

Modélisation, étude et analyse prévisionnelle de la  
consommation d'électricité basse, moyenne et  
haute tension en Algérie (2006-2011).

AMINE LAGARI

12 décembre 2012

# Table des matières

0.1	Introduction Générale :	1
<b>1</b>	<b>Aspect descriptif de l'énergie électrique et de son environnement</b>	<b>3</b>
1.1	Généralités sur l'électricité	3
1.1.1	Origine et histoire	4
1.1.2	Définition de l'électricité	4
1.1.3	Description et caractéristiques techniques	5
1.1.4	Nature de l'électricité	5
1.1.5	L'électricité statique	6
1.1.6	Les métiers de l'électricité	7
1.1.7	Réseau électrique	7
1.1.8	Les différentes formes d'électricité	7
1.1.9	La production d'électricité	8
1.1.10	Transport et distribution	9
1.2	Historique sur le groupe SONELGAZ	10
1.2.1	Présentation du groupe Sonelgaz	10
1.2.2	Présentation de la société de Distribution de l'électricité et du Gaz de l'Ouest (SDO) :	13
1.2.3	Présentation de la SDO d'El Bayadh :	14
1.3	Conclusion	17
<b>2</b>	<b>Présentation de la clientèle de l'électricité</b>	<b>18</b>
2.1	Répartition de la clientèle par niveau de tension :	18
2.2	Evolution de la consommation nationale d'électricité :	23
2.2.1	Evolution de la consommation par société de distribution	23
2.2.2	Evolution du nombre des clients par niveau de tension :	27
2.2.3	Evolution de la consommation électrique par niveau de tension :	30

<b>3 Aspect théorique des séries chronologiques et des méthodes de modélisation et prévisions</b>	<b>35</b>
3.1 Analyse des séries chronologiques . . . . .	35
3.1.1 Définition d'une série chronologique . . . . .	35
3.1.2 Les composantes d'une série temporelle . . . . .	36
3.1.3 Les schémas de décomposition d'une série chronologique : . . . .	36
3.1.4 Procédure de choix d'un schéma de décomposition : . . . . .	38
3.1.5 Estimation des composantes de la série : . . . . .	39
3.1.6 Etablissement de la chronique et prévision : . . . . .	43
3.1.7 Caractéristiques d'une série chronologique : . . . . .	44
3.1.8 Processus aléatoires stationnaire et processus ARMA : . . . . .	45
3.1.9 Les processus aléatoires non stationnaires : . . . . .	49
3.2 La méthodologie de Box et Jenkins . . . . .	55
3.2.1 L'identification : . . . . .	55
3.2.2 L'estimation des paramètres : . . . . .	57
3.2.3 L'adéquation du modèle (ou validation) : . . . . .	57
3.2.4 la prévision : . . . . .	59
3.2.5 L'interprétation des résultats : . . . . .	60
3.2.6 Synthèse de la méthodologie de Box et Jenkins : . . . . .	61
<b>4 application des méthodes : Modélisation de la série moyenne tension</b>	<b>62</b>
4.1 Analyse préliminaire de la série (MT) : . . . . .	62
4.2 analyse de la saisonnalité : . . . . .	63
4.2.1 La détection de la saisonnalité : . . . . .	63
4.2.2 La désaisonnalisation de la série $MT_t$ : . . . . .	65
4.3 Traitement de la stationnarité : . . . . .	66
4.3.1 Test de la racine unitaire (Dickey-Fuller) (test de stationnarité) : .	66
4.3.2 Stationnarisation de la série MTSA : . . . . .	67
4.4 La méthodologie de Box-Jenkins : . . . . .	70
4.4.1 L'identification du modèle : . . . . .	70
4.4.2 L'estimation et les tests de validation de modèle : . . . . .	70
4.4.3 Prévisions : . . . . .	75

## 0.1 Introduction Générale :

Le secteur de l'énergie et notamment le secteur électrique joue le rôle de locomotive de développement dans la sphère économique dans le sens où son essor conditionne l'essor d'une croissance économique d'un pays tout entier. C'est ainsi que la bonne gouvernance des secteurs énergétiques (électriques et gaziers) nationaux revêt une importance particulière au vu des effets qui en sont induits tel que la démocratisation de l'accès à l'énergie électrique et au gaz.

Aujourd'hui l'électricité étant un bien non stockable, de consommation devenu indispensable au bien-être de la population et au développement économique de toute société.

A ce niveau, il est vital pour un pays que l'accès à l'électricité soit assuré et que la continuité de sa fourniture soit garantie. Une adéquation entre les capacités de production, de transport et de distribution disponibles à moyen et long terme, d'une part, et l'évolution de la demande future d'électricité, d'autre part, en plus que d'indispensable pour y parvenir.

Le développement économique et social d'une nation est conditionné par l'utilisation optimale de ses ressources disponibles, naturelle et humaine. Par ailleurs, la consommation de l'énergie est à la base de toutes les activités économiques. C'est le nerf de l'économie d'un pays. S'agissant d'un secteur fortement capitalistique, l'effort d'investissement doit être soutenu, continu et touchant le maximum de régions car confronté aux problèmes d'insuffisance de la capacité de production persistants ; la société nationale d'électricité et du gaz (Sonelgaz) est contrainte à moduler sa production et les consommations réelles tout en tenant compte de son vrai potentiel de production ; d'où l'importance que revêt cette étude dont l'objectif est de prévoir son évolution future.

Comme indiqué plus haut, à travers notre étude, on s'intéressera à l'évolution et à la modélisation de la consommation d'électricité à l'échelle nationale sur la période allant de 1997 à 2010 sachant qu'il existe trois types de clients d'électricité différenciés par leurs niveaux de tension, et ce en vue de déterminer :

- Une bonne évolution de la demande future d'électricité.
- Une adéquation entre les capacités de production, de transport et de distribution disponibles.

- L'évolution d'obligations de service public dans le domaine de la production d'électricité.

- Atteindre les critères de rentabilité économique, qui concernent : la protection du consommateur, la qualité de service, la sécurité d'approvisionnement et la protection de l'environnement.

Nous nous proposons dans cette étude d'élaborer un modèle fiable relatif à la consommation mensuelle des clients précités.

***L'élaboration de ce modèle permettra-t-elle de prévoir les dispositions à prendre et les moyens de production appropriés nécessaires en matière d'énergie électrique pour satisfaire la demande ?***

On va essayer de répondre à cette problématique et ce en vue de confirmer l'hypothèse que la consommation d'électricité est en constante évolution.

On essayera d'établir des prévisions comme support décisionnel pour les décisions afin de répondre à cette demande.

Cette thèse se présente comme suit : en premier lieu un aperçu sera donné sur l'environnement de la production de l'énergie électrique (généralités sur l'électricité et la présentation de la Sonelgaz). Dans le second chapitre, on présentera brièvement les clientèles (basse, moyenne et haute tension) avant de faire un aperçu théorique sur les méthodes des séries temporelles en vue d'en faire une application pratique, avec prévision, dans le quatrième chapitre.

# Chapitre 1

## Aspect descriptif de l'énergie électrique et de son environnement

### 1.1 Généralités sur l'électricité

L'électricité est l'une des clés du progrès. sa consommation mondiale devrait augmenter de 80 d'ici à 2030. Aujourd'hui l'électricité sert pour l'éclairage, le chauffage ou la climatisation. Elle fait tourner les moteurs électriques qui font avancer les trains ou fonctionner les appareils ménagers. Elle fait fonctionner les appareils électriques, le téléphone, la radiodiffusion, la télévision, la sonorisation, l'informatique, les automates, les communications numériques (internet, réseaux) sont autant de secteurs qui ont besoin d'électricité.

C'est une filière qui a su développer une position d'excellence mondiale dans de nombreux secteurs, depuis la production jusqu'à l'ensemble de ses utilisations. Tout au long de la chaîne, la filière est source d'innovation technologique pérenne, de compétitivité et d'emploi. C'est le cas avec les nouvelles sources de production : éolien, solaire, biomasse qui utiliseront l'électricité comme vecteur de " mise à disposition " de l'énergie. C'est aussi le cas avec le développement de nouvelles formes de production : les grands systèmes centralisés se verront complétés par la montée en puissance de nouvelles formes de production, très décentralisées (solaire, éolien, biomasse), au service d'une efficacité énergétique accrue, les nouvelles technologies dites propres (clean Tech, non émettrices de gaz à effet de serre).

### 1.1.1 Origine et histoire

L'électricité a été découverte il y a 26 siècle, Thalès, un savant grec, l'a découvert(06) six siècles avant J.C. Il frottait un morceau d'ambre avec un tissu quand il a constaté que la pierre réussissait à attirer des petits objets légers comme de la paille. Sans le savoir il a découvert l'électricité statique.

Il a fallu des siècles aux inventeurs pour comprendre comment produire de l'électricité. Ils ont fait plein d'expériences et ont appris à la créer à partir des différentes sources d'énergie de la nature. Cette découverte a bouleversé notre vie a jamais : l'électricité se développe alors progressivement pendant le vingtième siècle, d'abord dans l'industrie, l'éclairage public et le chemin de fer avant d'entrer dans les foyers. Différents moyens de production de l'électricité se développe : centrales hydraulique , thermique, éolien, puis nucléaire ... , ainsi ; on pouvait réaliser des choses si incroyables grâce à celle qu'on l'a appelée la fée électricité.

Ce n'est qu'en l'an 1799 que le savant Alessandro italien Volta à découvert le moyen de produire un courant électrique. Il a inventé (1) première pile électrique à volonté et , composée de disques d'argent et de cuivre séparés par du carton humide. Arago et Ampère inventent l'électroaimant qui va servir à l'invention du télégraphe pour envoyer des messages en morse.

-XX siècle : Pierre et Marie Curie découvrent la radioactivité qui donnera naissance à l'énergie nucléaire.

### 1.1.2 Définition de l'électricité

Electricité est un mot provenant du grec *elektron* signifiant ambre jaune. Les anciens Grecs avaient découvert qu'en frottant l'ambre jaune, celui-ci produisait une attirance sur d'autres objets et, parfois des étincelles. Ils ont donc appelé cette force électricité. L'électricité est une branche de la physique qui étudie les mouvements de charge dans la matière. L'électricité est un phénomène physique dû aux différentes charges électrique de la matière, se manifestant par une énergie. L'électricité désigne également la branche de la physique qui étudie les phénomènes électriques et leurs applications. Pour les scientifiques, l'électricité est très liés au magnétisme, ils ont donc crée une discipline, l'électromagnétisme, qui regroupe l'étude des phénomènes électrique et magnétiques.

C'est au cours du  $XIX^e$  siècle que les propriétés de l'électricité ont commencées à être comprises. Sa maîtrise a permis l'avènement de la seconde révolution industrielle.

Aujourd'hui l'énergie électrique est omniprésente dans les pays développés : à partir de différentes sources d'énergie (hydraulique, thermique, nucléaire...) l'électricité est de nos jours un vecteur énergétique employé à de très nombreux usages domestiques ou industriels.

### 1.1.3 Description et caractéristiques techniques

Les premières constatations sur l'électricité datent de la Grèce antique. Ces mouvements énergétiques sont liés au déplacement des électrons dans la matière, créant des charges positives et négatives suivant souvent le manque ou le sur plus d'électrons autour d'un proton, la charge électrique se déplaçant du plus vers moins. Sachant que tout ce qui nous entoure est composé de matière. La matière, elle, est composée d'atomes, et ces atomes sont composés d'un noyau central constitué de protons et de neutrons, et d'électrons qui tournent autour du noyau comme des satellites autour de la terre. Quand les électrons se déplacent d'un atome à un autre, ils produisent de l'électricité.

Dans un corps composé de pleins d'atomes, les charges électriques positives et négatives sont plus ou moins nombreuses. S'il y a autant de charges positives que de charges négatives, le corps est neutre : les charges s'annulent et rien ne se passe. S'il y a plus de charges positives que de charges négatives, le corps est positif : il attire les électrons vers lui. C'est le déplacement des électrons qui crée l'électricité.

### 1.1.4 Nature de l'électricité

L'électricité, comme l'énergie, est présente dans la nature, les échanges électriques sont omniprésents dans la nature. En générale, il s'agit de phénomènes ni très visible, ni évident, mais ils sont fondamentaux ; les forces électromagnétiques et électrofaibles font partie des quatre interactions fondamentales qui structurent tout l'univers. Comme la masse, la charge électrique est une propriété de la matière à l'origine de certains phénomènes. Personne n'a jamais observé directement une charge électrique, mais en étudiant certaines particules : les électrons et les protons,



les scientifiques ont remarqué que ces particules n'avaient pas les mêmes charges, et que bien souvent elles étaient opposées.

Des charges de natures opposées s'annulent ; la matière ordinaire, qui possède autant de protons que d'électrons, est donc électriquement neutre. Contrairement à la masse, il existe deux types de charges électriques, qui se comportent comme si elles étaient " opposées " l'une à l'autre ; on les appelle donc par convention positive et négative. C'est le mouvement des charges électriques dans la matière qui à l'origine de l'électricité.

### 1.1.5 L'électricité statique

Dans la nature, les électrons sont des porteurs de charges négatives et les protons des porteurs de charges positives. Les atomes qui composent la matière ordinaire comprennent des électrons qui se déplacent autour d'un noyau composé de protons et de neutrons, ces derniers étant électriquement neutres. Le nombre d'électrons étant égal au nombre de protons, l'ensemble est électriquement neutre.

Quand on frotte certains matériaux entre eux, les électrons superficiels des atomes de l'un sont arrachés et récupérés par les atomes de l'autre. Par exemple, une tige de verre frottée sur un tissu de soie se charge positivement, car ses atomes perdent des électrons au bénéfice de la soie ; si on frotte un ballon de baudruche sur des cheveux secs, on le charge négativement, car il capte des électrons des cheveux.

Une règle en plastique frottée sur le tissu d'un vêtement possède une charge négative, elle peut alors attirer des petits morceaux de papier. La règle modifie, par influence électrostatique, la répartition des charges dans le papier : les charges négatives de la règle repoussent les charges négatives à l'autre extrémité du morceau de papier et attirent les charges positives des atomes du papier.

On parle d'électricité statique lorsqu'il n'y a pas de circulation des charges électriques. Expérimentalement cela est généralement obtenu en utilisant des matériaux dans lesquels les charges sont " piégées ", des matériaux isolants comme le plastique, le verre, le papier... qui résistent à la circulation des charges .

### 1.1.6 Les métiers de l'électricité

L'électrotechnique est un ensemble de technologies qui peuvent être pratiquées par : un ingénieur, un électrotechnicien, un dessinateur-projeteur...

- le bobineur est un technicien qui réalise les circuits magnétiques comme ceux des moteurs ou des générateurs ;
- le monteur-câbleur réalise les armoires de commande et il procède au raccordement ;
- les électriciens câblent les réseaux basse tension et haute tension, dans le bâtiment, l'industrie, le tertiaire, la marine, l'aéronautique et les moyens de transport terrestre, (automobile) ;
- les techniciens de maintenance, entretiennent et dépannent les machines électriques ;
- les automaticiens, électroniciens, électrotechniciens créent les automatismes et systèmes de régulation électrique pour commander les machines automatisées...

### 1.1.7 Réseau électrique

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production vers les consommateurs d'électricité. Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveau de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettant de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs. Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production, transport, consommation, mettant en oeuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'électricité.

### 1.1.8 Les différentes formes d'électricité

Il existe plusieurs moyens de production qui fonctionnent tous à partir du déplacement des électrons. La seule différence c'est l'énergie utilisées, renouvelable ou non. La centrale thermique nucléaire utilise le procédé de fission des atomes d'uranium. Cela produit de la chaleur qui se transforme ensuite en vapeur et fait tourner la turbine.

La centrale hydraulique utilise la force de l'eau créée par un puissant déplacement. Il peut s'agir d'une chute d'eau naturelle, de l'eau stockée dans un barrage, des mouvements de la marée ou des courants marins. La centrale géothermique utilise l'eau qui est chauffée par la chaleur de la terre ou la vapeur qui s'en dégage. Ce procédé s'appelle la géothermique. Les éoliennes utilisent la force du vent qui actionne leurs hélices. Les panneaux solaires, appelés panneaux photovoltaïques, produisent de l'électricité grâce au soleil. C'est un moyen pratique pour alimenter des lieux isolés non raccordés au réseau électrique. La biomasse est une énergie constituée de matières organiques végétales ou animales (déchets ménagers ou agricoles). Sa combustion permet de produire de l'électricité.

Depuis la centrale électrique jusqu'à la maison, l'électricité parcourt souvent des centaines de km et traverse de nombreuses installations différentes ! Lorsqu'elle sort de la centrale de production elle emprunte un réseau de transport composé de haute tension. C'est un peu l'autoroute de l'électricité. Mais au cours de son voyage vers les villes, on doit progressivement diminuer sa tension. Elle passe donc des transformateurs avant d'emprunter des lignes à moyenne tension puis d'autres transformateurs abaissent sa tension à 230 volts pour qu'elle puisse utiliser les lignes à basse tension qui alimentent les villes.

Enfin elle arrive jusqu'au disjoncteur de la maison. Il sert d'interrupteur pour laisser passer ou stopper le courant. Il assure aussi la sécurité : s'il y a une surcharge d'électricité le disjoncteur coupe automatiquement l'arrivée du courant.

### **1.1.9 La production d'électricité**

L'électricité représente environ un tiers de l'énergie consommée dans le monde. L'électrotechnique est la science des applications domestiques et industrielles (production, transformation, transport, distribution et utilisation) de l'électricité.

La méthode la plus courante pour produire de grandes quantités d'électricité est d'utiliser un générateur, convertissant une énergie mécanique en une tension alternative. Cette énergie d'origine mécanique est la plupart du temps obtenue à partir d'une source de chaleur, issue elle-même d'une énergie primaire, telle l'énergies fossiles, pétrole, nucléaires ou une énergie renouvelable, l'énergie solaire. On peut

également directement utiliser une énergie mécanique, comme l'énergie hydraulique ou l'énergie éolienne.

### **1.1.10 Transport et distribution**

#### **Le transport**

Le courant qui circule sur réseau électrique est le plus souvent alternatif et triphasé, car il est le plus économique à produire et à transporter. Alors que le consommateur final a besoin de courant à basse tension, moins dangereux à utiliser, il est plus économique pour le transport du courant sur de longues distances, d'utiliser une très haute tension.

En effet, à puissance constante, si l'on augmente la tension, on réduit l'intensité du courant (  $P = U \times I \times \cos(\theta)$  en monophasé ) et donc, les pertes par effet Joule ou pertes thermiques (  $P_{th} = \mathcal{R} \times I^2$  ), ainsi que l'effet de peau qui limite la circulation des forts courants à la surface extérieure des conducteurs : ceci obligerait l'utilisation de câbles de cuivre de plus grosse section. On utilise donc des transformateurs élévateurs de tension, de manière à réduire l'intensité du courant pour le transport, et des transformateurs abaisseurs de tension pour la distribution (en basse tension) aux usagers.

#### **Réseau de distribution**

Un réseau de distribution électrique est la partie d'un réseau électrique desservant les consommateurs. Un réseau de distribution achemine l'énergie électrique d'un réseau de transport (Haute tension B) ou un réseau de répartition (Haute tension A) aux transformateurs aériens desservant les clients.

La tension électrique des réseaux de distribution se situe normalement entre 50 kV et 3 kV. Ils comprennent des postes électriques de transformation, des lignes aériennes et un réseau de conducteurs les reliant aux transformateurs de secteur. Le réseau de distribution dessert parfois directement les compteurs électriques de clients industriels.

## 1.2 Historique sur le groupe SONEGAS

### 1.2.1 Présentation du groupe Sonelgaz

**Sonelgaz 40 ans d'histoire : " Sonelgaz célèbre ses 40 années de service public "**

L'histoire de la Sonelgaz, c'est celle de l'Algérie dans ses élans de développement économique et sociale, ses ambitions d'amélioration du niveau de vie de ses populations et sa ferme volonté de faire de la source d'énergie le vecteur d'un progrès durable pour tous les algériens. Sonelgaz a, de fait, toujours été l'instrument de la stratégie de développement de l'Etat Algérien de elle est, jusque dans les desseins qui ont donné le jour, le fruit d'une volonté de développement national dont les portées sociales et économiques avaient intrinsèquement partie liée à l'accès aux énergies électriques et gazières.

Et parce qu'elle a également été créée en vue de performances censées, et favoriser l'émancipation de l'Algérie de sa dépendance de l'étranger en énergie électrique, Sonelgaz demeure un des symboles de l'indépendance de l'Algérie.

Sonelgaz a été créée en 1969 se substituant à EAG, une société issue des lois françaises de nationalisation de 1947.

**• 1962 1969 : " soutenir le développement économique et social de l'Algérie "**

La prodigieuse trajectoire de cette Grande Entreprise Nationale reflète celle de la nation Algérienne qui, depuis son accession à l'indépendance en 1962, a su mobiliser ses efforts pour réorganiser son économie et répondre aux nombreux besoins sociaux d'une population à forte croissance.

**• En 1969 :**

Sonelgaz était déjà une entreprise de taille importante dont le personnel est de quelques 6000 agents. Elle desservait déjà 700 000 clients. Dès sa mise en place, l'entreprise a effectué, entre la vente d'énergie, l'installation et l'entretien d'appareils domestiques fonctionnant à l'électricité ou 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.

- **1983 : " premières restructuration " naissance des filiales travaux :**

Sonelgaz s'est restructurée une première fois, elle a donné naissance à cinq (05) entreprises travaux spécialisées, ainsi qu'une entreprise de fabrication :

**KAHRIF** :pour l'électrification.

**KAHRAKIB** :pour les infrastructures et installations électrique.

**KANAGHAZ** :pour la réalisation des réseaux gaz.

**INERGA** :pour le génie civil.

**ETTREKTIB** :pour le montage industriel.

**AMC** :pour la fabrication des compteurs et appareils de mesure et de contrôle. C'est grâce à ces sociétés que Sonelgaz dispose actuellement d'infrastructures électriques et gazières répondant aux besoins du développement économique et social du pays.

