

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة محمد بوضياف - المسيلة

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

كلية التكنولوجيا

FACULTE DE TECHNOLOGIE

قسم الإلكترونيك

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : ELECTRONIQUE

OPTION : CONTROLE INDUSTRIEL

THEME

**MODELISATION DES SERIES TEMPORELLES PAR LES
PROCESSUS AUTOREGRESSIFS**

«APPLICATION A LA PREDICTION DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE »

Proposé et dirigé par :

Hassen BOUZGOU

Réalisé par :

Ilyas KHERCHI

N° D'ordre: 2016/CI11/89/385

PROMOTION: JUIN 2016

Remerciements

Tout d'abord je remercie le bon dieu, le clément de m'avoir donné la foi et le courage de terminer ce projet.

*Je tiens à adresser mes plus vifs remerciements à Mon encadreur **Dr Hassen BOUZGOU** et Aussi étendre mes remerciements à Mme Co-encadreur **Nehed ZEMOURI** que je lui souhaite Bonne chance dans ses études, pour son aide, son soutien et ses conseils qui m'ont fourni une grande motivation à accomplir ce travail.*

*Je remercie aussi **M. BAKHTI HADI** qui m'a aidé à terminer ce travail.*

Mon vif remerciements vont aussi à mes parents qui nous ont donné la lumière et guidés et à tous mes professeurs qui m'ont orientés, assistés et aidés à concevoir ce mémoire ainsi qu'à tous ceux qui, durant ma vie scolaire et universitaire m'ont apporté leurs précieux conseils et m'ont permis d'être ce que je suis aujourd'hui.

Finalement, Je tiens à exprimer toute ma gratitude à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la concrétisation de ce travail.

Dédicaces

Aux êtres les plus chers à mon cœur, ma mère et mon père, qui m'ont beaucoup soutenu durant mon cursus d'étude et à qui je serai éternellement reconnaissant, qui m'ont permis de devenir Ce que je suis aujourd'hui.

*Je dédie ce modeste travail A lou .ch
A mes frères Samir, Imad, Charef Eddine et Nour Hane.*

À toute mon famille

*À mes amis Hossein, Rafik, Aboud, feteh, Marwan, Hossyen,
Saber et tous mes amis.*

A tous les enseignants qui m'ont aidé

*De près ou de loin à obtenir mon master en électronique
Enfin à tous ceux et celles qui m'ont encouragé et soutenu.*

Ilyas kherchi.

Sommaire

Remerciement.....	I
Dédicace.....	II
Sommaire.....	III
Liste des Figures.....	VII
Liste des Tableau.....	XII
Notation et Abréviation	XIII

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION.....	2
MOTIVATION.....	4
ORGANISATION DU MANUSCRIT.....	4

Chapitre 1 : L'ENERGIE ELECTRIQUE

1.1 INTRODUCTION.....	6
1.2 L'ENERGIE ELECTRIQUE.....	7
1.2.1 Historique de la Production d'Electricité.....	7
1.2.2 Description et Caractéristiques Techniques.....	8
1.2.3 Nature d'Electricité.....	8
1.2.4 L'électricité Statique.....	10
1.3 PRODUCTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE.....	10
1.3.1 Type des Centrales Electriques.....	12
1.3.1.1 Les Centrales Thermiques.....	12
1.3.1.2 Les Centrales Nucléaires.....	13
1.3.1.3 Les Centrales Hydroélectriques.....	15
1.3.1.4 Les Centrales Eoliennes.....	15
1.3.1.5 Les Centrales Solaires ou Photovoltaïques.....	16
1.4 LES RESEAUX DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION.....	18
1.5 L'ENERGIE RENOUVELABLE.....	21
1.5.1 Les énergies renouvelables, c'est quoi ?	21
1.5.2 Quelle est la place des énergies renouvelables ?	22
1.5.3 Energie solaire.....	22

1.5.4	Energie Eolienne.....	24
1.5.5	L'hydraulique.....	24
1.5.6	La Biomasse.....	27
1.5.7	Les Energies Marines.....	27
1.5.8	L'hydrogène.....	27
1.6	CONSOMMATION D'ENERGIE	28
1.6.1	Evolution de la Consommation Nationale d'Electricité	29
1.6.1.1	Présentation du Groupe Sonelgaz.....	29
1.6.1.2	Evolution de la Consommation par Société de Distribution.....	32
1.7	CONCLUSION.....	35

Chapitre 2 : LES SERIES TEMPORELLES

2.1	INTRODUCTION.....	37
2.2	CONCEPTS DE BASE DES SERIES TEMPORELLES.....	38
2.2.1	Définition.....	38
2.2.2	Processus Stochastiques	38
2.2.3	Composantes d'une Série Chronologique.....	39
2.2.4	Objectifs De L'analyse d'une Série Temporelle.....	39
2.2.5	Types Des Séries Temporelles	40
2.2.6	Caractéristiques Des Séries Temporelles.....	41
2.2.6.1	la moyenne.....	41
2.2.6.2	la variance.....	41
2.2.6.3	La Fonction D'auto Covariance.....	41
2.2.6.4	la fonction d'auto corrélations (ACF)	42
2.2.6.5	la fonction d'auto corrélations partielle(PACF).....	42
2.2.7	Stationnarité.....	43
2.2.7.1	La Stationnarité Stricte.....	43
2.2.7.2	La Stationnarité Faible (Stationnarité Du Second Ordre)	43
2.2.8	Processus Bruits Blancs.....	43
2.2.9	Les Opérateurs B et Δ	44
2.2.9.1	Opérateur retard B.....	44
2.2.9.2	Opérateur différence Δ	44
2.2.9.3	L'opérateur De Dessaisonalisation Δ_S	45
2.2.10	Les Effets Des Opérateurs	45
2.2.10.1	L'opérateur Δ	45

2.2.10.2	L'opérateur Δ_S	45
2.2.11	Théorème de Wold.....	45
2.3	QUELQUES MODELES DES SERIES TEMPORELLES.....	46
2.3.1	Introduction	46
2.3.2	Processus Aléatoires Stationnaires.....	46
2.3.2.1	Les Processus Autorégressifs $AR(p)$	46
2.3.2.2	Processus De Moyenne Mobile $MA(q)$	47
2.3.2.3	Processus $ARMA$	48
2.3.2.4	Processus $SARMA$	48
2.3.3	Processus Aléatoires Non Stationnaires.....	49
2.3.3.1	Généralités.....	49
2.3.3.2	Processus TS	49
2.3.3.3	Processus DS	49
2.3.3.3.1	Processus $ARIMA$	49
2.3.3.3.2	Processus $SARIMA$	50
2.4	METHODE DE BOX-JENKINS.....	50
2.4.1	Identification.....	51
2.4.2	Estimation	51
2.4.2.1	Estimation De Yule-Walker.....	51
2.4.2.2	Maximum De Vraisemblance.....	52
2.4.3	Validation.....	53
2.4.3.1	Test Sur Les Résidus	53
2.4.3.2	Choix Du Modèle	53
2.4.4	Prédiction.....	54
2.5	CONCLUSION.....	55

Chapitre 3 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1	INTRODUCTION.....	57
3.2	NATURE DES DONEES.....	57
3.3	CRITERES D'EVALUATIONS.....	57
3.4	DISCUSSIONS DES RESULTATS.....	59
3.4.1	Métriologie de Box-Jenkins	59
3.4.2	Application du Méthode de Box-Jenkins.....	60
3.4.2.1	Représentation graphique de la série.....	60
3.4.2.2	Représentation graphique d'ACF et de PACF de la série Input1 et Input2...63	63

3.4.2.3	Test de stationnarité de la série	63
3.4.2.4	Identification des paramètres $p, d, et q$	64
3.4.2.5	Estimation des paramètres.....	67
3.4.2.6	Validation des modèles.....	69
3.4.2.7	La Prédiction avec les différents modèles.....	73
3.5	CONCLUSION	78
CONCLUSION GENERALE		
	CONCLUSION.....	80
	PERSPECTIVES ET FUTURS TRAVAUX.....	80
ANNEXES		
	Processus stochastiques non linéaires.....	82
	BIBLIOGRAPHIE	85

Liste Des Figures

1.1	Production d'électricité mondiale en 2012.....	12
1.2	types de production de l'énergie électrique.....	12
1.3	Mode de production d'énergie.....	12
1.4	types de centrales électriques.....	15
1.5	Schéma d'une centrale thermique.....	15
1.6	centrale nucléaire.....	15
1.7	centrale hydraulique.....	18
1.8	Principaux organes du système de conversion éolien	18
1.9	centrales photovoltaïque.....	18
1.10	Réseau maillé, réseau bouclé et structure radiale.....	21
1.11	Vue schématique d'un réseau électrique.....	21
1.12	Réseau de distribution.....	21
1.13	Les énergies renouvelables	24
1.14	la part de l'énergie renouvelable dans la production mondiale.....	24
1.15	Production d'électricité d'origine renouvelable 2012.....	24
1.16	Puissance photovoltaïque installée dans le monde par année.....	26
1.17	Conversion de l'énergie cinétique du vent.....	26
1.18	Répartition continentale de la capacité ajoutée en 2010.....	26
1.19	Capacité mondiale installé en MW.....	27
1.20	Nouvelle Capacité installé en MW.....	27
1.21	Taux de croissance du marché mondial [%].....	27
1.22	L'énergie hydroélectricité.....	27
1.23	consommation d'énergie.....	34
1.24	les ventes de l'électricité par société de distribution.....	34
1.25	évolution des ventes d'électricité.....	34
1.26	structure des ventes d'électricité en 2011.....	35
1.27	évolution de la consommation par niveau de tension.....	35

2.1	Les étapes de la méthode Box-Jenkins.....	52
3.1	Procédure de construction de la méthode Box-Jenkins.....	62
3.2	Représentation graphique de la série de consommation d'énergie électrique active.....	63
3.3	Représentation graphique de la série de consommation d'énergie électrique Réactive.	63
3.4	Représentation graphique de ligne $L=500$; à partir de (Input1)	63
3.5	Représentation graphique de la ligne $L=500$; à partir de (Input2)	63
3.6	les (ACF) et (PACF) de la série (Input1)	64
3.7	les (ACF) et (PACF) de la série (Input2)	64
3.8	la série stationnaire d'Input1.....	66
3.9	ACF de la série stationnaire Input1.	66
3.10	PACF de la série stationnaire Input1	66
3.11	la série stationnaire d'Input2.....	66
3.12	ACF de la série stationnaire Input2.	66
3.13	PACF de la série stationnaire Input2.....	66
3.14	Matrice d'AIC (Input1)	67
3.15	Programme on Matlab	67
3.16	Matrice d'AIC (Input2)	67
3.17	Programme on Matlab	67
3.18	Estimation des paramètres <i>AR</i> active.....	69
3.19	Estimation des paramètres <i>MA</i> active.....	69
3.20	Estimation des paramètres <i>ARMA</i> active.....	69
3.21	Estimation des paramètres <i>ARIMA</i> active.....	69
3.22	Estimation des paramètres <i>SARIMA</i> active.....	69
3.23	Estimation des paramètres <i>AR réactive</i>	70
3.24	Estimation des paramètres <i>MA réactive</i>	70
3.25	Estimation des paramètres <i>ARMA réactive</i>	70
3.26	Estimation des paramètres <i>ARIMA réactive</i>	70
3.27	Estimation des paramètres <i>SARIMA réactive</i>	70
3.28	Corrélogramme simple des résidus du modèle <i>AR(7)</i> active.....	72
3.29	Corrélogramme simple des résidus du modèle <i>MA(1)</i> active.....	72
3.30	Corrélogramme simple des résidus du modèle <i>ARMA(7,1)</i> active.....	72
3.31	Corrélogramme simple des résidus du modèle <i>ARIMA (7, 1,1)</i> active.....	72

Liste Des Figures

3.32	Corrélogramme simple des résidus du modèle SARIMA(7,1,1) active.....	72
3.33	Corrélogramme simple des résidus du modèle AR(7) réactive.....	74
3.34	Corrélogramme simple des résidus du modèle MA(1) réactive.....	74
3.35	Corrélogramme simple des résidus du modèle ARMA(7,1) réactive.....	74
3.36	Corrélogramme simple des résidus du modèle ARIMA (7, 1,1) réactive.....	74
3.37	Corrélogramme simple des résidus du modèle SARIMA(7,1,1) réactive.....	74
3.38	Prédiction du modèle AR(7) Active.....	76
3.39	Prédiction du modèle MA(1) Active.....	76
3.40	Prédiction du modèle ARMA(7,1) Active.....	76
3.41	Prédiction du modèle ARIMA(7,1,1) Active.....	76
3.42	Prédiction du modèle SARIMA (7, 1,1) Active.....	76
3.43	Prédiction du modèle AR(7) Réactive.....	78
3.44	Prédiction du modèle MA(1) Réactive.....	78
3.45	Prédiction du modèle ARMA(7,1) Réactive.....	78
3.46	Prédiction du modèle ARIMA(7,1,1) Réactive.....	78
3.47	Prédiction du modèle SARIMA (7, 1,1) Réactive.....	78

Liste Des Tableaux

1.1	Historique de la production d'électricité.....	10
1.2	Historique de la consommation nationale par société de distribution (1998-2011).....	35
3.1	Résultats d'erreurs de prédiction de l'énergie active.....	75
3.2	Résultats d'erreurs de prédiction de l'énergie réactive	77

Notations

Les notations définies ci-dessous sont celles que nous utilisons le plus dans ce manuscrit :

- AIC : critère d'information de Akaike.
- AR : processus Autorégressif.
- ARMA : processus Autorégressif et moyenne mobile.
- ARIMA : processus Autorégressif et moyenne mobile intégré.
- B : Opérateurs retard.
- BIC : critère d'information bayésien.
- Cov : la covariance.
- Ds : Différence stationnaire.
- $E(X_t)$: l'espérance d'une série temporelle.
- FAC : fonction d'autocorrélation.
- FACP : fonction d'autocorrélation partielle.
- h : décalage ou retarde.
- IC : intervalle de confiance.
- LCL : Limite inférieure de confiance.
- MA : processus moyenne mobile.
- MBE : Biais Moyen Entre prédiction et mesure.
- SARMA : processus Autorégressif et moyenne mobile saisonnier.
- SARIMA : processus Autorégressif saisonnier et moyenne mobile intégré.
- t : temps
- T : la longueur de la série temporelle.
- TS : tendance stationnaire.
- UCL : Limite supérieure de confiance.
- Var(X) : la variance d'une série temporelle.
- X_t : Série temporelle ou données des observations.

Notations

\bar{X} :	La moyenne d'une série temporelle.
$\sigma(X)$:	écart-type d'une série temporelle.
$\gamma(h)$:	la fonction d'autoconvariance de décalage h .
$\hat{\gamma}_n(h)$:	la fonction d'autoconvariance empirique de décalage h .
$\rho(h)$:	La fonction d'autocorrélation de décalage h .
$\gamma(0)$:	La fonction d'autocorrélation de décalage 0.
$\hat{\rho}(h)$:	la fonction d'autocorrélation empirique de décalage h .
$r(h)$:	La fonction d'autocorrélation partielle de décalage h .
∇ :	L'opérateur différence.
Δ_s :	L'opérateur de désaisonnalisation.
α :	seuil de signification.

INTRODUCTION GENERALE

Résumé

Cette partie introductive a un double but. Le premier est de préciser le cadre de ce travail et le problème qu'on va traiter. Tandis que le second consiste à présenter la principale contribution de ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION ET PROBLEMATIQUE

MOTIVATION

ORGANISATION DU MANUSCRIT

INTRODUCTION

Notre société modern est hautement dépendante de l'énergie électrique qui rencontrerait plein de difficultés si elle devait un jour s'en passer. Cette énergie est considéré comme un élément incontournable, voir même indispensable par son transport facile en plus de la possibilité de le transformer en une autre forme d'énergie.

A notre époque, et sans électricité, la vie quotidienne serait difficilement envisageable, Il est donc nécessaire de savoir la produire de manière efficace et continue. Pour répondre à la consommation croissante d'électricité, il a fallu inventer et construire des centrales électriques capables de produire de l'électricité en grande quantité. Une fois le courant produit, il doit être amené jusqu'au consommateur.

En effet, que se soit pour faire l'éclairage, chauffage, des mouvements de rotation ou translation, de la transmission des signaux, de l'imagerie médicale et bien d'autres choses, on utilise de l'électricité pour n'importe quel appareil domestique ou industriel.

C'est pour cela que la production de l'énergie électrique est importante et qu'il est intéressant de pouvoir trouver des solutions afin de produire toujours d'énergie de manière plus propre et plus durable. Notre société doit s'engager pour voir des solutions alternatives aux énergies fossiles, par exemple, le charbon, le pétrole et l'uranium.

Dans un pays, le transport et la distribution publique assurent le transit de l'énergie électrique entre les points de production et les points de consommation.

De plus la consommation d'énergie, toujours en augmentation, fait réduire les réserves en énergies fossiles et assemble l'échéance de leur épuisement, ou du moins leur arrachement à moindre frais. En effet, pour prendre l'exemple du pétrole, les puis sont désormais beaucoup plus profonds et les gisements plus difficiles d'accès ce qui nécessite plus d'infrastructures et de transformations avant de pouvoir être utilisé comme combustible pour être transformé sous une autre forme d'énergie.

La consommation d'énergie dans le monde a toujours augmenté en raison de l'accroissement rapide de la population, particulièrement dans le tiers monde et dans les pays nouvellement industrialisés. On s'attend à ce que cet accroissement soit soutenu dans

un proche avenir, avec une population mondiale passant de 6 milliards actuels à environ 8 milliards dans les 25 années à venir et se développant peut-être à 10 milliards de personnes vers le milieu du 21^{ème} siècle. Une telle augmentation de population produirait un choc dramatique sur la demande énergétique, la doublant au moins d'ici 2050.

Depuis toujours, l'homme a voulu prédire l'avenir, que ce soit pour prendre de meilleures décisions ou simplement pour satisfaire sa curiosité. Les premières tentatives étaient basées sur l'astrologie ou autres superstitions. Toutefois, ces méthodes de prédiction ne peuvent pas être considérées comme rigoureuses aux yeux de la science. Heureusement, la science a énormément évolué au cours des dernières décennies; les méthodes de prévision qui en découlent ne font pas exception.

Une méthode de prévision très populaire est basée sur l'étude rigoureuse de *séries chronologiques (temporelles)*. Cette approche permet de prédire, par exemple, de nombreux phénomènes naturels et financiers. Une série chronologique est constituée de valeurs observées à des intervalles de temps réguliers. Par exemple, les débits annuels sur un cours d'eau ou encore les valeurs mensuelles de titres boursiers sont des séries chronologiques.

À la base, l'étude formelle des séries chronologiques consiste à trouver un modèle mathématique qui explique le mieux possible les données observées. À partir de ce modèle, il est possible de faire de la prévision. Cependant, la justesse des prévisions dépend fortement de la qualité du modèle choisi. Il est donc primordial de trouver des modèles qui reflètent le mieux possible la réalité afin de minimiser les erreurs de prévision.

Le marché Algérien s'est intéressé à la prédiction de l'énergie électrique afin de mieux gérer la production électrique Algérienne et pour satisfaire les besoins des clients algériens de la société nationale SONELGAZ, surtout après la déréglementation du marché en 2005.

