtenu pour cette variable n'est pas important devant les valeurs de celle-ci.

Il est important de signaler que la taille de l'échantillon reste insuffisante pour confirmer les résultats. Ceci est dû à l'absence de données au niveau de l'entreprise.

## V-3-2- Interprétation des résultats de prévision journalières:

Pour l'application de la prévision journalière, nous avons sélectionné un échantillon de postes pour lesquels l'information est disponible. Les résultats de la comparaison entre réalisations et prévisions sont regroupés dans le tableau suivant :

Postes électriques	MAPE %	RMSE	Méthodes choisies
Alger-port (point matin)	13.2	10	Filtrage adaptatif
Alger-port (pointe soir)	6	5.6	Filtrage adaptatif
Aabaâ (pointe matin)	9.4	5.6	Holt et winters
Arabaâ (pointe soir)	9.3	4	Holt et winters
Bouira ( pointe matin )	11	9.5	Filtrage adaptatif
Bouira ( pointe soir )	12	9.3	Filtrage adaptatif
Tafourah (pointe matin)	12	1.7	Holt et winters
Tafourah (pointe soir )	13	1.4	Holt et winters
Skikda (pointe matin )	5.52	7.11	Filtrage adaptatif
Skikda (pointe soir )	4.65	6.2	Filtrage adaptatif

TABLEAU V-7: Résultats des prévisions journalières

Les figures V-6, V-7, V-8, V-9 qui suivent ainsi que celles portées en annexe montrent l'évolution de la variable prévisionnelle par rapport à la variable réelle pour les cinq postes du réseau électrique:

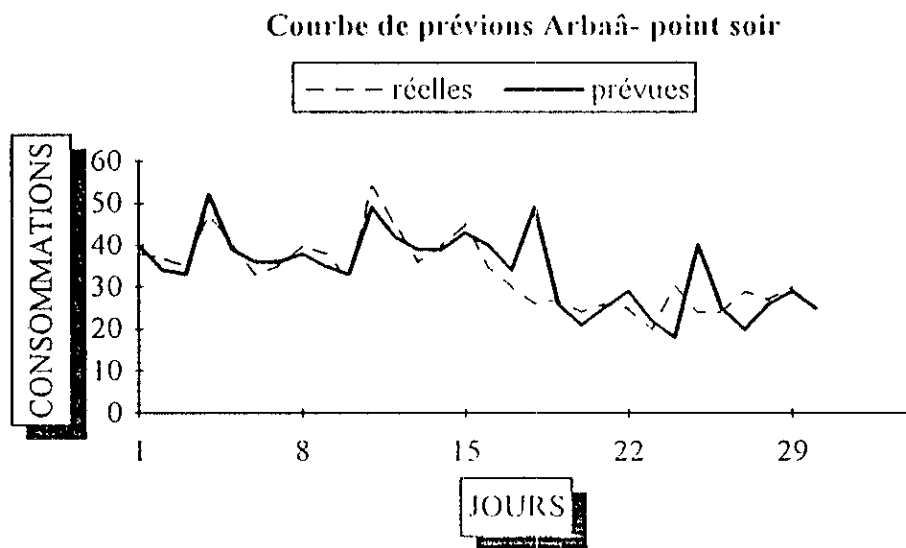


FIGURE V-6

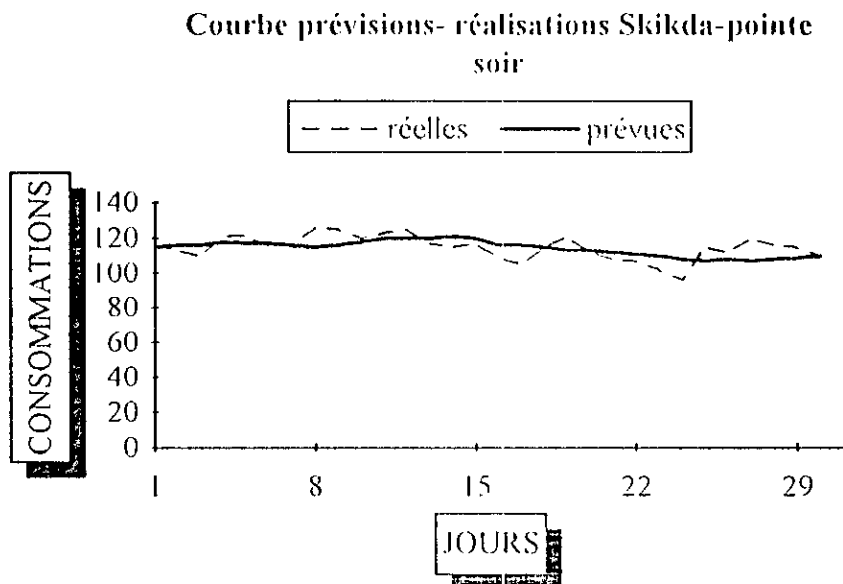


FIGURE V-7

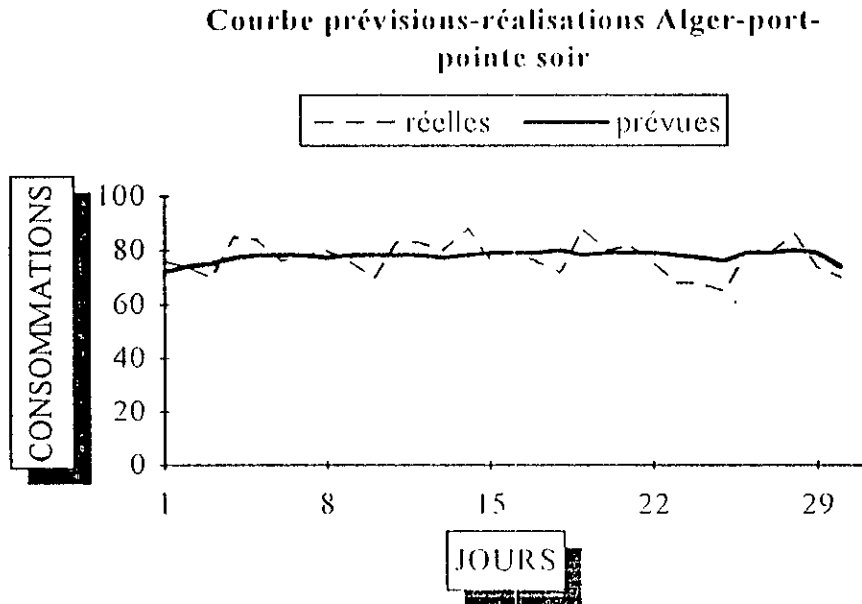


FIGURE V-8

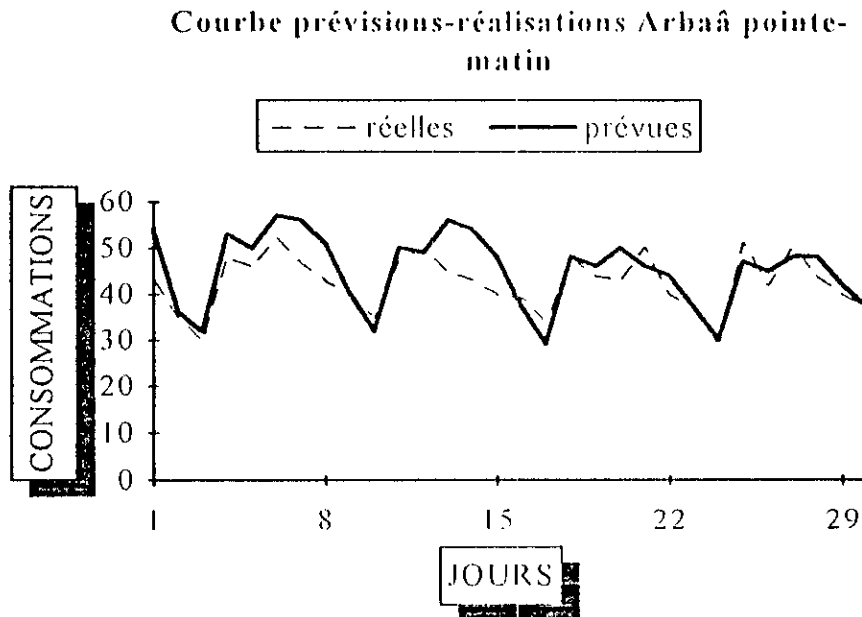


FIGURE V-9

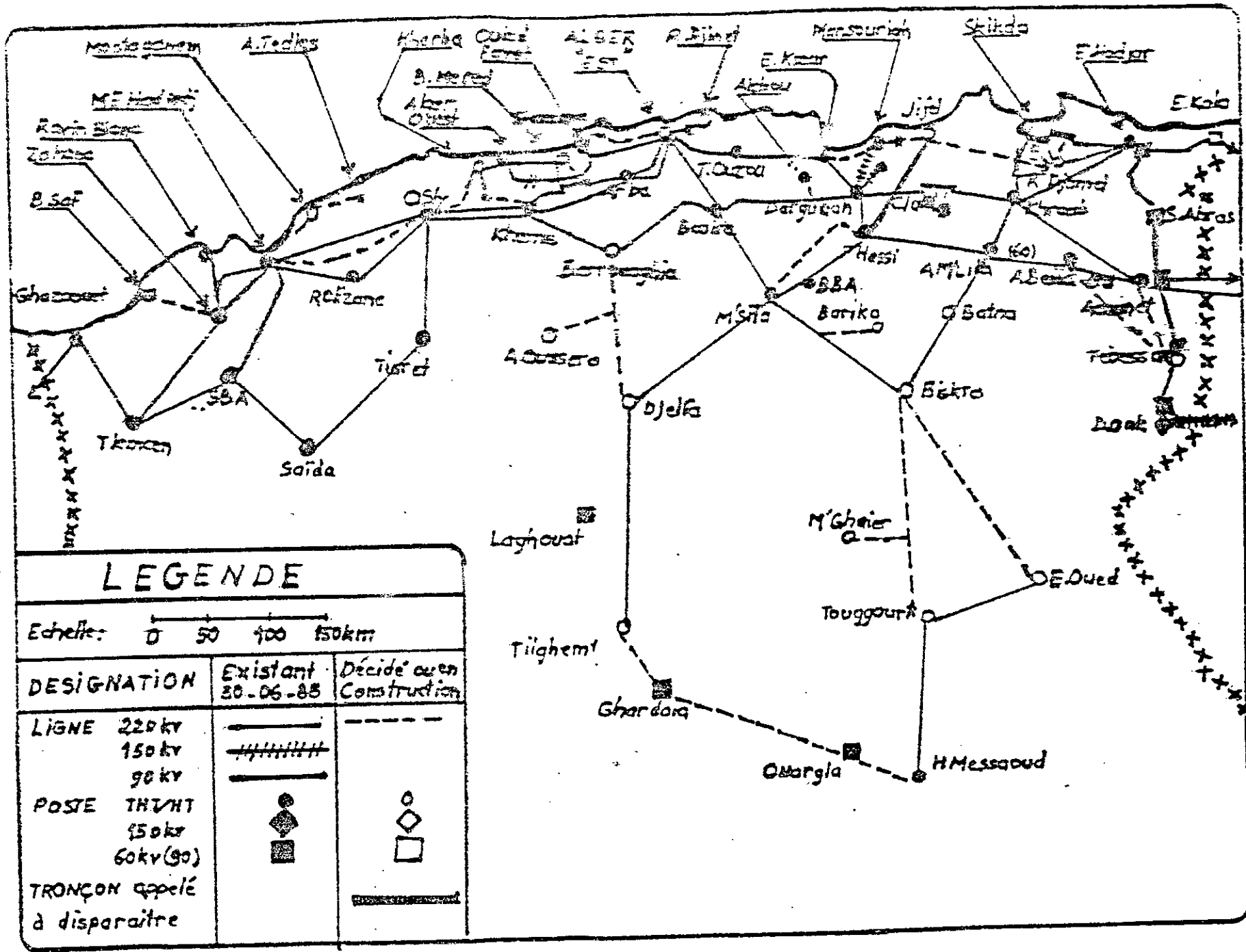
Ces résultats nous permettent d'émettre des remarques concernant le comportement de notre modèle et son intérêt:

- Les résultats obtenus montrent que le modèle de prévision s'adapte à la série de chacun des postes électriques, selon les critères retenus dans le programme;
- Le RMSE obtenu pour la variable de consommation de chaque poste électrique n'est pas important devant la moyenne de cette même variable ainsi que le MAPE qui ne dépasse même pas les 10% pour la plus part des postes électriques choisis.

#### **V-4- CONCLUSION**

Les résultats obtenus nous paraissent satisfaisants. En effet, ils traduisent un bon fonctionnement du modèle élaboré.

RESEAU THT — Horizon 1994



LEGENDE

Echelle: 0 50 100 150km

DESIGNATION	Existant 30-06-88	Décidé en Construction
LIGNE 220kv	—————	- - - - -
150kv	#####	
90kv	—————	
POSTE THT	◆	◇
50kv	■	□
60kv(90)		
TRONÇON appelé à disparaître		—————



[BEN, 89] :O. Bensaber et B.B. Trillo, "Pratique des Chroniques et de la Prévision à Court Terme", Edition Masson, 1989.

[BOX, 76] :G. Box et G.Jenkins, " Time Séries Analysis- Forecasting and control " California 1976

[ELE,79] : Electricité de France, direction de la production et du transport, 1979, "Notices techniques du service du transport, techniques générales ,la conduite du réseau et conduite des installations" Edition EDF.

[IRV, 90] :R. Irvin et M.J.H. Sterling , " Développement et Application d'un Système de Prévision de la Charge" ,Brunel Université,UK,1990

[JAB, 88] : K. Jabbour , J.F.V. Rivero, D. Landsbergen et W. Meyer" ALFA: Automated Load Forecasting Assistant ", IEEE Transactions on Power Systems, Vol 3 . No. 3, August 1988

[MAB, 75] :V.A.Mabert," An Introduction to Short Term Forecasting Using the Box-Jenkins Methodology American Institute of Industrial Engineers" , Atlanta, 1975.

[MEL, 90] : G.Mélard, "Méthodes de Prévision à Court Terme", Edition Ellipses, 1990

[PEL, 71] :R.Pélissier, " Les Réseaux d'Energie Electrique", Tome II- b, DUNOD ,1971

[PER, 84] :H.Persoz ,J.C. Le Moine, P.Sapet et G.Santucci, " La Planification des Réseaux Electriques", Editions Eyrolles, 1984.

[SON,92] : "Rapport d'activités et Comptes de Gestion " ,Document interne de  
SONELGAZ,1992

[STR ,82] :A. Strohmeier, " Fortran 77, Approche systématique illustrée d'exemples" ,  
Edition Eyrolles, 1982.

[WHE, 83] :S.C. Wheelwright et S. Makridakis, " Méthodes de Prévision Pour la  
Gestion", Editions organisation, 1983.

[TAI,85 ] : Taibi, " Fortran 77 ",

**MODELES THEORIQUES**

a- modèles autorégressifs:

Le processus aléatoire d'espérance nulle est dit suivre un modèle autorégressif d'ordre p noté AR(p) ou ARMA(p,0), si son évolution satisfait à la relation

$$(1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p) Y_t = e_t$$

B- modèle en moyenne mobile:

Le processus Ma(q) ou ARMA(0,q) est défini par l'équation suivante:

$$Y_t = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q) e_t$$

c- modèle mixtes autorégressifs à moyenne mobile:

Un processus stationnaire sera dit évoluer suivant un ARMA(p,q), s'il satisfait à l'équation d'évolution

$$(1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p) Y_t = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q) e_t$$

d- modèle mixte intégrés

Si le processus n'est pas stationnaire, la classe des modèles ARMA ne peut être utilisée pour le représenter. Box et Jenkins ont alors introduit une classe plus générale de modèles pour modéliser les processus non stationnaire, appelés modèles mixtes intégrés ARIMA(p,d,q)

$$(1 - \phi_1 B - \dots - \phi_p B^p) \nabla^d Y_t = (1 - \theta_1 B - \dots - \theta_q B^q) e_t$$

e- modèle saisonnier: (SARIMA)

la forme générale d'un modèle SARIMA(p,d,q)<sup>(P,D,Q)</sup> est la suivante

$$\phi(B) \Phi(Bs) \nabla^d \nabla^s D (y_t - m) = \theta(B) \Theta(Bs) e_t$$

où:

$\phi(B)$  est un polynôme de degré p en B, appelé le polynôme autorégressif ordinaire;

$\nabla^d$  est l'opérateur de différence ordinaire de degrés d

$\theta(B)$  est un polynôme de degré  $q$  en  $B$ , appelé le polynôme moyenne mobile ordinaire;  
 $\Phi(Bs)$  est un polynôme de degré  $P$  en  $Bs$ , appelé le polynôme autorégressif saisonnier;  
 $\nabla_s^D$  est l'opérateur de différence saisonnière de degrés  $D$ ;  
 $\Theta(Bs)$  est un polynôme de degré  $Q$  en  $Bs$ , appelé le polynôme moyenne mobile saisonnier.