- **1991 : " un nouveau statut pour Sonelgaz "**

Sonelgaz devient établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) en 1991. Le décret exécutif N° 95-280 du 17 septembre 1995 confirme la nature de Sonelgaz en tant qu'établissement public à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle du Ministre chargé de l'énergie et doté de la personnalité morale tout en jouissant de l'autonomie financière.

- **2002 : " La transformation en SPA "**

Sonelgaz devient une société par actions en 2002. Ce statut donne à Sonelgaz la possibilité d'élargir ses activités à d'autres domaines relevant du secteur de l'énergie et aussi intervenir en dehors des frontières de l'Algérie. En tant que SPA, elle doit détenir un portefeuille d'actions et autres valeurs mobilières, elle doit avoir aussi la possibilité de prendre des participations dans d'autres sociétés. Cela annonce l'évolution de 2004 où Sonelgaz devient un Groupe Industriel.

- **2004-2006 : "le groupe Sonelgaz l'expansion "**

En 2004, Sonelgaz devient un holding de sociétés. Les entités en charge de ses métiers de base sont érigées en filiales assurant ces activités.

**SPE** : Sonelgaz Production Electricité.

**GRTE** : Gestionnaire Réseau Transport Électricité.

**GRTG** : Gestionnaire Réseau Transport Gaz.

- **en 2006**

La fonction distribution est structurée en quatre filiales opérant dans les régions d 'Alger, centre, Est et Ouest.

Au-delà de cette évolution, assurant le service public reste la mission essentielle de Sonelgaz et constitue le fondement de sa culture d'entreprise.

- **2007 - 2008 : " Finalisation de la restructure - le renouveau "**

Réorganiser pour mieux progresser, telle est la démarche poursuivie par le groupe Sonelgaz durant ces dernière années, l'enjeu étant la qualité du service rendu à la clientèle ; un projet mûri au sein de l'entreprise, pour aboutir à la finalisation de l'organigramme actuel (maison Mère-Filiales).

Cette période reste marquée par la détermination de Sonelgaz à faire plus et mieux, en mobilisant des financements importants afin de développer et renforcer l'infrastructure électrique et gazière. Pour la période 2005- 2017, un programme d'investissement exceptionnel est mis en oeuvre afin d'augmenter ses capacités de production d'électricité, de densifier et rendre plus robuste son réseau de transport d'électricité et du gaz et enfin moderniser ses services à la clientèle, pour leur assurer un service de qualité.

Entre 1989 et 2008, la crise de 1986 et la décennie noire ont amené un ralentissement de la croissance. Les évolutions n'ont pas dépassé les 07 % annuelles, les paramètres s'étant multipliés en moyenne par trois (03) sur la période. Quant à la consommation moyenne par foyer, elle évoluait de 1 370 KWh à 2 611 KWh et de 12717 th à 15 009 th. En d'autres termes, si les foyers Algériens ont atteints un palier de consommation en gaz naturel, en électricité, en revanche, la consommation moyenne par foyer n'a pas encore atteint son palier puisqu'elle continue de croître. En effet alors que la consommation moyenne en électricité par foyer évoluait de moins de 01% entre 2003 et 2006, elle a connu un bond à 3.5% en 2007 pour atteindre près de 06% en 2008. Ce qui peut s'expliquer par l'accès des foyers au bien être de la climatisation. Le système électrique national est constitué :

- d'un réseau interconnecté qui couvre le Nord et partie du Sud du pays et comprenant.
- du réseau de transport interconnecté auquel sont raccordés les centrales de production et les principaux clients industriels.
- Des réseaux de distribution desservant le reste de la clientèle (ménages, services,

PME/PMI).

- De vingt cinq réseaux isolés, alimentés par des turbines à gaz (Adrar, Illizi, In Salah) ou par des groupes diesel desservant du Sud, à travers des réseaux de distribution. Il est à signaler que le réseau de transport issu de la centrale d'Adrar est en cour de développement vers la région d'In Salah.

La longueur totale du réseau de transport, géré par le GRTE, s'élève à près de 19 552 km en 2008, toutes tensions confondues (de 60 à 400 kv). Le réseau est accru de 1855 km en 2008 soit une augmentation de 10,4% par rapport à 2007.

Pour faire face à une demande en électricité sans cesse croissante, le parc production sera renforcé, sur la période 2008-2012 par la réalisation de :

**a) Production d'électricité :**

1. 07 (sept) centrales électriques turbines Gaz d'une puissance de 2000 MW.
2. 03 (trois) méga centrales cycle combiné de 1200 MW chacune.
3. Une puissance de près de 400 MW sera installée au Grand Sud pour renforcer le parc diesel.
4. Un projet de centrale hybride Solaire/Gaz de 150 MW est également lancée à Hassi R'mel.

**b) Transport de l'électricité : " Les autoroutes de l'énergie "**

Les projets dorsales en 400 KV, et ce en vue de renforcer les bases du réseau électricité pour assurer la sécurité du transport de l'électricité à moyen et long terme.

### **1.2.2 Présentation de la société de Distribution de l'électricité et du Gaz de l'Ouest (SDO) :**

La Société de Distribution de l'Electricité et du Gaz de l'Ouest (SDO) a pour mission :

- l'exploitation et la maintenance du réseau de distribution de l'électricité et du gaz,
- le développement des réseaux électricité et gaz permettant le raccordement des nouveaux clients,
- la commercialisation de l'électricité et du gaz, dans les meilleures conditions de sécurité, de qualité de service au moindre coût.



La SDO couvre les régions de : Tindouf, Naâma, Béchar, Tlemcen, Saida, Oran, Chlef, Sidi Bel Abbès, Mascara, Ain Témouchent, Tiaret, Mostaganem, Relizane, Tissemsilt, Ain Defla, Adrar, El Bayadh.

Créée en Janvier 2006, elle dispose d'un réseau électricité d'une longueur de 73.970 km en Moyenne et Basse Tension (MT/BT), et d'un réseau gaz de 9012.129 Km en Moyenne et Basse Pression (MP/BP). Elle gère 1 668 668 clients en BT/MT (Electricité), et 549 904 clients en BP/MP (Gaz), Elle dispose d'un réseau commercial constitué de 110 agences. La SDA emploie 4 406 Agents. Elle a réalisé un Chiffre d'Affaires de 26 366.14 MDA en 2006.

La Société de Distribution de l'électricité et du Gaz de l'Ouest met en oeuvre un programme d'investissement dans un double objectif :

- Celui de développer ses réseaux et de répondre à la demande,
- Celui de la modernisation de son exploitation et de sa gestion. Dans ce cadre le bureau de conduite centralisée (BCC) constitue un projet structurant pour l'amélioration de la conduite des réseaux et de l'amélioration de la qualité de service.

La fonction commerciale fait l'objet d'un programme exceptionnel en matière de recrutement et de formation des ressources humaines dédiées à cette activité.

### **1.2.3 Présentation de la SDO d'El Bayadh :**

#### **a) La création du DSO d'El Bayadh :**

Dans un premier temps, la direction de distribution d'EL BAYADH se présentait comme une centrale électrique, constituait par trois groupes monocylindre à grand rous, gérait un petit réseau en supports bois. Cette centrale a été prise en charge par EGA (électricité et gaz d'Algérie) Cependant, le réseau basse tension a connaît une extension par l'installation des supports métalliques et en béton, sous la direction régionale d'Oran, district de Sidi Bel Abbès jusqu'à 1961

**De 1961 à 1969 :** de production était dirigé par la direction régionale du sud siège Alger sous la direction de Béchar

**En juillet 1969 :** il y a eu lieu la création de la société nationale de l'électricité et du gaz Sonelgaz. Depuis cette date des études ont été faites pour le déclassement des centrales par la création d'une nouvelle ligne 30Kv raccordé au réseau nationale.

**1970** :il y a eu l'inauguration du siège de l'agence d'EL Bayadh .

**1996** :il y a eu la création de la délégation au niveau du siège de l'agence.

**A fin 2004** : la délégation d'El Bayadh s'était sous la direction du centre de Saida ou la Willaya d'El Bayadh alimentait en antenne par un poste source 60/30 Kv d'une puissance de 40 MVA (2\*40 MVA)

La ville d'El Bayadh était alimenté par quatre départs sous terrain 10 Kv bouclable avec une puissance installé 2\*6,3 MVA.

La ville d'El Abiadh sidi Cheikh était alimenté par les deux départs 30Kv Boussemghoun en en provenance d'Ain-Sefra et El Abiadh Sidi Cheikh en provenance d'El Bayadh.

**A fin 2005** :a considéré comme un point de transformation de la willaya d'El Bayadh la ou il y a eu la première fois la création de la direction régionale de Sonelgaz a El Bayadh au niveau de la délégation.

**A fin 2009** :dans le cadre de la nouvelle restriction de la direction régionale devenue la direction de la distribution d'El Bayadh.

#### **b) les activités de l'entreprise :**

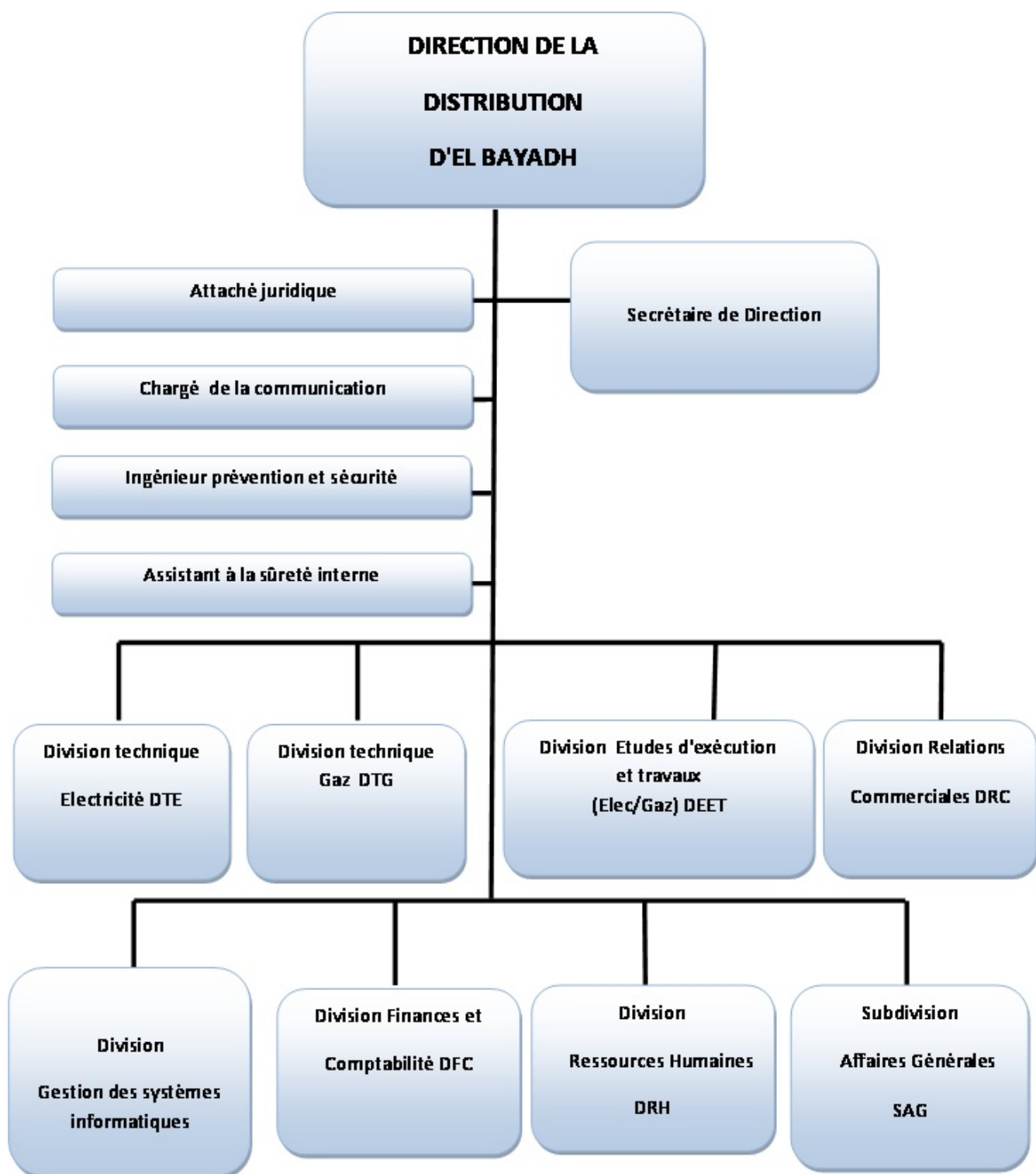
Le groupe de l'entreprise Sonelgaz se restructure en filaires chargées des activités de base :

- Vente Energie.
- Travaux debranchement.
- Travaux d'extension.

Et autres activités spécialisées de Sonelgaz :

- Sonelgaz production électricité (SPE).
- Gestionnaire réseau transport électricité (GRTE).

*L'organigramme de la direction de distribution d'El Bayadh*



## 1.3 Conclusion

On constate clairement que Sonelgaz est en constante évolution, une évolution positive qui demeure indispensable pour toutes les politiques de développement dans le pays, à travers ses réalisations et ses projets futures, afin de donner à l'Algérie un tissu économique dense conçue comme la base de l'industrialisation du pays, Sonelgaz s'est résolument inscrite dans cette dynamique, elle s'est attaché à étendre et à développer son infrastructure électrique et augmenter la puissance de ses installations de production électrique.

## Chapitre 2

# Présentation de la clientèle de l'électricité

Le découpage de la clientèle des sociétés de distribution du groupe Sonelgaz porte sur (03) trois catégories et ce en fonction de la puissance de la tension électrique demandée par les clients.

### 2.1 Répartition de la clientèle par niveau de tension :

**Tableau (2.1.1) :** Répartition de la clientèle par niveau de tension(2010)

Catégorie de clientèle	Tension d'alimentation	Population
Basse Tension (BT)	0,110-0,220-0,380 kv	ménage/petits commerces/artisans
Moyenne Tension (MT)	5,5-10-22-30 kv Petites	Moyennes entreprises
Haute Tension (HT)	60-90-220 kv	Grand complexes industriels

*Source : documentation Sonelgaz " nouveau système de tarification "*

La clientèle de la Sonelgaz est déterminée par :

#### a) Son niveau de tension d'alimentation :

On distingue ainsi (03) trois types de clients comme indiqué plus haut :

#### **Basse " Tension/Pression " : clients Résidentiels**

Il s'agit des clients résidentiels, soit les clients domestique et les clients non domestiques (ayant une activité commerciale), à partir du réseau basse tension correspondant à : 220V/380V et une alimentation en énergie gazière en Basse Pression à partir d'un réseau gaz exploité à 4 bars effectifs.

On parlera d'un branchement dans le cas où le client est situé à moins de 25 mètres du réseau électricité ou de 20 mètres du réseau gaz. Au delà, il s'agira d'une extension réseau. Suite au paiement des devis, les délais de réalisation seront de :

1. 10 jours pour un branchement.
2. 45 jours pour une extension réseau si les conditions sont réunies (autorisation de construire et faisabilité). Pour toute demande de branchement en électricité ou en gaz il suffit donc de :
  - Se rapprocher de l'Agence Commerciale de la Direction Distribution à laquelle est rattachée la commune du client.
  - Formulez une demande de branchement au niveau du guichet de réception (Nom, adresse, Tél, Mobile, e-mail) ;
  - Une équipe se déplacera ainsi, à l'adresse indiquée, pour étude technique du raccordement et estimation du devis ;
  - La réalisation du branchement se fera après le paiement du devis.
  - Pour l'électricité, le compteur sera posé lors de la mise en service du raccordement, après essai et délivrance du certificat de conformité de l'installation intérieure, fourni par l'installateur.
  - Les clients concernés par les lotissements (logements individuels) un représentant pour suivre le processus de raccordement.
  - Pour les grands ensembles (immeubles), c'est le promoteur qui suit le processus de raccordement.

### **Moyenne Tension/Pression : Clients Professionnels**

L'abonnement moyenne tension est un abonnement pour une alimentation électrique à partir du réseau moyenne tension, transformée en basse tension par un poste de transformation, propriété du client, il est exploité et entretenu par ses soins et à ses frais. Les valeurs normalisées pour la Moyenne Tension sont 10kv en souterrain et 30 kv en aérien soit une tension d'alimentation qui est comprise entre 5 500 et 30 000 volts :  $[5500 < MT < 30000]$  et qui recouvre le secteur d'activité des petites et moyennes entreprises.

Les conditions techniques d'un abonnement Moyenne Tension sont la puissance demandée et l'emplacement du client par rapport aux réseaux existants.

**- Type de postes Moyenne Tension :**

1) Réseaux de distributions publiques :

Ils ont pour objectif de raccorder l'ensemble des consommateurs. C'est une mission de service publique, mais ces réseaux peuvent être exploités et entretenus par des organismes nationaux (ex. ERDF en France), des régies locales ou des sociétés privées (cas par exemple de l'Angleterre). On appelle ces sociétés des " régies de distribution " ou encore des " distributeurs ". Ces régies sont également chargées de gérer la facturation des clients et donc de mesurer leur consommation (metering ou comptage).

2) Réseaux de distribution privés :

Ils ont pour but d'acheminer l'énergie au sein d'un site : industrie lourde, aéroports, sous-stations de traction ferroviaire, ensembles commerciaux.... En France et dans les pays du Maghreb, la majorité des clients industriels sont raccordés au réseau en HTA (souvent du 20kv), même si certains gros consommateurs (métallurgistes, cimentiers, etc.) sont parfois directement raccordés au réseau HTB (jusqu' à 220 kv), pour des raisons d'économies sur le prix de la fourniture d'énergie : ils ne sont alors tenus de rémunérer le distributeur, mais doivent en contrepartie investir dans une installation plus lourde et donc plus chère à l'achat. Au sein même d'une installation privée, on distinguera deux types de postes moyennes tension.

**Haute tension/pression : clients industriels**

L'abonnement haut tension est un abonnement pour une alimentation électrique à partir du réseau haute tension. Le poste de transformation est la propriété du client, il est entretenu par ses soins et à ses frais. Les valeurs normalisées pour la haute tension sont : 60kv et 220kv. Les conditions techniques d'un abonnement HT sont la puissance demandée et l'emplacement du client par rapport aux réseaux existants. Nous abordons ici les techniques relatives aux installations dont la tension est supérieure à 52kv. En Algérie, cela correspond au domaine de la HTB. On parle parfois également de THT (Très Haute Tension). Les postes électriques hautes tension servent à transformer la tension, aiguiller le courant électrique et protéger les installations et les personnes.

Il existe deux grandes catégories des postes hautes tension :

- Les postes de transformation :

Les postes de transformation permettent de passer d'un niveau de tension d'entrée donné à un niveau de tension de sortie qui peut être supérieure (on parle alors de transformateurs élévateurs) ou inférieur (abaisseur). En général, on augmente la tension en sortie de centrale pour transporter l'énergie électrique avec le moins de pertes possible, et on diminue la tension aux abords des centres de distribution (agglomération, industrie, etc.)

- Les postes d'interconnexion :

Les postes d'interconnexion sont les noeuds du réseau électrique d'un pays. Ils permettent de relier entre eux plusieurs sections d'un réseau. Les postes électriques haute tension peuvent être raccordés à des lignes électriques, à des câbles ou également directement à une centrale électrique (on parle alors de poste " sortie de centrale ").

**Tableau (2.1.2) :** Evolution de la clientèle 2010/2011

	2009	2010	Objectifs 2011	Taux 10/11 (%)	Taux réel (%)
Clientèle B T	6235273	6484157	6515531	4,00	99,50
Clientèle M T	40297	41747	41559	3,60	100,50
Clientèle H T	93	95	107	2,20	88,80
TOTAL	6275 663	6525999	6557197	4,00	99,50

**b) Sa tarification :**

L'égalité de traitement que les sociétés de distribution du groupe Sonelgaz veillent à assurer à tous leurs clients, sur l'ensemble du territoire, ne s'arrête pas à la fourniture de l'énergie et des services y afférents, mais s'étend également à la tarification. En effet, un système de péréquation des tarifs permet l'application d'un tarif identique à tous les clients domestiques, sans distinction de lieu et quel que soit le coût réel de fourniture de l'énergie.

Une nouvelle approche en matière de tarification est menée dans le cadre des réformes entreprise dans le secteur de l'électricité et du gaz. Elle répond à de nouveaux objectifs liés à la rémunération de la production de l'électricité et du transport, de la distribution et de la commercialisation de l'électricité et du gaz. Elle prend, également, en considération les investissements et les objectifs financiers de l'entreprise, exprimés par des ratios tels que le taux d'autofinancement, le taux de couverture du service de la dette, le taux de rentabilité des immobilisations brutes, etc. Les niveaux



des tarifs de l'électricité et du gaz en Algérie sont fixés par décret. C'est la CREG " Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz ", organe de régulation du secteur, qui a pour mission la fixation et la régulation des tarifs et rémunération des opérations. Ces tarifs sont donc sujets à des révisions éventuelles pour tenir des coûts de développement des infrastructures.

On distingue trois (03) séries de tarifs, on utilise un numéro de deux chiffres dont le premier indique le niveau de tension, le second identifie le tarif à l'intérieur de la série. Soit pour les clients haute tension (HT) la série 30 leur est applicable, la série 40 pour la clientèle moyenne tension et la série 50 pour la basse tension.