Dans ce mémoire, une comparaison entre plusieurs modèles de prédiction de la consommation électrique est faite. Dans ce cadre, le modèle de Box-Jenkins a marqué sa puissance en termes de prédiction car il englobe les différents aspects qui peuvent aider à donner une prédiction précise. Il regroupe aussi plusieurs modèles à savoir les modèles

auro-régressifs *AR*, les modèles moyenne mobile *MA*, les modèles *ARMA*, *ARIMA*, *SARIMA*, ...etc.

MOTIVATION

Ce travail a été incité par le manque de prédiction de l'énergie électrique dans le monde et en algérie notamment dans la région de M'sila, ce qui fait l'objet d'une étude concernant l'application des processus autoregressifs pour la prédiction de la consommation électrique dans la ville de M'sila.

ORGANISATION DU MANUSCRIT

Dans ce mémoire, nous proposons la méthodologie de Box-Jenkins pour la modélisation et la prédiction de la consommation électrique en se basant sur des modèles dits autorégressifs et moyenne mobiles.

Ce document est constitué de la présente introduction, de trois chapitres et d'une conclusion générale.

Il est organisé comme suit :

- Le Chapitre 1: dans ce chapitre nous exposons un aperçu sur la production générale de l'électricité, l'énergie renouvelable et la consommation d'énergie électrique.
- Le Chapitre 2: dans ce chapitre on donne des rappels théoriques sur les séries temporelles ainsi que les modèles associés (la procédure de la méthode Box –Jenkins).
- Le Chapitre 3: dans ce chapitre sera entièrement dédié à nos résultats.

Et décrit la mise en œuvre de la technique de Box-Jenkins appliquée à la prédiction de la consommation d'électricité en utilisant le logiciel Matlab, ainsi que les résultats de simulation.

Enfin la conclusion générale effectue la synthèse des résultats et permet de dégager quelques perspectives.

L'ENERGIE ELECTRIQUE

Résumé

Dans ce Chapitre, nous avons traitée l'importance d'énergie électrique, son histoire, les méthodes de ses usines de production générées comme nous parlons du réseau et distribution de l'électricité et la consommation au niveau national et mondial, et nous avons parlé l'énergie renouvelable et les avantage et inconvénient, et nous avons parlé de l'institution sonelgaz.

SOMMAIRE

1.1 INTRODUCTION.

1.2 L'ENERGIE ELECTRIQUE

1.3 PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE.

1.4 LES RESEAUX DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION.

1.5 L'ENERGIE RENOUVELABLE.

1.6 CONSOMMATION D'ENERGIE.

1.7 CONCLUSION.

1.1 INTRODUCTION

A notre époque, et sans électricité, la vie quotidienne serait difficilement envisageable, il est donc nécessaire de savoir la produire de manière efficace et continue. Pour répondre à la consommation croissante d'électricité, il a fallu inventer et construire des usines (centrales électriques) capables de produire de l'électricité en grande quantité. Une fois le courant produit, il doit être amené jusqu'au consommateur. Dans un pays, le Transport et la distribution publique assurent le transit de l'énergie électrique entre les points de production et les points de consommation. La turbine et l'alternateur sont les deux pièces maîtresses de ces générateurs d'électricité.

Dans le cas des usines thermiques, la turbine est entraînée par la vapeur produite dans les chaudières où l'on brûle les combustibles, alors que dans le cas des usines hydroélectriques, la turbine est animée par la force de l'eau. La turbine est couplée à un alternateur, un grand aimant cerclé d'une bobine, qui va produire un courant alternatif en tournant. Une fois le courant produit, il doit être amené jusqu'au consommateur. On distingue que la production de l'énergie électrique possède des usines et un matériel très grand (turbine, four,..., etc.) sans oublier la grande influence sur la nature, c'est la terre en générale.

Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par les hommes. Leur relatif faible impact sur l'environnement. En fait, c'est des énergies d'avenir qui font face au problème de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre. Les énergies renouvelables représentent par ailleurs une chance pour plus de 2 milliards de personnes isolées d'accéder enfin à l'électricité. Ces atouts, alliés à des technologies de plus en plus performantes, favorisent le développement des énergies renouvelables mais de manière encore très inégale selon le type de ressources considérées. La consommation d'énergie ne cessant d'augmenter, il semble néanmoins peu probable que les énergies renouvelables remplacent les autres ressources énergétiques dans un avenir proche. Aussi est-il important que chacun de nous surveille au plus près sa propre consommation d'énergie.

Dans le monde, la production d'énergie électrique est faite principalement à base d'énergies fossiles et de combustible d'origine nucléaire. Un recours systématique aux carburants fossiles, tels que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel, permet d'avoir de faibles coûts de production mais conduit à un dégagement massif de gaz polluant et de gaz à effet de serre. La production

électrique à partir de combustibles fossiles est à l'origine de 40% des émissions mondiales de CO₂. L'énergie d'origine nucléaire, qui ne rejette pas directement de gaz carbonique, souffre généralement d'une mauvaise image médiatique à cause des risques importants encourus. Certes, les risques d'accidents liés à leur exploitation sont très faibles mais les conséquences d'un accident seraient désastreuses. Par ailleurs, le traitement des déchets issus de ce mode de production est très coûteux, la radioactivité des produits traités reste élevée durant de nombreuses années.

Enfin, les réserves d'uranium sont comme celles du pétrole, limitées (moins de 100 ans au rythme actuel de consommation). C'est pour cela tous les pays du monde cherchent ou bien ils orientent leurs perspectives aux énergies renouvelables (propre, durable, etc. ...).

1.2 L'ENERGIE ELECTRIQUE

L'énergie est une notion difficile à appréhender. Elle est stockée dans la matière et ne se manifeste que lorsqu'elle se transforme. C'est à ce moment-là que nous percevons ses effets, la chaleur fournie par une bûche de bois qui brûle, la lumière émise par une lampe...etc.L'énergie ne disparaît jamais ; elle se transforme d'une forme en une ou plusieurs autres.

L'électricité est un phénomène physique dû aux différentes charges électriques de la matière, se manifestant par une énergie. Présente naturellement dans notre environnement, l'homme a depuis longtemps cherché à la maîtriser. C'est au cours du XIX^e siècle que les propriétés de l'électricité ont commencé à être comprises. La foudre fut la première manifestation visible de l'électricité pour les humains.

L'énergie électrique provient d'une transformation d'énergie mécanique, magnétique, chimique ou lumineuse .cette source d'énergie peut se présenter sous forme d'une source de tension continue ou alternative. L'unité d'une tension électrique est le volt (V).[1]

1.2.1 Historique de la Production d'Electricité

L'électricité a été découverte il y a 26 siècles, Thalès, un savant grec, l'a découverte(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 à 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 : centrales hydraulique, thermique, éolien, puis nucléaire ...etc.

Ce n'est qu'en l'an 1799 que le savant italien Alessandro Volta a découvert le moyen de produire un courant électrique. Il a inventé la première pile électrique qui est composée de disques d'argent et de cuivre séparés par un carton humide. Arago et Ampère inventent l'électroaimant qui va servir à l'invention du télégraphe pour envoyer des messages en morse. En XX siècle : Pierre et Marie Curie découvrent la radioactivité qui donnera naissance à l'énergie nucléaire. [2]

1.2.2 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 surplus d'électrons autour d'un proton, la charge électrique se déplaçant du plus vers le 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.

1.2.3 Nature d'Electricité

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 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.

Tableau 1.1 Historique de la production d'électricité [2].

Année	Événement
600 av JC	Thalès découvre l'électricité statique
1660	Invention de la première machine génératrice d'électricité
1709	Invention d'une machine à friction électrique améliorée
1729	Découverte du flux réelle de l'électricité
1733	Découverte de deux sortes d'électricité : Positive et négative Loi fondamentale : Les charges semblables se repoussent.
1752	Invention du premier paratonnerre.
1775	Invention de l'électrophore.
1796	Invention de la première vraie pile (pile voltaïque).
1801	Production d'un arc électrique.
1812	Réalisation du premier télégraphe actionné au moyen d'un courant électrique.
1820	Découverte du courant électrique produit un champ magnétique.
1823	Création du premier galvanomètre: Découverte de la force électromotrice thermique.
1831	Invention du premier télégraphe électromagnétique pratique.
1832	Découverte du principe d'induction Construction du premier générateur de courant alternatif.
1833	Découverte des lois de décomposition électrochimique.
1834	construction d'un grand moteur électrique.
1837	Construction du premier moteur électrique commercialement rentable.
1845	Fabrication d'une lampe électrique.
1863	Construction d'un générateur perfectionné.
1879	Construction d'une dynamo utilisable dans un système d'éclairage : La "California Electric Light Company" est la première société américaine à vendre de l'électricité: Présentation du premier chemin de fer électrifié.
1881	Premières lignes de tramways électriques inaugurées.
1886	Installation du premier système d'éclairage à courant alternatif.
1893	Présentation d'une cuisine électrique complète.
1895	Olivier Lodge fait fonctionner le premier télégraphe sans fil.
1897	Thomson découvre l'électron.
1901	Premier envoi de signaux transatlantiques de radio sans fil ;
1907	Première utilisation d'un moteur à courant alternatif unifié ;
1925	Invention d'un mécanisme permettant d'enregistrer électriquement un son ;
1927	Premier service téléphonique transatlantique.
1928	Emission de la première pièce télévisée ;
1938	Introduction des lampes à fluorescence.
1948	Invention du transistor.
1956	Invention de la première centrale nucléaire productrice d'électricité

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.[3]

1.2.4 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. 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.[3]

1.3 PRODUCTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE

La production d'électricité permet de mettre à disposition de l'ensemble des consommateurs un approvisionnement adapté à leurs besoins en énergie électrique, à tout moment. La production d'électricité se fait depuis la fin du 19ème siècle à partir de différentes sources d'énergies primaires.

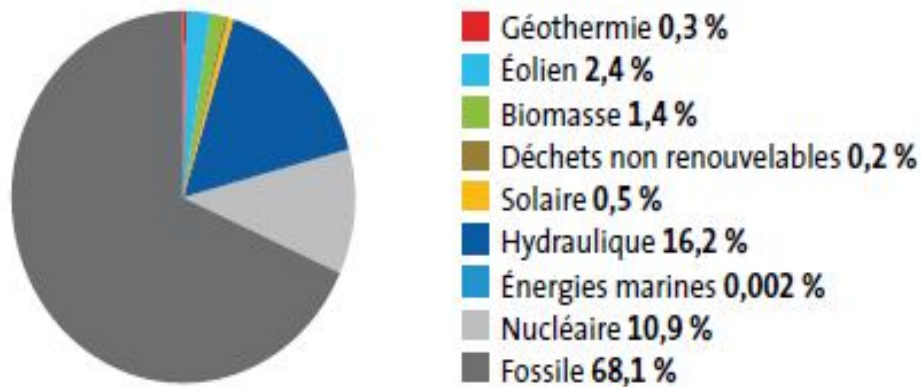


Figure. 1.1 Production d'électricité mondiale en 2012.[4]

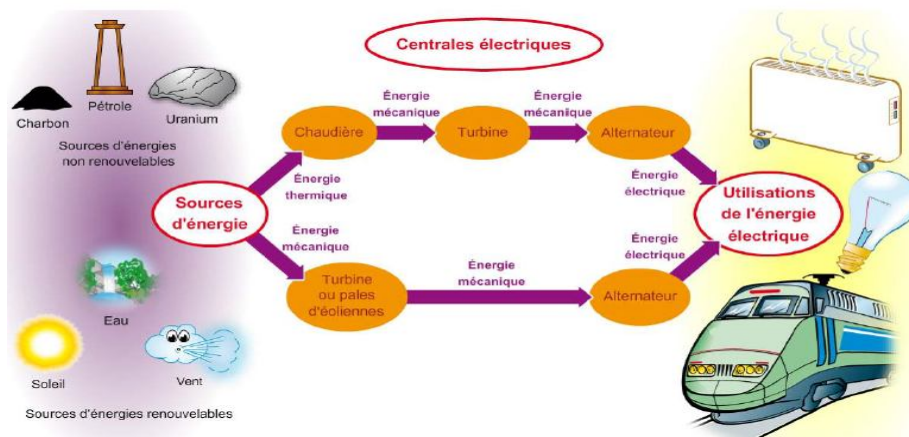


Figure1.2 Types de production de l'énergie électrique.[6]

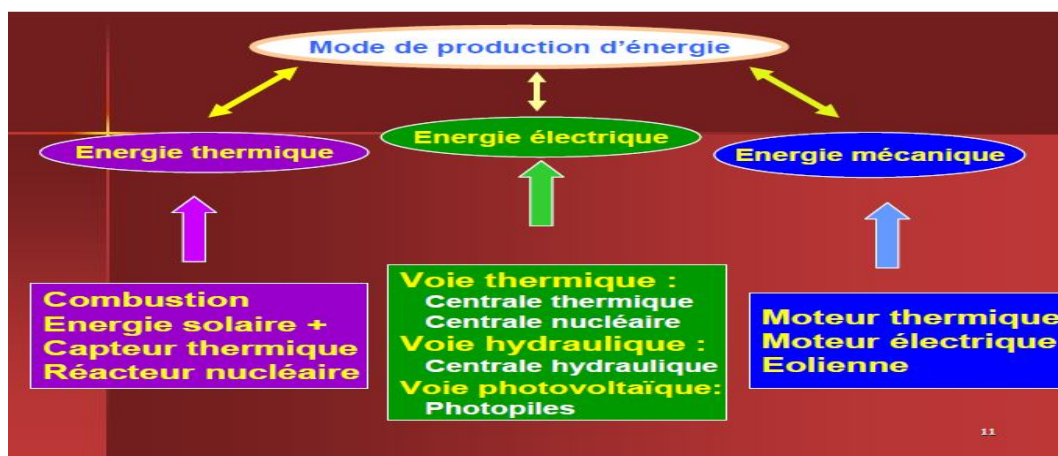


Figure1.3 Mode de production d'énergie. [6]

Les premières centrales électriques fonctionnaient au bois. Aujourd'hui, la production peut se faire à partir d'énergie fossile (charbon, gaz naturel ou pétrole), d'énergie nucléaire, d'énergie hydraulique, d'énergie solaire, d'énergie éolienne et de biomasse.

L'électricité est difficilement stockable en grande quantité, la production de l'énergie électrique est directement liée à la consommation.[1]

1.3.1 Type des Centrales Electriques

Une centrale (de production d'énergie) électrique est un site industriel destiné à la production d'électricité. Les centrales électriques transforment différentes sources d'énergie naturelle en énergie électrique afin d'alimenter en électricité les consommateurs, particuliers ou industriels relativement lointains. Le réseau électrique permet de transporter puis de distribuer l'électricité jusqu'aux consommateurs.[5]

Il existe cinq principaux types de centrales électriques :

1.3.1.1 Les Centrales Thermiques

Les centrales thermiques produisent l'électricité à partir de la chaleur qui se dégage de la combustion du charbon, du mazout ou du gaz naturel. On la trouve souvent près d'une rivière ou d'un lac, car d'énormes quantités d'eau sont requises pour refroidir et condenser la vapeur sortant des turbines. La combustion dégage une grande quantité de chaleur utilisée pour chauffer de l'eau dans la chaudière (ou générateur de vapeur). On dispose alors de vapeur d'eau sous pression. Cette vapeur sous pression fait tourner à grande vitesse une turbine qui entraîne elle-même un alternateur qui produit une tension alternative sinusoïdale. A la sortie de la turbine la vapeur est refroidie pour se transformer en eau, puis renvoyée dans la chaudière.[7]

A. Avantages

- ✓ Cette énergie est rentable à la production.
- ✓ Elle a un prix modeste sur le marché mondial.
- ✓ Souplesse d'utilisation et disponibilité élevée
- ✓ Facilité d'exploitation
- ✓ Facilité de transport (pétrole)
- ✓ Possibilité de développer la cogénération Compétitivité

B. Inconvénients :

- ✓ Prix fluctuants
- ✓ Géostratégie des ressources

- ✓ Impacts sur l'environnement (Gaz à effet de serre)
- ✓ Il faut un plan d'eau à proximité.
- ✓ Les usines possédant un circuit de refroidissement à circuit ouvert, peuvent avoir des problèmes écologiques dus au réchauffement des rivières.

1.3.1.2 Les Centrales Nucléaires

Ces centrales utilisent également des cycles de conversion thermodynamique, néanmoins leur "chaudière" est un réacteur nucléaire. L'énergie nucléaire obtenue à la suite de réactions de fission de l'uranium et du plutonium est la source de chaleur utilisée. Elles produisent environ 15% de l'électricité mondiale. Les centrales nucléaires produisent des déchets radioactifs et présentent un risque d'accident. Une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique, sauf que la chaudière brûlant le combustible fossile est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission.[6]

A. Avantages

- ✓ Adapté à la production de masse.
- ✓ Disponibilité élevée.
- ✓ Stabilité des coûts.
- ✓ Réserves d'uranium importantes.
- ✓ Faibles émissions de CO₂ en exploitation.
- ✓ L'énergie nucléaire peut être utilisée dans le domaine spatial.
- ✓ Elle ne nécessite pas d'oxygène, ce qui est un atout pour l'homme.

B. Inconvénients

- ✓ Lourds investissements.
- ✓ Risque industriel.
- ✓ Nécessite un niveau de technologie élevé.
- ✓ Acceptation du public.
- ✓ Chaque année les tranches nucléaires produisent des tonnes de déchets.
- ✓ Le stockage des déchets qui augmente le niveau de pollution.
- ✓ Le risque d'accident (26 avril 1986 à l'usine de Tchernobyl).



Figure 1.4 Types de centrales électriques. [3]

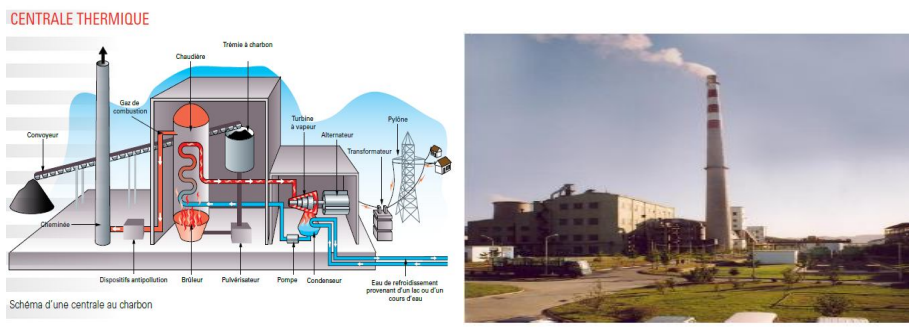


Figure 1.5 Schéma d'une centrale thermique [6,8]



Figure 1.6 Centrale nucléaire. [6,28]

1.3.1.3 Les Centrales Hydroélectriques

Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans le lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique.[6]

Les types des centrales hydrauliques suivant l'hauteur de chute:

- Les centrales de haute chute, ils utilisent des turbines de type Pelton.
- Les centrales de moyenne chute, ils utilisent des turbines de type Francis.
- Les centrales de basse chute, ils utilisent des turbines de type Kaplan.