**TBLEAUX ET GRAPHES DES RESULTATS**

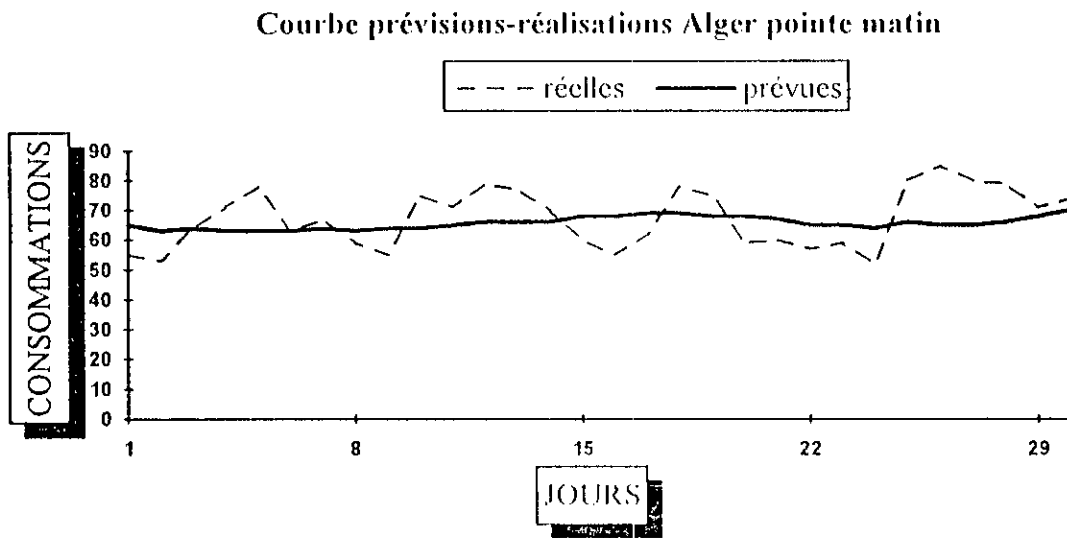


FIGURE V-10

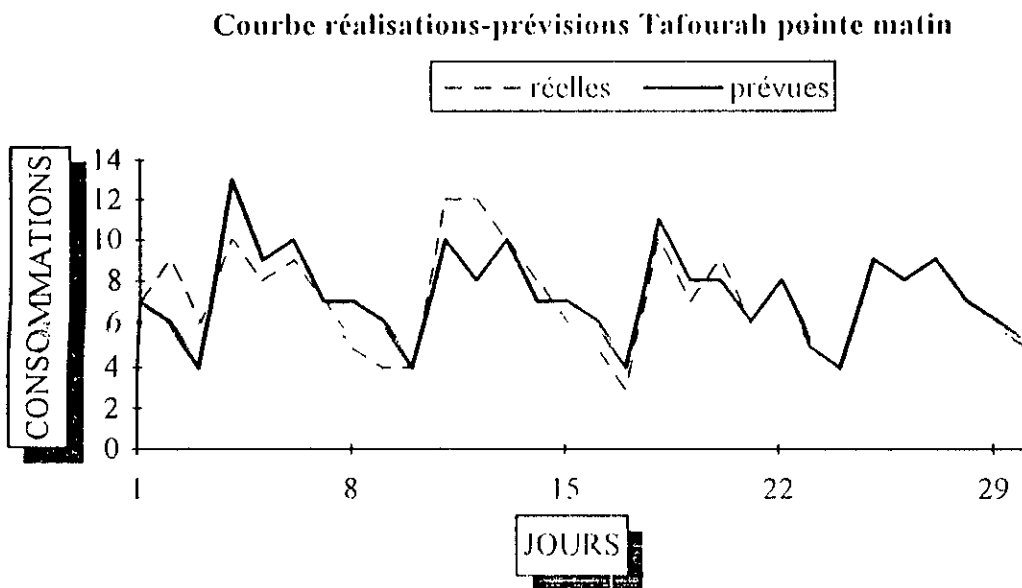


FIGURE V-11

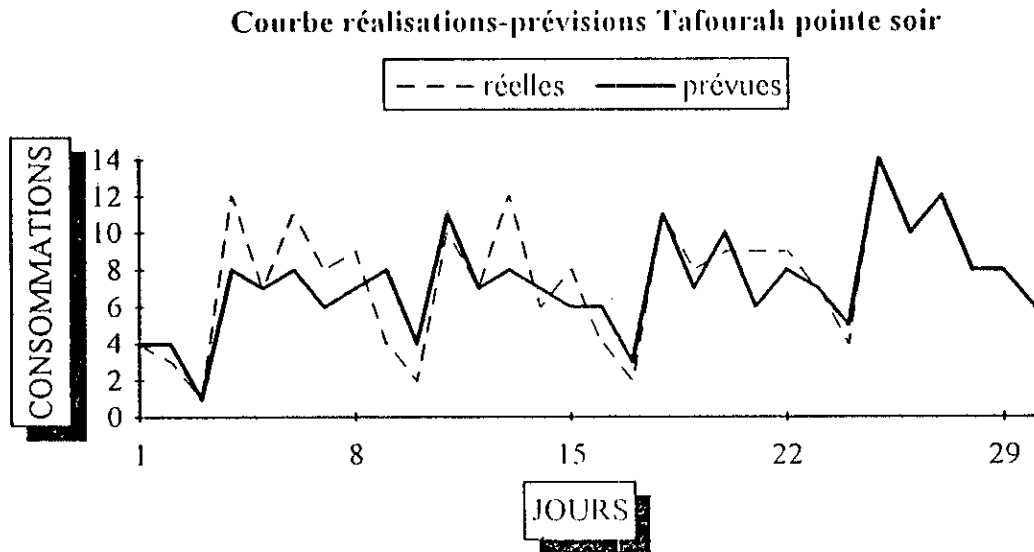


FIGURE V-12

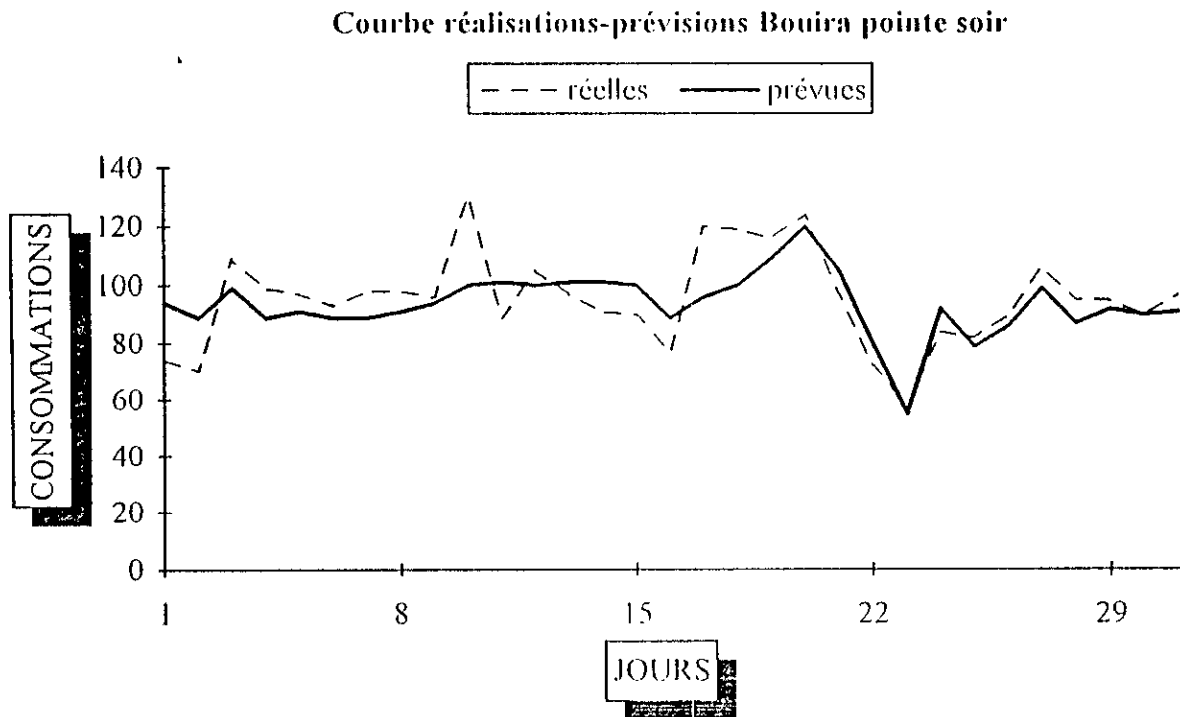


FIGURE V-13

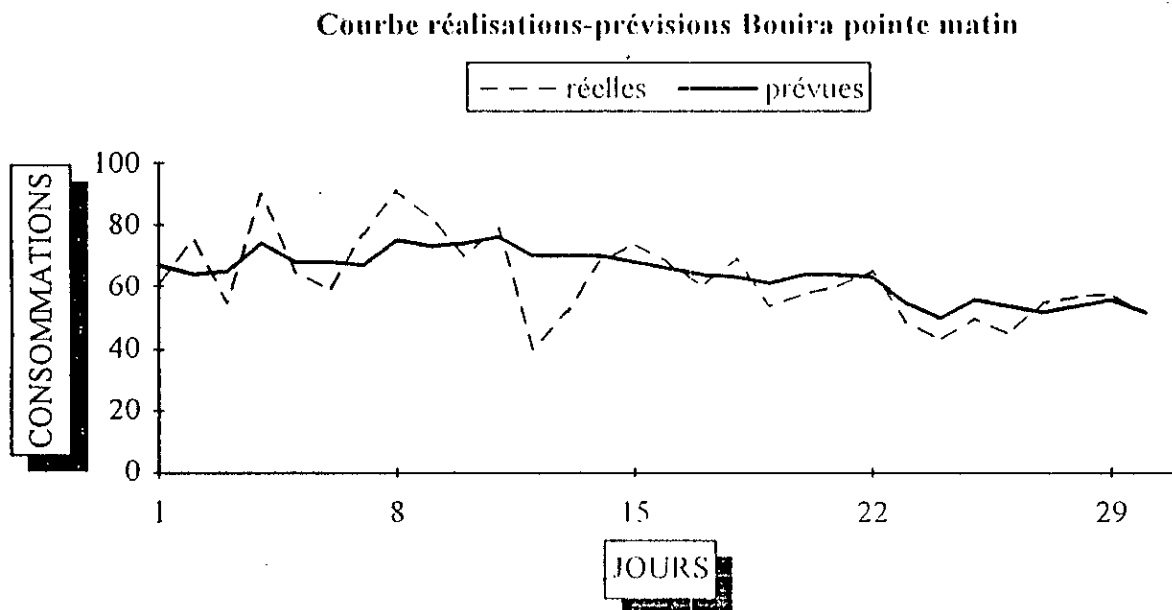


FIGURE V-14

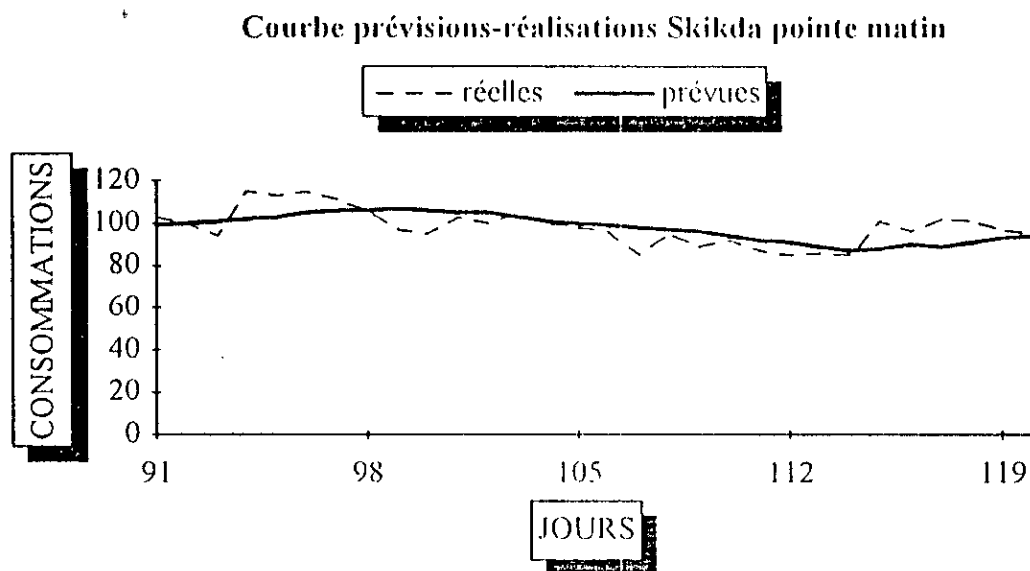


FIGURE V-15

Alger-m	Realisations	Previsions	Ecart
1-03-95	55	65	10
2-03-95	53	63	10
3-03-95	64	64	0
4-03-95	71	63	8
5-03-95	78	63	15
6-03-95	63	63	0
7-03-95	67	64	3
8-03-95	59	63	4
9-03-95	55	64	9
10-03-95	75	64	11
11-03-95	71	65	6
12-03-95	79	66	13
13-03-95	77	66	11
14-03-95	70	66	4
15-03-95	60	68	8
16-03-95	55	68	13
17-03-95	62	69	7
18-03-95	78	69	9
19-03-95	75	68	7
20-03-95	59	68	9
21-03-95	60	67	7
22-03-95	57	65	8
23-03-95	59	65	6
24-03-95	52	64	12
25-03-95	80	66	14
26-03-95	85	65	20
27-03-95	80	65	15



28-03-95	79	66	13
29-03-95	71	68	3
30-03-95	74	60	14

Tableau : prévisions et réalisations Alger-matin

Alg-s	Réalisations	Pévisions	écart
1-03-95	76	72	4
2-03-95	74	74	0
3-03-95	70	75	5
4-03-95	85	77	8
5-03-95	84	78	6
6-03-95	76	78	2
7-03-95	78	78	0
8-03-95	80	77	3
9-03-95	76	78	2
10-03-95	70	78	8
11-03-95	83	78	5
12-03-95	83	78	5
13-03-95	80	77	3
14-03-95	88	78	10
15-03-95	77	79	2
16-03-95	79	79	0
17-03-95	76	79	3
18-03-95	72	80	8
19-03-95	88	78	10
20-03-95	80	79	1
21-03-95	82	79	3