**Tableau (2.1.3) : la tarification de l'énergie électrique (2011)**

Code Tarif	Redevance fixe DA/ mois	Prix de la puissance DA/Kv/mois		Prime de l'énergie active						Prix de l'énergie réactive DA/Kvarch
		Mise à disposition	absorbée	pointe	pleine	nuit	hors pointe	jour	poste unique	
31	42 177,73	36,61	157,88	550,71	113,85	49,19	-	-	-	25,84
32	42 177,73	84,12	421,15	-	-	-	-	-	114,12	25,84
41	32 227,79	21,54	96,79	726,68	161,47	85,33	-	-	-	37,94
42	429,71	32,25	150,48	726,68	-	-	150,63	-	-	37,94
43	429,71	32,25	128,8	-	-	85,33	-	356,92	-	37,94
44	429,71	32,25	150,48	-	-	-	-	-	313,02	37,94
51	286,44	29,85	-	716,32	191,07	106,37	-	-	-	-
52	66,4	29,85	-	716,32	-	-	157,19	-	-	-
53	66,4	14,81	-	-	-	106,37	-	429,88	-	-
54-1	-	4,37	-	-	-	-	-	-	177,87	-
54-2	-	4,37	-	-	-	-	-	-	417,89	-

**Tableau (2.1.4) : Tarification générale (2011)**

Catégorie de clientèle	Tarification	Populations
Basse Tension (BT)	51-54(02)	Ménages/petits commerces/artisans
Moyenne Tension (MT)	41-44	Petits Moyennes Entreprises
Haute Tension (HT)	31-32	Grands Complexes Industriels

### c) La gestion de la clientèle :

Sur le territoire national la clientèle est gérée par les filiales du groupe Sonelgaz à savoir les sociétés de distribution par abréviation (SDx) :

1. La société de distribution de l'électricité et du gaz d'Alger : SDA

2. La société de distribution de l'électricité et du gaz d'Ouest : SDO
3. La société de distribution de l'électricité et du gaz d'Est : SDE
4. La société de distribution de l'électricité et du gaz du Centre : SDC

**Tableau (2.1.5) :** Evolution de la clientèle des sociétés de distribution du groupe Sonelgaz (10/11) :

	Nouveaux clients	10-11(%)	Total Clients"2011"	10-11 (%)
Haute tension	02	-0,80	95	2,2
Moyenne tension	1 450	-6,80	41 747	3,6
SDA	137	12,30	5 414	2,6
SDC	332	-12,20	11 478	03
SDE	527	-6,70	13 693	04
SDO	454	-7,50	11 162	4,2
Basse tension	248 884	6,90	6 484 157	04
SDA	35 088	-0,20	912 895	04
SDC	56 926	22,50	1 399 106	4,2
SDE	81 818	-1,90	2 293 659	3,7
SDO	75 052	10,80	1 878 497	4,2
TOTAL	250 336	6,80	6 525 999	04

## 2.2 Evolution de la consommation nationale d'électricité :

### 2.2.1 Evolution de la consommation par société de distribution

Le tableau suivant indique l'évolution de la consommation d'électricité sur les quatorze dernières années, en faisant ressortir les consommations des (04) quatre sociétés de distribution qui sont :

- **Société de distribution de l'électricité et du gaz d'Alger** : qui regroupe : Boumerdes, Tipaza, Belouizdad, Bouloughine, El Harrach, Gue de Constantine.
- **Société de distribution de l'électricité et du gaz Centre** : qui regroupe : Blida, Bouira, Médéa, Tizi-Ouzou, Djelfa, Ouargla, Biskra, Laghouat, Tamarrasset, El oued, Ghardaïa, Illizi.
- **Société de distribution de l'électricité et du gaz Est** : qui regroupe : Constantine, Batna, Oum El Bouaghi, Khenchla, Tebessa, Mila, Annaba, Guelma, Skikda, Souk Ahras, Taref, Setif, Bejaia, Jijel, M'sila, B.B.Arrerij.

- **Société de distribution de l'électricité et du gaz Ouest** : qui regroupe :  
Chlef, Tiaret, Mostaganem, Ain Defla, Relizane, Tissemsilt, Adrar, Saida, El  
Bayadh, Naama, Bechar, Oran, Tlemcen, mascara, Ain Temouchent.

De l'agrégation des quatre sociétés de distribution résulte la consommation totale et le taux d'accroissement annuel %

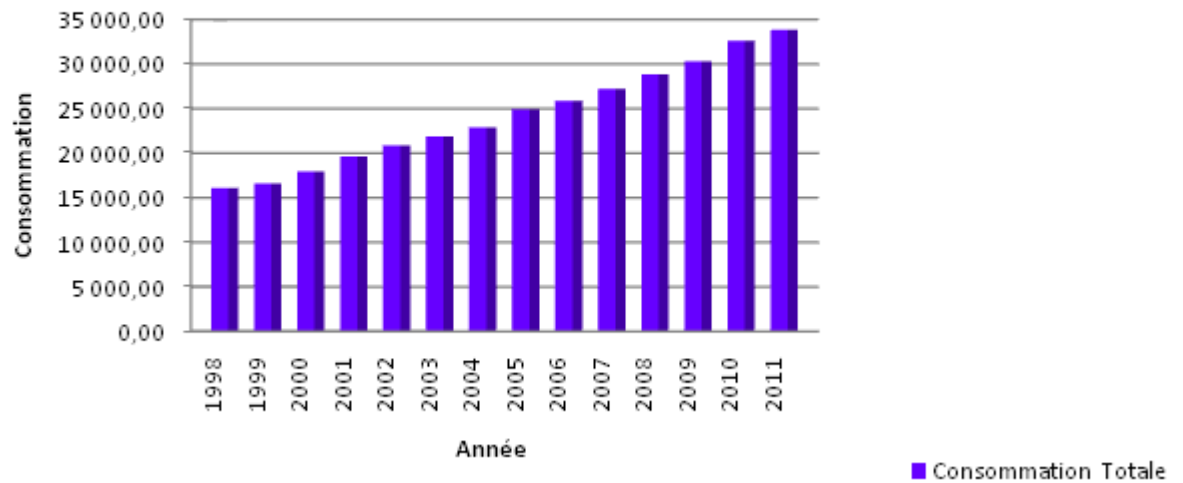
$$\% \text{Evolution} = \frac{\text{consommation totale}(n+1) - \text{consommation totale}(n)}{\text{Consommation totale}(n)} * 100$$

**Tableau (2.2.1)** : historique de la consommation nationale par société de distribution (1998-2011)

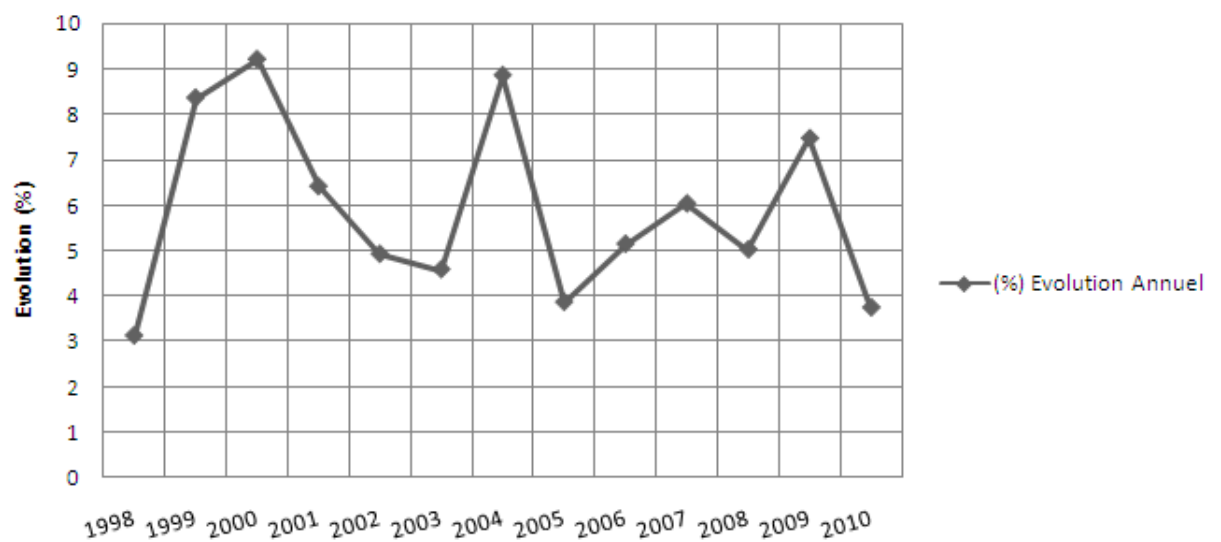
Année	SD Alger	SD Centre	SD Est	SD Ouest	Const. Totale	(%) Evolution
1998	2 085,90	4 355,70	5 455,30	4 173,60	16 070,50	-
1999	2 051,80	4 559,30	5 623,70	4 338,10	16 572,90	3,12
2000	2 379,50	4 878,00	5 928,10	4 773,10	17 958,70	8,36
2001	2 510,90	5 210,20	6 680,50	5 210,80	19 612,40	9,21
2002	2 772,30	5 623,10	7 142,50	5 331,30	20 869,20	6,41
2003	3 090,70	5 904,90	7 420,30	5 481,20	21 897,10	4,92
2004	3 244,20	5 959,50	7 702,60	5 994,00	22 900,30	4,58
2005	3 825,10	6 371,40	8 333,20	6 401,40	24 931,10	8,86
2006	4 062,10	6 702,90	8 552,60	6 575,90	25 893,50	3,86
2007	4 279,00	7 195,50	9 120,20	6 631,30	27 226,00	5,14
2008	4 655,60	7 413,40	9 837,30	6 962,10	28 868,40	6,03
2009	4 800,10	7 842,00	10 272,10	7 405,00	30 318,20	5,02
2010	5 023,00	8 118,10	11 846,00	7 596,90	32 584,00	7,47
2011	4 989,00	8 836,00	11 353,00	8 639,00	33 817,00	3,74

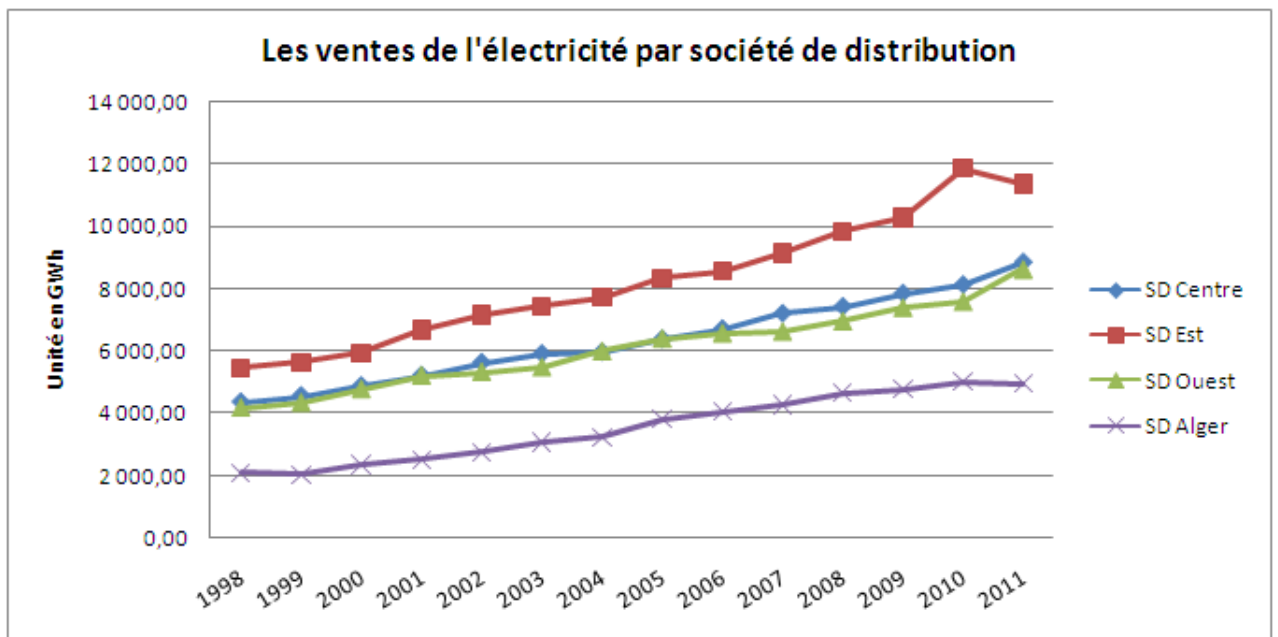
**Figure(2.2.1)** :Graphiques de l'évolution des ventes d'électricité (1998-2011)

**Evolution des ventes d'électricité 1998-2011**



**(%) Evolution annuel des ventes 1998-2011**





### **Analyse et interprétation :**

La consommation totale nationale a évolué de 16070.5 GWh en 1998 à 33817 .0 GWh en 2011, soit un taux annuel de 5.9%.

L'Algérie a enregistré une forte consommation d'électricité durant les années 2000,2001 et 2005 avec des taux d'évolution respectifs de 8.36% ; 9.21% et 8.86%.

Le taux d'évolution de l'année 2011 a été de 3.74%.

La répartition de la consommation entre les quatre (04) sociétés de distribution a été comme suit :

- La société de distribution " Est " détient la plus grande consommation, elle représente 34% de la consommation nationale (elle est passée de 5 455.3 GWh en 1998 à 11 353.0 GWh en 2011). Cela s'explique par la présence et la concentration des plus grands complexes industriels sur la région " Est " du pays sans oublier les infrastructures et les ménages qui ont de plus des besoins énergétiques accrus(énergivore).

- Les deux sociétés de distribution " Ouest " et " Centre " ont une consommation relativement égale, et pas aussi importante que la société de distribution " Est " vu l'insuffisance d'infrastructures et le ralentissement du développement économique et démographique.

- La société de distribution " Alger " a une consommation minimale par rapport aux autres sociétés soit 15% de la consommation totale, (elle est passée de 2085.9 GWh en 1998 à 4 989.0 GWh en 2011), cela se justifie par la rareté des industries dans la région néanmoins négligeable vu que cette région du pays est considérée plutôt stratégique que économique (capitale).

D'un point de vue général, la consommation nationale d'électricité a une tendance à la hausse sur la période considérée, ce qui s'explique par l'intégration des nouvelles technologies. Ceci contribue au développement des activités industrielles sans oublier l'effort d'électrification consenti par le Groupe Sonelgaz sur tout le territoire du pays.

## **2.2.2 Evolution du nombre des clients par niveau de tension :**

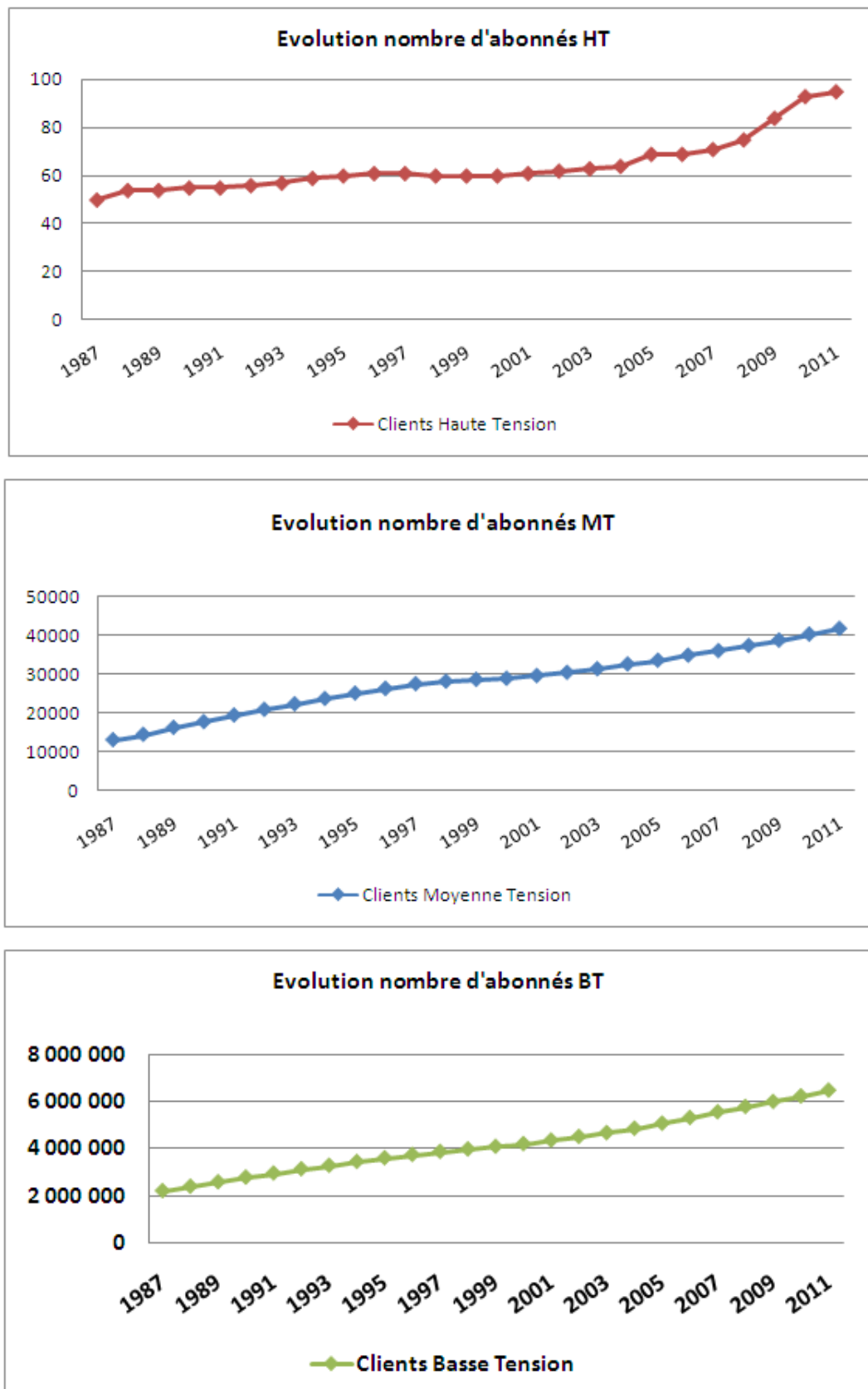
### **Interprétation :**

Le tableau suivant ci-après représente l'accroissement du nombre des clients par niveau de tension (Ht, MT, BT) entre 1986 et 2010.

**Tableau (2.2.2) :**l'évolution du nombre des clients par niveau de tension (1987 et 2011).

Année	HT	(%) Evo	MT	(%) Evo	BT	(%) Evo	Total Abonnés	(%) Evo
1987	50	-	12955	-	2 207 096	-	2 220 101	-
1988	54	8,0	14351	10,8	2 398 882	8,7	2 413 287	8,7
1989	54	0,0	16147	12,5	2 588 103	7,9	2 604 304	7,9
1990	55	1,9	17639	9,2	2 787 077	7,7	2 804 771	7,7
1991	55	0,0	19344	9,7	2 960 013	6,2	2 979 412	6,2
1992	56	1,8	20811	7,6	3 138 813	6,0	3 159 680	6,1
1993	57	1,8	22236	6,8	3 288 476	4,8	3 310 769	4,8
1994	59	3,5	23624	6,2	3 452 637	5,0	3 476 320	5,0
1995	60	1,7	25031	6,0	3 608 590	4,5	3 633 681	4,5
1996	61	1,7	26232	4,8	3 750 659	3,9	3 776 952	3,9
1997	61	0,0	27450	4,6	3 879 597	3,4	3 907 108	3,4
1998	60	-1,6	28094	2,3	3 982 399	2,6	4 010 553	2,6
1999	60	0,0	28559	1,7	4 096 830	2,9	4 125 449	2,9
2000	60	0,0	28850	1,0	4 209 882	2,8	4 238 792	2,7
2001	61	1,7	29552	2,4	4 359 519	3,6	4 389 132	3,5
2002	62	1,6	30391	2,8	4 513 836	3,5	4 544 289	3,5
2003	63	1,6	31310	3,0	4 676 586	3,6	4 707 959	3,6
2004	64	1,6	32553	4,0	4 864 003	4,0	4 896 620	4,0
2005	69	7,8	33524	3,0	5 080 378	4,4	5 113 971	4,4
2006	69	0,0	34834	3,9	5 320 891	4,7	5 355 794	4,7
2007	71	2,9	36015	3,4	5 566 394	4,6	5 602 480	4,6
2008	75	5,6	37336	3,7	5 789 038	4,0	5 826 449	4,0
2009	84	12,0	38741	3,8	6 002 484	3,7	6 041 309	3,7
2010	93	10,7	40297	4,0	6 235 273	3,9	6 275 663	3,9
2011	95	2,2	41747	3,6	6 484 157	4,0	6 525 999	4,0

**Figure (2.2.2) :** Graphiques de l'évolution du nombre d'abonnés par niveau de tension (1987-2011)





**Interprétation :**

Le taux d'accroissement annuel moyen par niveau de tension sur la période 1987-2010 est 4.6% :

Un accroissement de 2.8% pour la Haute Tension : cet accroissement reste relativement faible particulièrement entre 1997 et 2007 où le nombre d'abonnés est passé de 60 à 75 clients nouveaux, cette faiblesse s'explique particulièrement par l'inertie des investissements, toutefois ; à partir de 2008 et grâce à la relance économique et l'encouragement de l'investissement local et étranger à travers les différents projets industriels le nombre de clients nouveaux est passé respectivement à 84, 93 et enfin atteindre 95 pour 2008, 2009 et 2010.

05% pour la Moyenne tension.

4.6% pour la Basse tension.

Enfin, l'évolution enregistrée sur les catégories basse et moyenne tension sont plus significative due à la création de nouvelles entreprises ainsi que la dynamique démographique enregistrée durant la période considérée.

**2.2.3 Evolution de la consommation électrique par niveau de tension :**

Le tableau suivant reflète l'évolution de la consommation des tensions (BT, MT, HT) entre 1987-2011.