A. Avantages

- ✓ Faible coût du kwh pour le gros hydraulique
- ✓ Souplesse d'utilisation
- ✓ Possibilité de « stocker » de l'électricité pour le turbinage
- ✓ L'hydraulique est une énergie renouvelable mise en valeur mais pourtant rarement comptabilisée, elle fournit 13% de la production et contribue également à l'écrêtement des crues.

B. Inconvénients

- ✓ Contrainte géographique
- ✓ Aléas climatiques (sécheresse)
- ✓ Nécessité de concilier les différents usages de l'eau
- ✓ Impacts sur l'environnement à la construction
- ✓ L'inondation de certains reliefs lors de la construction de barrages.

1.3.1.4 Les Centrales Eoliennes

L'énergie éolienne est produite sous forme d'électricité par une éolienne. Des éoliennes formées d'un mat surmonté d'un générateur électrique entraîné par une hélice, sont positionnées idéalement sur les plans d'eau ou les collines ventées.[7]

A. Avantage

- ✓ L'énergie éolienne est propre et peut être associée à des panneaux de photopile et à une batterie d'accumulateur afin d'optimiser la fourniture d'électricité.

B. Inconvénients

- ✓ L'exploitation de l'énergie éolienne est non polluante par elle-même mais les aérogénérateurs engendrent une pollution acoustique due à la notation des pâles qui engendrent une dégradation du paysage.
- ✓ Faible disponibilité (20 à 30%) Difficultés de raccordement au réseau.
- ✓ Surface au sol et Acceptation du public.

1.3.1.5 Les Centrales Solaires ou Photovoltaïques

Cet autre moyen de fabriquer de l'électricité avec l'énergie solaire utilise les rayonnements lumineux du soleil, qui sont directement transformés en un courant électrique par des cellules à base de silicium ou autre matériau ayant des propriétés de conversion lumière/électricité. Chaque cellule délivrant une faible tension, les cellules sont assemblées en panneaux.[7]

A. Avantages

- ✓ Acceptation du public.
- ✓ Adapté aux pays chauds et aux sites isolés.
- ✓ L'énergie solaire présente, outre tous les avantages des énergies renouvelables, ses propres avantages, à savoir : énergie maîtrisable et adaptable aux situations de toutes les régions.
- ✓ Frais de maintenance relativement faibles.

B. Inconvénients

- ✓ Coût encore élevé
- ✓ Puissance assez faible.
- ✓ Disponibilité

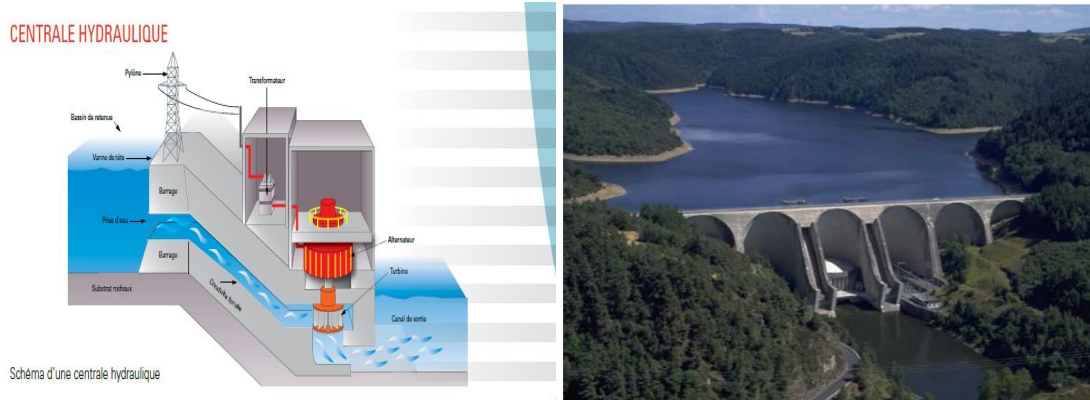


Figure 1.7 Centrale hydraulique. [28]

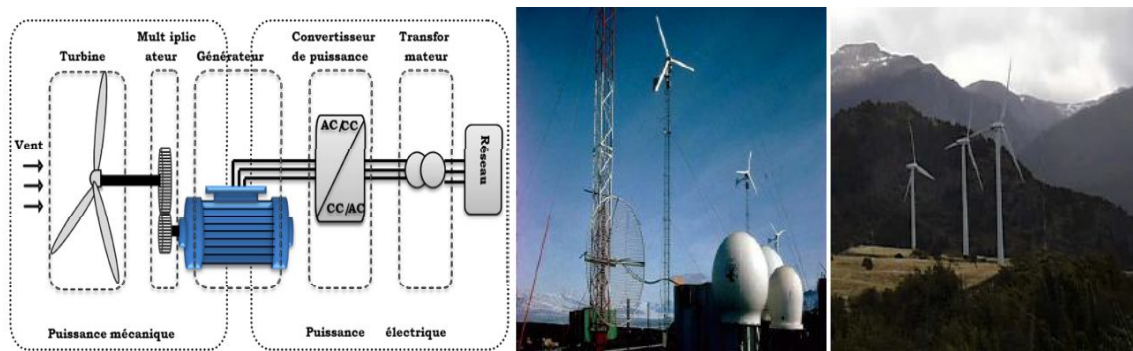


Figure 1.8 Principaux organes du système de conversion éolienne. [11]



Figure 1.9 Centrales photovoltaïques. [6]

1.4 LES RESEAUX DE TRANSPORT ET DE DISTRIBUTION

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 niveaux de tension, connectées entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent 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 œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'électricité.

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. [13]

Le réseau de distribution lie parfois directement les compteurs électriques des clients industriels. Le but unique des réseaux électriques est d'acheminer l'électricité produite vers les consommateurs. Alors que les premiers clients de l'éclairage électrique étaient approvisionnés par une centrale unique, ce schéma s'est vite révélé insuffisant pour satisfaire les besoins de continuité de service et les diverses unités de production se sont raccordées les unes aux autres dans un maillage à haute tension.

Aujourd'hui la plupart des réseaux sont organisés selon des maillages au niveau « haute tension », et des réseaux de plus en plus radiaux au fur et à mesure qu'on se rapproche du consommateur final (de la moyenne vers la basse tension). Des transformateurs assurent la modification du niveau de tension d'un niveau à un autre.

Aujourd'hui l'ensemble d'un réseau fonctionne sur une fréquence unique ; en Europe celle-ci a été fixée à 50 Hz (contre 60 Hz aux États-Unis) sur trois phases. Ceci n'a pas toujours été le cas, la fixation de la fréquence ayant été un des principaux chantiers de la constitution des réseaux électriques, de même que l'harmonisation des tensions afin de pouvoir interconnecter les réseaux entre eux au niveau national, puis international.

Les principaux éléments clés sont:

- le transport de l'électricité se fait sous forme alternative, triphasée (sauf exception des lignes HVDC, en courant continu à très haute tension)
- La fréquence de tout le réseau ainsi que les niveaux de tension jusqu'au consommateur final font l'objet de règles précises (les niveaux de tension intermédiaires dépendent des différents pays)

On distingue 3 modes d'organisation des réseaux électriques :

1. Les réseaux de transport sont maillés et interconnectés les uns aux autres via des lignes transnationales. Le réseau global qui en résulte permet de compenser des déséquilibres sur de plus grandes zones. Dans un réseau maillé les postes électriques sont reliés les uns aux autres par des lignes redondantes. Un défaut sur une ligne (dit défaut *n/1*) doit permettre au réseau de se maintenir. Ce réseau est dit à « haute tension », la tension utilisée pour le transport de l'électricité allant en général de 150 à 400 kV.

2. Le réseau intermédiaire, dit de « moyenne tension » permet d'acheminer l'électricité au niveau régional. Ils peuvent être maillés ou bouclés selon les régions.

3. Le niveau de distribution, dit de « basse tension » est utilisé pour distribuer l'électricité jusqu'au consommateur final. Certes certains raccordements de puissance se font sur le réseau de transport mais dans sa grande majorité, l'utilisateur du réseau électrique consomme de l'électricité fournie par le réseau de distribution. Ce réseau est de type radial. Depuis le dernier transformateur jusqu'au point de raccordement, il n'existe qu'un seul et unique chemin.

Le gestionnaire du réseau de transport doit répondre à une problématique triple :

- il doit assurer l'équilibre entre production et consommation à tout instant,
- il doit assurer que la puissance demandée soit disponible chez les clients à tout instant dans la limite des contraintes techniques (tension, fréquence, harmoniques),
- il doit garantir le transit dans les lignes de transport.

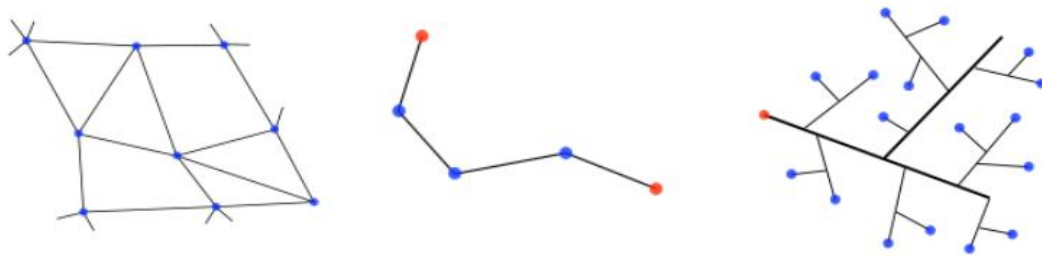


Figure 1.10 Réseau maillé, réseau bouclé et structure radiale. [14]

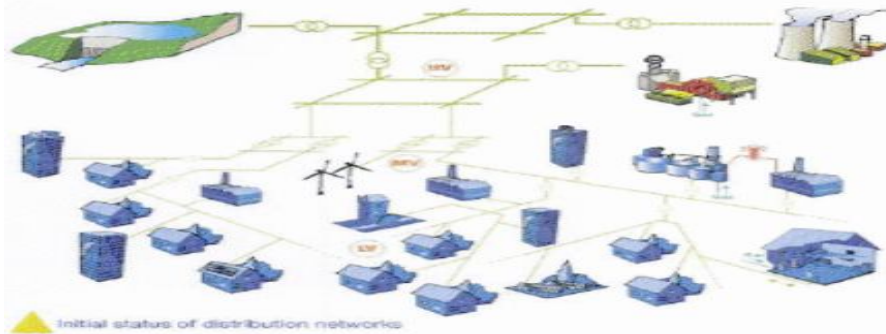


Figure 1.11 Vue schématique d'un réseau électrique. [15]



Figure 1.12 Réseau de distribution. [15]

1.5. L'ÉNERGIE RENOUVELABLE

Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par les hommes. Leur relatif faible impact sur l'environnement les rend en fait, des énergies d'avenir.

Face aux problèmes de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre. Les énergies renouvelables représentent par ailleurs une chance pour plus de 2 milliards de personnes isolées d'accéder enfin à l'électricité. Ces atouts, alliés à des technologies de plus en plus performantes, favorisent le développement des énergies renouvelables mais de manière encore très inégale selon le type de ressources considérées. La consommation d'énergie ne cessant d'augmenter, il semble néanmoins peu probable que les énergies renouvelables remplacent les autres ressources énergétiques dans un avenir proche. Aussi, est-il important que chacun de nous surveille au plus près sa propre consommation d'énergie.[14]

Actuellement, les énergies renouvelables (ER) ont été favorisées, mais depuis quelques années seulement. Les États, les industriels, et nous aussi simples consommateurs, avons longtemps négligé ces énergies naturellement offertes par la planète au profit d'énergies immédiatement plus rentables, mais aussi plus coûteuses pour l'environnement. Aujourd'hui le vent a tourné, et les énergies renouvelables, lentement, trouvent des applications adaptées et économiquement viables dans de multiples domaines.

1.5.1. Les énergies renouvelables, c'est quoi ?

D'une façon générale, les énergies renouvelables sont des modes de production d'énergie utilisant des forces ou des ressources dont les stocks sont illimités. L'eau des rivières faisant tourner les turbines d'un barrage hydroélectrique ; le vent brassant les pales d'une éolienne ; la lumière solaire excitant les photopiles ; mais aussi l'eau chaude des profondeurs de la terre alimentant des réseaux de chauffage. Sans oublier ces végétaux (biomasse), comme la canne à sucre ou le colza, grâce auxquels on peut produire des carburants automobiles ou des combustibles pour des chaudières très performantes.[6]

En plus de leur caractère illimité, ces sources d'énergie sont peu ou pas polluantes. Le solaire, l'éolien, l'eau et la géothermie ne rejettent aucune pollution, lorsqu'elles produisent de l'énergie. La combustion de la biomasse génère certains gaz polluants, mais en bien moindre quantité que des carburants fossiles, tels que le charbon ou le fioul.

1.5.2. Quelle est la place des énergies renouvelables ?

Globalement, la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité reste encore faible. Selon le dernier " Inventaire sur la production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde ", 20 % du courant produit sur la planète est d'origine renouvelable. L'essentiel étant toujours issu des combustibles fossiles, tels que le pétrole ou le charbon (62,7 %) et par l'énergie nucléaire (17,1 %).

Qu'un électron sur cinq soit " propre ", cela n'est déjà pas si mal. Mais ce chiffre encourageant masque une grande disparité entre les sources d'énergies renouvelables. À elle seule, l'hydroélectricité génère 92,5 % de l'électricité issue des ER. Les utilisations de la biomasse produisent 5,5 % du courant mondial " vert ", la géothermie 1,5 %, l'éolien 0,5 % et les techniques solaires y contribuent seulement pour 0,05 %. Toutefois, ces grandes masses sont extrêmement variables d'un pays à l'autre.

Le besoin d'une alternative renouvelable pour faire produire l'électricité a été le sujet de discussion pour plusieurs secteurs et aux niveaux d'un grand nombre de pays au monde entier. Les études ont été élaborées pour faire de cet outil non polluant l'axe de recherche pour plusieurs chercheurs afin de réaliser un but majeur celle de minimiser les effets négatifs de ressources classiques de production de l'énergie.[6]

1.5.3 Energie solaire

La photovoltaïque c'est la conversion directe de lumière solaire en électricité. Le mot "photo" vient du grec qui veut dire lumière et "voltaïque" vient du nom d'un physicien Italien Alessandro Volta qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité et d'après son nom on a aussi nommé l'unité de tension électrique le "volt".

La photovoltaïque c'est la manière la plus élégante de produire de l'électricité. Elle se produit sans bruit, sans parties mécaniques et sans que des produits toxiques soient libérés.

La fourniture d'électricité pour des sites éloignés du réseau normal (Forêts, montagnes, ..) Capteurs isolés (Infos météorologique, trafic routier, enregistrements sismiques, recherche scientifique,..). Pour de petites stations de pompage ou d'irrigation. Chargement des batteries de voitures (les batteries normales, ou de voitures électriques..).

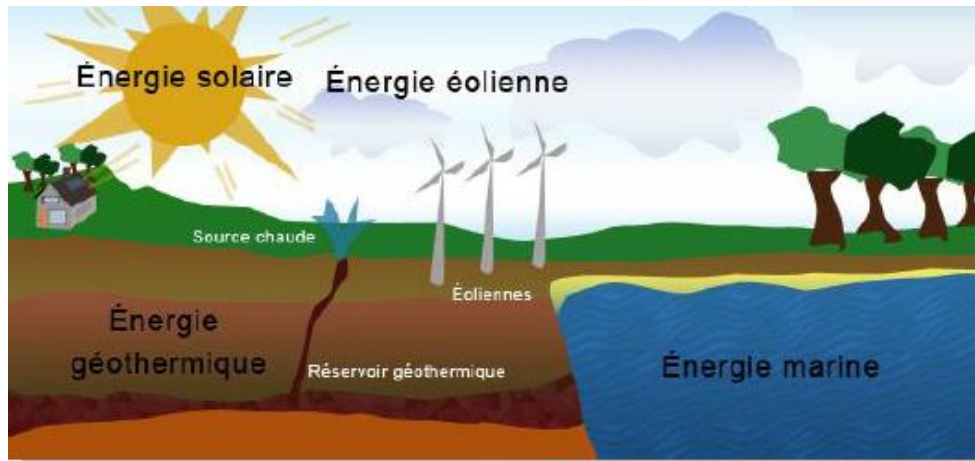


Figure1.13 Les énergies renouvelables. [6]

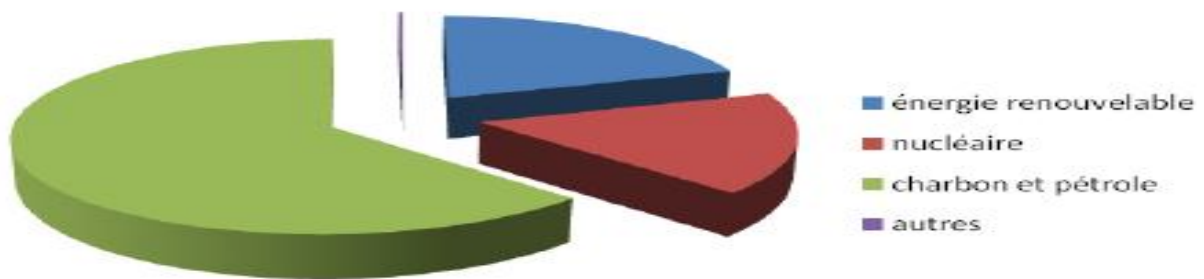


Figure1.14 la part de l'énergie renouvelable dans la production mondiale. [6]

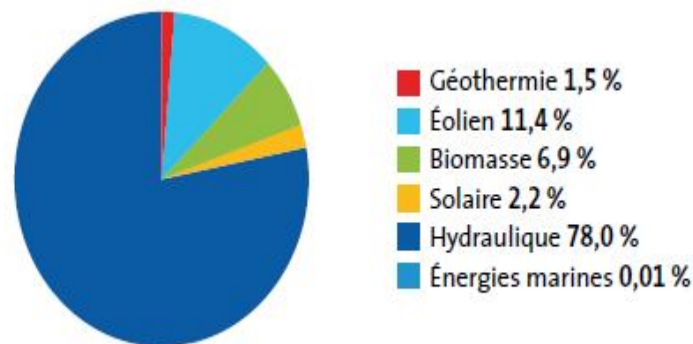


Figure1.15 Production d'électricité d'origine renouvelable 2012[19]

L'énergie solaire peut servir pour beaucoup de choses L'éclairage (autoroutes, arrêts d'autobus,...etc). Les communications (Stations de relais de téléphone, bornes d'appel d'urgences Evidemment l'utilisation de cellules photovoltaïques est plus efficace dans les régions très ensoleillée tel que les Etats-Unis, ou les pays du sud en général, mais cela ne veut pas dire qu'on ne peut pas les utiliser dans le reste du monde.[8]

1.5.4 Energie Eolienne

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice.

La capacité mondiale a atteint 196630 MW, dont 37642 ont été ajoutés en 2010, soit légèrement moins qu'en 2009. En 2010, la capacité mondiale installée a atteint 196630 MW, après 159766 MW en 2009. Les investissements dans les nouveaux équipements ont diminué dans de nombreux pays du monde.