22-03-95	76	79	3
23-03-95	68	78	10
24-03-95	68	77	9
25-03-95	65	76	11
26-03-95	79	79	0
27-03-95	79	79	0
28-03-95	86	80	6
29-03-95	74	79	5
30-03-95	70	74	4

Tableau : prévisions et réalisations d'Alger soir

ara-m	Réalisations	Prévisions	Ecart
1-03-95	43	54	11
2-03-95	35	36	1
3-03-95	30	32	2
4-03-95	48	53	5
5-03-95	46	50	4
6-03-95	52	57	5
7-03-95	47	56	9
8-03-95	43	51	8
9-03-95	40	40	0
10-03-95	35	32	3
11-03-95	47	50	3
12-03-95	50	49	1
13-03-95	45	56	11
14-03-95	43	54	11
15-03-95	40	48	8
16-03-95	39	37	2
17-03-95	34	29	5
18-03-95	48	48	0
19-03-95	44	46	2
20-03-95	43	50	7
21-03-95	50	46	4
22-03-95	40	44	4
23-03-95	37	37	0
24-03-95	29	30	11
25-03-95	51	47	4
26-03-95	42	45	3
27-03-95	50	48	2
28-03-95	44	48	4
29-03-95	40	42	2
30-03-95	37	37	0

Tableau: réalisations et prévisions d'Arabaâ matin

ara-soir	Realisations	Previsions	Ecart
1-03-95	38	40	2
2-03-95	37	34	3
3-03-95	35	33	2
4-03-95	47	52	5
5-03-95	40	39	1
6-03-95	33	36	3
7-03-95	35	36	1
8-03-95	40	38	2
9-03-95	38	35	3
10-03-95	32	33	1
11-03-95	54	49	5
12-03-95	45	42	3
13-03-95	36	39	3
14-03-95	40	39	1
15-03-95	45	43	2
16-03-95	35	40	5
17-03-95	30	34	4
18-03-95	26	38	12
19-03-95	27	26	1
20-03-95	24	21	3
21-03-95	26	25	1
22-03-95	25	29	4
23-03-95	20	22	2
24-03-95	30	20	10
25-03-95	24	32	8
26-03-95	24	25	1
27-03-95	29	20	9
28-03-95	27	26	1
29-03-95	30	29	1
30-03-95	25	25	0

Tableau: réalisations et prévisions Arabaâ soir

Skikda-m	Realisations	Previsions	Ecart	Ecart relative
1-03-95	103	99	4	3.8
2-03-95	100	100	0	0
3-03-95	94	101	7	7.4
4-03-95	115	102	13	11.3
5-03-95	113	103	10	8.8
6-03-95	115	105	10	8.7
7-03-95	111	106	5	4.5
8-03-95	106	106	0	0
9-03-95	97	107	10	10.3
10-03-95	95	106	11	11.6
11-03-95	103	105	2	2
12-03-95	100	105	5	5
13-03-95	105	103	2	2
14-03-95	100	101	1	1
15-03-95	98	100	2	2
16-03-95	96	99	3	3.1
17-03-95	85	98	13	15
18-03-95	95	97	2	2
19-03-95	89	96	7	7.8
20-03-95	92	94	2	2.2
21-03-95	87	92	5	5.7
22-03-95	85	91	6	7
23-03-95	86	89	3	3.5
24-03-95	85	87	2	2.3
25-03-95	101	88	13	13
26-03-95	96	90	6	6.2
27-03-95	102	89	13	13
28-03-95	101	91	10	10
29-03-95	97	93	4	4
30-03-95	95	94	1	1

Tableau: réalisations et prévisions pour Skikda-m

Skikda-s	Realisations	previsions	Ecart
1-03-95	116	115	1
2-03-95	113	116	3
3-03-95	110	116	6
4-03-95	121	118	3
5-03-95	122	117	5
6-03-95	115	117	2
7-03-95	117	116	1
8-03-95	126	115	11
9-03-95	125	116	9
10-03-95	120	118	2
11-03-95	123	120	3
12-03-95	125	120	5
13-03-95	117	120	3
14-03-95	115	121	6
15-03-95	117	120	3
16-03-95	109	116	7
17-03-95	105	116	11
18-03-95	115	115	0
19-03-95	121	113	8
20-03-95	112	113	1
21-03-95	108	112	4
22-03-95	107	111	4
23-03-95	102	110	2
24-03-95	96	108	12
25-03-95	115	107	8
26-03-95	112	108	4
27-03-95	120	107	13
28-03-95	116	108	8
29-03-95	115	109	6
30-03-95	110	110	0

Tableau: prévisions et réalisations pour Skikda soir

Bouira matin	Realisations	previsions	Ecart
1-03-95	61	67	6
2-03-95	75	64	11
3-03-95	55	65	10
4-03-95	90	74	16
5-03-95	65	68	3
6-03-95	59	68	9
7-03-95	77	67	10
8-03-95	91	75	16
9-03-95	82	73	9
10-03-95	70	74	4
11-03-95	78	76	3
12-03-95	40	70	30
13-03-95	52	70	18
14-03-95	68	70	2
15-03-95	74	68	6
16-03-95	68	66	2
17-03-95	60	64	4
18-03-95	69	63	6
19-03-95	54	61	7
20-03-95	58	64	6
21-03-95	60	64	4
22-03-95	65	63	2
23-03-95	49	55	6
24-03-95	43	50	7
25-03-95	50	56	6
26-03-95	45	54	9
27-03-95	55	52	3
28-03-95	57	54	3
29-03-95	58	56	2
30-03-95	53	52	1