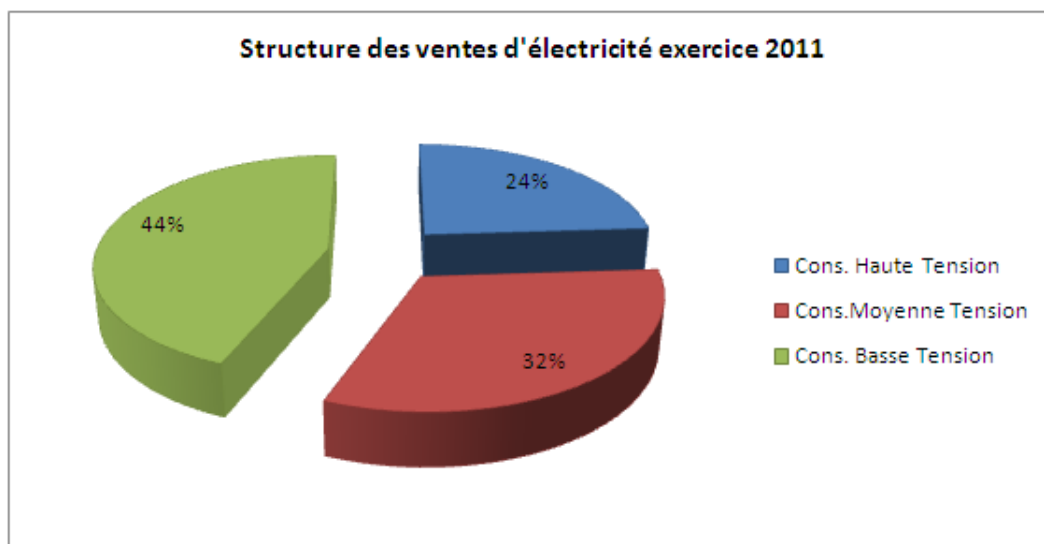
**Tableau (2.2.3) :**

Historique de la consommation nationale par type de tension (1987-2011)

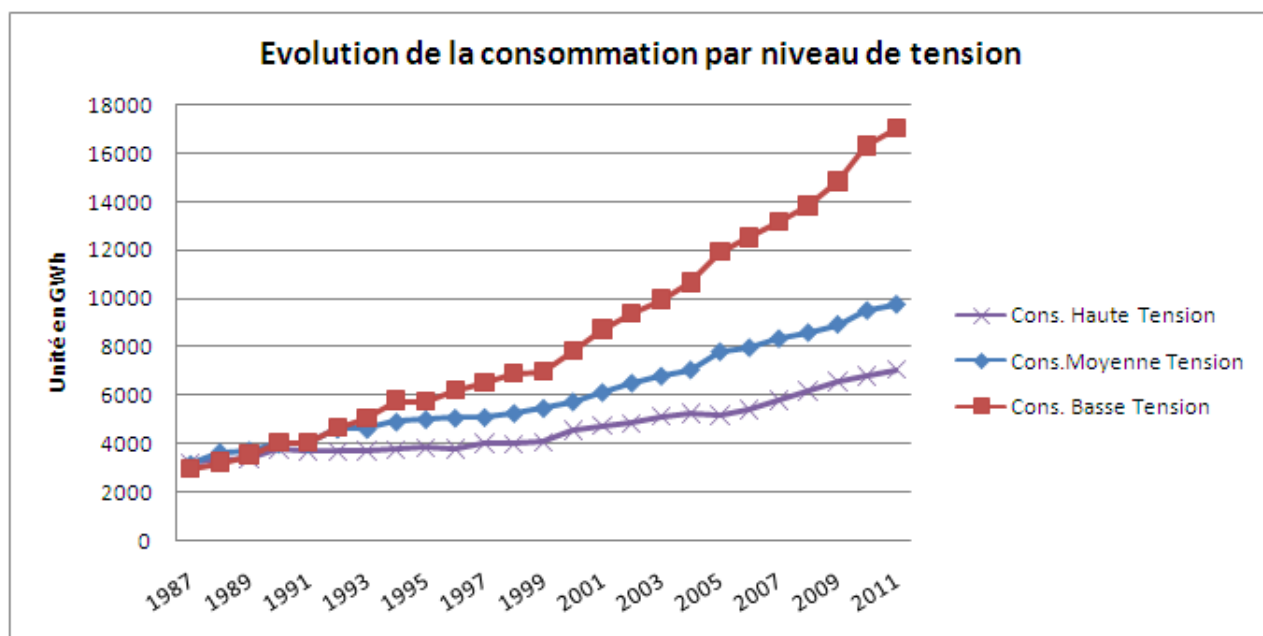
(unité : GWh)

Années	HT	(%) Evo	MT	(%)Evo	BT	(%) Evo	Total Cons.	(%) Evo
1986	3235	-	3199	-	2977	-	9411	-
1987	3302	2,1	3695	15,5	3226	8,4	10223	7,1
1988	3369	2	3774	2,1	3542	9,8	10685	3,8
1989	3790	12,5	4026	6,7	4060	14,6	11876	9,4
1990	3714	-2	4029	0,1	4055	-0,1	11798	-0,6
1991	3694	-0,5	4643	15,2	4676	15,3	13013	8,8
1992	3715	0,6	4636	-0,2	5071	8,5	13422	2,7
1993	3762	1,2	4941	6,6	5773	13,8	14476	6,8
1994	3824	1,6	5038	2	5750	-0,4	14612	0,8
1995	3781	-1,1	5097	1,2	6230	8,3	15108	3
1996	4039	6,8	5124	0,5	6536	4,9	15699	3,5
1997	3990	-1,2	5295	3,3	6926	6	16211	2,9
1998	4081	2,3	5501	3,9	6979	0,8	16561	1,9
1999	4547	11,4	5771	4,9	7847	12,4	18165	8,7
2000	4747	4,4	6151	6,6	8716	11,1	19614	7,2
2001	4847	2,1	6538	6,3	9376	7,6	20761	5,3
2002	5125	5,7	6825	4,4	9951	6,1	21901	5
2003	5236	2,2	7084	3,8	10657	7,1	22977	4,5
2004	5180	-1,1	7828	10,5	11928	11,9	24936	7,8
2005	5401	4,3	7996	2,1	12513	4,9	25910	3,6
2006	5798	7,4	8367	4,6	13149	5,1	27314	5
2007	6182	6,6	8614	2,9	13817	5,1	28613	4,4
2008	6543	5,8	8951	3,9	14824	7,3	30318	5,6
2009	6783	3,7	9521	6,4	16283	9,8	32587	7
2010	7037	3,7	9775	2,7	17006	4,4	33818	3,6

Figure(2.2.3) : Structure des ventes d'électricité (2011)



Figure(2.2.4) : Evolution de la consommation par niveau de tension (1987-2011)



### **Analyse des résultats :**

- Les ventes d'électricité toutes tensions confondues ont été multipliées par 1.7 sur la période (1987-1998), alors que le nombre d'abonnés en électricité a été multiplié par 1.8.
- Le volume global des ventes d'électricité a été multiplié par 1.5 durant la période (1998-2011), alors que le nombre d'abonnés en électricité a été multiplié par 1.6.
- Les ventes d'électricité sont passées de 10 224 GWh en 1988 à 33 817 GWh en 2011, soit un taux d'accroissement moyen de 5.5% alors que le nombre total des abonnés est passé de plus de 2.4 Million en 1988, à plus de 6.9 million en 2011, soit un taux moyen de 4.6%.
- Les ventes d'électricité par niveau de tension ont progressé entre 1988-2011 au rythme moyen de 5.5% avec :

3.4% pour la Haute tension.

4.8% pour la Moyenne tension.

7.6% pour la Basse tension.

**Les ventes HT " Haute Tension "** sont en baisse, elles représentent 20.81% en 2010 contre 25% en 1998 (34% en 1987). La faiblesse des ventes HT s'explique par un faible accroissement des abonnés (HT) par rapport à l'accroissement des abonnés de la moyenne et basse tension. Cette consommation indique des fluctuations : entre 2004 -2005 où le taux d'évolution est négatif de l'ordre de (-1.18), pourtant, il représentait plus de 11.40% pendant la période (1999-2000).

**Les ventes MT " Moyenne Tension "** : elles sont en légère baisse sur la période, soit 29.2% en 2011 contre 30.1 en 2008 et 33% en 1998 (voir 34% en 1987). Il s'agit d'une part moyenne de la consommation globale, elle a connu une forte évolution entre 2004-2005 avec un taux d'accroissement de 10.56%.

**La clientèle BT " Basse Tension "** : cette catégorie de clientèle récolte la part du lion de la consommation globale. Ces ventes sont hausses ; elles représentent 32% en 1997 et atteignant 43% en 1997 et 50.29% en 2011 et ce au détriment de la HT et de la MT. Cette évolution jugée continue et assez élevée s'accroît entre 2000-2001 et 2004-2005 soit respectivement 14.06%, 11.93%. Cette évolution s'explique par l'accroissement du nombre de clients dans le secteur du tertiaire et du domestique.

Enfin, il apparait que pour l'année 2011, la consommation électrique est prépondérante dans le niveau de basse tension qui regroupe essentiellement les ménages soit 50% du chiffre d'affaire de l'entreprise (des ventes globales).

**Conclusion :**

De façon générale la consommation nationale a une tendance sur la période étudiée. La clientèle Basse Tension qui regroupe essentiellement les ménages la plus grande part de la consommation globale, cette dernière est en évolution croissante suite a l'augmentation du nombre de client et l'amélioration de la qualité du service, ce qui n'est pas le cas de la clientèle Haute Tension qui enregistre une faible augmentation d'abonnés vu les obstacles liés au coûts, durée et conditions d'installations, la clientèle Moyenne Tension quant à elle reste moyenne.

# Chapitre 3

## Aspect théorique des séries chronologiques et des méthodes de modélisation et prévisions

### Introduction

L'étude des séries chronologiques, correspond à l'analyse d'observations régulièrement espacées dans le temps. Cette analyse est un outil statistique qu'utilise l'administrateur afin d'étudier les situations aléatoires qui évoluent dans le temps, ce qui aide les entreprises à représenter et à faire face aux changements économiques afin d'obtenir un modèle et l'utiliser selon les objectifs recherchés ; comme la prévision ou le contrôle.

Dans ce chapitre on va présenter théoriquement l'essentiel des techniques d'analyse des séries chronologiques suivie par la présentation de la méthodologie de Box et Jenkins afin de pouvoir prévoir la consommation future de l'électricité par la clientèle basse, moyenne et haute tension.

### 3.1 Analyse des séries chronologiques

#### 3.1.1 Définition d'une série chronologique

Une série temporelle ou encore chronique, est une succession d'observations au cours du temps représentant un phénomène économique. par hypothèse, le pas du temps des observations est considéré constant : l'heure, le jour, le mois, l'année, ... et la valeur courante en  $t$  de la chronique, est notée  $y_t$ , où  $t$  est le temps compris entre 1 et  $n$ , avec  $n$  le nombre total des observations de la chronique.

- Une série temporelle est dite discrète si l'ensemble des instants d'observations

est discret (dénombrable).

- Une série temporelle est dite continue si l'ensemble des instants d'observations est continu (non dénombrable)

### 3.1.2 Les composantes d'une série temporelle

La première étape dans l'étude des séries chronologiques consiste à représenter graphiquement l'événement. Cette représentation permet d'entrevoir les quatre composantes fondamentales du mouvement d'ensemble :

- **La composante tendancielle** ( $T_t$ ) : elle est censée d'écrire le mouvement à long terme d'une série chronologique. On admet d'ordinaire que cette projection à long terme est une ligne droite à la hausse ou à la baisse qui élimine toutes les fluctuations (aléatoires) dues aux facteurs saisonniers et cycliques.
- **La composante saisonnière** ( $S_t$ ) : c'est une composante cyclique relativement de période intra annuelle et qui correspond souvent à des phénomènes de mode, de coutume, de climat ...
- **La composante résiduelle** ( $E_t$ ) : elle rassemble tout ce que les autres composantes n'ont pas expliquées du phénomène observé, elle contient des fluctuations imprévisibles telle que les inondations, les grèves, guerres ...

### 3.1.3 Les schémas de décomposition d'une série chronologique :

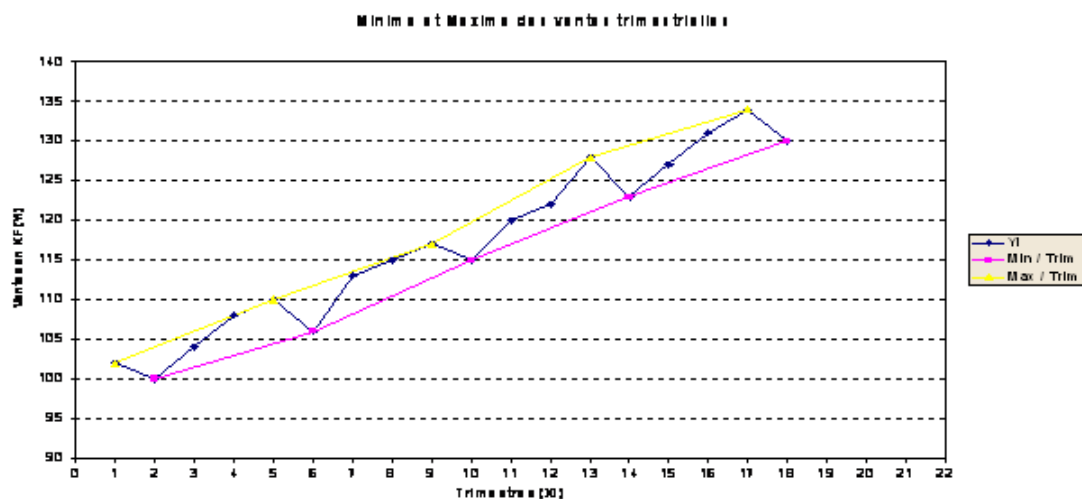
La décomposition d'une série temporelle en composantes déterministe ( $T_t$  et  $S_t$ ) et aléatoire  $\varepsilon_t$  est un phénomène important car l'étude d'une série brute ne peut donner d'indications précises que dans le cas où, à chaque instant on peut faire la part des influences respectives de la tendance du cycle, de la saisonnalité et de résidu, pour cela, les composantes du mouvement peuvent se combiner en trois schémas de décomposition :

#### A/ schéma additif :

Ce schéma suppose que la série se décompose en composantes indépendantes les unes des autres. La composante saisonnière de la série, comme la variation résiduelle est indépendante du mouvement extra-saisonnier :

$$Y_t = F_t + S_t + \varepsilon_t$$

**Figure (3.1.1) :** Représentation graphique d'une série dont le schéma est additif



### B/ schéma multiplicatif :

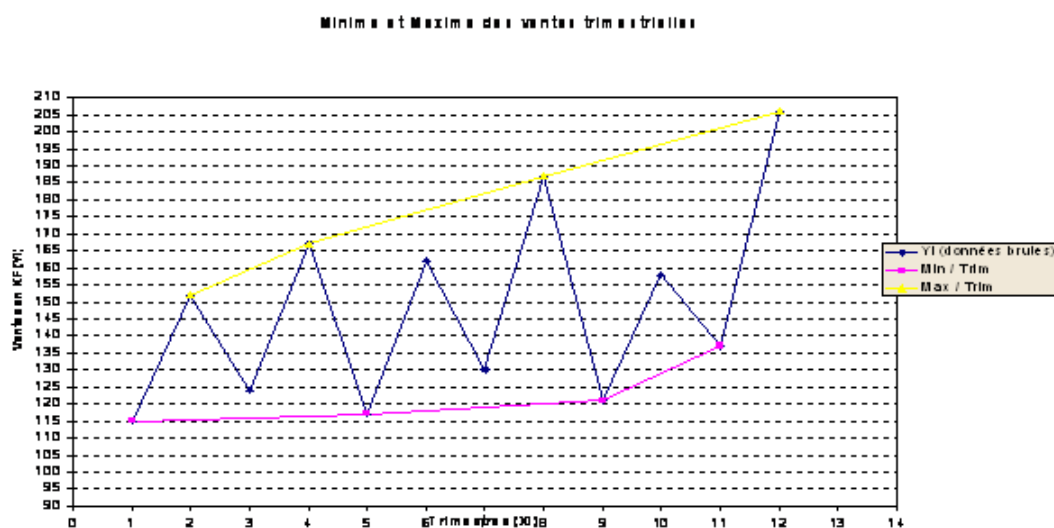
Ce schéma suppose que les tris composantes sont en interaction entre elles :

$$Y_t = F_t * S_t * \epsilon_t$$

Ce modèle peut être ramené à un modèle additif par transformation logarithmique :

$$\log Y_t = \log F_t + \log S_t + \log \epsilon_t$$

**Figure (3.1.2) :** Représentation graphique d'une série dont le schéma est multiplicatif





En fin on peut encore envisager des modèles mixtes, dont le plus courant est :

$$Y_t = F_t * S_t + \epsilon_t$$

Le schéma suppose que la composante saisonnière est liée à l'extra-saisonnier et la composante résiduelle s'ajoute au modèle.

**Figure (3.1.3) :** Représentation graphique dont le schéma est mixte

### 3.1.4 Procédure de choix d'un schéma de décomposition :

Afin s'identifier le type de schéma correspondant à la chronique étudiée, on fait référence à certains tests parmi lesquels on va faire :

- **Le test graphique de la bande :** permet de détecter une relation entre la volatilité et la moyenne. Il consiste à relier toutes les valeurs hautes de la chronique par une ligne plafond, puis toutes les valeurs basses par une ligne plancher. Si les deux lignes sont parallèles, l'écart-type ne varie pas avec la moyenne et le schéma est additif. Au contraire, si les deux lignes se rapprochent ou s'écartent, le schéma est multiplicatif.

Figure (3.1.4) : Exemple de schéma additif

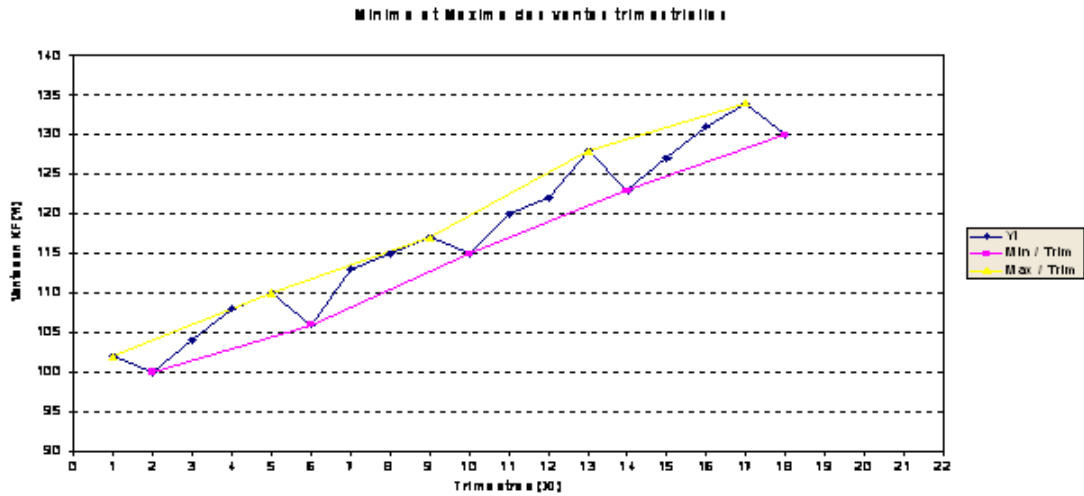
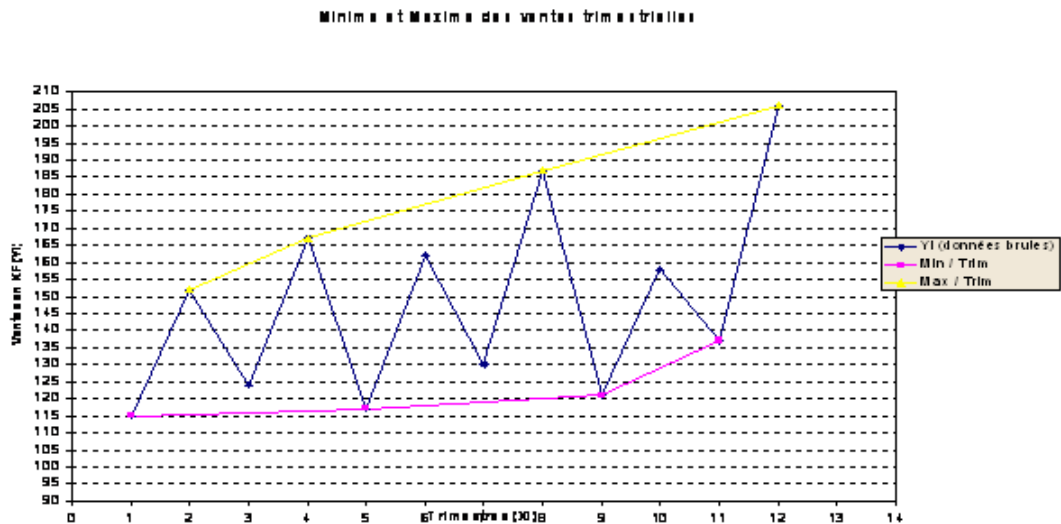


Figure (3.1.5) : Exemple de schéma multiplicatif



- **Le test de Buys-Ballot** : on calcule, pour chacune des années, la moyenne  $\bar{Y}_i$  et l'écart type  $\sigma_i$ , puis on estime par MCO les paramètres  $a_0$  et  $a_1$  de l'équation  $\sigma_i = a_1 \bar{Y}_i + a_0 + \epsilon_i$ . Dans le cas, où le paramètre  $a_1$  n'est pas significativement différent de 0 (test de student) alors on accepte l'hypothèse d'un schéma additif; dans le cas contraire, nous retenons un schéma multiplicatif.

### 3.1.5 Estimation des composantes de la série :

#### 3.1.5.1. Estimation de la tendance :

Il est clair qu'afin de pouvoir estimer la tendance, c'est à dire le mouvement d'un phénomène observé sur un grand intervalle de temps, il faut disposer d'une

série statistique sur une longue période :

#### a) Estimation par la méthode analytique

On détermine le trend en utilisant la méthode analytique, c'est-à-dire la droite des moindres carrées. Cette méthode permet de faire des extrapolations pour ensuite effectuer des prévisions.