Pour la première fois depuis plus de 20 ans, le marché est inférieur à celui de l'année précédente et a atteint un volume global de 37642 MW, après 38312 MW en 2009. L'énergie éolienne a montré une croissance de 23.6%, la plus basse depuis 2004 et la seconde plus basse de la décennie passée. 23.6%, le taux de croissance de 2010. Le taux de décroissance est le rapport entre la capacité ajoutée et la capacité totale de l'année précédente.

Avant 2010, le taux de croissance annuel n'avait cessé de croître depuis 2004, culminant à 31.7% en 2009, la plus forte valeur depuis 2001. Le plus fort taux de croissance de 2010 se trouve en Roumanie, qui a multiplié sa capacité par 40. La seconde région au taux de croissance de plus de 100% est la Bulgarie (+112%). En 2009, quatre marchés avaient plus que doublé leur capacité éolienne : Chine, Mexique, Turquie et Maroc.[4]

1.5.5 L'hydraulique

L'énergie électrique est produite par la transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique par l'intermédiaire d'un rotor alternateur relié à un ensemble mécanique situé autour de la roue motrice. La quantité d'énergie extraite de l'eau retenue derrière un barrage dépend du volume d'eau et de la hauteur de chute. Cette source a l'avantage de ne pas être polluante.

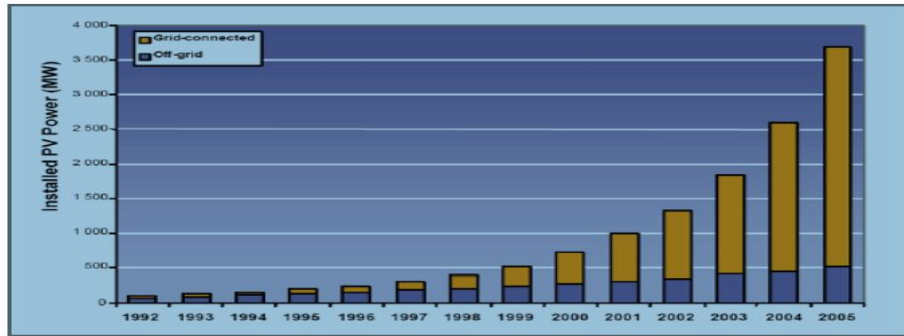


Figure 1.16 Puissance photovoltaïque installée dans le monde par année. [7]

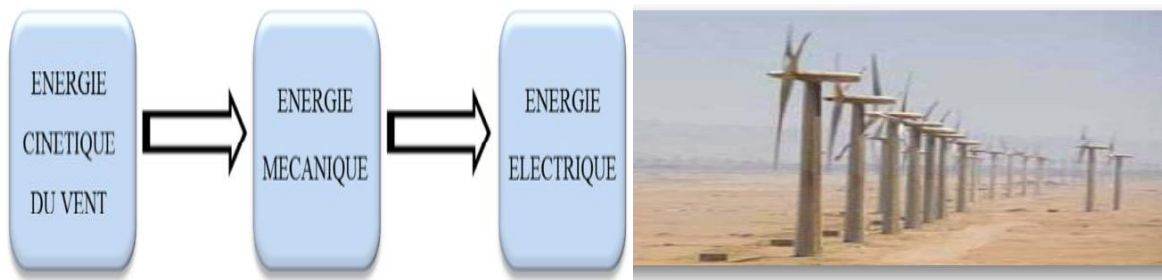


Figure 1.17 Conversion de l'énergie cinétique du vent. [21]

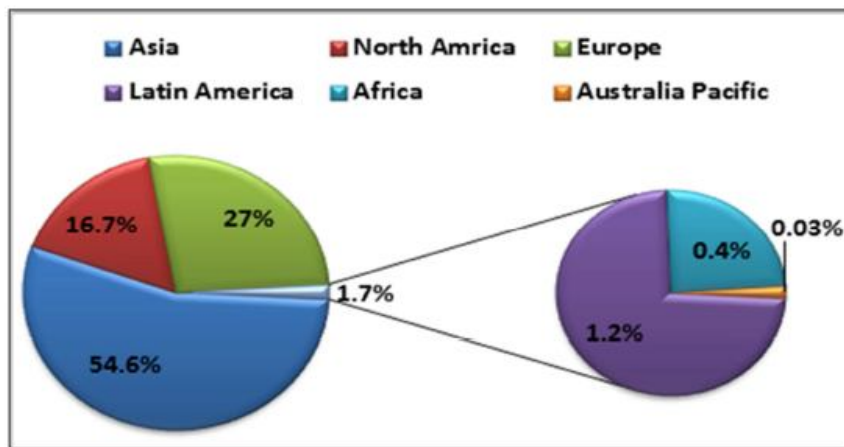


Figure 1.18 Répartition continentale de la capacité ajoutée en 2010. [23]

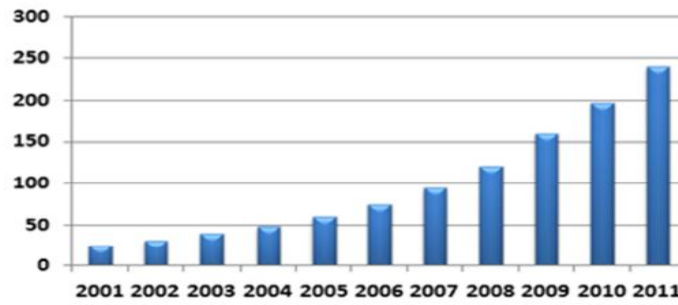


Figure1.19 Capacité mondiale installé L'énergie éolienne en MW. [23]

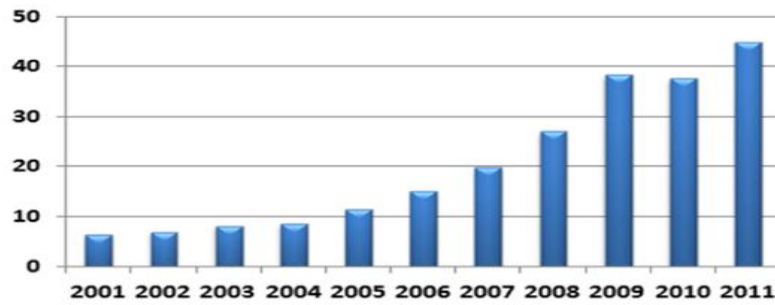


Figure1.20 Nouvelle Capacité installé L'énergie éolienne en MW. [23]

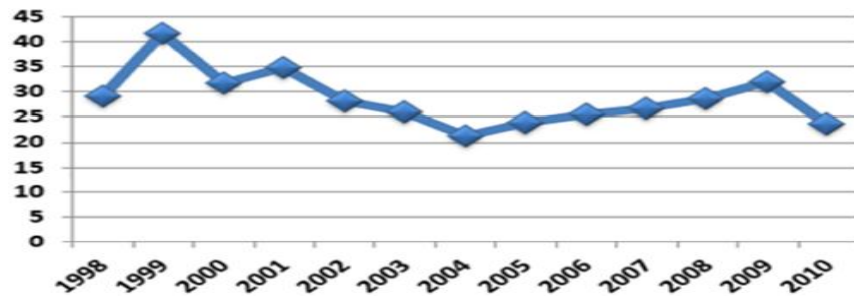


Figure1.21 Taux de croissance du marché électrique en mondial (%).[23]

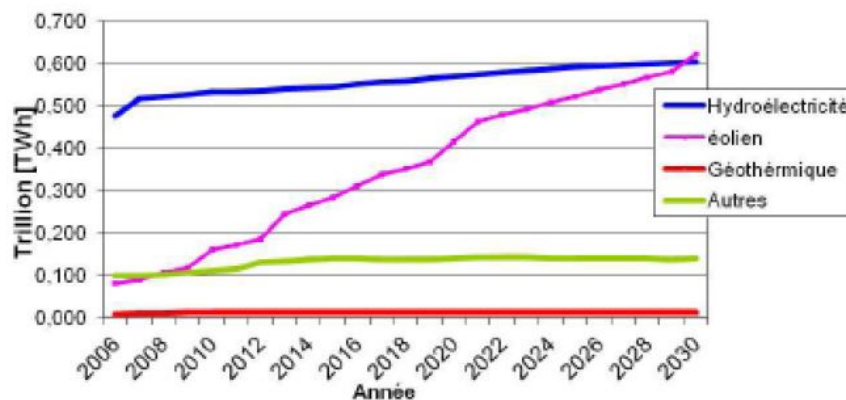


Figure1.22 le développement de la production L'énergie hydroélectricité en mondial. [26]

On peut maîtriser le stockage de l'énergie d'une manière assez simple afin de débarrasser des cours d'eau des déchets grâce aux différents filtres des barrages, la technologie nécessaire pour son utilisation est maîtrisée. Le bruit, l'impact sur la vie aquatique, des installations complexes, et des sites limités pour l'exploitation sont ses principaux inconvénients.[29]

1.5.6 La Biomasse

La biomasse désigne toute la matière vivante d'origine végétale ou animale de la surface terrestre. Généralement, les dérivés ou déchets sont également classés dans la biomasse.

Des différents types sont à considérer : le bois énergie, les biocarburants et le biogaz. La bioénergie est une ressource très abondante, c'est la ressource la plus utilisée au monde[19]. Ils'agit aussi d'énergie solaire stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse ce qui est bien montré par la (figure I.27). Elle est exploitée par combustion. Cette énergie est renouvelable à condition que les quantités brûlées n'excèdent pas les quantités produites. Le problème plus important est que la biomasse n'est pas inépuisable.[29]

1.5.7 Les Energies Marines

L'énergie marine ou des mers est extraite du milieu marin. Il y a notamment l'énergie marémotrice (issue du mouvement de l'eau créé par les marées), l'énergie des vagues (utilise la puissance du mouvement des vagues), l'énergie thermique des mers (produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans), les éoliennes offshore, et l'énergie osmotique (diffusion ionique provoquée par l'arrivée d'eau douce dans l'eau salée de la mer). Tout comme les autres sources renouvelables, elle est non polluante lors de la production. On note également que l'énergie potentiellement disponible est énorme et que cette technologie a un bel avenir.[21]

1.5.8 L'hydrogène

Dans le domaine de la recherche, une autre énergie très abondante, plus énergétique que le pétrole ou le gaz naturel, ni polluante, ni toxique, elle pourrait, du moins en théorie, répondre à tous nos besoins ; c'est l'hydrogène, tout ça à cause de ses avantages :

- l'hydrogène peut être produit à partir de sources d'énergie propre.
- l'hydrogène peut être stocké et distribué dans une variété de formes.
- l'hydrogène peut remplacer les combustibles fossiles pour fournir de l'électricité

De manière différente. Il peut être utilisé comme carburant pour alimenter le moteur à combustion pour la production d'électricité en faisant tourner la machine. Il peut également être directement utilisé par un électro-réacteur chimique dans les piles à combustible pour produire de l'électricité. Pour les puissances élevées la conversion la plus efficace de l'hydrogène à l'électricité peut être atteinte en production combinée en chaleur.[29]

1.6 CONSOMMATION D'ENERGIE

La consommation d'énergie dans le monde a toujours augmenté en raison de l'accroissement rapide de la population, particulièrement dans le tiers monde et dans les pays nouvellement industrialisés. On s'attend à ce que cet accroissement soit soutenu dans un proche avenir, avec une population mondiale passant de 6 milliards actuels à environ 8 milliards dans les 25 années à venir et se développant peut-être à 10 milliards de personnes vers le milieu du 21^{ème} siècle. Une telle augmentation de population produirait un choc dramatique sur la demande énergétique, la doublant au moins d'ici 2050.[23]

Actuellement, le monde absorbe chaque année plus de huit milliards de Tep (tonne équivalent pétrole) d'énergie primaire. La grande majorité de cette énergie est obtenue par le nucléaire, l'hydroélectricité et la combustion des combustibles fossiles. Il y a donc des problèmes avec cette situation actuelle car les réserves fossiles sont limitées. Le monde aura donc besoin d'une source d'énergie nouvelle, sûre, propre et économique pour combler le manque. Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie inépuisables et si on compare l'énergie que nous recevons du soleil avec la demande énergétique mondiale, on trouve que la demande serait largement satisfaite.

Le problème avec ces énergies à l'heure actuelle est qu'elles ne peuvent pas concurrencer les énergies fossiles avec leur coût. Cependant ceci ne signifie pas qu'il n'est pas important d'introduire les énergies renouvelables selon des critères de l'économie de marché afin d'obtenir encore plus de bénéfices dans la réduction du coût avec la production en série et des expériences de leur application croissante.

1.6.1 Evolution de la Consommation Nationale d'Electricité

1.6.1.1 Présentation du Groupe Sonelgaz

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.[3]

Et parce qu'elle a également été créée en vue de performances censées, et favoriser l'affranchissement 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 [3]:

- ✚ **KAHRIF**: pour l'électrification.

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

- ✚ **KANAGAZ** : 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 dernières 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 œuvre 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.[3]

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.

- Le 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 cours 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 accrue de 1855 km en 2008 soit une augmentation de 10,4% par rapport à 2007.[3]

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

➤ **Production d'électricité [3]**

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 HassiR'mel.

➤ **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 électrique pour assurer la sécurité du transport de l'électricité à moyen et long terme.[3]

1.6.1.2 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, Tamanrasset, 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 De_a, Relizane, Tissemsilt, Adrar, Saida, El Bayadh, Naama, Bechar, Oran, Tlemcen, mascara, Ain Temouchent. Le tableau (I.2) représente l'historique de la consommation nationale par société de distribution (1998-2011).[3]

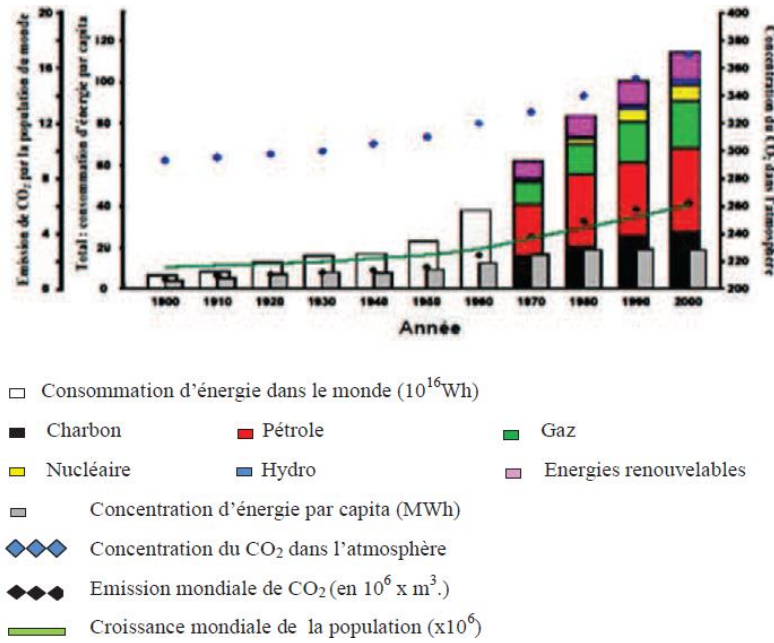


Figure 1 .23 consommation d'énergie mondiale année 2000. [29]

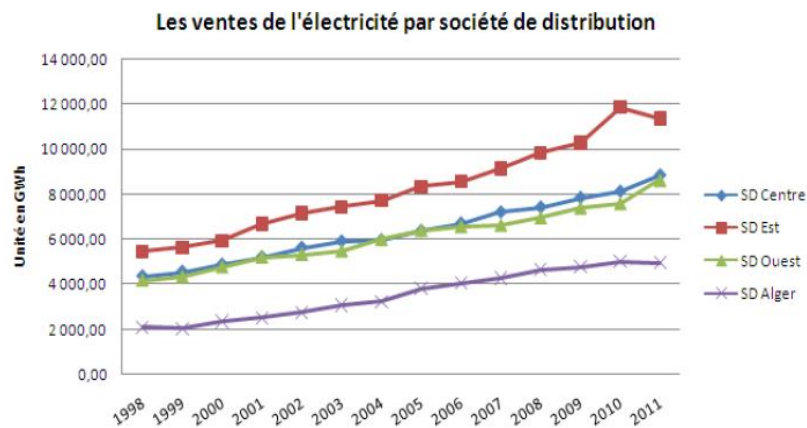


Figure1.24 Les ventes de l'électricité par société de distribution. [3]

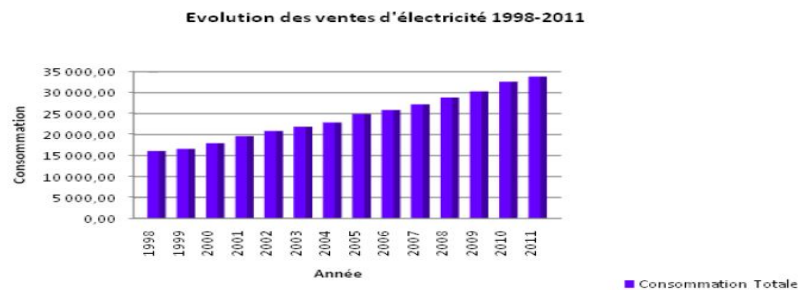


Figure1.25 Evolution des ventes d'électricité. [3]

Tableau1.2 Historique de la consommation nationale par société de distribution (1998-2011).[3]

Année	SD Alger	SD Centre	SD Est	SD Oust	Const. Totale	(%)Evolution
1998	2085.90	4355.70	5455.30	4173.60	16070.50	-
1999	2051.80	4559.30	5623.70	4338.10	16572.90	3.12
2000	2379.50	4878.00	5928.10	4773.10	17.958.70	8.36
2001	2510.90	5210.20	6680.50	5210.80	19612.40	9.21
2002	2772.30	5623.10	7142.50	5331.30	20869.20	6.41
2003	3090.70	5904.90	7420.30	5481.20	21897.10	4.92
2004	3244.20	5959.50	7702.60	5994.00	22900.30	4.58
2005	3825.10	6371.40	8333.20	6401.40	24931.10	8.86
2006	4062.10	6702.90	8552.60	6575.90	25893.5	3.86
2007	4279.00	7195.50	9120.20	6631.30	27226.00	5.14
2008	4655.60	7413.40	9837.30	6962.10	28868.40	6.03
2009	4800.10	7842.00	10272.10	7405.00	30318.20	5.02
2010	5023.00	8118.10	11846.00	7596.90	32584.00	7.47
2011	4989.00	8836.00	11353.00	8639.00	33817.00	3.74

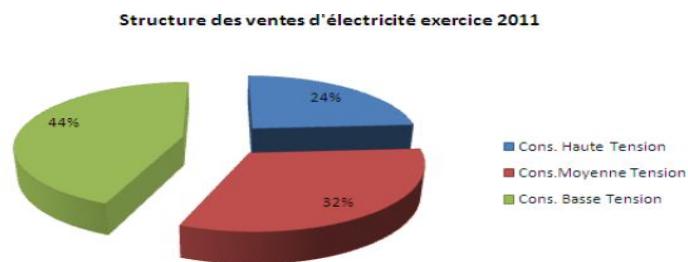


Figure1.26 Structure des ventes d'électricité en 2011. [3]

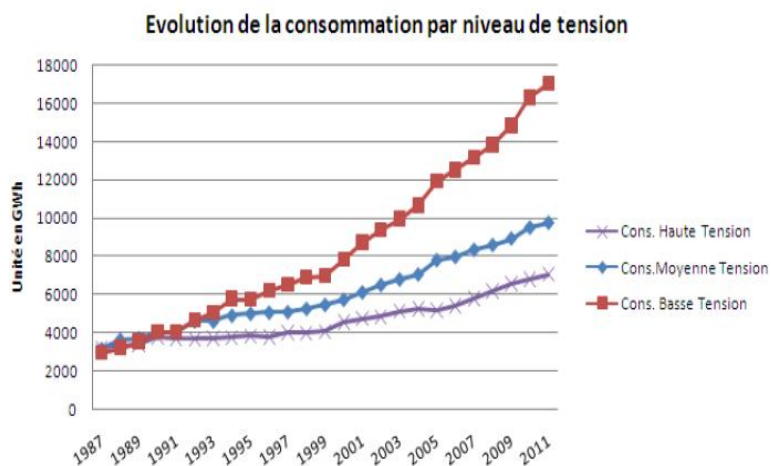


Figure1.27 Evolution de la consommation par niveau de tension [3]

1.7 CONCLUSION

Nous avons dédié ce premier chapitre à la l'énergie et sa définition d'importance, et nous avons discuté dans notre étude a l'énergie électrique en pratique en particulier des moyens et discute générés et les types de spécialisée dans les stations de production et parler des énergies renouvelées et le développement au niveau mondial, ainsi que les avantages et les inconvénients de cas énergies renouvelables et pour les marché de l'énergie en général et d e l'électricité en particulier pour la production et la consommation d'une grande importance pour la pièce que nous avons un coup d'œil sur la consommation et le développement du marché .