Tableau: réalisations et prévisions pour Bouira soir

Bouira matin	Realisations	previsions	Ecart
1-03-95	74	94	20
2-03-95	70	89	19
3-03-95	109	99	10
4-03-95	99	89	10
5-03-95	97	91	6
6-03-95	93	89	4
7-03-95	98	89	9
8-03-95	98	91	7
9-03-95	96	94	2
10-03-95	130	100	30
11-03-95	89	101	12
12-03-95	105	100	5
13-03-95	97	101	4
14-03-95	91	101	10
15-03-95	90	100	10
16-03-95	77	89	12
17-03-95	120	96	24
18-03-95	119	105	14
19-03-95	116	109	7
20-03-95	124	120	4
21-03-95	97	105	8
22-03-95	72	80	8
23-03-95	57	55	2
24-03-95	84	92	8
25-03-95	82	79	3
26-03-95	90	86	4
27-03-95	106	99	7
28-03-95	95	87	8
29-03-95	95	92	3
30-03-95	90	90	1

Tableau: réalisations et prévisions pour Bouira matin



Tafourah soir	Realisations	previsions	Ecart absolu
1-03-95	4	4	0
2-03-95	3	4	1
3-03-95	1	1	0
4-03-95	12	8	4
5-03-95	7	7	0
6-03-95	11	8	3
7-03-95	8	6	2
8-03-95	9	7	2
9-03-95	4	8	4
10-03-95	2	4	2
11-03-95	10	11	1
12-03-95	7	7	0
13-03-95	12	8	4
14-03-95	6	7	1
15-03-95	8	6	2
16-03-95	4	6	2
17-03-95	2	3	1
18-03-95	11	11	0
19-03-95	8	7	1
20-03-95	10	9	1
21-03-95	9	6	3
22-03-95	9	8	1
23-03-95	7	7	0
24-03-95	4	5	1
25-03-95	14	14	0
26-03-95	10	10	0
27-03-95	12	12	0
28-03-95	8	8	0
29-03-95	8	8	0
30-03-95	6	6	0

Tableau: réalisations et prévisions Tafourah soir

Tafourah matin	Realisations	previsions	Ecart absolu
1-03-95	7	7	0
2-03-95	9	6	3
3-03-95	6	4	2
4-03-95	10	13	3
5-03-95	8	9	1
6-03-95	9	10	1
7-03-95	7	7	0
8-03-95	5	7	2
9-03-95	4	6	2
10-03-95	4	4	0
11-03-95	12	10	2
12-03-95	12	8	4
13-03-95	10	10	0
14-03-95	8	7	1
15-03-95	6	7	1
16-03-95	5	6	1
17-03-95	3	4	1
18-03-95	10	11	1
19-03-95	7	8	1
20-03-95	9	8	1
21-03-95	6	6	0
22-03-95	8	8	0
23-03-95	5	5	0
24-03-95	4	4	0
25-03-95	9	9	0
26-03-95	8	8	0
27-03-95	9	9	0
28-03-95	7	7	0
29-03-95	6	6	0
30-03-95	5	5	0

Tableau: réalisations et prévisions Tafourah matin

## CONCLUSION :

Notre travail a consisté en l'élaboration d'un modèle de prévision de la charge nodale, adaptable à tous les postes (H.T) du réseau de SONELGAZ. Pour aboutir à cette fin, nous avons établi un algorithme général tenant compte de toutes les situations possibles de l'évolution de la consommation de la charge électrique.

Cet algorithme comprend une base de données que nous avons conçue selon la répartition des postes sur le réseau, une option d'utilisation automatique de la fonction prévision et une possibilité de choix manuel de la méthode de prévision.

La validation du modèle a été réalisée par l'application de l'algorithme à des fins de prévision en introduisant différentes séries chronologiques pour différents postes du réseau. Le modèle a effectivement adapté à chaque série la méthode de prévision lui convenant le plus et a donné des résultats puisque les écarts de prévisions rentrent dans les limites de tolérance.

Le programme a été conçu de manière à permettre à un opérateur n'ayant aucune connaissance de l'informatique à l'exploiter facilement pour la prévision vu qu'il est basé sur le style conversationnel "What if?". Toute fois, l'opérateur doit avoir quelques notions sur les méthodes de prévision pour l'option du choix manuel de la méthode de prévision.

Le modèle reste flexible et peut être sujet à des améliorations par le biais de l'intégration de nouvelles méthodes (explicatives). De plus, une extension peut être faite pour ce type de problème par le développement d'un système expert dans ce domaine.

Pour conclure notre étude, nous dirons que ce travail a été le résultat d'une recherche orientée à la fois vers la méthodologie de la prévision pour les séries chronologiques et vers la programmation d'un algorithme général tenant compte de toutes les possibilités d'évolution de ces séries, et d'éventuels changements de leurs caractéristiques. L'algorithme que nous avons conçu donne de bons résultats, du fait de son caractère adaptable à la série chronologique étudiée.