• **Cas du modèle additif** : on utilise la méthode des moindres carrées pour ajuster la série chronologique  $Y_t$  avec  $Y_t = F_t + S_t$  le trend s'écrit  $F_t = a_t + b + S_t$

Le principe de la méthode des moindres carrées est de minimiser la quantité :

$$Q(a, b) = (a_t + b - Y_t)^2$$

Elle prend sa valeur minimale au point  $(\hat{a}, \hat{b})$  tel que les dérivées premières par rapport à  $a$  et  $b$  s'annulent. D'où :

$$\hat{a} = \frac{\text{cov}(t, Y_t)}{\nu_t} = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y}_t)(t - \bar{t})}{\sum_{t=1}^n (t - \bar{t})^2}$$

et

$$\hat{b} = \bar{Y} - \hat{a}\bar{t}$$

avec

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Y_i \text{ et } \bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n t_i$$

• **Cas du modèle multiplicatif** :

On a  $y_t = f_t * s_t$  ce qui implique  $\ln Y_t = \ln F_t + \ln S_t$

Le calcul est ramené donc au calcul précédent (cas du modèle additif).

#### b) Estimation par la méthode des Moyennes Mobiles :

Le principe de cette méthode est de construire une nouvelle série obtenue en calculant des moyennes arithmétiques successives de longueur  $p$  fixe à partir des données originales. Chacune de ces moyennes obtenues correspondra au "milieu" de la période pour laquelle la moyenne arithmétique vient d'être calculée. La moyenne mobile d'ordre  $p$  relative à la date  $t$  est définie par :

$$M_p(t) = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p y_{t+i}$$

La moyenne d'ordre 3 pour l'instant  $t_2$  d'une série  $(y_t)$  vaut  $\frac{y_1+y_2+y_3}{3}$ . On constate que, vu la façon de calculer ces moyennes, les deux valeurs extrêmes disparaissent, c'est-à-dire une de chaque côté.

La moyenne d'ordre 5 pour l'instant  $t_4$  d'une série  $(y_t)$  vaut  $\frac{y_2+y_3+y_4+y_5+y_6}{5}$ .

Cette fois-ci les quatre valeurs extrêmes de la série sont perdues.

On constate que si  $p$  est impaire, donc de la forme  $p = 2k + 1$ , à chaque extrémité  $k$  valeurs sont perdues. La moyenne mobile sera donc définie par :

$$M_p(t) = \frac{y_{t-k} + y_{t-k+1} + \dots + y_{t+k}}{2k + 1}$$

En choisissant  $p$  pair ( $p = 2k$ ) nous sommes confrontés au problème que les moyennes obtenues ne correspondront pas à une abscisse existante, mais chevaucheront entre deux de ces valeurs. Si nous calculons les moyennes mobiles d'ordre 4, nous obtenons des valeurs pour  $t_{2,5}, t_{3,5}$ , etc ..., ce qui n'est pas pratique. C'est pour cette raison qu'on calcule une moyenne sur 5 valeurs mais en prenant soin de pondérer les deux valeurs extrêmes par au lieu de 1 pour les autres valeurs. Il faut quant même veiller à diviser par 4 (et non par 5), ceci nous garantit que chaque valeur n'est prise en compte qu'une seule fois :

La moyenne d'ordre 4 pour l'instant  $t_3$  d'une série  $(y_t)$  vaut

$$\frac{\frac{y_1}{2} + y_2 + y_3 + y_4 + \frac{y_5}{2}}{4}$$

La moyenne mobile sera donc définie par :

$$M_p(t) = \frac{\frac{y_{t-k}}{2} + y_{t-k+1} + \dots + \frac{y_{t+k}}{2}}{2k}$$

**Remarque 1.** : à partir d'une série contenant  $n$  données, on perd  $(p - 1)$  valeurs si  $p$  est impair et on perd  $p$  valeurs s'il est pair.

### 3.1.5.2. Estimation de la saisonnalité :

La plupart des séries de compte (production, consommation,...) présentent une allure saisonnière très marquée. La production est par exemple moins dynamique en juillet et août où beaucoup d'entreprise cessent ou réduisent leur activité en raison des congés d'été. La consommation d'énergie est très élevée pendant les mois d'hiver du chauffage qui vient s'ajouter à la consommation habituelle des ménages.

On sait que l'influence des variations saisonnières doit être neutre sur l'année et que ces variations  $(S_t)$  se répètent théoriquement à l'identique de période en période. Dans toute série chronologique observée sur un cas réel, les variations saisonnières ne sont jamais identiques. Donc, pour satisfaire aux exigences du modèle théorique,

et pour pouvoir étudier la série réelle, il faut estimer, à la place des  $(S_t)$  observées, des variations périodiques identiques chaque année (mois par mois, ou trimestre par trimestre) qu'on appelle coefficients saisonniers.

**A/ Les coefficients saisonniers notés  $S_j$  :**

- **Modèle additif** : le calcul des variations saisonnières :  $s_t = y_t - f_t$
- **Modèle multiplicatif** : le calcul des variations saisonnières :  $s_t = y_t / f_t$

Calcule des coefficients saisonniers :

1- On retient 12 valeurs de  $S_j$  (de  $S_1$  à  $S_{12}$ ) si la série est mensuelle. On calcule donc la moyenne arithmétique, mois par mois, des  $S_t$  sur l'ensemble des  $n$  années.

2- On retient 04 valeurs de  $S_j$  (de  $S_1$  à  $S_4$ ) si la série est trimestrielle. On calcule donc la moyenne arithmétique, trimestre par trimestre, des  $S_t$  sur l'ensemble des  $n$  années.

On obtient donc  $n*j$  valeur de  $S_t$ , qu'on peut écrire  $S_{ij}$ , en calculant la moyenne arithmétique sur l'ensemble des années  $n$  on obtient :

$$S_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{ij}$$

**B/Les coefficients saisonniers corrigés  $S'_j$  :**

Dans le cas du modèle additif, la somme sur l'année ou la moyenne de ces coefficients saisonniers  $S_j$  devrait être nulle, c'est le principe de la conservation des aires. Dans le cas du modèle multiplicatif la moyenne des coefficients saisonniers devrait être égale à 1 (la somme égale à  $p$  : 12 si données mensuelles ou 4 si données trimestrielles).

En fait, bien souvent, les arrondis des calculs conduisent à une somme des coefficients saisonniers légèrement différente de 0 (modèle additif) et une moyenne différente de 1 (modèle multiplicatif). Dans ce cas, on calcule un coefficient correcteur  $\rho$  qui est la moyenne des  $S_j$  sur l'année :

$$\rho = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p S_j$$

$p$  : 12 si données mensuelles ou 4 si données trimestrielles.

On retient, en définitif, des coefficients saisonniers corrigés calculés ainsi :

**Modèle additif** :  $S'_j = S_j - \rho$  avec  $\frac{1}{p} \sum_{j=1}^p S'_j = 0$

**Modèle multiplicatif** :  $S'_j = S_j / \rho$  avec  $\frac{1}{p} \sum_{j=1}^p S'_j = 1$

**C/La série désaisonnalisée ou série CVS :**

C'est la série qui permet de suivre l'évolution du phénomène dans le temps, épuré des mouvements saisonniers de période en période.

- **Dans le modèle additif :**  $Y'_t = Y_t - S_t$  ou encore  $Y'_{ij} = Y_{ij} - S'_j$
- **Dans le modèle multiplicatif :**  $Y'_t = \frac{Y_t}{S_t}$  ou encore  $Y'_{ij} = \frac{Y_{ij}}{S'_j}$

### 3.1.5.3. Estimation des variations résiduelles :

Il suffit d'enlever à la série CVS l'influence du trend pour une estimation de la composante accidentelle :

- **Modèle additif :**  $\epsilon_t = Y'_t - \hat{f}_t$
- **Modèle multiplicatif :**  $\epsilon_t = \frac{Y'_t}{\hat{f}_t}$

### 3.1.6 Etablissement de la chronique et prévision :

Si l'on somme dans le modèle additif, ou si l'on multiplie dans le modèle multiplicatif, les deux composantes ; trend et coefficients saisonniers, calculées on obtient la série ajustée, notée  $\hat{Y}_t$  :

- **Modèle additif :**  $\hat{Y}_t = f_t + S'_j$
- **Modèle multiplicatif :**  $\hat{Y}_t = f_t * S'_j$

La série ajustée  $y_t$  représente l'évolution qu'aurait subi le phénomène, si le mouvement saisonnier était parfaitement régulier d'année en année.

Les prévisions par la méthode traditionnelle dans le cas d'un modèle additif sont déterminées selon la logique suivante :

$$\hat{Y}_{t+h} = \hat{f}_{t+h} + \hat{S}_{t+h}$$

Où  $\hat{f}_{t+h}$  est la prévision de la tendance et  $\hat{S}(t+h)$  est le coefficient saisonnier associé à l'horizon de la prévision en question.

Bien évidemment, dans le cas d'un modèle multiplicatif il suffit de reprendre le même principe en faisant le produit de  $\hat{f}(t+h)$  et  $\hat{S}(t+h)$

### 3.1.7 Caractéristiques d'une série chronologique :

#### 3.1.7.1. Moyenne et Variance :

Soit une série temporelle stationnaire  $X_t$ ,  $t = 1, \dots, T$ . Les expressions de la moyenne et de la variance  $\forall t \in Z$  sont :

- **Moyenne** :  $\mathbb{E}(X_t) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T X_t$
- **Variance** :  $Var(X_t) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T [X_t - \mathbb{E}(X_t)]^2$

#### 3.1.7.2. Fonction d'autocovariance :

Soit  $X_t$  un processus aléatoire de variance finie. on définit la fonction d'autocovariance de  $X_t$  Pour tout  $t$ , par :

$$\gamma(h) = cov(X_t, X_{t+h}) = \mathbb{E}[(X_t - E(X_t))(X_{t+h} - E(X_{t+h}))] \forall (t, h) \in \mathbb{Z}$$

Cette fonction mesure la covariance entre deux valeurs de  $X_t$  séparées par un certain délai. Elle fournit des informations sur la variabilité de la série et sur les liaisons temporelles qui existent entre les différentes composantes de la série  $X_t$ .

#### 3.1.7.3. Fonction d'autocorrélation (AC) :

La fonction d'autocorrélation d'un processus  $X_t, t \in \mathbb{Z}$ , de moyenne  $E(X_t) = \mu$  notée  $\rho(k)$ , est défini par :

$$\rho(k) = \rho_k = \frac{cov(X_t, X_{t-k})}{\sqrt{var(X_t)}\sqrt{var(X_{t-k})}} = \frac{\gamma(k)}{\gamma(0)} \forall k \in Z$$

Cette fonction mesure la corrélation des séries avec elle-même décalée de  $k$  période.

La représentation graphique de  $\rho(k)$  est appelée corrélogramme.

#### 3.1.7.4. Fonction d'autocorrélation partielle (PAC) :

La fonction d'autocorrélation partielle mesure la corrélation entre  $X_t$  et  $X_{t-h}$ , l'influence des variables  $X_{t-h+i}$  (pour  $i < h$ ) ayant été retirée. Notons  $\rho_h$  et  $\rho_{hh}$  les fonctions respectivement d'autocorrélation et d'autocorrélation partielle de  $X_t$ . Soit  $P_h$  la matrice symétrique formée des  $(h-1)$  premières autocorrélations de  $X_t$  :

$$p_h = \begin{pmatrix} 1 & \rho_1 & \cdot & \cdot & \cdot & \rho_{h-1} \\ \cdot & 1 & & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \rho_{h-1} & & & & & 1 \end{pmatrix}$$

La fonction d'autocorrélation partielle est donnée par :

$$\phi_{hh} = \frac{|P_h^*|}{|P_h|}$$

Où  $|P_h|$  est le déterminant de la matrice  $P_h$  et  $P_h^*$  est donné par :

$$p_h^* = \begin{pmatrix} 1 & \rho_1 & \cdot & \cdot & \rho_{h-2} & \rho_1 \\ \cdot & 1 & & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 1 & \cdot \\ \rho_{h-1} & & & & & \rho_h \end{pmatrix}$$

$P_h^*$  est ainsi la matrice  $P_h$  dans laquelle on a remplacé la dernière colonne par le vecteur  $[\rho_1 \dots \rho_h]'$ .

### 3.1.8 Processus aléatoires stationnaire et processus ARMA :

#### 3.1.8.1.Définition d'un processus aléatoire :

Les processus aléatoires ou stochastiques décrivent l'évolution d'une grandeur aléatoire en fonction du temps. Il existe de nombreuses applications des processus aléatoires notamment en physique statistique, et bien entendu dans les domaines économiques et financiers.

Ainsi, pour chaque instant du temps, la valeur de la quantité étudiée  $X_t$  est appelée variable aléatoire et l'ensemble des valeurs  $X_t$  quand  $t$  varie est appelé processus aléatoire.

La chronique est dite échantillon ou réalisation du processus aléatoire et ce dernier est appelé le processus générateur de la chronique.

#### 3.1.8.2.Processus aléatoire stationnaire :

On dit qu'un processus est stationnaire si ses caractéristiques ne varient pas avec la définition de l'origine du temps, ou encore, si ses caractéristiques statistiques ne varient pas le long du temps. On définit :

**a) La stationnarité au sens strict (ou stationnarité forte) :**



Le processus  $X_t$  est stationnaire au sens strict si pour tout  $(t_1, t_2, \dots, t_n)$  avec  $t_i \in T$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Et si pour  $h \in T$  avec  $t_{i+h} \in T$ ,  $(X_{t_1}, \dots, X_{t_n})$  a la même distribution de probabilité jointe que  $(X_{t_1+h}, \dots, X_{t_n+h})$ .

Un processus strictement stationnaire a toutes ses caractéristiques (tous ses moments) invariantes dans le temps.

dans le cas où un processus  $X_t, t \in T$  est tel que  $T = R, Z$  ou  $N$  alors on peut vérifier que  $X_t$  est un processus strictement stationnaire si :

$$E(X_t) = m, \forall t \in T$$

$$var(X_t) = \sigma^2, \forall t \in T$$

$$cov(X_t, X_s) = \gamma[|t - s|], \forall t \in T, \forall s \in T, t \neq s$$

#### **b) La stationnarité au second ordre (ou stationnarité faible) :**

Un processus  $X_t$  est faiblement stationnaire si :

- $E(X_t) = m$ , constante et Indépendant de  $t, t \in T$
- $Var(X_t) < \infty, t \in T$  (Finie et indépendante de temps).  $(t, h) \in T^2$
- $COV(X_t; X_{t+h}) = E[(X_t - m)(X_{t+h} - m)] = \gamma(h)$  indépendant de  $t$ .

#### **c) Le processus Bruit Blanc (white noise) :**

Parmi la classe des processus stationnaires, il existe des processus particuliers dont la structure est la plus simple, dits bruits blancs.

Un processus bruit blanc  $\varepsilon_t; t \in Z$ , est une suite de variables aléatoires non corrélées de moyenne nulle et de variance constante  $\delta^2$ . Il est donc caractérisé par la fonction d'autocovariance suivante :

$$E(\varepsilon_t \varepsilon_{t+h}) \doteq \delta^2 \longrightarrow \text{si } h=0, \forall t \in Z$$

$$E(\varepsilon_t \varepsilon_{t+h}) = 0 \longrightarrow \text{si } h \neq 0, \forall t \in Z$$

On parle souvent de bruit blanc gaussien, il s'agit d'un bruit blanc dont la distribution marginale suit une loi normale.

### **3.1.8.3. Les opérateurs retard, avance et différenciation**

#### **• L'opérateur Retard :**

On aura souvent à considérer une variable en fonction de son passé. Il est donc

commode de définir un opérateur qui transforme une variable  $X_t$  sa valeur passée. C'est l'opérateur retard désigné par la lettre  $B$  et tel que :

$$B(X_t) = X_{t-1} \text{ et } B^k(X_t) = X_{t-k}$$

**Les propriétés de l'opérateur retard :**

1.  $B\alpha = \alpha$
2.  $B^0 X_t = X_t$
3.  $(B^i + B^j) X_t = B^i X_t + B^j X_t = X_{t-i} + X_{t-j}$
4.  $B^i (B^j X_t) = B^{i+j} X_t = X_{t-i-j}$

• **L'opérateur d'avance (forward) :**

$$F(X_t) = X_{t+1}$$

$$F^n(X_t) = X_{t+n}$$

• **L'opérateur de différence ordinaire :**

L'opérateur de différence ordinaire noté  $\nabla$  associé au processus  $x_t$ ;  $t \in T$  tel que :

$$\nabla X_t = X_t - X_{t-1} = X_t - (BX_t) = (1 - B) X_t \quad \forall t \in T$$

Et par construction, nous obtiendrons l'opérateur de la  $d^{eme}$  différence noté  $\nabla^d$  tel que :

$$\nabla^d X_t = (1-B)^d X_t$$

• **L'opérateur de différence saisonnière  $\nabla_s$  :**

L'opérateur est défini comme suit :

$$\nabla_s = (1 - B^s)$$

#### 3.1.8.4. Les processus ARMA :

l'objet est de modéliser une série temporelle en fonction de ses valeurs passées, mais aussi en fonction des valeurs présentes et passées d'un bruit blanc .

##### 1) Processus autorégressif $AR(p)$ :

On appelle processus autorégressif d'ordre  $p$ , noté  $AR(p)$ , un processus stationnaire  $X_t$  vérifiant une relation de type :

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + \varepsilon_t$$

ou encore :

$$X_t - \phi_1 X_{t-1} - \phi_2 X_{t-2} - \dots - \phi_p X_{t-p} = \varepsilon_t$$

- Les  $\phi_i$  sont des réels positifs ou négatifs à déterminer.
- $\varepsilon_t$  est un bruit blanc de variance  $\delta^2$  .

##### *Notion de stationnarité :*

Le modèle autorégressif est stationnaire si et seulement si les racines  $Z$  de la fonction caractéristique  $\phi(B) = 0$  sont en module supérieur à 1, c'est-à-dire :  $\|Z\| > 1$ . Où  $\phi(B)$  est le polynôme de retard de degré  $p$  donnée par :

$\phi(B) = 1 - \sum_{j=1}^p \phi_j B^j, \phi_j \in R$  et  $\phi_p \neq 0$  Un processus  $(X_t; t \in T)$  satisfaisant une représentation  $AR(p)$  est toujours inversible.

##### 2) Processus moyenne mobile $MA(q)$ :

On appelle processus moyenne mobile d'ordre  $q$ , noté par  $MA(q)$ , un processus  $X_t$  stationnaire vérifiant une relation du type :

$$X_t = \varepsilon_t - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}$$

Où :

les  $\theta_j$  sont des réels positifs ou négatifs à déterminer.

$\varepsilon_t$  est un bruit blanc de variance  $\delta^2$ .

En introduisant l'opérateur au retard on obtient :

$$X_t = \Theta(B)\varepsilon_t \text{ où } \Theta(B) = -\sum_{j=0}^q \theta_j B^j; \theta_0 = -1; \theta_j \in R; \forall j < q; \theta_q \in \mathbb{R}^*$$

Avec :

$\Theta(B)$  : Le polynôme de moyenne mobile de degré  $q$  ( $q$  représente le plus grand retard

utilisé).

Un processus  $(X_t; t \in T)$  satisfaisant une représentation  $MA(q)$  est toujours stationnaire.

Le processus  $MA(q)$  est inversible si les racines de polynôme  $(1 - \theta_1 Z - \theta_2 Z^2 - \dots - \theta_q Z^q)$  sont en module  $> 1$ .

### 3) Processus mixtes $ARMA(p, q)$ :

Ces processus constituent une extension naturelle des processus  $AR$  et  $MA$ .

Ce sont en effet des processus mixtes au sens où ils incorporent simultanément des composantes  $AR$  et  $MA$  ce qui permet d'obtenir une description plus parcimonieuse des données.

#### **definition :**

un processus stationnaire  $X_t$  suit un  $ARMA(p, q)$  s'il vérifie la relation suivante :

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)X_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)\varepsilon_t$$

$$\phi(B)X_t = \Theta(B)\varepsilon_t$$

Les processus  $ARMA(p, q)$  peuvent donc se mettre :

1. Sous la forme  $MA(\infty)$  en écrivant :  $X_t = \phi(B^{-1})\Theta(B)\varepsilon_t$ , si toutes les racines de  $\phi$  sont à l'extérieure du cercle de l'unité.
2. Ou sous forme  $AR(\infty)$  en écrivant :  $\phi(B)\Theta(B^{-1})X_t = \varepsilon_t$ , si toutes les racines de  $\Theta$  sont à l'extérieure du cercle d'unité.

### 3.1.9 Les processus aléatoires non stationnaires :

Les processus stochastiques non stationnaires sont caractérisés par des propriétés stochastiques qui évoluent en fonction du temps. Il existe deux sortes de non stationnarité : la non stationnarité de nature déterministe ( $TS$ ) et la non stationnarité de nature stochastique ( $DS$ ).

#### 3.1.9.1. les processus TS (trend stationary) :

*présentant une non stationnarité de nature déterministe.*

Un processus **TS** s'écrit  $x_t = f_t + \varepsilon_t$  où  $f_t$  est une fonction polynômiale du temps, linéaire ou non linéaire, et  $\varepsilon_t$  un processus stationnaire.

Le processus **TS** s'écrit comme :  $x_t = a_0 + a_1 t + \varepsilon_t$

Ce processus **TS** est non stationnaire car  $\mathbb{E}(x_t)$  dépend du temps.

Connaissant  $\hat{a}_0$  et  $\hat{a}_1$ , le processus  $x_t$  peut être stationnariser en retranchant de la valeur de  $x_t$ , en  $t$ , la valeur estimée  $\hat{a}_0 + \hat{a}_1 t$ .

### 3.1.9.2. Les processus DS (difference stationary) :

*présentant une non stationnarité de nature stochastique.*

Les processus DS sont des processus que l'on peut rendre stationnaire par l'utilisation d'un filtre aux différences :

$$(1 - D)^d x_t = \beta + \varepsilon_t$$

où :

$\varepsilon_t$  est un processus stationnaire.