En compagnie Algérie SONELGAZ qui a la production exclusive et la distribution de l'électricité, nous avons parlé a un aperçu de cette institution nationale. L'évolution et de ses filiales, la consommation au niveau national parce que notre étude a porte sur la connaissance de la consommation a fine nous puissions prévoir la consommation future et l'utilisation de séries chronologiques, que nous allouas les aborder deuxième chapitre ou nous allons appliquer la quantité d'électricité consommée dans l'état de la ville de M'sila dans les trois premiers mois de 2015 et nous avons au ces résultats de la production de l'unité de la fondation de M'sila .

LES SERIES TEMPORELLES

Résumé

Dans ce chapitre, nous avons parlé des séries chronologiques, les types et caractéristiques et nous avons traité les différents modèle de séries temporelles *AR*, *MA*, *ARMA*, *ARIMA*, *SARIMA*, comme nous approchions la méthode de Box-Jenkins et les quatre étapes spécifie cette méthode (identification, estimation, validation et la prédiction).

SOMMAIRE

2.1 INTRODUCTION

2.2 CONCEPTS DE BASE DES SERIES TEMPORELLES

2.3 QUELQUES MODELES DES SERIES TEMPORELLES

2.4 METHODE DE BOX-JENKINS

2.5 CONCLUSION

2.1 INTRODUCTION

La statistique se préoccupe de porter des jugements sur une population à partir de l'observation d'un échantillon de cette population. Si on prend l'exemple des données d'enquête, l'ordre dans lequel sont échantillonnées les observations n'a pas d'importance. On peut quand même parfois accorder de l'importance aux unités qui sont échantillonnées comme par exemple les élèves d'une même classe ou d'un même établissement, les habitants d'un même quartier.

La dimension temporelle prend de l'importance quand on décide de réinterroger les mêmes personnes. On peut alors étudier leur évolution dans le temps. Dans le domaine de la statistique dénommée analyse des séries temporelles, la dimension temporelle des observations devient primordiale. Une série temporelle est définie comme suite d'observations indexées par le temps.

L'attention va se focaliser sur la propriété évolutive d'une variable aléatoire, tant pour sa prévision que dans sa relation avec son passé. Comme exemple de série temporelle, viennent immédiatement à l'esprit toutes les séries macroéconomiques, mais aussi les séries financières. Les séries temporelles peuvent être observées de manière continue ou de manière discrète. Les modèles de la finance par exemple reposent souvent sur une hypothèse de temps continu car sur un marché boursier les transactions paraissent très rapprochées. Par contre les données macroéconomiques sont typiquement des données observées en temps discret à un intervalle du mois, du trimestre ou même de l'année. On rappellera la distinction usuelle entre données de flux qui concernent des phénomènes continus comme les prix ou les taux d'intérêts, mais que l'on a choisi de n'observer qu'à des intervalles réguliers et discrets, et les données de stocks qui résultent d'un phénomène d'accumulation. L'investissement est un flux, tandis que le capital est un stock résultant d'un côté de l'accumulation des Investissements et de l'autre côté d'un phénomène de dépréciation. L'examen graphique d'une série temporelle montre que la valeur prise au temps t dépend fortement de la valeur prise au temps $t-1$. Le processus qui les engendre est dynamique. On voudra en construisant un modèle, acquérir de l'information sur ce processus théorique que l'on appelle Processus de Génération des Données ou PGD. Le problème est alors de trouver le modèle pratique qui approchera le plus possible le processus théorique et ensuite de l'estimer. Une fois cette étape franchie, on pourra faire de la prévision ou du contrôle avec ce modèle. Les types de modèles que l'on peut considérer sont nombreux.

En statistique on va s'intéresser à modéliser une série unipaire au moyen d'un modèle ARMA, ou bien considérer plusieurs séries à la fois et les modéliser conjointement dans un modèle multivarié ou modèle VAR de manière à mettre à jour les interactions entre ces variables. En économétrie, on s'intéressera plutôt à une modélisation conditionnelle qui étudie la dynamique d'une variable, conditionnellement à d'autres variables supposées exogènes. La plupart des modèles supposent que les séries étudiées sont stationnaires. Les propriétés des estimateurs reposent sur cette hypothèse. Cependant la plupart des séries que l'on a à traiter croissent dans le temps, ou même si elles ne sont pas croissantes, ont des fluctuations qui ne sont pas régulières. Elles sont non-stationnaires. Il est en général possible de trouver une transformation ou un filtre qui puisse rendre stationnaire les séries non-stationnaires. Mais la détermination exacte de ce filtre n'est pas triviale. Faut-il différencier la série, faut-il retirer une tendance et laquelle? Et surtout ne perd-on pas de l'information par ces opérations?

Ce chapitre a un but introductif. Il doit présenter certains outils mathématiques et modèles simples employés par la statistique des séries temporelles. La branche de la statistique mathématique qui s'intéresse aux séries temporelles a développé plusieurs modèles de représentation des séries temporelles dont nous allons très brièvement rappeler les plus simples. Il s'agira de préciser quelques notions sur les modèles AR, MA et ARMA univariés et quelques outils mathématiques qui leur sont reliés. [9]

2.2 CONCEPTS DE BASE DES SÉRIES TEMPORELLES

2.2.1 Définition

Une série temporelle (ou encore une série chronologique) est une suite (X_1, \dots, X_n) de données indexées par le temps. L'indice temps peut être selon les cas la minute, l'heure, le jour, l'année etc..... Le nombre n est appelé la longueur de la série. Il est la plupart du temps bien utile de représenter la série temporelle sur un graphe construit de la manière suivante : en abscisse le temps, en ordonnée la valeur de l'observation à chaque instant. Pour des questions de lisibilité, les points ainsi obtenus sont reliés par des segments de droite. Le graphe apparaît donc comme une ligne brisée. [10]

2.2.2 Processus Stochastiques

Un processus stochastique est une suite de variables aléatoires réelles qui sont indexées par le temps: $X_t, t \in Z$ Ici t appartient à un espace discret, ce qui définit un processus en temps discret. Un processus stochastique est donc une famille de variables aléatoires X dont on va observer

des valeurs réelles issues de l'espace S des échantillons selon une certaine loi de probabilité. Pour chaque point s de l'espace des échantillons S , la fonction qui associe $X_t(s)$ est appelée la trajectoire du processus. Les observations successives forment l'histoire du processus. On peut les noter: X_0^t pour désigner l'histoire du processus entre 0 et t . [9]

2.2.3 Composantes d'une Série Chronologique

On considère qu'une série chronologique est la résultante des différentes composantes fondamentales :

- **La tendance** (ou trend) représente l'évolution à long terme de la série étudiée. Elle traduit le comportement « moyen » de la série.
- **La composante saisonnière** (ou saisonnalité) correspond à un phénomène qui se répète intervalles de temps réguliers (périodiques). En général, c'est un phénomène saisonnier d'ordre de variations saisonnières.
- **La composante résiduelle** (ou bruit ou résidu) correspond à des fluctuations irrégulières, en général de faible intensité mais de nature aléatoire. On parle aussi d'aléas.
- **Des phénomènes accidentels** (grèves, conditions météorologiques exceptionnelles, crash financier) peuvent notamment intervenir.

Dans ce qui suit, la composante correspondant aux phénomènes accidentels sera intégrée aux fluctuations irrégulières de la série et la composante tendance regroupera à la fois la tendance et le cycle. [12]

2.2.4 Objectifs de L'analyse d'une Série Temporelle

L'étude d'une série chronologique permet d'analyser, de décrire et d'expliquer un phénomène au cours du temps et d'en tirer des conséquences pour des prises de décision. L'un des objectifs principaux de l'étude d'une série chronologique est la prévision qui consiste à prévoir les valeurs futures X_{T+h} ($h = 1, 2, 3, \dots$) de la série chronologique à partir de ses valeurs observées jusqu'au temps : X_1, X_2, \dots, X_T . Parmi les autres objectifs avoués de l'étude des séries temporelles, figure le problème de l'estimation d'une tendance ou l'impact d'un événement sur une variable.

Les objectifs de l'analyse d'une série temporelle sont :

➤ **Modélisation**

Elle consiste à :

1- Développer des modèles permettant de décrire le comportement d'une ou plusieurs séries temporelles.

2-Mettre au point une méthodologie pour

- Spécifier
- Estimer
- Valider (juger)

Un modèle approprié pour des données particulières.

➤ **Prédiction**

Étant données des observations $X_1 ; \dots ; X_T$, la prévision consiste à évaluer une valeur non observée, X_{T+H} . La prévision peut être ponctuelle, ou prendre la forme d'un intervalle de prévision [16].

2.2.5 Types Des Séries Temporelles

La théorie des séries chronologiques (ou temporelles) abordée ici est appliquée de nos jours dans des domaines aussi variés que l'économie, la médecine ou la démographie, pour n'en citer qu'une partie. On s'intéresse à l'évolution au cours du temps d'un phénomène, dans le but de décrire, expliquer puis prévoir ce phénomène dans le futur. On dispose ainsi d'observations à des dates différentes, c'est-à-dire une suite de valeurs numériques indicées par le temps. La température d'une région donnée, la consommation électrique sont des exemples de séries chronologiques ou temporelles.

Cette suite d'observations d'une famille de variables aléatoires réelles notées $(X_t)_{t \in \Theta}$ est appelée série chronologique (ou temporelle). Nous la noterons $(X_t)_{t \in \Theta}$ ou $(X_t, t \in \Theta)$ où l'ensemble Θ est appelé espace de temps qui peut être :

- Discret (cas du nombre de voyageurs d'un vol d'avion)
- continu (signal radio, résultat d'un électrocardiogramme...etc).[12]

Dans ce qui suit, nous considérerons uniquement des processus stochastiques à temps discret et unidimensionnels.

2.2.6 Caractéristiques des Séries Temporelles

2.2.6.1 la Moyenne

La formule générale de la moyenne d'une série temporelle de terme général X_t pour laquelle nous disposons de T observations est : [17]

$$\bar{x} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T X_t \tag{2.1}$$

2.2.6.2 la Variance

La variance d'une série temporelle permet d'évaluer la dispersion autour de la moyenne. La formule de la variance (Var) dans le cas d'une population connue totalement est [17] :

$$Var(x) = \sum_{t=1}^T (x_t + \bar{x})^2 / T \tag{2.2}$$

La racine carrée de la variance appelée écart-type ($\sigma(X)$)

$$\sigma(X) = \sqrt{Var(X)} \tag{2.3}$$

2.2.6.3 La Fonction D'Auto Covariance

La fonction d'auto covariance $\{\gamma(h)\}_{h \in \mathbb{Z}}$ mesure la covariance entre un variable et cette même variable à des dates différentes, pour un pas h . [18]

$$\forall h, t \in \mathbb{Z} \gamma(h) = Cov (X_t + X_{t+h})^2 \tag{2.4}$$

Cov : la covariance.

Le graphe de cette fonction est appelé variogramme [20] .la fonction d'auto covariance d'un processus stationnaire vérifie

$$\begin{cases} |\gamma(0)| = var(X_t) \\ |\gamma(h)| \leq \gamma(0), \forall h \\ \forall h \in \mathbb{Z}, \gamma(-h) = \gamma(h) : elle est pair. \end{cases} \tag{2.5}$$

La fonction d'auto covariance est estimée par la fonction d'auto covariance empirique définie par :

$$\widehat{\gamma}_T(h) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^{T+|h|} (x_t + \bar{x}) (x_{T+|h|+t} + \bar{x}) \tag{2.6}$$

2.2.6.4 la fonction d’auto corrélations (ACF)

La fonction d’auto corrélations est la fonction notée $\rho(h)$ qui mesure la corrélation de la série avec elle-même décalée d’un pas h [22].

$$\rho(h) = \rho(x_t, x_{T+h}) = \gamma(h) / \gamma(0) \quad (2.7)$$

$\rho(h)$ mesure donc l’intensité de la liaison entre X_t et x_{t+h} [12]. Le graphe de cette fonction est appelé *corrélogramme simple*. La fonction d’auto corrélation d’un processus stationnaire vérifie [20].

$$\begin{cases} \rho(0) = 1. \\ |\rho(h)| \leq 1, \forall h. \\ \forall h \in \mathbb{Z}, \rho(-h) = \rho(h) : \text{elle est pair.} \end{cases} \quad (2.8)$$

On estime La fonction d’auto-corrélation à partir de la l’auto covariance empirique de la façon suivante [20].

$$\hat{\rho}(h) = \frac{\hat{\gamma}(h)}{\hat{\gamma}(0)} = \frac{\sum_{t=1}^{T-|h|} (x_t - \bar{x})(x_{t+|h|} - \bar{x})}{\sum_{j=1}^T (x_t - \bar{x})^2} \quad (2.9)$$

Elle est appelée la fonction d’auto corrélations empirique propriété [20].

$$\forall h - 1 \leq \hat{\rho}(h) \leq 1 \quad (2.10)$$

2.2.6.5 la Fonction d’Auto Corrélations Partielle (PACF)

Nous pouvons définir la fonction d’auto corrélation partielle de la retard h comme étant le coefficient de corrélations partielle entre X_t et x_{t-h} l’influence des autres variables décalées de h périodes $(X_{t-1}, \dots, X_{t+h-1})$, ayant été retirée .elle peut être calculée comme un rapport entre deux déterminants par la formule suivant.[22]

$$r(h, h) = \frac{\begin{bmatrix} 1 & p(1) & \dots & \dots & p(h-2) & p(1) \\ p(1) & 1 & \dots & \dots & p(h-3) & p(2) \\ \vdots & \vdots & & & \vdots & \vdots \\ p(h-1) & p(h-2) & \dots & \dots & p(1) & p(h) \end{bmatrix}}{\begin{bmatrix} 1 & p(1) & \dots & \dots & p(h-2) & p(1) \\ p(1) & 1 & \dots & \dots & p(h-3) & p(2) \\ \vdots & \vdots & & & \vdots & \vdots \\ p(h-1) & p(h-2) & \dots & \dots & p(1) & 1 \end{bmatrix}} \quad (2.11)$$

2.2.7 Stationnarité

2.2.7.1 La Stationnarité Stricte

Le processus aléatoire $\{x_t, t \in T\}$ est dit strictement stationnarité si :

La loi de $(x_{t_1}, \dots, x_{t_n})$ est la même que la loi de $(x_{t_1+h}, \dots, x_{t_n+h})$ pour tout (t_1, t_2, \dots, t_n) avec $t_i \in T$, pour $i=1, \dots, n$ et pour tout $h \in T$ avec $t_{i+h} \in T$.

Ainsi, un processus aléatoire est strictement stationnaire si toutes ces caractéristique c'est-à-dire tous ces moments sont invariants pour tout changement de l'origine du temps.[18]

2.2.7.2 La Stationnarité Faible (Stationnarité Du Second Ordre)

Un processus aléatoire $\{x_t, t \in T\}$ est dit stationnaire au sens faible c'est-à-dire [22] :

$$\begin{cases} E_t = \mu < +\infty \forall t \in T \\ \text{Var} (X_t) = \sigma^2 \forall t \in T \\ \text{Cov} (X_t + X_{t+h}) = \gamma_t \forall t, h \in T \end{cases} \quad (2.12)$$

2.2.8 Processus Bruits Blancs

Un processus de bruit blanc est une suite de variables aléatoires (X_t) t indépendantes, d'espérance et de variance constantes. Si l'espérance est nulle, le bruit blanc est centré, et si les variables aléatoires sont gaussiennes, le bruit blanc est gaussien.

On dit que le processus de $\{\varepsilon_t, t \in T\}$ est un bruit blanc centré si :

$$\begin{cases} E(\varepsilon_t) = 0 & \forall t \in T \\ \text{Var} (\varepsilon_t) = \sigma^2 & \forall t \in T \\ \text{Cov} (\varepsilon_t + \varepsilon_{t+h}) = \delta_\varepsilon(h) = \begin{cases} \sigma^2 & \text{si } h = 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \end{cases} \quad (2.13)$$

2.2.9 Les Opérateurs B et Δ

2.2.9.1 Opérateur de retard B

L'opérateur retard B (Backward noté aussi pour L log) décale le processus d'une unité de temps vers le passé. [24]

$$B(X_T) = x_{t-1} \quad (2.14)$$

Si on applique h fois cet opérateur, on décale le processus de h unité de temps

$$\underbrace{B(B(\dots B(X_t) \dots))}_{h \text{ fois}} = B^h(X_t) = X_{t-h} \tag{2.15}$$

L'opérateur retard possède les propriétés suivantes

- $B^j X_t = X_{t-j}$; en particulier, $B^0 X_t = X_t$.
- Si $X_t = c \in \mathbb{R}$ pour tout $t \in \mathbb{Z}$, alors $B^j X_t = B^j c = c$ pour tout $j \in \mathbb{Z}$
- $B^j (B^k X_t) = B^{j+k} X_t = X_{t-j-k}$
- $B^{-j} X_t = X_{t+j}$
- $(B^j + B^k) X_t = B^j X_t + B^k X_t = X_{t-j} + X_{t-k}$

Si l'on applique le polynôme retard $\phi(B)$ défini comme suit

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \tag{2.16}$$

à une série X_t , on a :

$$\phi(B) X_t = X_t - \phi_1 X_{t-1} - \phi_2 X_{t-2} - \dots - \phi_p X_{t-p} \tag{2.17}$$

Où ϕ_i des nombres réels, $\dots p$.

2.2.9.2 Opérateur différence Δ

L'opérateur Δ fait la différence entre le processus et sa version décalée d'une unité de temps. L'opérateur Δ est défini par:[24]

$$\Delta X_t = X_t - X_{t-1} \tag{2.18}$$

En effet, par écriture purement formelle on peut écrire :

$$\Delta X_t = X_t - B X_t = (1 - B) X_t \tag{2.19}$$

On peut écrire Δ sous la forme d'un polynôme en B avec : $\Delta = 1 - B$

2.2.9.3 L'opérateur De Dessaisonalisation Δ_S

L'opérateur Δ_S est défini par :

$$\Delta_S X_t = X_t - X_{t-s} \quad (2.20)$$

S : la période de la saisonnalité

en d'autres termes :

$$\Delta_S = (1 - B^S) \quad (2.21)$$

2.2.10 Les Effets des Opérateurs

2.2.10.1 L'opérateur Δ

- ✓ Permet d'éliminer la tendance de la série.
- ✓ Peut-être répété plusieurs fois si la tendance n'est pas linéaire. Par exemple

$$\Delta^2 X_t = (1 - B)^2 X_t = (1 - 2B + B^2) X_t \quad (2.22)$$

Le nombre de fois où on applique Δ est appelé ordre de différenciation.

2.2.10.2 L'opérateur Δ_S

- ✓ permet d'éliminer la saisonnalité de période.
- ✓ on peut également l'appliquer plusieurs fois.

$$\Delta_S^2 X_t = \Delta_S (X_t - X_{t-s}) \quad (2.23)$$

Le nombre de fois où on applique Δ_S est appelé ordre de dessaisonalisation.

2.2.11 Théorème de Wold

Le théorème de Wold (1948) est fondamental pour l'analyse de séries temporelles stationnaires. Tout processus $(X_t)_{t \in \mathbb{Z}}$ faiblement stationnaire peut s'écrire sous la forme. [25]

$$X_t = \sum_{j=0}^{\infty} \psi_j \varepsilon_{t-j} + k_t \quad (2.24)$$

Où

ψ_j : les paramètres sont des réels tels que $\psi_0 = 1$ et $\sum_{j=0}^{\infty} \psi_j^2 < \infty$.

$(\varepsilon_t)_{t \in \mathbb{Z}}$: est un bruit blanc gaussien.

k_t : est une composante linéaire telle que $cov(k_t, \varepsilon_{t-j}) = 0$ pour tout $j \in \mathbb{Z}$.

Selon le théorème de Wold (1948), tout processus stationnaire d'ordre 2 peut être représenté comme une somme pondérée infinie de chocs passés, caractérisés par un bruit blanc.

2.3 QUELQUES MODELES DES SERIES TEMPORELLES

2.3.1 Introduction

La première étape avant de traiter des modèles complexes de type autorégressif à moyenne mobile saisonnière (*SARIMA*), est d'explicitier ce que sont les modèles à moyenne mobile (*MA*) et les modèles autorégressifs (*AR*). En augmentant le degré de complexité, il vient ensuite les modèles autorégressifs à moyenne mobile (*ARMA*), puis en dernier lieu les modèles *SARIMA*. Tous ces modèles s'appliquent sur des processus univariés à temps discret.

Excepté *SARIMA*, l'ensemble des modèles autorégressifs nécessite une hypothèse de stationnarité. Des notions de statistiques étant nécessaires à la bonne utilisation de ces modèles, nous allons commencer par expliquer ce que signifie la stationnarité d'un processus, puis ce que sont les coefficients d'auto corrélation.

2.3.2 Processus Aléatoires Stationnaires

2.3.2.1 Les Processus Autorégressifs $AR(p)$

Les modèles autorégressifs supposent que y_t est une fonction linéaire des valeurs précédentes.

$$y_t = \mu + \phi_1 y_{(t-1)} + \phi_2 y_{(t-2)} + \phi_3 y_{(t-3)} + \varepsilon_t \quad (2.26)$$

Chaque observation est constituée d'une composante aléatoire (choc aléatoire, ε) et d'une combinaison linéaire des observations précédentes. ϕ_1, ϕ_2 et ϕ_3 dans cette équation sont les coefficients d'auto-régression.

A noter que, cette équation porte soit sur les données brutes, soit sur les données différenciées. L'association d'un processus autorégressif et d'une différenciation donne:

$$y_t - y_{t-1} = \mu + \phi(y_{t-1} - y_{t-2}) + \varepsilon_t \quad (2.27)$$

Ce qui peut également être écrit:

$$y_t = \mu + y_{t-1} + \phi(y_{t-1} - y_{t-2}) + \varepsilon_t \quad (2.28)$$

Notez qu'un processus autorégressif ne sera stable que si les paramètres sont compris dans un certain intervalle ; par exemple, s'il n'y a qu'un paramètre autorégressif, il doit se trouver dans l'intervalle $-1 < \phi_1 < +1$. Dans les autres cas, les effets passés s'accumuleraient et les valeurs successives des y_t se déplaceraient infiniment vers l'avant, ce qui signifie que la série ne serait pas stationnaire.[22]

2.3.2.2 Processus De Moyenne Mobile $MA(q)$

Les modèles à moyenne mobile suggèrent que la série présente des fluctuations autour d'une valeur moyenne. On considère alors que la meilleure estimation est représentée par la moyenne pondérée d'un certain nombre de valeurs antérieures (ce qui est le principe des procédures de moyennes mobiles utilisées pour le lissage des données). Ceci revient en fait à considérer que l'estimation est égale à la moyenne vraie, auquel on ajoute une somme pondérée des erreurs ayant entaché les valeurs précédentes :

$$y_t = \mu - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \theta_3 \varepsilon_{t-3} + \varepsilon_t \quad (2.29)$$

Chaque observation est composée d'une composante d'erreur aléatoire (choc aléatoire, ε) et d'une combinaison linéaire des erreurs aléatoires passées. θ_1 , θ_2 et θ_3 sont les coefficients de moyenne mobile du modèle. Cette équation porte soit sur les données brutes, soit sur les données différenciées si une différenciation a été nécessaire.

Pour l'association d'une différenciation et d'un terme de moyenne mobile on aura :

$$y_t - y_{t-1} = \mu - \theta_1 \varepsilon_{(t-1)} + \varepsilon_t \quad (2.30)$$

Ce qui peut également être écrit:

$$y_t = \mu + y_{t-1} - \theta_1 \varepsilon_{(t-1)} + \varepsilon_t \quad (2.31)$$

Un modèle de moyenne mobile correspond à des séries exhibant des fluctuations aléatoires autour d'une moyenne variant lentement. Plutôt que de prendre comme précédemment la valeur précédente comme prédicateur, on utilise une moyenne de quelques observations précédentes, de manière à éliminer le bruit, et estimer plus précisément la moyenne locale.[27]

2.3.2.3 Processus ARMA

Le processus $(X_t)_{t \in \mathbb{Z}}$ satisfait une représentation d'un processus auto régressif moyenne mobile d'ordres p et q , noté *ARMA* (p, q) , si et seulement si

$$\phi(\beta)X_t = c + \theta(\beta) + X\varepsilon_t \quad (2.32)$$

Où $c \in \mathbb{R}$

$$\phi(\beta) = \sum_{j=0}^p \phi_j \beta^j \quad \text{et} \quad \theta(\beta) = \sum_{j=0}^q \theta_j \beta^j \quad (2.33)$$

Par convention, on pose $\phi_0 = \theta_0 = 1$. À l'instar des processus *MA* et *AR*, $(\varepsilon_t)_{t \in \mathbb{Z}}$ sont i.i.d. $N(0, \sigma^2)$. Notons aussi que les processus *AR* (p) et *MA* (q) sont des cas particuliers du processus *ARMA* (p, q) .

Les conditions de stationnarité d'un processus *ARMA* sont déterminées par les racines du polynôme associé à sa composante *AR*, alors que son invisibilité dépend des racines du polynôme associé à sa composante *MA*. *ARMA* $(p, 0)$, alors que le processus *MA* (q) correspond à *ARMA* $(0, q)$.

2.3.2.4 Processus SARMA

Le processus $(X_t)_{t \in \mathbb{Z}}$ satisfait une représentation d'un processus auto régressif moyenne mobile saisonnier, noté *SARMA*, si et seulement si :

$$\sum_{j=0}^p \phi_{js} X_{t-js} = c + \sum_{j=0}^q \theta_{js} \varepsilon_{t-js}, \quad (2.34)$$

Où $c \in \mathbb{R}_+$ et $(\varepsilon_t)_{t \in \mathbb{Z}}$ sont i.i.d. $N(0, \sigma^2)$. Ici, s désigne la période de saisonnalité de la composante *AR*, alors que s' représente la période de saisonnalité de la composante *MA*.

2.3.3 Processus Aléatoires non Stationnaires

2.3.3.1 Généralités

À la section précédente, quelques processus aléatoires stationnaires ont été présentés et étudiés. Toutefois, dans la réalité, il arrive souvent que des séries observées montrent un comportement non stationnaire. Dans ces conditions, il convient alors d'identifier le type de non

stationnarité auquel la série est contrainte. Cela permet d'utiliser un modèle approprié de façon à rendre stationnaire la série en question. Dans la suite, notamment les processus TS et DS[25] :

2.3.3.2 Processus TS

Un processus $(X_t)_{t \in \mathbb{Z}}$ fait partie de la famille des modèles à tendance saisonnière (TS) s'il peut s'écrire sous la forme

$$X_t = f(t) + \varepsilon_t \quad (2.35)$$

f : est une fonction du temps.

ε_t : est un bruit blanc.

Pour stationnariser un processus de type TS on estime $f(t)$ par les moindres carrés ordinaire.

2.3.3.3 Processus DS

Un processus non stationnaire $(X_t)_{t \in \mathbb{Z}}$ fait partie de la famille des modèles à différence stationnaire (DS) d'ordre d si le processus filtré $F_t = (1-\beta)^d X_t$, comme cas particuliers des modèles DS, $(0,1,1)$ retrouve les modèles *ARIMA* et *SARIMA*. On présente ces modèles dans la suite.[25]

➤ **Processus ARIMA**

L'objectif essentiel des modèles *ARIMA* est de permettre une prédiction de l'évolution future d'un phénomène. Son développement dans le domaine de l'économétrie est basé sur ce principe. Un autre intérêt, peut-être plus essentiel en ce qui concerne la recherche scientifique, est de comprendre la signification théorique de ces différents processus. Il est clair cependant que cette interprétation dépend de la nature du phénomène étudié, et des modèles dont le chercheur dispose pour en rendre compte.

Un modèle *ARIMA* est noté (p, d, q) , p correspondant au nombre de termes autorégressifs, d au nombre de différenciations, et q au nombre de termes de moyenne mobile. De nombreuses combinaisons sont envisageables.

Le processus stationnaire $(X_t)_{t \geq 0}$ satisfait une représentation *ARIMA* (p, d, q) , si et seulement si :

$$\phi(\beta^s)(1 - \beta^s)^d X_t = c + \theta(\beta^s)\varepsilon_t \quad (2.36)$$

Où $c \in \mathbb{R}$

$$\phi(\beta) = \sum_{j=0}^p \phi_j \beta^j \text{ et } \theta(\beta) = \sum_{j=0}^q \theta_j \beta^j \quad (2.37)$$

On suppose que toutes les racines des polynômes $\theta(\beta)$ et $\phi(\beta)$ sont situées à l'extérieur du cercle unité.[27]

➤ **Processus SARIMA**

Le processus *SARIMA* est un modèle *ARIMA* dans lequel une composante saisonnière est ajoutée. Ainsi, $(X_t)_{t \geq 0}$ est un processus *SARIMA* (p, d, q) de périodes s et s' si et seulement si :

$$\phi(\beta^s)(1 - \beta^s)^d X_t = c + \theta(\beta^{s'})\varepsilon_t \quad (2.38)$$

Où $c \in R_i$

$$\phi(\beta) = \sum_{j=0}^p \phi_j \beta^j \quad \text{et} \quad \theta(\beta) = \sum_{j=0}^q \theta_j \beta^j \quad (2.39)$$

La période de saisonnalité s est associée à la composante *AR*, alors que la période de saisonnalité s' est associée à la composante *MA*. On suppose que toutes les racines des polynômes $\theta(\beta)$ et $\phi(\beta)$ sont situées à l'extérieur du cercle unité.[27]

2.4 METHODE DE BOX-JENKINS

Box & Jenkins (1970) ont élaboré une méthodologie pour identifier un modèle adéquat pour une série chronologique. Leur méthode est fondée sur les modèles *ARIMA*. Pour les méthodes d'inférence présentées dans la suite, on supposera que T réalisations d'une série chronologique uni-variée, notées X_1, \dots, X_T ont été observés.

En décrivant leur méthode de prédiction George Box et Gwilym Jenkins ont établi le digramme montré la Figure 2.1.

Cette démarche divise le problème de prévision en 4 étapes pour pouvoir trouver le modèle susceptible de représenter la série temporelle, et la dernière étape c'est l'étape de prédiction :

1. Identification.
2. Estimation.
3. Validation.
4. Prédiction.

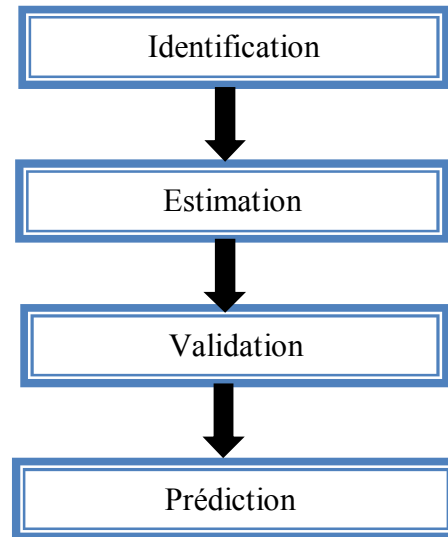


Figure 2.1 les étapes de la méthode Box-Jenkins.

2.4.1 Identification

De façon générale, l'étape d'identification du modèle consiste à identifier le modèle qui représente au mieux la série étudiée. En d'autres mots, il s'agit de trouver un modèle stationnaire qui tient compte de la variabilité dans le temps et pour lequel il y a absence d'auto corrélation des résidus. Plus particulièrement, Cette étape implique les méthodes d'estimation du paramètre d'intégration d , l'estimation des ordres p et q , les tests d'hétéroscédasticité, les tests de non stationnarité ou de racine unitaire et les transformations non linéaires [30].

2.4.2 Estimation

L'estimation des paramètres d'un modèle lorsque p, d, q sont supposés connus peut se réaliser par différentes méthodes dans le domaine temporel :

2.4.2.1 Estimation De Yule-Walker

Dans le cas d'un $AR(p)$, on utilise les équations de Yule -Waltker :

$$\begin{bmatrix} \rho(1) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \rho(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho(0) & \rho(0) & \dots & \dots & \dots & \rho(p-1) \\ \rho(1) & \rho(0) & \dots & \dots & \dots & \rho(p-2) \\ \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & & & \cdot \\ \rho(p-1) & \rho(p-1) & & \rho(p-2) & & \cdot \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \phi_p \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

Pour déterminer $\widehat{\phi}_i \quad i = 1, \dots, p$ en fonction de $\widehat{\rho}(h)$ estimés. On utilise la Formule :

$\sigma^2 = \rho(0) - \sum_{i=1}^p \phi_i \rho(i)$ Pour déterminer une estimation de σ^2 cette méthode est appelée estimation de Yule-Walker.[18]

2.4.2.2 Maximum De Vraisemblance

Une méthode populaire pour estimer les paramètres d'un modèle est le maximum de vraisemblance. La fonction de vraisemblance associée à un échantillon X_1, \dots, X_T i.i.d. d'une loi dont la densité est $f(x|\theta)$, avec $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_k) \in \mathbb{R}^+$, est défini par :

$$L(\theta) = \prod_{h=1}^T f(x|\theta) \tag{2.41}$$

L'estimateur du maximum de vraisemblance (EMV) est la valeur $\widehat{\theta}_{EMV}$ qui maximise $L(\theta)$ par rapport à chacun des paramètres $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_k)$ et de résoudre le système à k équations :

$$\frac{\partial L(\theta)}{\partial \theta_j} = 0, \text{ ou } j = 1, \dots, k \tag{2.42}$$

$$L(X, \phi, \theta, \sigma^2) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{T/2}} \frac{1}{\sqrt{|\Omega(\theta, \phi)|}} \exp\left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} X^T \Omega^{-1}(\theta, \phi) X \right\} \tag{2.43}$$

$L(X, \phi, \theta, \sigma^2)$: fonction de vraisemblance.

Ou $X = (X_1, \dots, X_d)^T$.

σ^2 : est la variance.

$\Omega(\theta, \phi) \in \mathbb{R}^{T \times T}$ est la matrice de variance-covariance de X .

$\theta = (\theta_1, \dots, \theta_q), \phi = (\phi_1, \dots, \phi_p)$: les paramètre des processus .

Le log-vraisemblance est alors donnée par :

$$\ln L(X, \phi, \theta, \sigma^2) = -\frac{T}{2} \ln(2\pi) - \frac{T}{2} \ln \sigma^2 - \frac{T}{2} \ln(\det(\Omega(\theta, \phi))) - \frac{1}{2\sigma^2} X^T \Omega^{-1}(\theta, \phi) X \tag{2.44}$$

Le problème est que cette log-vraisemblance est difficile à calculer et donc à maximiser à cause de $(\det \Omega)$ et de Ω^{-1} (matrice $T \times T$) [18].

La maximisation est réalisée à l'aide d'algorithme d'optimisation non linéaire (Newton raphson) [30].

2.4.3 Validation

Cette étape consiste à s'assurer que le modèle retenu décrit bien la série d'observations. Par exemple, on peut vérifier si la présence ou non d'une tendance dans le modèle est justifiée considérant la représentation graphique de la série. Aussi, il convient de s'assurer que les résidus ne possèdent pas d'information permettant de prétendre à un meilleur modèle. Pour cela, il s'agit de vérifier les trois conditions d'un processus bruit blanc à l'aide de tests appropriés. Dans cette optique, regardons maintenant quelques tests permettant de vérifier certaines de ces conditions.

2.4.3.1 Test Sur Les Résidus

Dans l'analyse des séries chronologiques par processus, le bruit blanc joue un rôle particulier puisque c'est un processus sans aucune structure. Le test préliminaire concerne ce processus. La première hypothèse testée est :

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_h = 0 \quad (2.45)$$

Contre H_1 : il existe au moins ρ_i significativement différent de 0 pour effectuer ces tests, on recourt à la statistique Q de Box-Pierre ou Q' de Ljung-Box qui sont données par :

$$Q = \sum_{h=1}^h \hat{\rho}_h^2 \quad (2.46)$$

$$Q = T(T+2) \sum_{h=1}^h \frac{\hat{\rho}_h^2}{T-j} \quad (2.47)$$

Telle que :

T : le nombre d'observation.

h : le nombre de retards.

$\hat{\rho}_h$: Auto corrélation empirique d'ordre h.

2.4.3.2 Choix Du Modèle

On peut utiliser des critères de choix de modèle, couramment appelé critères d'information. Les plus couramment utilisés sont le critère d'Akaike :

$$AIC = -2\log L + 2(p + q) \quad (2.48)$$

Et le critère de Schwarz :

$$BIC = -2\log L + (p + q)\log T \quad (2.49)$$

Telle que : $\log L$ est la log-vraisemblance du modèle estimé, on choisit alors le modèle et p et q qui minimisent ces critères.