$\beta$  une constante réelle, **D** est l'opérateur décalage (opérateur de retard) et  $d$  l'ordre du filtre aux différences.

Ces processus sont souvent représentés en utilisant le filtre aux différences premières ( $d = 1$ ), le processus est dit alors processus du premier ordre .il s'écrit :

$$(1 - D)^d x_t = \beta + \varepsilon_t \iff x_t = x_{t-1} + \beta + \varepsilon_t$$

L'introduction de la constante  $\beta$  dans le processus *DS* permet de définir deux processus différents :

$\beta = 0$  :le processus *DS* est dit sans dérive il s'écrit :  $x_t = x_{t-1} + \varepsilon_t$  comme  $\varepsilon_t$  est un bruit blanc, ce processus porte le nom de modèle de marche au hasard ou de marche aléatoire (Random Walk Model). Il est très fréquemment utilisé pour analyser l'efficience des marchés financiers.

Pour stationnariser la marche aléatoire, il suffit d'appliquer le filtre aux différences premières :

$$x_t = x_{t-1} + \varepsilon_t \iff (1 - D)x_t = \varepsilon_t$$

$\beta \neq 0$  :le processus porte alors le nom de processus *DS* avec dérive, il s'écrit :

$$x_t = x_{t-1} + \beta + \varepsilon_t$$

La Stationnarisation de ce processus est réalisée en utilisant le filtre aux Différences premières :

$$x_t = x_{t-1} + \beta + \varepsilon_t \iff (1 - D)x_t = \beta + \varepsilon_t$$

### 3.1.9.3. Les tests de racines unitaires :

La perception des processus  $TS$  et  $DS$  n'est pas une tâche facile, c'est pour cette raison qu'on a recours aux tests de racine unitaire. Ces tests, et comme l'indique leur nom, portent sur l'existence ou non d'une racine unitaire de la fonction caractéristique du modèle de série chronologique candidat à décrire le processus. Si une telle racine existe, alors la transformation adéquate pour la Stationnarisation de ce processus est bien la différence ordinaire, et dans ce cas on dit qu'on est face à un processus non stationnaire de type  $DS$ .

Le principe de ces tests consiste à tester l'hypothèse nulle de racine unitaire (le processus est non stationnaire  $DS$ ) contre l'hypothèse alternative d'absence de racine unitaire.

Il existe plusieurs tests de racine unitaire, parmi lesquels nous citons les tests de Dickey-Fuller simple et augmenté.

#### A) Test de Dickey-Fuller simple (DF) :

Dickey et Fuller considèrent trois modèles de base pour la série  $X_t$ ;  $t = 1, \dots, T$  Les trois modèles de base sont :

**modèle [1]** : modèle sans constante ni tendance déterministe :

$$(1 - \Phi_1 B)X_t = \varepsilon_t \implies X_t = \Phi_1 X_{t-1} + \varepsilon_t; \Phi_1 \in \mathbb{R}$$

**modèle [2]** : modèle avec constante sans tendance déterministe :

$$(1 - \Phi_1 B)(X_t - \mu) = \varepsilon_t \implies X_t = \Phi_1 X_{t-1} + c + \varepsilon_t$$

tel que :  $c = (1 - \Phi_1)\mu$  **modèle [3]** : modèle avec constante et tendance déterministe :

$$(1 - \Phi_1 B)(X_t - \alpha - \beta_t) = \varepsilon_t \implies X_t = \Phi_1 X_{t-1} + c + b_t + \varepsilon_t$$

tel que :

$$c = \alpha(1 - \Phi_1) + \beta\Phi_1$$

$$b = (1 - \Phi_1)\beta$$

**B** : opérateur de retard et  $\varepsilon_t$  un bruit blanc.

Dans chacun des trois modèles, on suppose que  $\varepsilon_t \sim bb(0, \delta_\epsilon^2)$

On test l'hypothèse nulle de racine unitaire ( $X_t$  est intégrée d'ordre 1, c'est-à-dire non stationnaire) contre l'hypothèse alternative d'absence de racine unitaire ( $X_t$  est intégrée d'ordre 0, c'est-à-dire stationnaire).Ecrivons plus précisément les hypothèses nulles et alternatives pour chacun des trois modèles considérés :

$$\textbf{Modèle [1]} : \begin{cases} H_0 : \Phi_1 = 1 : & X_t = X_{t-1} + \varepsilon_t \\ H_1 : |\Phi_1| < 1 : & X_t = \Phi_1 X_{t-1} + \varepsilon_t \end{cases}$$

Sous  $H_0$ ,  $X_t$  suit un processus de marche aléatoire sans dérive .

Sous  $H_1$ ,  $X_t$  suit un processus **AR(1)**.

$$\textbf{Modèle [2]} : \begin{cases} H_0 : \Phi_1 = 1 : & X_t = X_{t-1} + \varepsilon_t \\ H_1 : |\Phi_1| < 1 : & X_t = \Phi_1 X_{t-1} + c + \varepsilon_t \end{cases}$$

Sous  $H_0$ ,  $X_t$  suit un processus de marche aléatoire sans dérive .

Sous  $H_1$ ,  $X_t$  suit un processus **AR(1)** avec dérive.

$$\textbf{Modèle [3]} : \begin{cases} H_0 : \Phi_1 = 1 : & X_t = X_{t-1} + \beta + \varepsilon_t \\ H_1 : |\Phi_1| < 1 : & X_t = \Phi_1 X_{t-1} + c + b_t \varepsilon_t \end{cases}$$

Sous  $H_0$ ,  $X_t$  suit un processus de marche aléatoire avec dérive .

Sous  $H_1$ ,  $X_t$  suit un processus **AR(1)** avec erreur **ARMA**.

Le principe des tests est simple, si l'hypothèse nulle est retenue dans les trois modèles, le processus  $X_t$  est non stationnaire.

## B) Test de Dickey-Fuller augmenté (ADF) :

Dans les modèles précédents utilisés pour les tests de Dickey-Fuller simple, le processus  $\varepsilon_t$  est par hypothèse un bruit blanc. Or les tests de Dickey-Fuller augmentés prennent en compte l'hypothèse d'existence d'autocorrélation des erreurs (ce test est utilisé pour blanchir les résidus).

Les différents modèles retenus pour construire les statistiques de tests sont les suivants :

$$\textbf{Modèle [4]} : \Delta X_t = \rho X_{t-1} + \sum_{i=1}^p \lambda_i \Delta X_{t-1} + \varepsilon_t.$$

$$\textbf{Modèle [5]} : \Delta X_t = \rho X_{t-1} + c + \sum_{i=1}^p \lambda_i \Delta X_{t-1} + \varepsilon_t.$$

$$\textbf{Modèle [6]} : \Delta X_t = \rho X_{t-1} + c + b_t + \sum_{i=1}^p \lambda_i \Delta X_{t-1} + \varepsilon_t.$$

Où :  $\rho = (1 - \Phi_1)$  ;  $c = (1 - \Phi_1)\mu$  ;  $b = (1 - \Phi_1)\beta$

**C)La stratégie de test de Dickey-Fuller<sup>1</sup> :**

En pratique, on estime les modèles sous la forme suivante :

**Modèle [1] :**  $\Delta X_t = \rho X_{t-1} + \varepsilon_t$ .

**Modèle [2] :**  $\Delta X_t = \rho X_{t-1} + c + \varepsilon_t$ .

**Modèle [3] :**  $\Delta X_t = \rho X_{t-1} + c + b_t + \varepsilon_t$ .

Où :  $\rho = (1 - \Phi_1)$  ;  $c = (1 - \Phi_1)\mu$  ;  $b = (1 - \Phi_1)\beta$

**Choix du nombre de retard ( $p$ ) :** qui minimise les critères d'Akaike et Schwarz, de manière à rendre les résidus bruits blancs (pour blanchir les résidus).

• **Etape 1 :** : on estime le modèle 3, on commence par tester la significativité de la tendance en référant aux tables de DICKY-FULLER deux cas peuvent se présenter :

- ✓ si la tendance n'est pas significative, on passe à l'étape 2
- ✓ si la tendance est significative, on teste l'hypothèse nulle de racine unitaire en comparant la t-statistique de  $\Phi$  aux valeurs tabulées par DICKY-FULLER.

On a alors deux possibilités :

1. si l'on accepte l'hypothèse nulle,  $X_t$  est non stationnaire dans ce cas, il faut la différencier et recommencer la procédure de test sur la série en différence première.
2. si l'on rejette l'hypothèse nulle,  $X_t$  est stationnaire. dans ce cas, la procédure de test s'arrête et l'on peut directement travailler sur  $X_t$ .

• **Etape 2 :**

cette étape ne doit être appliquée que si la tendance dans le modèle précédent n'est

---

1. Voir Sandrine Lardic et Valérie Mignon : "Econométrie des séries temporelles macroéconomique et financière"



pas significative. On estime le modèle 2 et l'on commence par tester la significativité de la constante en se référant aux tables de DICKY-FULLER :

- ✓ si la constante n'est pas significative, on passe à l'étape 3.
- ✓ si la constante est significative, on teste l'hypothèse nulle de racine unitaire en comparant la t-statistique de  $\Phi$  aux valeurs tabulées par DICKY-FULLER. On a alors de possibilités :

1. si l'on accepte l'hypothèse nulle,  $X_t$  est non stationnaire. Dans ce cas, il faut la différencier et recommencer la procédure de test sur la série en différence première.
2. si l'on rejette l'hypothèse nulle,  $X_t$  est stationnaire. Dans ce cas, la procédure de test s'arrête et l'on peut directement travailler sur  $X_t$ .

• **Etape 3 :**

cette étape ne doit être appliquée que si la constante dans le modèle précédent n'est pas significative. On estime le modèle 1 et l'on commence par tester l'hypothèse nulle de racine unitaire en utilisant les valeurs critiques de DICKY-FULLER :

- ✓ si l'on accepte l'hypothèse nulle,  $X_t$  est non stationnaire. Dans ce cas, il faut la différencier et recommencer la procédure de test sur la série en différence première.
- ✓ si l'on rejette l'hypothèse nulle,  $X_t$  est stationnaire. Dans ce cas, la procédure de test s'arrête et l'on peut directement travailler sur  $X_t$ .

## 3.2 La méthodologie de Box et Jenkins

La technique de Box -Jenkins consiste à identifier le modèle approprié susceptible de représenter la série, elle se base sur la forme des fonctions d'autocorrélation et d'autocorrélation partielle de la série étudiée, afin de choisir un modèle ou éventuellement plusieurs modèles qui seront examinés à tour de rôle, on aura donc besoin de critères pour le choix. La modélisation univariée de Box et Jenkins concerne les processus ARMA, ARIMA ou SARIMA. Le choix du modèle résulte d'une procédure itérative qui comporte trois étapes : identification, estimation et validation du modèle. Une fois le modèle déterminé nous pouvons faire des prévisions.

### 3.2.1 L'identification :

#### **La familiarisation avec les données**

Cette étape consiste à identifier le modèle ARMA susceptible de représenter la série, c'est pour cela qu'il est important de se familiariser avec les données en examinant le graphe de la série chronologique (présence de saisonnalité, stationnarité,...) qui permet de faire une analyse préliminaire qui consiste par exemple à corriger les données aberrantes, transformer les données (transformation logarithmique, inverse, racine carrée,...) puisqu'il faut se ramener à une série stationnaire, le recours aux différences premières ordinaires, différences premières saisonnières, différences ordinaires et saisonnières. Le choix de la transformation est dicté par l'allure graphique de la série. D'ailleurs le choix de la transformation des données est plus Facile après avoir appliqué les opérateurs de différence adéquats. Il est conseillé de comparer les variances des différentes séries. Comme l'inspection des autocorrélations partielles (PAC) donne une idée sur l'ordre du modèle autoregressif et celle des autocorrélations simples (AC) donne une idée sur l'ordre du modèle moyenne mobile.

Plus précisément si la fonction d'autocorrélations simple décroît rapidement vers zéro et la fonction d'autocorrélations partielle présente un cut-off après  $p$  retard, on peut conclure que la série provient d'un processus autorégressif d'ordre  $p$  ( $AR(p)$ ). Par contre si la fonction d'autocorrection simple présente un cut-off après un  $q$  retards et que la fonction d'autocorrelation partielle décroît rapidement vers zéro, alors on peut déduire que la série est générée à partir d'un model moyenne mobile d'ordre  $q$  ( $MA(q)$ ). Evidement il se peut aussi que les fonctions d'autocorrélations simple

et d'autocorrélations partielle présentent une forme exponentielle ou sinusoïdale, on constate dans ce cas qu'on est en présence d'un processus autorégressif moyenne mobile ARMA  $(p; q)$ .

Le tableau qui suit synthétise les caractéristiques en termes de corrélogramme des processus AR, MA et ARMA.

**Tableau 3.1.1. :** Tableau résumant les propriétés des AR(p), MA(q) et ARMA(p,q).

Processus	FAC	FAP
AR (p)	Décroissance exponentielle et/ou sinusoïdale	Pics significatifs pour les <b>p</b> premiers retards, les autres coefficients sont nuls pour des retards <b>&gt; p</b>
MA (p)	Pics significatifs pour les <b>q</b> premiers retards, les autres coefficients sont nuls pour des retards <b>&gt; q</b>	Décroissance exponentielle et/ou sinusoïdale
ARMA (p,q)	Décroissance exponentielle ou sinusoïdale amortie tronquée après <b>(q - p)</b> retards.	Décroissance exponentielle ou sinusoïdale amortie tronquée après <b>(p - q)</b> retards.

A priori, n'est pas une tâche aisée tant et demande beaucoup d'expertise ce qui révèle une part de subjectives. Il existe cependant des méthodes d'identification automatiques, basée sur le critère d'information.

• **Critère d'information :**

Ils existent des critères d'informations qui sont utilisés, comme guide, dans le choix du modèle, ce qui nous permet d'éviter la sélection arbitraire des paramètres  $p$  et  $q$  du modèle.

Parmi ces critères, ils existent les critères d'information qui mesurent l'écart entre la vraie loi inconnue et celle du modèle proposé. Les estimateurs de la quantité d'information qui ont été proposés sont :

1. **Critère d'Akaike (1970) :** appelé aussi AIC :

Akaike a démontré que le meilleur des modèles ARMA non filtré est celui qui minimise la statistique :

$$AIC = \log \sigma^2 + \frac{2(p+q)}{N}$$

2. **Critère de Schartz (1978)** : appelé aussi SCH tel que :

$$SCH = \log \sigma^2 + (p + q) \frac{\log(N)}{N}$$

Le critère de choix consiste à minimiser AIC et/ou SCH.

### 3.2.2 L'estimation des paramètres :

Une fois l'étape de l'identification terminée, il faut estimer les paramètres qui sont les coefficients des polynômes *AR* et *MA* ainsi que les polynômes saisonniers *SAR* et *SMA*, et la variance des innovations .

La méthode d'estimation la plus utilisée est celle des moindres carrés ou bien la méthode du maximum de vraisemblance. Cette dernière a donnée beaucoup de satisfaction aussi bien pour la précision des résultats obtenus que pour la stabilité et la rapidité des calculs. Son principe consiste à construire une fonction appelée fonction de vraisemblance et à maximiser son logarithme par rapport aux paramètres  $\phi_i$  et  $\theta_j$  (avec  $i = 1, \dots, p$  et  $j = 1, \dots, q$ ) permettant de trouver la valeur numérique la plus vraisemblable pour ces paramètres. Quand l'étape d'estimation est achevée, l'étape suivante va nous permettre de valider le(s) modèle(s) estimé(s).

### 3.2.3 L'adéquation du modèle (ou validation) :

A l'étape de l'identification, les incertitudes liées aux méthodes employées font que plusieurs modèles en général sont estimés et c'est l'ensemble de ces modèles qui subit alors l'épreuve des tests, il existe de très nombreux tests permettant de comparer les performances entre modèles ; nous pouvons citer les tests sur le modèle, les tests sur les paramètres et les tests sur les résidus.

#### 3.2.3.1. Tests des paramètres :

Tous les coefficients du modèle retenu doivent être significativement différents de zéro, il convient donc d'utiliser le test de Student classique. Il s'agit dans cette étape de tester la significativité des paramètres  $\phi_i$  et  $\theta_j$  ( $i = 1, \dots, p$  et  $j = 1, \dots, q$ ) dans la formulation obtenue. Nous rejetterons avec un risque  $\alpha\%$  l'hypothèse que le paramètre est nul si :

$$\frac{|\hat{\phi}_i|}{\sqrt{\text{var}(\hat{\phi}_i)}} > t_a \quad (t_a=1,96 \text{ si } \alpha = 5\%)$$

Notons que la même procédure est valable pour les  $j; j = 1, \dots, q$

### 3.2.3.2. Test sur les résidus :

Pour que les modèles obtenus soient valides, il convient de vérifier que les résidus estimés suivent bien un bruit blanc et ceci à l'aide des tests suivants :

#### • Test "Portmanteau" (Box-Pierce 1970) :

Le test de Box-Pierce, a pour objet de tester le caractère non autocorrélé des résidus.

Ce test est fondé sur la statistique  $Q = \sum_{K=1}^K \hat{\zeta}_K^2(\hat{\epsilon})$ , ou  $\hat{\zeta}_K$  : est le coefficient d'autocorrélation d'ordre  $h$  des résidus estimés, et  $K$  c'est le nombre maximal de retards. Les hypothèses de ce test sont les suivants :

$H_0 : \zeta_1 = \dots = \zeta_h = 0$  non significativement différent de zéro

$H_1 : \exists j$  tel que  $\zeta_j \neq 0$  significativement différent de zéro

Les règles du test sont :

- Si :  $Q \leq \chi_{1-\alpha}^2 (K - p - q)$  on accepte  $H_0$

- Si :  $Q > \chi_{1-\alpha}^2 (K - p - q)$  on rejette  $H_0$

Avec :  $\chi_{1-\alpha}^2 (K - p - q)$  est le quantile d'ordre  $(1 - \alpha)$  de loi  $\chi_{1-\alpha}^2$  de  $(K - p - q)$  degrés de liberté.

#### • Test de Ljung et Box :

Ljung et Box ont proposé une modification qui améliore l'approximation  $Q$ . On appelle cette statistique, de Ljung et Box au retard  $k$  :

$$Q_k^k = n(n+2)\Sigma k = 1^k \frac{\varphi_k^2}{n-k} < \chi_{0.05(k)^2}$$

- Si  $Q_k < \chi_{1-\alpha}^2 (K - p - q)$  alors la série comporte comme un bruit blanc.

- Si  $Q_k > \chi_{1-\alpha}^2 (K - p - q)$  alors la série ne comporte pas comme un bruit blanc.

#### • Test de normalité :

Il convient de vérifier la normalité des résidus, ceci est possible par un test de Jarque et Bera (1984), qui est basé sur le skewness (coefficient d'asymétrie de la distribution) et la kurtosis (aplatissement-épaisseur des queues).

En notant  $\mu_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^k$  le moment d'ordre  $k$  de la distribution, on appelle skewness le coefficient  $\beta_1 = \frac{\mu_3}{\mu_2^{3/2}}$  et kurtosis  $\beta_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2}$

Sous des hypothèses de normalité, on a :

$$\beta_1 \longrightarrow N(0, \sqrt{\frac{6}{n}}) \text{ et } \beta_2 \longrightarrow N(3, \sqrt{\frac{24}{n}})$$

Le test de Jarque-Bera sur le fait que, si la distribution suit une loi normale, alors la quantité  $S = \frac{n}{6} \beta_1^2 + \frac{n}{24} (\beta_2 - 3)^2$  suit asymptotiquement une loi du  $\chi^2_{(1-\alpha)}$  à 2 degré de liberté. Ainsi, si  $S \geq \chi^2_{(1-\alpha)}$  on rejette l'hypothèse  $H_0$  de normalité des résidus au seuil  $\alpha$ .

• **Test de nullité de la moyenne des résidus :**

soit  $T$  le nombre de données

### 3.2.4 la prévision :

Lorsque pour identifier le processus étudié à un processus ARMA, on a appliqué différentes transformations (exemple différenciation dans le cas d'une série I (1)), il nécessaire lors de la phase de prévision de prendre en compte la transformation retenue et de recolorer la prévision. Plusieurs cas sont possibles :

Si le processus contient une tendance déterministe, on extrait cette dernière par régression afin d'obtenir une série stationnaire lors de la phase d'estimation. Ensuite, lors de la phase de prévision, on adjoint aux prévisions réalisées sur la composante ARMA stationnaire, la projection de la tendance.

Si la transformation résulte de l'application d'un filtre linéaire (de type par exemple différences premières), on réalise les prévisions sur les séries filtrées stationnaires et l'on reconstruit ensuite par inversion du filtre les prévisions sur la série initiale.

Considérons un processus ARMA  $(p, q)$  :

$$\Phi(B)X_t = \Theta(B)\epsilon_t$$

Et Notont :

$$\hat{X}_{t+h} = \mathbb{E} [X_{t+h}/I_t]$$

où  $I_t$  est l'ensemble d'information disponible à la date  $t$  soit :

$$I_t = (X_1, X_2, \dots, X_t, \epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_t)$$

l'espérance est ici prise au sens d'espérance conditionnelle : elle représente la meilleure prévision de la série  $X$  conditionnellement à l'ensemble d'information disponible. Dans le cas linéaire, il s'agit d'une fonction de régression.