2.4.4 Prédiction

La dernière étape de la modélisation est la prédiction de la valeur future d'une série temporelle en appliquant le théorème de Wold (1948) et en considérant la forme MA (∞) correspondante [22]. :

$$\hat{X}_{T+h} = \sum_{j=0}^{\infty} \Psi_j \varepsilon_{T+h-j} \quad (2.50)$$

X_{T+h} : Observations au temps $T+h$

T : est la taille de l'échantillon des observations X_t

H : l'horizon de la prédiction.

Alors que la prévision \hat{X}_{T+h} peut aussi s'écrire sous la forme d'une espérance conditionnelle :

$$\hat{X}_{T+h} = E(X_{T+h} | X_{T+h-1}, X_{T+h-2}, \dots) = E(X_{T+h} | \varepsilon_{T+h-1}, \varepsilon_{T+h-2}, \dots) \quad (2.51)$$

L'erreur de prédiction est déterminée par :

$$X_{T+h} - \hat{X}_{T+h} = \sum_{j=0}^{h-1} \Psi_j \varepsilon_{T+h-j} = \varepsilon_{T+h} \quad (2.52)$$

2.5 CONCLUSION

Le but de ce chapitre, est de présenter les techniques pour modéliser les séries temporelles, c'est-à-dire de fournir un modèle probabilistique et analytique permettant de représenter les données .une fois qu'un modèle satisfaisant a été trouvé, il devient alors possible d'utiliser ce modèle pour prévoir les valeurs futures des observations, c'est à-dire prédire dans les valeurs futurs de la série temporelle.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Résumé

Ce chapitre sera consacré entièrement à la présentation des différents résultats que nous avons obtenus en appliquant les différentes méthodes de prédiction d'énergie électrique basée sur les modèles autorégressives (*AR*, *MA*, *ARMA*, *ARIMA* et *SARIMA*). L'accent sera mis sur le choix des ordres (p , d , q) de ces modèles par la présentation graphique d'ACF et le PACF de chaque modèle.

SOMMAIRE

- 3.1 INTRODUCTION
- 3.2 NATURE DES DONNEES
- 3.3 CRITERES D'EVALUATIONS
- 3.4 DISCUSSIONS DES RESULTATS
- 3.5 CONCLUSION

3.1 INTRODUCTION

L'objectif de ce Chapitre est de présenter les résultats expérimentaux obtenus dans le présent travail et de les commenter tout en menant une étude comparative avec les résultats des méthodes de la prédiction autorégressives selon les critères d'évaluation adoptés. Nous illustrons l'intérêt de la technique développée pour la prédiction d'énergie électrique. Les travaux de ce mémoire ont essentiellement consacrés à étudier les méthodes de prédiction d'énergie électrique mais également a comparer les différents prédicteurs. Plus précisément, l'accent est mis sur les méthodes de box Jenkins basées sur des mesures statistiques. Aussi, le but de ce Chapitre est d'illustrer les performances des méthodes présentées dans ce manuscrit. Puis, nous formalisons les critères de qualité de prédiction. Trois critères ont été calculés pour justifier la validité de nos approches. Le premier critère est le coefficient de détermination (R^2) et le deuxième est la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE), le dernier critère est MAPE plus l'appréciation visuelle de la qualité de prédiction.

3.2 NATURE DES DONNEES

Nous avons acquis toutes les données relative a la consommation d'énergie électrique dans la ville de M'sila, de la période entre janvier et mars 2015, de la production d'électricité SPE fondation qui est une branchede la Société nationale pour l'électricité et le gaz (Sonelgaz).

3.3 CRITERES D'EVALUATIONS

Une fois que l'on a les résultats, il nous reste encore à estimer la validité, ou la qualité extrinsèque de ces méthodes.

Cette section est consacrée à la présentation de quatre méthodes de validation des résultats. Certaines méthodes permettent d'obtenir un résultat chiffré, d'autres sont basées sur une validation visuelle de la prédiction. Étant donné la grande diversité des algorithmes de prédiction, il est souvent difficile de les comparer quantitativement.

Enfin notons bien que le meilleur moyen de comparer plusieurs techniques de prédiction est de faire estimer visuellement par un expert les résultats obtenus. Nous avons utilisée quatre critères d'évaluation qui sont la racine'erreur quadratique moyenne (RMSE), leCoefficient de Détermination (R^2), la valeur Absolue d'Erreur de Bais Moyen (MABE) et l'erreur Moyenne Absolue a Pourcentage (MAPE). Cesrapports sont définis respectivement comme suit :

- *l'erreur quadratique moyenne (MSE : Mean Square Error)* est trèsutile pour comparer plusieurs estimateurs, notamment lorsque l'un d'eux est biaisé, on peut

effectivement exprimer l'erreur quadratique moyenne en fonction du biais (B) et de la variance (δ^2), on a ainsi :

$$MSE = E[(\hat{x} - x)^2] = E(\hat{x} - x) + E[(\hat{x} - E(\hat{x}))^2]B(\hat{x}) + \delta^2(\hat{x})$$

$$MSE = \frac{1}{N_f} \sum_{t=1}^{N_f} (y_t - \hat{y}_t)^2 . \quad (3.1)$$

- ***l'erreur moyenne de pourcentage absolue (MAPE: Mean Absolute Percentage Error)*** est une quantité souvent utilisé pour mesurer l'écart des prédictions et des mesures. Sa formule est donnée par :

$$MAPE = (|x - \hat{x}|) = \text{mean}[abs(y_t - y_f) / \text{mean}[abs(y_t)]] \quad (3.2)$$

$$MAPE = \frac{1}{N_f} \sum_{t=1}^{N_f} \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right| \times 100 \quad (3.3)$$

- ***le Coefficient de Détermination (R^2)***

Est un indicateur qui permet de juger la qualité de régression linéaire, simple ou multiple. D'une valeur comprise entre 0 et 1, il mesure l'adéquation entre le modèle et les données observées (réelles). Dans le cadre d'une régression linéaire simple, c'est le carré du coefficient de corrélation. Le R^2 se définit comme la part de variance exprimée par rapport a la variance totale, autrement dit par [1-(somme des carrés des résidus / variance totale)]

$$R^2 = 1 - \frac{\text{var}(y_i - \hat{y}_i)}{\text{var}(y_i)} \quad (3.4)$$

- ***Le biais Moyen Absolue***

Il est défini comme étant l'écart algébrique moyen entre la simulation et la mesure, sa formule est :

$$MABE = |\langle y - \hat{y} \rangle| \quad (3.5)$$

Une valeur positive de *MABE* signifie que sur le long terme, le cumul des données de prédiction sous-estime le cumul des mesures réelles alors qu'une valeur négative signifiera l'inverse. L'utilisation de ce genre d'outil n'est pas triviale. En effet, il faut

savoir qu'une valeur nulle de *MABE*, ne signifie pas forcément que la prédiction est parfaite.

3.4 DISCUSSIONS DES RESULTATS

3.4.1 Métrologie de Box-Jenkins

La procédure de conception de la méthodologie Box-Jenkins peut être résumée comme suivant :

- Représentation graphique de la série brute [33].

- Analyse graphique du corrélogramme pour avoir une idée sur la nature de la décroissance de la fonction d'auto-corrélation vers 0. Pour une série stationnaire, la fonction d'auto-corrélation tend exponentiellement vers 0, si la décroissance vers 0 est linéaire ou lente, on dit qu'il y a persistance d'une tendance, donc la série n'est pas stationnaire[15].

- Test de racine unité ou test de stationnarité. C'est ici qu'on décide en général de la différentiation ou non de la série. Les tests principaux les plus utilisés dans la littérature sont les tests de Dickey-Fuller et de Phillips-Perron pour lesquelles l'hypothèse nulle est la non-stationnarité de la série étudiée [33].

- On arrive ici avec une série stationnaire, on différencie d fois (qui possède une racine unité d'ordre d)[14], on passe à l'analyse des corrélogrammes simple pour déterminer les ordres q (valeur du décalage pour laquelle la fonction d'autocorrélation est significative) et p (valeur du décalage pour laquelle la fonction d'autocorrélation partielle est significative).

- Estimation des paramètres de chacun des modèles admissibles.

- Validation de l'hypothèse de bruit blanc et de leurs résidus respectifs. Le test de Box-Pierce ou de Ljung-Box permet d'identifier les processus de bruit blanc. L'hypothèse nulle de ce test est la nullité de toutes les auto-corrélations de décalage inférieur ou égale à un ordre désiré que l'on précisera dans le test [33].

➤ Choix d'un modèle : le modèle finale est choisi parmi les modèles. On distingue le critère d'information. Dans la pratique, on retient le modèle ayant le plus petit AIC (Critère d'information d'Akaike) [33].

La procédure de construction de la méthode de Box-Jenkins est représentée dans la (Figure 3.1)

3.4.2 Application du Méthode de Box-Jenkins

Nous avons appliquée la méthode de Box-Jenkins basée sur les modèles AR(p),

$MA(q)$, $ARMA(p, q)$, $ARIMA(p, d, q)$ et $SARIMA(p, d, q)$ au problème de la prédiction de la consommation électrique. Les importantes étapes de cette technique sont présentés comme suit.

3.4.2.1 Représentation graphique de la série

Nous avons utilisé deux natures des données d'énergie électrique active et réactive et on va appliquer cette méthode sur ces bases des données sous Matlab.

La série 1 (Input1) représente la consommation d'énergie électrique active de la région de M'sila prise en 2015 dans les trois premiers mois (janvier, février et mars) mesurée chaque 15 minutes, comme indiquée dans la Figure 3.2

La série 2 (Input 2) représente la consommation d'énergie électrique réactive de la région de M'sila prise en 2015 dans les trois premiers mois (janvier, février et mars) mesurée chaque 15 minutes, comme indiquée dans la Figure 3.3

Nous observons que le corrélogramme simple de la série (Input1 (L=500)) et (Input2 (L=500)) diminuent linéairement vers 0, on peut dire qu'il y a persistance d'une tendance ce qui implique que la série n'est pas stationnaire.

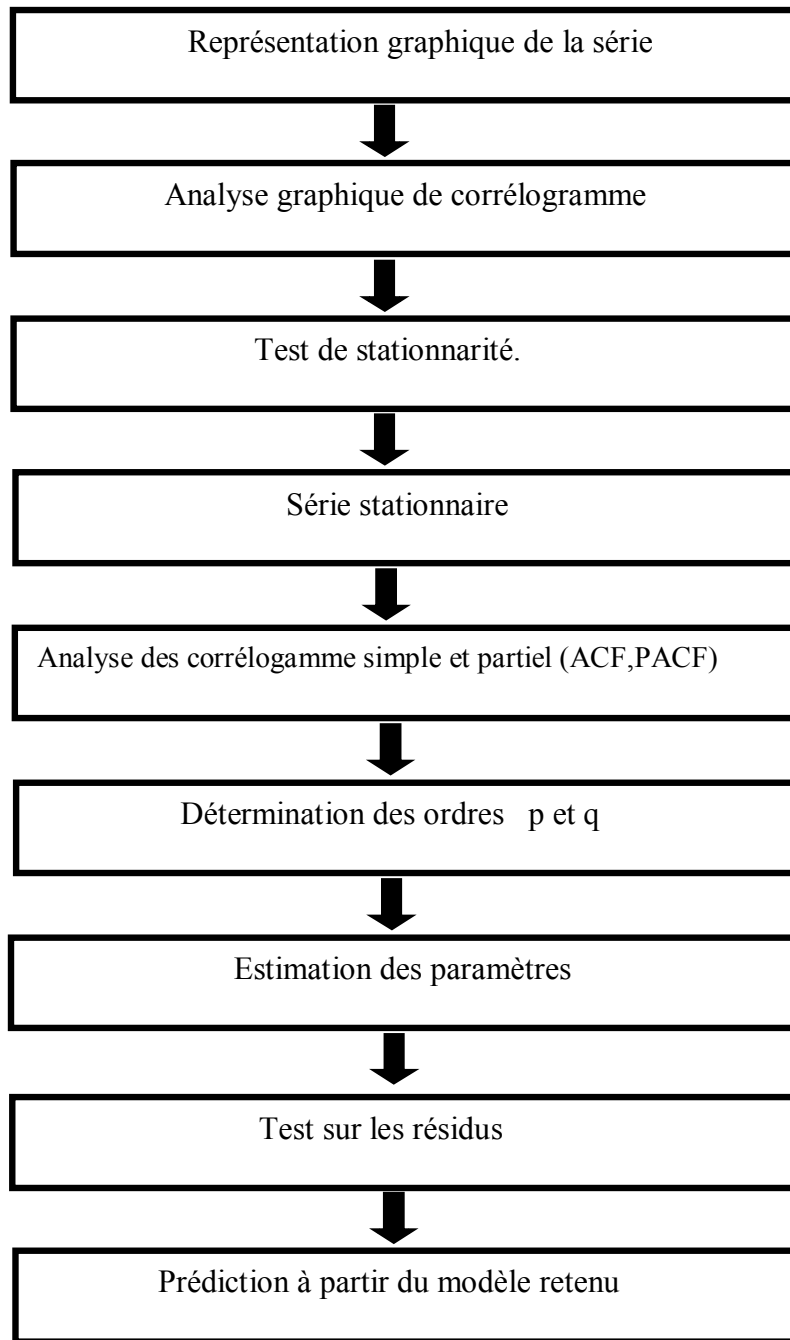


Figure 3 .1. Procédure de construction de la méthode Box-Jenkins.

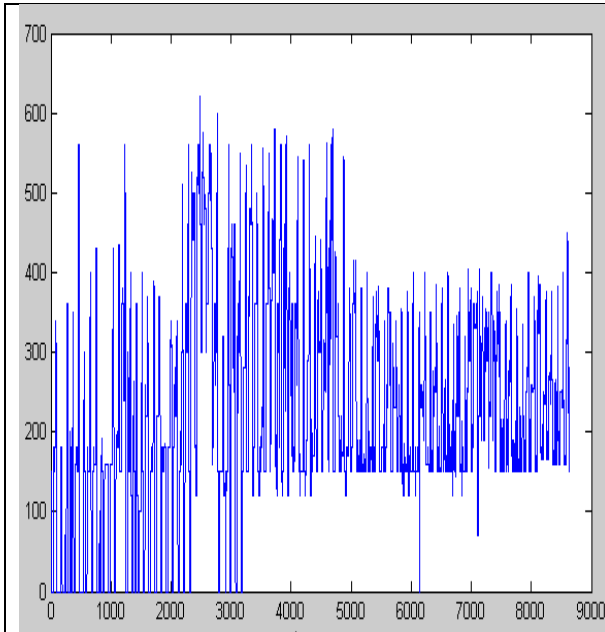


Figure 3.2 Représentation graphique de la série de consommation d'énergie électrique active.

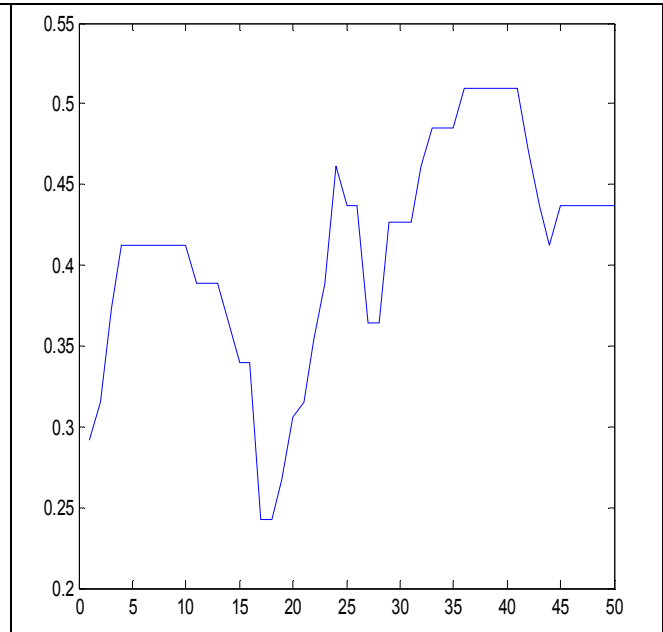


Figure 3.4 Représentation graphique de ligne L=500 ; à partir de l'énergie électrique active.

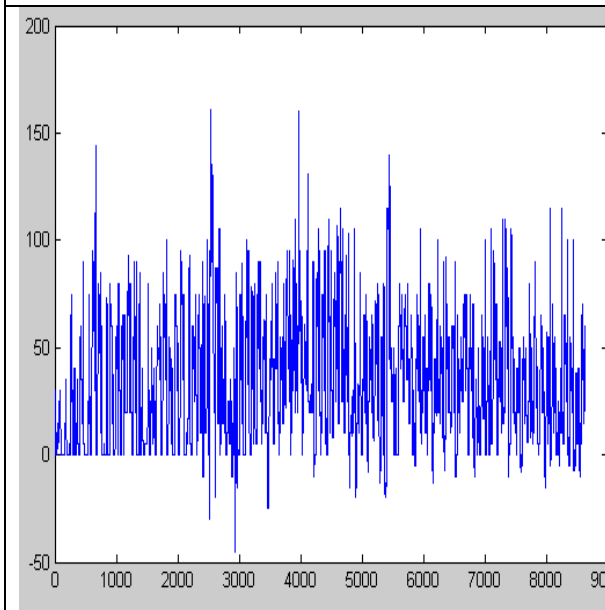


Figure 3.3 Représentation graphique de la série de consommation d'énergie électrique Réactive.

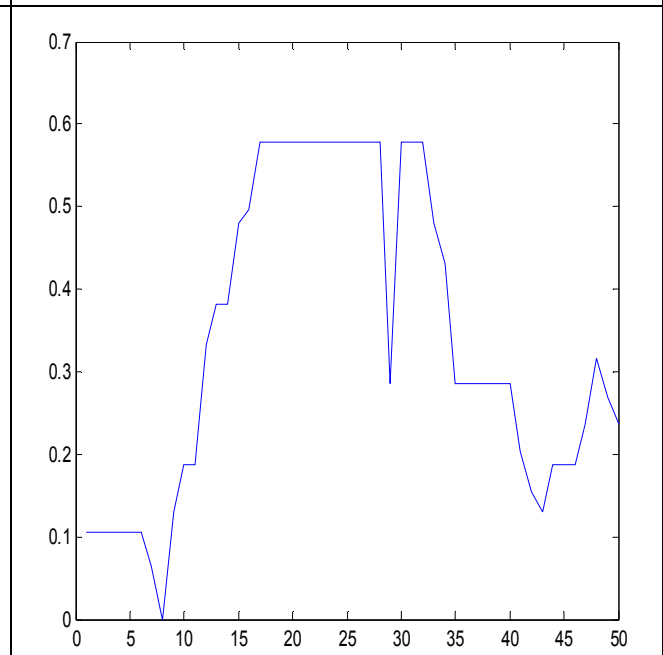


Figure 3.5 Représentation graphique de la ligne L=500 ; à partir de l'énergie électrique Réactive.