- Prenons l'exemple d'un processus ARMA (1,1)

$$X_t = \phi_1 X_{t-1} + \epsilon_t - \theta_1 \epsilon_{t-1}$$

Avec  $|\phi_1| < 1$  et  $\theta_1 < 1$  (stationnarité et inversibilité). Calculons les prévisions pour divers horizons.

$$\begin{aligned}\hat{X}_{t+1} &= \mathbb{E}[X_{t+1}/I_t] = \phi_1 X_t - \theta_1 \epsilon_t \\ \hat{X}_{t+2} &= \mathbb{E}[X_{t+2}/I_t] = \phi_1 X_{t+1}\end{aligned}$$

On en déduit la relation suivante donnant la série des prévisions récursives :

$$\hat{X}_{t+h} = \phi_1 \hat{X}_{t+h-1} \quad \forall h > 1$$

L'erreur de prévision est donnée par :

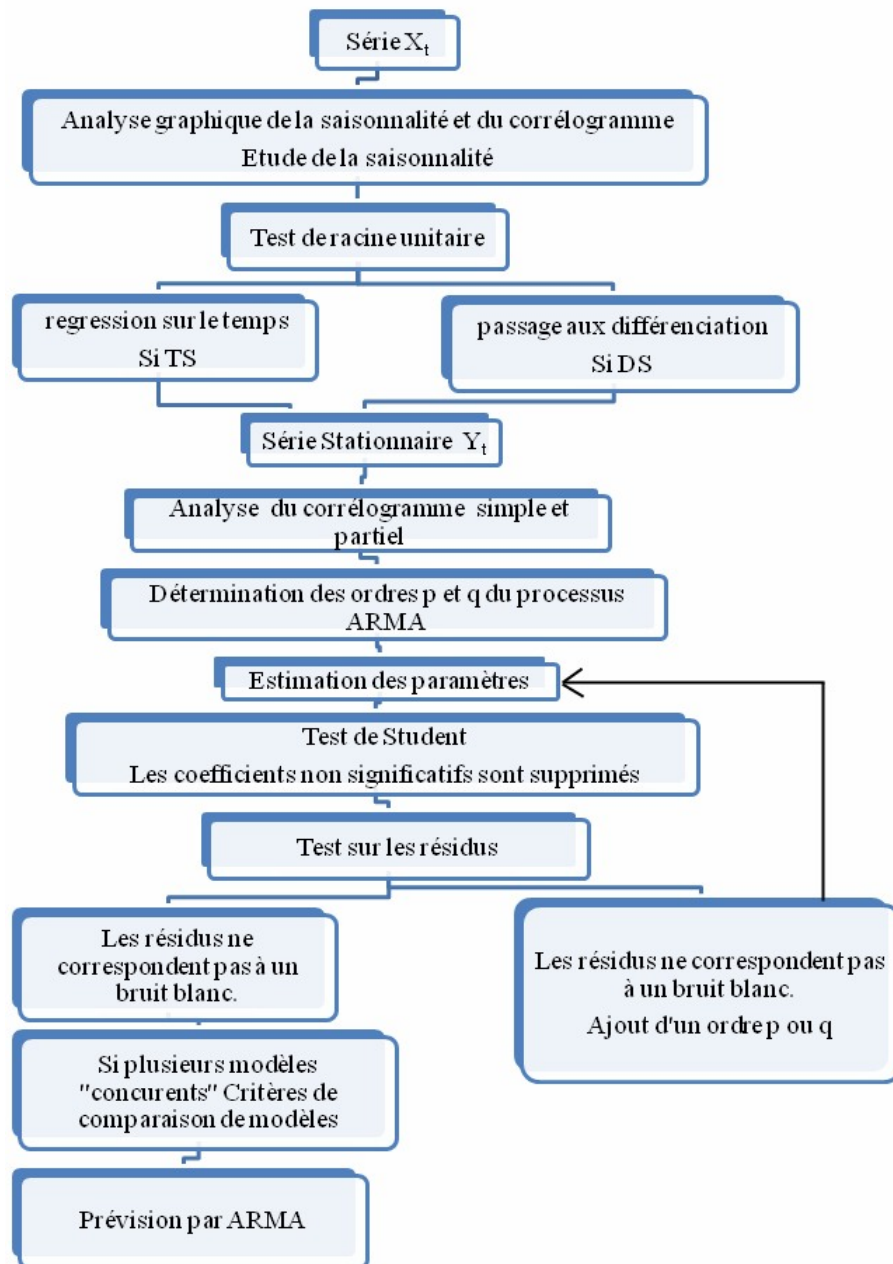
$$\hat{e}_{t+h} = X_{t+h} - \hat{X}_{t+h}$$

### 3.2.5 L'interprétation des résultats :

Elle n'est pas toujours aisée. Les éléments les plus importants, pour lesquels il faudra trouver une explication, sont les opérations de différence utilisés et éventuellement les constantes. Ceux-ci déterminent en effet le comportement de la prévision à long terme.

Le polynôme autorégressif joue également un rôle essentiel sur la fonction de prévision. En effet, pour celui-ci les racines réelles induisent une composante amortie dans la fonction de prévision. Mais, les racines complexes donnent lieu à une composante pseudo-périodique amortie.

### 3.2.6 Synthèse de la méthodologie de Box et Jenkins :





# Chapitre 4

## application des méthodes : Modélisation de la série moyenne tension

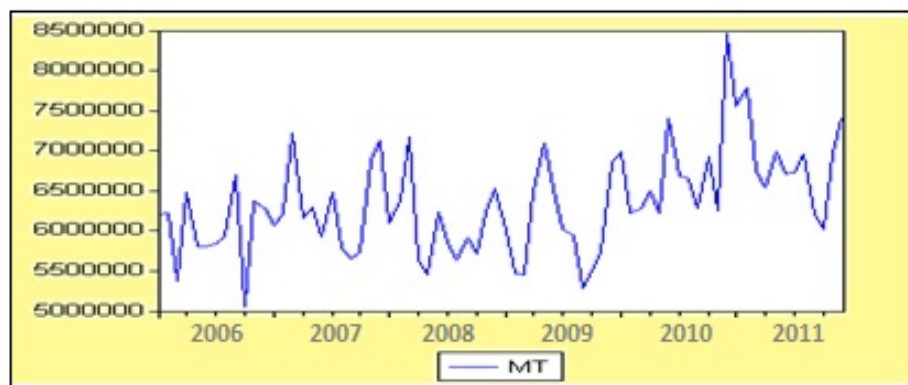
Notation : on note la série de la consommation électrique à Moyenne Tension par (MT).

### 4.1 Analyse préliminaire de la série (MT) :

La série (MT)<sup>1</sup> contient 72 observations (01/2004 ; 12/2009, données mensuelles)

- **Représentation graphique de la série (MT) :**

**Figure (4.1) :** l'évolution de la série (MT) entre 2004-2009 (unité : KWH)



Nous remarquons du graphe un non stationnarité, caractérisée par un accroissement de la variabilité par rapport au temps et aussi un risque d'avoir une légère tendance à la hausse ainsi qu'une possible saisonnalité. Tout cela va être vérifié par

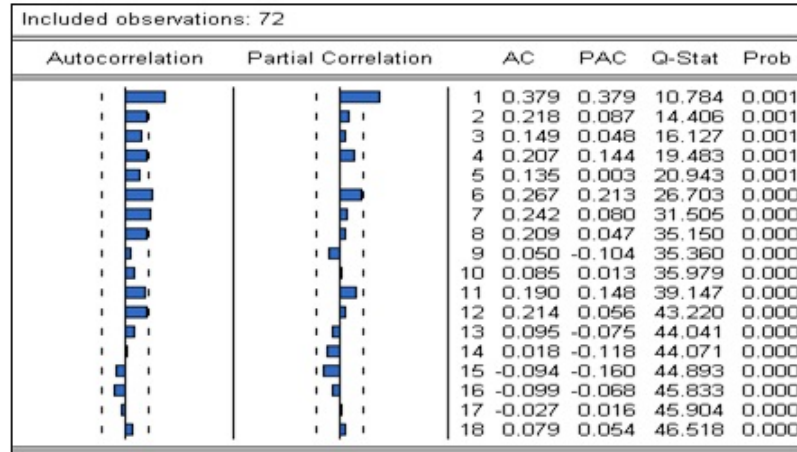
---

1. Voir Annexe B (N°1).

le test d'ANOVA et les tests ADF par la suite.

- **Examen du Corrélogramme de la série (MT) :**

**Figure (4.2) :** corrélogramme de la série MT



L'analyse du corrélogramme simple et corrélogramme partiel de la série MT nous indique préalablement que la série est non stationnaire, puisque la fonction d'autocorrélation (visible sur la colonne AC) ne décroît pas de manière rapide.

## 4.2 analyse de la saisonnalité :

### 4.2.1 La détection de la saisonnalité :

- **Le test d'ANOVA :**

Afin de vérifier les hypothèses ci-dessous, il convient d'appliquer le test d'ANOVA. Le test classique en cette matière est le test de **Fisher**.

- **Test d'influence du facteur ligne (mois) :**

$H_0$  : Pas d'influence du facteur mois : pas de saisonnalité

$H_1$  : Il y a influence du facteur mois : existence de la saisonnalité .

- **Test d'influence du facteur colonne (années) :**

$H_0$  : La série n'est pas affectée d'une tendance

$H_1$  : La série est tendancielle

**Tableau (4,1) :** : analyse de la variance de la série brute

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
<b>Lignes</b>	<b>6,33E+12</b>	<b>11</b>	<b>5,76E+11</b>	<b>2,37921</b>	<b>0,0172749</b>	<b>1,9675466</b>
<b>Colonnes</b>	<b>8,90E+12</b>	<b>5</b>	<b>1,78E+12</b>	<b>7,35606</b>	<b>2,44E-05</b>	<b>2,3828233</b>
<b>Erreur</b>	<b>1,33E+13</b>	<b>55</b>	<b>2,42E+11</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>/</b>

**Règle de décision :**

$F_{cal} = 2.37 > F_{\nu_1, \nu_2} (\nu_1 = 11, \nu_2 = 55) = 1.96 \Rightarrow$  la série est Saisonnière.

$F_{cal} = 7.35 > F_{\nu_3, \nu_2} (\nu_3 = 05, \nu_2 = 55) = 2.38 \Rightarrow$  la série est Tendancielle.

• **La sélection du schéma " le test de BUYS BALLOT " :**

Nous pouvons estimer par la méthode des MCO les paramètres (c) et (b) de l'équation :  $\delta_i = c + b \overline{CONSO} + \epsilon_i$ .

Dans le cas, où le coefficient (b) n'est pas significativement différent de 0 (test de Student) alors on accepte l'hypothèse d'un schéma additif; dans le cas contraire, nous retenons un schéma multiplicatif.

**Tableau (4.2) :** moyenne et écart type annuel de la série (MT)

Année	2006	2007	2008	2009	2010	2011
MOYENNE	6006791,33	6297175,83	6069899,17	6030858,67	6738287,33	6889148,67
ECART TYPE	467286,743	534146,473	478415,98	590293,993	658926,394	519799,404

Ensuite, on va estimée les coefficients de l'équation : Les résultats de l'estimation par la méthode des moindres carrés ordinaire sont comme suit :

**Tableau (4.3) :** estimation de l'équation de test " BUYS BALLOT

Included observations: 6				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	12800.65	534455.1	0.023951	0.9820
MOY	0.083405	0.084187	<del>0.990710</del>	0.3779
R-squared	0.197030	Mean dependent var		541478.2
Adjusted R-squared	-0.003712	S.D. dependent var		72352.97
S.E. of regression	72497.17	Akaike info criterion		25.48168
Sum squared resid	2.10E+10	Schwarz criterion		25.41227
Log likelihood	-74.44505	F-statistic		0.981506
Durbin-Watson stat	1.880525	Prob(F-statistic)		0.377908

$$ECARTY = 0,083405 * MOY - 12800,65$$

Probabilité = 0,3779 > 0,05

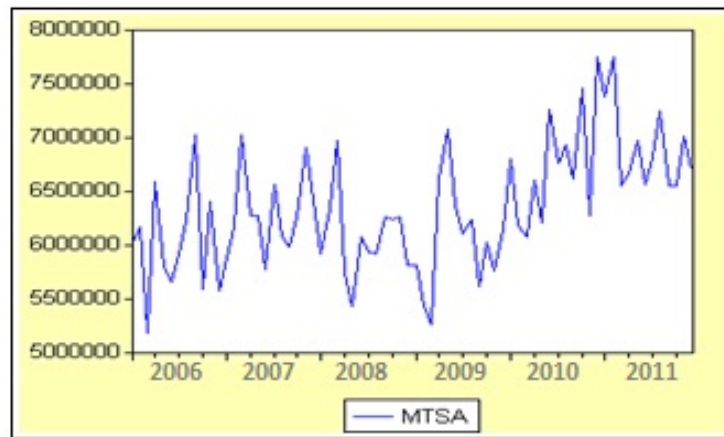
alors on accepte  $H_0$  : le coefficient de la moyenne n'est pas significativement différent de 0, nous pouvons conclure un schéma de type additif.

#### 4.2.2 La désaisonnalisation de la série $MT_t$ :

Désaisonnaliser une chronique, c'est éliminer la saisonnalité sans modifier les autres composantes de la chronique. Puisque notre chronique est aléatoire, les techniques de filtrage par moyennes mobiles doivent être utilisées.

La nouvelle série après la dessaisonnalisation de  $(MT_t)$  est  $(MTSA_t)$ .

**Figure (4.3)** : la série (MT) après dessaisonnalisation



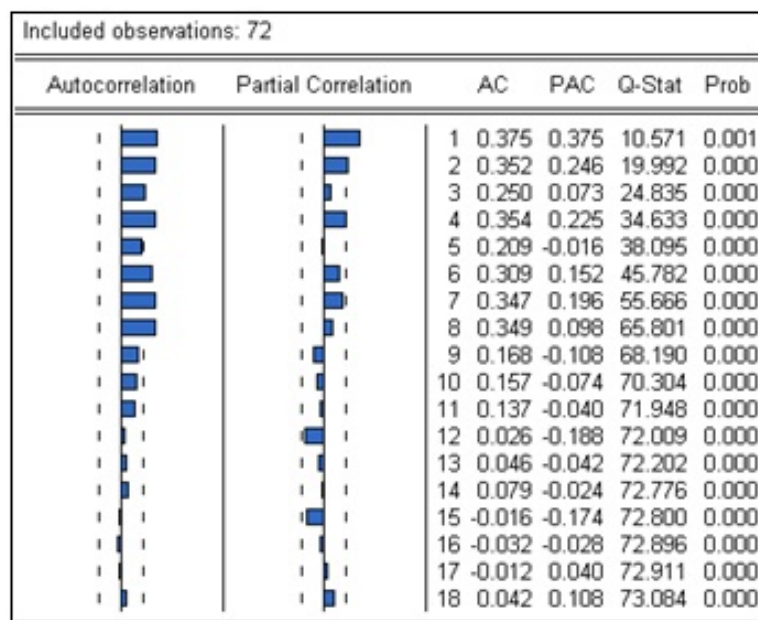
D'après le graphe, la série est bien sans saisonnalité.

A partir de graphe comparatif<sup>2</sup> des 2 séries MT et MTSA, on constate que notre série est désaisonnalisée cela est confirmé par le corrélogramme (FAC). Mais la série est toujours non stationnaire, car le graph fait ressortir une tendance globale. Cette remarque est en accord avec l'étude du corrélogramme de (MTSA) à laquelle presque toutes les autocorrélations sont significatives et décroissent lentement.

---

2. Voir Annexe B (N°3)

Figure (4.4) : corrélogramme de la série MTSA



### 4.3 Traitement de la stationnarité :

#### 4.3.1 Test de la racine unitaire (Dickey-Fuller) (test de stationnarité) :

On va appliquer le test de Dickey-Fuller sur la série MTSA ;A l'aide de logiciel EVIEWS 5, on estime par la méthode des moindres carrés ordinaires les paramètres des modèles [3], [2] et [1].

Modèle [3] : modèle avec constante et tendance :

$$\Delta BTSA_t = \phi_1 MTSA_{t-1} + c + bt + \epsilon_t$$

Tableau (4.4) : estimation du modèle (03) de " DF "

Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(MTSA)				
Method: Least Squares				
Date: 07/12/2012 Time: 20:39				
Sample (adjusted): 2006M02 2011M12				
Included observations: 71 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MTSA(-1)	-0.828380	0.119419	-6.936752	0.0000
C	4847187.	707530.5	-6.850852	0.0000
@TREND(2004M01)	11362.86	3275.976	-3.468542	0.0009

### Test de la tendance :

$$H_0 : \beta = 0 \text{ vs } H_1 : \beta \neq 0$$

On rejette  $H_0$  si  $|DF_{cal}| > |DF_{tab}|$

La significativité de la tendance se réfère aux tables de DICKY-FULLER<sup>3</sup>

$DF_{cal} = 3,46 > DF_{tab} = 2,79$ <sup>4</sup>, au seuil statistique de 5 %, on rejette donc l'hypothèse nulle, alors on accepte l'hypothèse Alternative selon laquelle la tendance est significativement différente de zéro.

### Test de nullité de la constante :

$$H_0 : c = 0 \text{ vs } H_1 : c \neq 0$$

On rejette  $H_0$  si  $|DF_{cal}| > |DF_{tab}|$

Dans le même modèle on a :

$DF_{cal} = 6,85 > DF_{tab} = 3,11$ , on remarque que la constante est significative différente de zéro.

### Test de racine unitaire :

$$H_0 : \Phi = 0 \text{ vs } H_1 : \Phi \neq 0 \text{ On rejette } H_0 \text{ si } |DF_{cal}| > |DF_{tab}|$$

Dans le même modèle on a :  $DF_{cal} = |-6,93| > DF_{tab} = |-3,46|$ , la valeur estimée de la statistique ADF (qui correspond à la t-statistique du coefficient de MTSA(-1)) est égale à - 6,93. cette valeur est inférieure à la valeur critique - 3,45 au seuil statistique de 5 %. on rejette en conséquence l'hypothèse nulle de racine unitaire, c'est-à-dire intégrée d'ordre 0.

D'après les résultats révélés par le test de (Dickey-Fuller), on conclut que la série (MTSA) est non stationnaire de type TS.

## 4.3.2 Stationnarisation de la série MTSA :

Dans ce cas on va procéder de la manière suivante :

---

3. Voir Annexe A

4. Voir Annexe A

- Estimation de la tendance :

Tableau (4.5) : estimation de la tendance de série MTSA

Dependent Variable: MTSA Method: Least Squares Date: 06/12/2012 Time: 20/48 Sample: 2006/01 2011/12 Included observations: 72				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	5858987	114616.7	51.11808	0.0000
@TREND	13512.86	2786.291	4.849766	0.0000
R-squared	0.251499	Mean dependent var		6338694.
Adjusted R-squared	0.240806	S.D. dependent var		563918.4
S.E. of regression	491351.9	Akaike info criterion		29.07509
Sum squared resid	1.69E+13	Schwarz criterion		29.13833
Log likelihood	-1044.703	F-statistic		23.52023
Durbin-Watson stat	1.654727	Prob(F-statistic)		0.000007

$$MTSA_t = c + bt + \epsilon_t$$

$$MTSA = 5858987,01 + 13512,86 * T$$

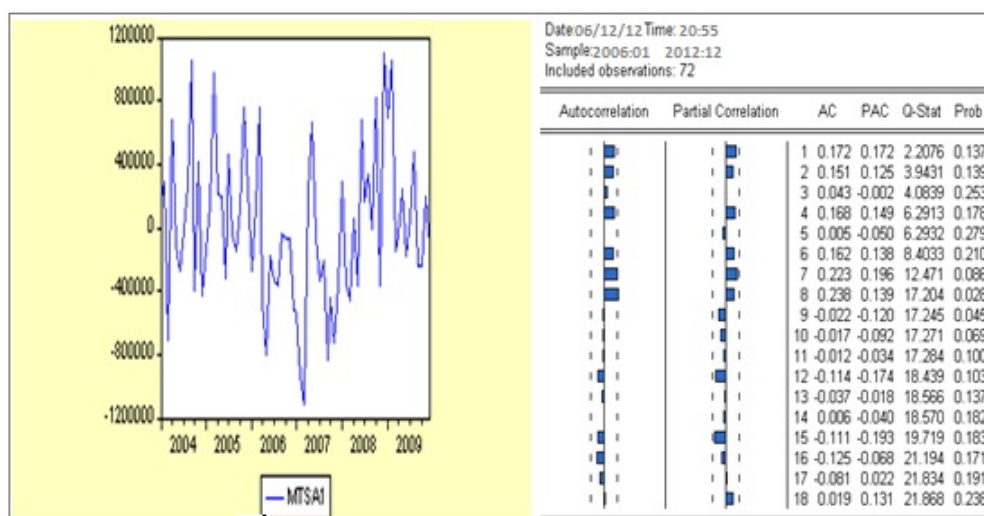
- Enlèvement de la tendance :

Donc notre nouvelle série est notée **MTSA1** tel que :  $\epsilon_t = MTSA1$

Alors :  $MTSA1 = MTSA - c - bt = MTSA - (5858987,01 + 13512,86 * T)$

- Analyse du graphe et le corrélogramme de la série MTSA1 :

Figure(4.5) : la représentation graphique et le corrélogramme de la série MTSA1



La série semble stationnaire car les observations varient autour de leur moyenne.

On remarque à partir du corrélogramme que la série MTSA1 est stationnaire (

On voit que la fonction d'autocorrélation converge rapidement vers 0). On peut confirmer ce résultat par l'application du test de Dickey-Fuller sur la série MTSA1 :

**Estimation du modèle 03 :**

Test de la tendance :  $H_0 : \beta = 0$  vs  $H_1 : \beta \neq 0$

On rejette  $H_0$  si  $|DF_{cal}| > |DF_{tab}|$

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MTSA1(-1)	-0.828380	0.119419	-6.936752	0.0000
C	-8599.762	117720.6	-0.073052	0.9420
@TREND(2004:01)	169.0785	2841.832	0.059496	0.9527

$$|DF_{cal}| = 0,059 < |DF_{tab}| = 2,79 \Rightarrow \text{on accepte } H_0$$

Les résultats de l'estimation du modèle [3], reportés dans le tableau ci dessus, montrent que la tendance n'est pas significative. On passe au modèle [2]

**Estimation du modèle 02 :**

$H_0 : c = 0$  vs  $H_1 : c \neq 0$

On rejette  $H_0$  si  $|DF_{cal}| > |DF_{tab}|$

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MTSA1(-1)	-0.828340	0.118552	-6.987162	0.0000
C	-2512.999	57817.54	-0.043464	0.9655

$|DF_{cal}| = |0,043| < |DF_{tab}| = 2,54 \Rightarrow \text{on accepte } H_0$  :la constante n'est pas significative au seuil de 5%. On passe à l'estimation du modèle [01].

**Estimation du modèle 01 :**

**Test de racine unitaire :**

$H_0 : \Phi = 0$  vs  $H_1 : \Phi \neq 0$ .

On rejette  $H_0$  si  $|DF_{cal}| > |DF_{tab}|$

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MTSA1(-1)	-0.828356	0.117703	-7.037693	0.0000

$|DF_{cal}| = -7,03 < |DF_{tab}| = -1,95 \Rightarrow \text{on accepte } H_1$  : il n'existe pas de Racine Unitaire.



## 4.4 La méthodologie de Box-Jenkins :

Maintenant on va suivre la méthodologie de Box et Jenkins :

### 4.4.1 L'identification du modèle :

Cette étape est effectuée par le biais de l'étude des fonctions d'autocorrélation et auto -corrélation partielle de la série  $MTSA1_t$ . Retournons sur le corrélogramme de la série MTSA1 , on remarque de la fonction d'autocorrélation simple que la 7<sup>eme</sup> et la 8<sup>eme</sup> autocorrélation sont significativement différentes de 0

Du corrélogramme de la fonction d'autocorrélation partielle, on remarque qu'aucun pic n'est significative différent de 0. Donc on peut identifier les processus suivants : MA (7), MA(8), MA(7) MA (8).

### 4.4.2 L'estimation et les tests de validation de modèle :

Après avoir identifié l'ordre du processus MA, il convient d'estimer les paramètres du modèle, puis de vérifier à partir d'un certain nombre de tests statistiques que l'estimation du modèle est valide. Les conditions étant réunies, nous pouvons alors utiliser le modèle à des fins de prévision.

#### a) Estimation de modèle :

Le modèle MA(7) :

**Tableau (4.6) :** estimation du modèle MA(7)

Dependent Variable: MTSA1 Method: Least Squares Date: 06/12/12 Time: 21/03 Sample: 2006:01 2012:12 Included observations: 72 Convergence achieved after 5 iterations				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MA(7)	0.247814	0.117907	2.101772	0.0391
R-squared	0.056432	Mean dependent var		-4.50E-05
Adjusted R-squared	0.056432	S.D. dependent var		487879.5
S.E. of regression	473913.6	Akaike info criterion		28.98923
Sum squared resid	1.59E+13	Schwarz criterion		29.02085
Log likelihood	-1042.612	Durbin-Watson stat		1.839074
Inverted MA Roots	.74 -.36i -.51+.64i	.74+.36i -.51-.64i	.18 -.80i -.82	.18+.80i

### b) Le test de Student des paramètres :

Selon les résultats de l'estimation présentés ci-dessus, les coefficients sont significativement différents de zéro, en comparant toujours les t- stat(en valeur absolue) avec la valeur de tabulée 1.96 de Student. Les modèles où les t-stat sont inférieurs à 1.96 seront écartés.

**Remarque 2.** si un des paramètres ne soit pas significativement différent de 0 le modèle sera alors rejeté. Au regard des résultats d'estimation, on constate que le modèle MA(7) reste candidat dans la mesure où le coefficient est significativement différent de zéro ( $2,10 > 1,96$ ).

**Remarque 3.** pour les résultats d'estimation des autres modèles voire l'annexe N° 04, 05 avec la même interprétation.

**Tableaux(4,7) :** les T-Statistique des modèles identifiés

MA(7)	2,1	Candidat
MA(8)	3,91	Candidat
MA(7)MA(8)	2,5	Candidat

### c) Les tests sur les résidus :

#### • Test de Ljung-Box :

Le test de Ljung-Box est bâti sur le fait que la fonction d'autocorrélation des erreurs ne doit pas être significativement différente de 0.

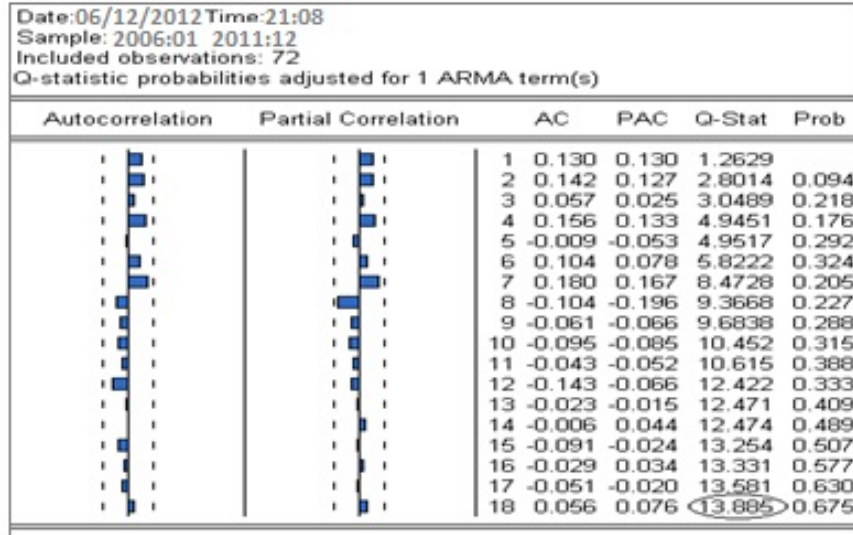
Le test :  $H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_{36} = 0$  VS  $H_1 : \exists j$  tel que  $\rho_j \neq 0$

si  $Q_k^k = n(n+2) \sum_{k=1}^K \frac{\rho_k^2}{n-k} < \chi_{0,05(k)}^2$  ; Donc on accepte  $H_0$

$K$  est le nombre de retards choisis pour calculer les autocorrélations,  $p$  : l'ordre d'autorégressive,  $q$  : l'ordre du moyenne mobile

**Pour le modèle MA(8) :**

**Figure (4.6) : corrélogramme des résidus du modèle estimé MA(8)**



$Q_{stat} = 13,88$   $n = 18$ ,  $q = 8$ , Khi deux  $(n-p-q) = \text{khi deux } (18-8) = \text{khi deux } (10) =$  (seuil 5%). On a :

$Q = n(n+1) \sum_{k=1}^K \frac{\rho_k^2(\epsilon_t)}{n_k} = 13,88 < \chi_{0,05}^2(10) = 18,30$ . On peut même voir que toutes les probabilités sont  $> 0,05$  (accepter  $H_0 : \alpha = 0$ ) alors les pics ne sont pas significatifs.

Donc on accepte l'hypothèse nulle, Absence d'autocorrélation du résidu ; ce qui implique qu'il peut être assimilé à un bruit blanc. Alors le modèle est valide.

De la même façon on va procéder pour les autres modèles.

**Pour le modèle MA(7)<sup>5</sup> :**

$Q_{stat} = 17,70 < \chi_{0,05}^2(11) = 19,67$ .

Donc on accepte l'hypothèse nulle ;  $H_0$  : le résidu est un bruit blanc ; absence d'autocorrélation du résidu.

**Pour le modèle MA(7) MA(8)<sup>6</sup> :**

$Q_{stat} = 11,59 < (10) = 18,30$ .

Donc on accepte l'hypothèse nulle ;  $H_0$  : le résidu est un bruit blanc ; absence d'autocorrélation du résidu. Les trois (3) modèles sont valides : MA(7), MA(8), MA(7) MA(8) ; donc on se base sur des critères (AIC, SC,  $R^2$ ) pour choisir le modèle adéquat (le meilleur modèle).

5. Voir Annexe B (N°7)

6. Voir Annexe B (N°8)

**Tableaux(2,8) :** les critères (AKAIKE. SCHWARTZ.  $R^2$  ) des modèles valides

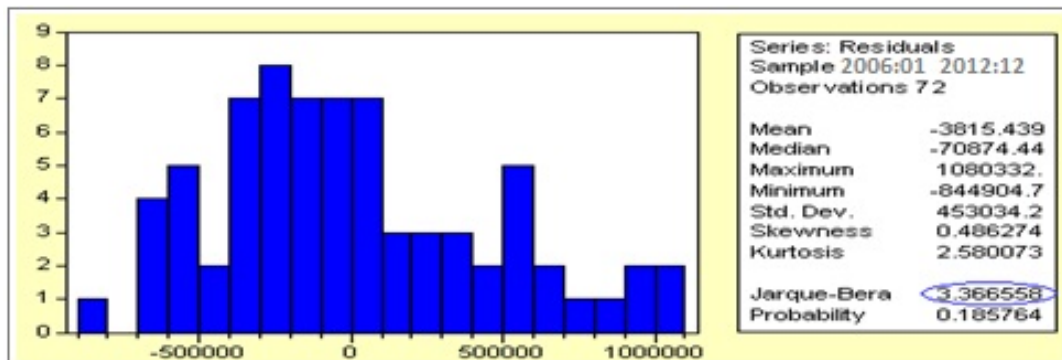
Modèle	AIC	SCHW	R2
MA(8)	28,938	28,969	0,103
MA(7)	28,989	29,02	0,056
MA(7) MA(8)	28,926	28,99	0,137

D'après ces critères le modèle MA(7) MA(8) est plus adéquat. L'application de la méthodologie de BOX-JENKINS nous a conduit à retenir un processus MA(7) MA(8).

• **Test de normalité :**

**Histogramme du résidu :**

**Figure (4.7) :** histogramme des résidus du modèle estimé MA(7) MA(8)



Nous testons les hypothèses suivantes :  $H_0 : = 0$  (symétrie) et  $\nu_2 = 0$  (aplatissement normal)

On acceptera l'hypothèse  $H_0$  si  $\nu_1 \leq 1.96$  et  $\nu_2 \leq 1.96$  ; dans le cas contraire, l'hypothèse de normalité est rejetée.

**Test de Skewness :**  $\gamma_1 = \left| \frac{\beta_1^{1/2} - 0}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \right| = \left| \frac{0.486274 - 0}{\sqrt{\frac{6}{72}}} \right| = 1.68 < 1.96.$

Donc on accepte l'hypothèse de la symétrie des résidus.

**Test de Kurtosis :**  $\gamma_2 = \left| \frac{\beta_2 - 3}{\sqrt{\frac{24}{N}}} \right| = \left| \frac{2.580673 - 3}{\sqrt{\frac{24}{72}}} \right| = 0.72 < 1.96.$

Donc on accepte l'hypothèse de l'aplatissement normal.

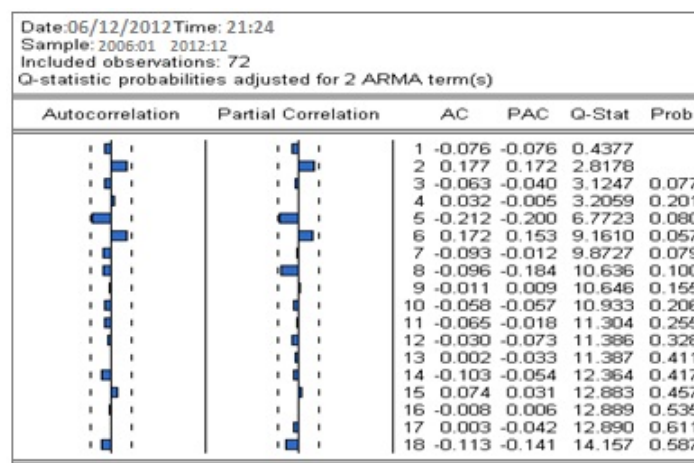
$$JB = \frac{n}{6} \gamma_1 + \frac{n}{24} (\gamma_2 - 3)^2 = 3.36$$

$$JB < \chi_2^2 = 5.99$$

Donc on accepte l'hypothèse de normalité des résidus. Donc la distribution des erreurs est un bruit blanc gaussien.

### Application de la modélisation Autorégressifs Conditionnellement Hétéroscédastiques (ARCH) :

Figure (4.8) : Le corrélogramme des résidus carrés  $\hat{\epsilon}_t^2$



Aucun terme de l'autocorrélation partielle n'est significativement différent de zéro (0), on retient un nombre de retards  $p$  pour réaliser un test ARCH. On corrobore ce test par celui du multiplicateur de Lagrange.

#### Test ARCH :

Nous appliquons le test ARCH mentionné au chapitre précédent. Les résultats Sont présentés ci après :

Pour  $p=1$  :

Tableaux(2,9) : le test de " ARCH-LM " avec  $p = 1$

ARCH Test:				
F-statistic	0.412254	Probability	0.522955	
Obs*R-squared	0.421684	Probability	0.516098	
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID^2				
Method: Least Squares				
Date: 06/12/2012 Time: 21:29				
Sample(adjusted):				
Included observations: 71 after adjusting endpoints				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	2.21E+11	3.92E+10	5.625724	0.0000
RESID^2(-1)	-0.077164	0.120180	-0.642070	0.5230
R-squared	0.005939	Mean dependent var	2.05E+11	
Adjusted R-squared	-0.008467	S.D. dependent var	2.56E+11	
S.E. of regression	2.57E+11	Akaike info criterion	55.40990	
Sum squared resid	4.56E+24	Schwarz criterion	55.47364	
Log likelihood	-1965.051	F-statistic	0.412254	
Durbin-Watson stat	1.968969	Prob(F-statistic)	0.522955	

Rappelons que, sous l'hypothèse nulle d'homoscédasticité, la statistique  $T * R^2$  suit une loi de Khi-deux à  $q$  degrés de liberté, où  $T$  est le nombre d'observation de la série et  $R^2$  est le coefficient de détermination associé à la régression :

$$\sigma_\epsilon^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \epsilon_{t-1}^2 + \alpha_2 \epsilon_{t-2}^2 + \dots + \alpha_p \epsilon_{t-p}^2$$

On a :  $TR^2$  (*obs \* R - squared*) égal à 0,421684, qui est inférieur à  $\chi_1^2 = 3,84$ . Alors, on accepte l'hypothèse d'homoscédasticité en faveur de l'hypothèse alternative d'hétéroscédasticité conditionnelle.

**Pour p=2 :**

ARCH Test:			
F-statistic	1.256564	Probability	0.291251
Obs*R-squared	2.530730	Probability	0.282136

On a  $TR^2 = 2.53 < \chi_2^2 = 5,99$  alors on accepte  $H_0$  : il n'existe pas effet ARCH.

#### 4.4.3 Prévisions :

Une fois que le modèle est validé, nous pouvons faire des prévisions des valeurs futures pour la chronique pour l'horizon  $h$ .

A cet effet nous n'avons qu'à remplacer  $t$  par  $(t + h)$  dans l'équation.

Nous allons faire des prévisions pour  $h = 06$ , i.e., de 01/2012 jusqu'à 06/2012.

La prévision notée MTF. Les valeurs prédites de la série MT sont données dans le tableau ci-après :

**Tableaux(4,10) :** les prévisions de la consommation MT

Mois	Prévision
Janvier 2012	6 898 634,68
Février 2012	6 739 888,01
Mars 2012	7 019 572,33
Avril 2012	6 609 877,62
Mai 2012	6 653 508,35
Juin 2012	7 078 945,49

**Source :** établi par l'auteur à l'aide de logiciel Eviews.5

## Conclusion :

L'objectif de ce travail est de réaliser des prévisions à court terme (c'est-à-dire pour une demi année), à partir des modélisations classiques appliquées aux séries temporelles.

Pour la série de consommation d'électricité à moyenne tension (MT), la méthode de Box-Jenkins a donné comme meilleure modèle ; le modèle MA(7) MA(8), d'après le test de normalité ; ce modèle a des résidus forment un bruit blanc gaussien.

A partir des résultats présentés aux tableaux de la comparaison entre les réalisations et les prévisions (ci-dessous), et si on observe les écarts entre les prévisions et les réalisations, on remarque qu'ils sont faibles, cela vaut dire que la méthode appliquée (Box-Jenkins) avait donné des prévisions moins précises.

	Résultats prévus	Résultats réalisés	Ecart	Ecart %
Janvier 2012	6898634,68	7419940	521305,3	7,02
Février 2012	6739888,01	7315274	575386	7,86
Mars 2012	7019572,33	7011074	-8498,33	-0,12
Avril 2012	6609877,62			
Mai 2012	6653508,35			
Juin 2012	7078945,49			

## **Conclusion générale :**

La mise en place d'un modèle prévisionnel de la consommation des clients en électricité s'avère plus que capitale pour une entreprise de l'envergure de la Sonelgaz, qui doit assurer sa pérennité par une politique stratégique dans le domaine des prévisions des moyens de productions adéquats, afin de répondre aux besoins des clients qui sont des acteurs inéluctables et représentent un nerf incontournable dans le développement économique pour lequel toute défaillance ou déficit dans la disponibilité de l'énergie électrique peut introduire à l'effondrement du tissu industriel voir même toute l'activité économique du pays c'est le cas des clients haute et moyenne tension.

Dans ce contexte, l'objectif visé par cette étude, consiste à élaborer des modèles qui permettent aux responsables " managers de Sonelgaz " de prendre les dispositions appropriées sous une démarche fonctionnelle et analytique par le recours à la méthodologie de Box et Jenkins.

A cet effet, l'application de la méthodologie de Box et Jenkins a démontré sa fiabilité -par les résultats obtenus- de la modélisation des consommations haute et moyenne tension, qui ont été sans effet ARCH, vu que l'essor de l'industrialisation en Algérie n'a pas connu de mouvement structurel sur la période de notre étude (1998 à 2010). Même constat en ce qui concerne la consommation basse tension de 2001 à 2010. Cela confirme l'hypothèse que la consommation d'électricité est en nette évolution grâce aux efforts de Sonelgaz dans la mise en oeuvre d'une politique durable visant à prévoir les dispositions à prendre afin d'assurer une adéquation entre les capacités de production, de transport et de distribution, une politique accompagnée d'une bonne évolution dans le domaine de la production d'électricité et sur le plan économique.

Il y'a lieu de noter que lors de l'élaboration de cette étude, nous avons pu acquérir un savoir faire et approfondir nos connaissances dans le domaine des prévisions à court et long terme à travers l'usage des logiciels EVIEWS, EXCEL...



Par ailleurs, les résultats prévisionnels obtenus par les méthodes précitées ont été significatifs en comparant les réalisations des consommations mensuelles de la série durant l'exercice 2010 et leur évolution durant la période étudiée, ainsi nous pouvons considérer dès lors que nous disposons de modèles susceptibles de procurer aux décideurs les informations indispensables pour la planification et les prévisions des capacités de production.

A cet effet, sur le plan de l'objectif poursuivi, on peut dire que nous disposons des modèles qui permettent de fournir au décideurs de la Sonelgaz les prévisions de la consommation de la clientèle basse, moyenne et haute tension.

A travers l'étude menée, nous espérons que les paramètres de contrôle et de gestion comprendront une recherche multidirectionnelle pour des analyses beaucoup plus approfondies ce qui nous conduira sans aucun doute à un résultat meilleur.

## **Remerciements**

Tous d'abord nous tenons à remercier ALLAH de nous avoir donné la volonté et le courage pour finaliser ce travail.

Notre profonde gratitude pour notre encadreur Mr TEBBOUNE pour son suivi, ses orientations et sa disponibilité permanente.

Nos vifs et sincères remerciements vont à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin nos remerciements vont aux membres de jury pour nous avoir honoré de leur présence afin d'examiner notre travail.

# Bibliographie

- [1] R. BOURBOUNNAIS, M. TIRRAZA. *Analyse des séries temporelles en économie*. Ed.Puf, juin 1996.
- [2] R. BOURBOUNNAIS, M. TIRRAZA. *Analyse des séries temporelles, Application à l'économie et à la gestion* . Ed.Dunod,Paris, 2004.
- [3] S. LARDIV, V. MIGNON. *économétrie des séries temporelles en macroéconomiques et financière*. Ed. Economica 2002.
- [4] G. MELARD, V.MIGNON. *Méthodes de prévision à court terme*. Ed.Ellipses.1991.
- [5] A. CHARPENTIER . *Cours des séries temporelles : théories et applications*.Université de Paris Dauphine, Paris, 2003.
- [6] C. GOURIEROUX, A. MONFORT. *Séries temporelles et modèles dynamiques*,Ed Economica. 1995.
- [7] G. BRESSON, A. PIROTTE *Econométrie des séries temporelles théories et applications*, Ed Puf, 1995.
- [8] J. JOHNSTON, J. DINARDO. *Méthodes économétriques 4 ème édition*, Ed Economica, 1999.
- [9] P. BERNARD. *Statistique descriptive, nouvelle méthode pour bien apprendre et réussir, 4ème édition*, Ed Economica. Paris. 1999.
- [10] R. BOURBOUNNAIS. M. TERRAZA *Econométrie, 3ème édition*. Ed Dunod. Paris. 2000.

## Annexe A

Tableau brut de la consommation à moyenne tension (MT) :

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
JANVIER	6209634	6067940	6099378	6002594	6981000	7560422
FÉVRIER	6217657	6217850	6380971	5470778	6224814	7787543
MARS	5378438	7224529	7167293	5455514	6275385	6745181
AVRIL	6476307	6166495	5642305	6501797	6497648	6549497
MAI	5812028	6296194	5448421	7088316	6222007	6993982
JUIN	5806499	5930892	6230641	6520294	7409884	6713109
JUILLET	5839657	6486334	5853704	6026610	6682814	6734295
AOUT	5928535	5791966	5632738	5945396	6648506	6957796
SEPTEMBRE	6690408	5646982	5919669	5281888	6276952	6210851
OCTOBRE	5056035	5727652	5710090	5495364	6924675	6018248
NOVEMBRE	6381356	6883732	6230782	5735175	6253983	6979750
DECEMBRE	6284942	7125544	6522798	6846578	8461780	7419110
TOTAL	72081496	75566110	72838790	72370304	80859448	82669784