3.4.2.2 Représentation graphique d'ACF et de PACF de la série Input1 et Input2

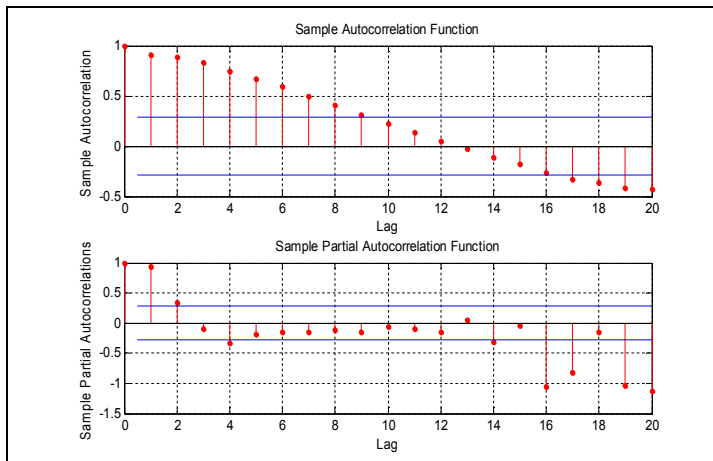


Figure 3.6 les (ACF) et (PACF) de la série (Input1)

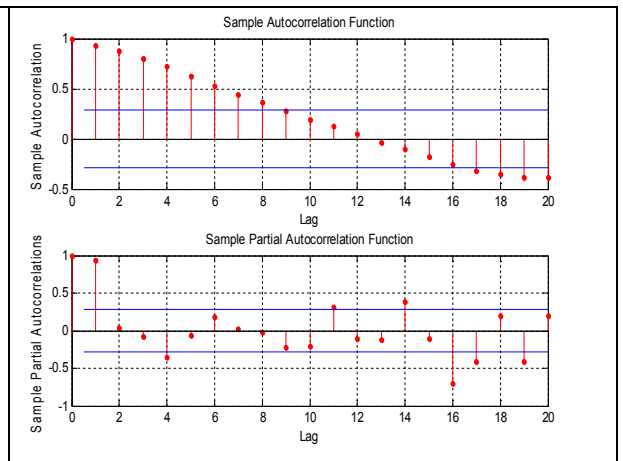


Figure 3.7 les (ACF) et (PACF) de la série (Input2)

3.4.2.3 Test de stationnarité de la série

A. Pour l'énergie active Input1 (L=500)

- ✓ nous appliquons le test de Philips-Perron. Rappelons que l'hypothèse nulle de ce test est la non stationnarité de la série étudiée.
- ✓ Le résultat du test nous donne une :
 - p-value = 0.6127
 - h=0
 - stat = -0.0934
 - c-value = -1.9467
- ✓ La meilleure façon de la rendre stationnaire est l'application de l'opérateur différence $\nabla = (1 - B)$ d'ordre d.
- ✓ Après avoir différencié notre série à l'aide de l'opérateur différence pour d=1, on applique le test de Phillips-Perron sur la nouvelle série obtenue, toujours pour comprendre si elle est stationnaire.
- ✓ Le résultat de ce dernier test nous donne:
 - p-value = 1.0000e-03
 - h=1
 - stat = -8.1803
 - c-value = -1.9468

La figure 3.9 présente la série stationnaire d'après la première dérivation c.-à-d. on trouve que l'ordre de dérivation $d=1$ des modèles ARIMA et SARIMA

B. Pour l'énergie réactive Input2 (L=500)

- ✓ nous appliquons le test de Philips-Perron Rappelons que l'hypothèse nulle de ce test est la non stationnarité de la série étudiée.
- ✓ Le résultat du test nous donne une :
 - p-value = 0.6581
 - h=0
 - stat = 0.0308
 - c-value=-1.9467
- ✓ La meilleure façon de la rendre stationnaire est l'application du l'opérateur différence $\nabla = (1 - B)$ d'ordre d.
- ✓ Après avoir différencié notre série à l'aide de l'opérateur différence pour $d=1$, on applique le test de Phillips –Perron sur la nouvelle série obtenue, toujours pour comprendre si elle est stationnaire.
- ✓ Le résultat de ce dernier test nous donne une :
 - p-value =1.0000e-03
 - h=1
 - stat = -3.5315
 - c-value = -1.9452

La figure 3.12 présente la série stationnaire d'après la première dérivation c.-à-d. on trouve que l'ordre de dérivation $d=1$ des modèles ARIMA et SARIMA.

3.4.2.4 Identification des paramètres $p, d, et q$

A. Pour l'énergie active Input1 L'estimation de p et q se fait simplement en lisant le correlogramme des fonctions d'autocorrélation et d'autocorrélation partielle. et d est l'ordre de la fonction différentielle.

- le correlogramme simple de la fonction d'autocorrélation nous fournit la valeur de q .
- le correlogramme partiel de la fonction d'autocorrélation partielle nous donne la valeur de p .

- on remarque que sur le correlogrammesimpelACF (figure 3.10) indique un seul terme significatifs $q=\{1\}$. d'après le corrélogramme partielle PACF(figure 3.11) indique (7) terme significatifs $p=\{7\}$

- choix d'un modelé final parmi les modèles, on peut utiliser le critère AIC, le meilleur des modelés qui minimise le critère AIC(figure 3.15).

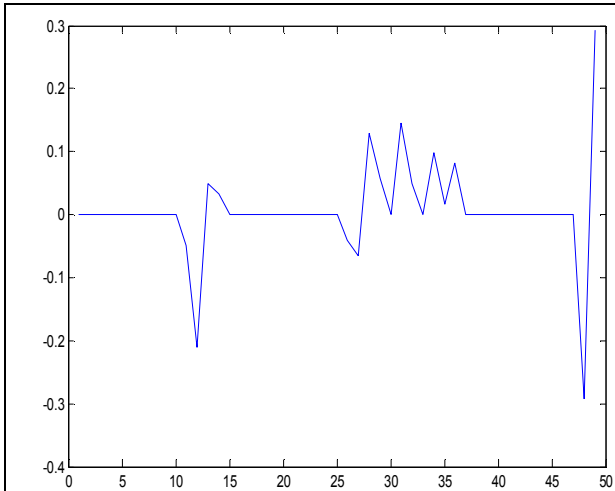


Figure3.9 la série stationnaire d'Input1

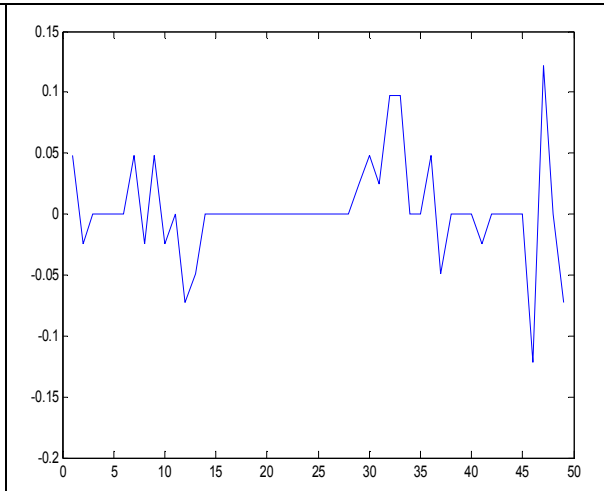


Figure3.12 la série stationnaire d'Input2

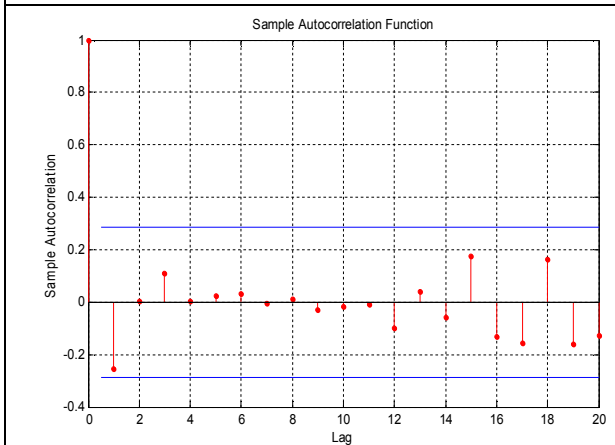


Figure3.10 ACF de la série stationnaireInput1.

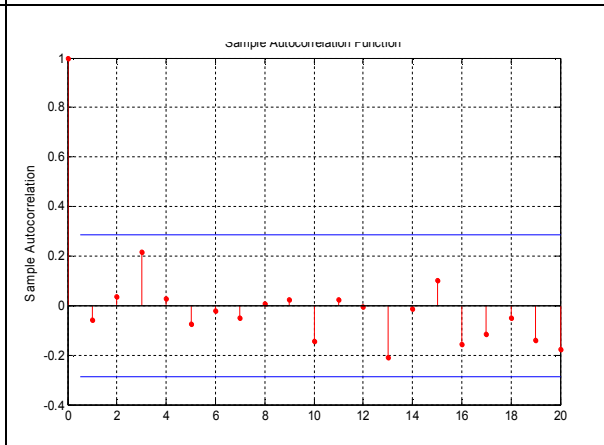


Figure3.13 ACF de la série stationnaireInput2

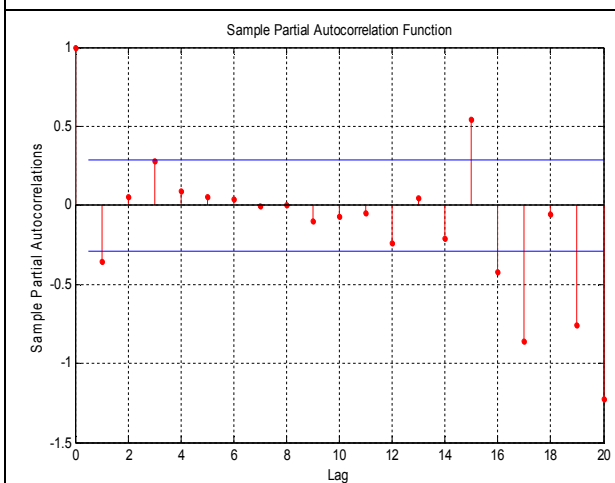


Figure3.11 PACF de la série stationnaireInput1

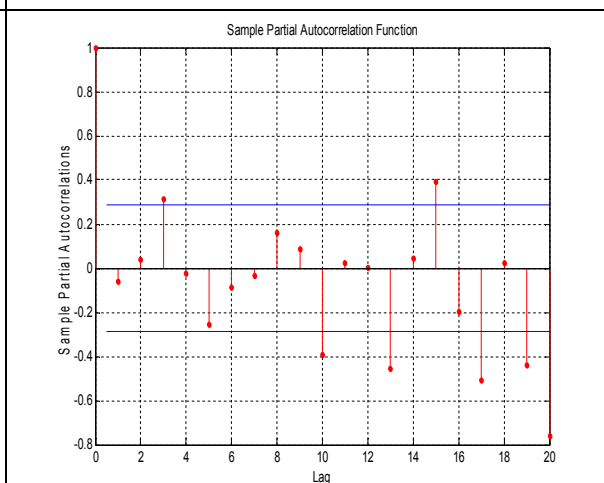


Figure3.14 PACFde la sériestationnaireInput2

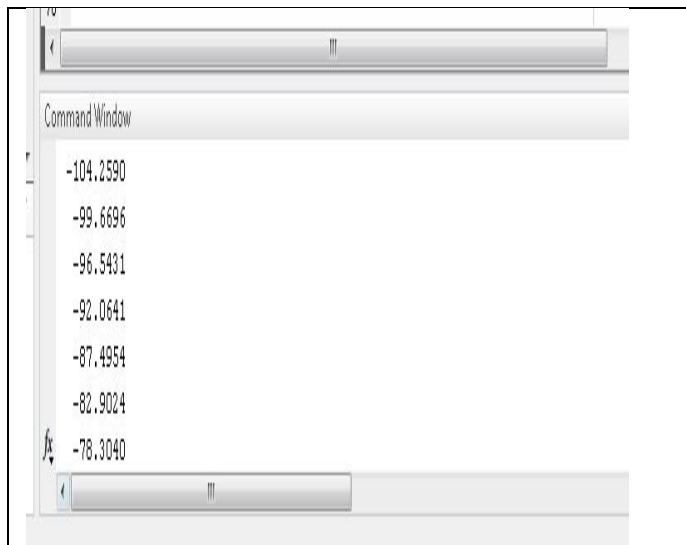


Figure3.15 Matrices d’AIC (Input1)

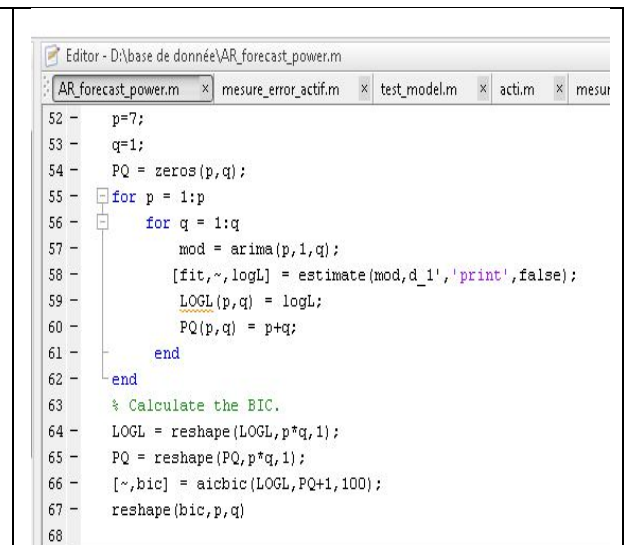


Figure3.16 Programme on Matlab

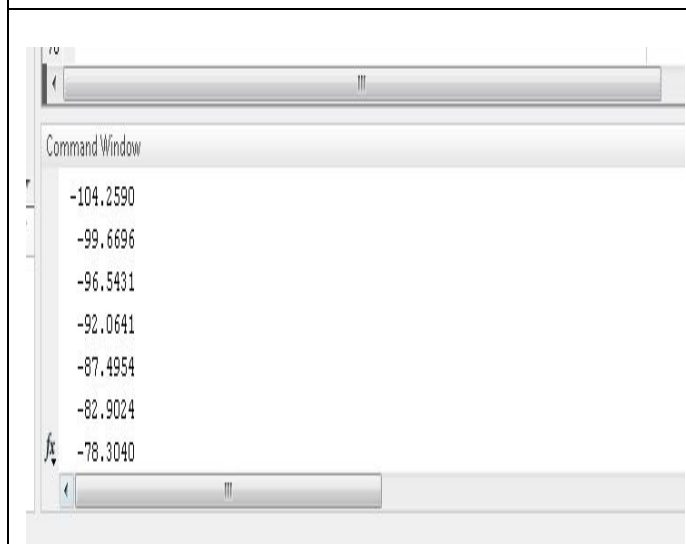


Figure3.17 Matrice d’AIC (Input2)

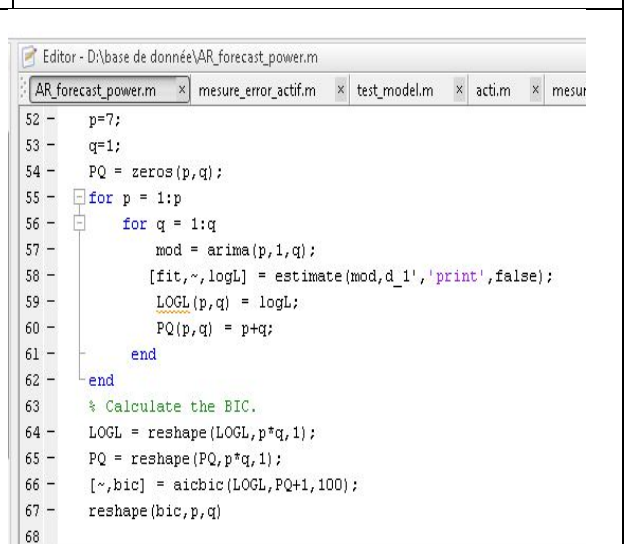


Figure3.18 Programme on Matlab

- les meilleurs modèles dans ce cas sont : AR(7) ,MA(1) ,ARMA(7 ,1),ARIMA(7,1,1) et SARIMA(7,1,1)

B. Pour l’énergie active Input2

L’estimation de p et q se fait simplement en lisant le correlogramme des fonctions d’autocorrélation et d’autocorrélation partielle. et d et l’ordre de la fonction différentielle

- le correlogramme simple de la fonction d’autocorrélation nous fournit la valeur de q .

- le correlogramme partiel de la fonction d'autocorrélation partielle nous donne la valeur de p .
- on remarque que sur le correlogramme simple ACF (figure 3.13) indique un seul terme significatifs $q = \{1\}$, tandis que le correlogramme partielle PACF (figure 3.14) indique (7) terme significatifs $p = \{7\}$
- Pour le choix du modèle final parmi les modèles, on peut utiliser le critère AIC, le meilleur des modèles est celui qui minimise le critère AIC (figure 3.17).
 - les meilleurs modèles dans ce cas sont : $AR(7)$, $MA(1)$, $ARMA(7, 1)$, $ARIMA(7, 1, 1)$ et $SARIMA(7, 1, 1)$

3.4.2.5 Estimation des paramètres

A. Pour l'énergie active Input1

- ✓ Dans ce cas le meilleur modèle $AR(7)$, les résultats d'estimation des paramètres sont reportés dans le (figure 3.19)
- ✓ Dans ce cas le meilleur modèle obtenu est $MA(1)$, les résultats d'estimation des paramètres sont reportés dans le (figure 3.20)
- ✓ Dans ce cas le meilleur modèle $ARMA(7, 1)$, les résultats d'estimation des paramètres sont reportés dans le (figure 3.21)
- ✓ Dans ce cas le meilleur modèle $ARIMA(7, 1, 1)$, les résultats d'estimation des paramètres sont reportés dans le (figure 3.22)
- ✓ Dans ce cas le meilleur modèle $SARIMA(7, 1, 1)$, les résultats d'estimation des paramètres sont reportés dans le (figure 3.23)

B. Pour l'énergie réactive Input2

- ✓ Dans ce cas le meilleur modèle est $AR(7)$, les résultats d'estimation des paramètres sont reportés dans le (figure 3.24)
- ✓ Dans ce cas le meilleur modèle obtenu est $MA(1)$, les résultats d'estimation des paramètres sont reportés dans le (figure 3.25)
- ✓ Dans ce cas le meilleur modèle est $ARMA(7, 1)$, les résultats d'estimation des paramètres sont reportés dans le (figure 3.26)
- ✓ Dans ce cas le meilleur modèle est $ARIMA(7, 1, 1)$, les résultats d'estimation des paramètres sont reportés dans le (figure 3.27)
- ✓ Dans ce cas le meilleur modèle est $SARIMA(7, 1, 1)$, les résultats d'estimation des paramètres sont reportés dans le (figure 3.28)

ARIMA(7,0,0) Model:				ARIMA(0,0,1) Model:			
-----				-----			
Conditional Probability Distribution: Gaussian				Conditional Probability Distribution: Gaussian			
Parameter	Value	Standard Error	t Statistic	Parameter	Value	Standard Error	t Statistic
-----				-----			
Constant	10	9.78185	1.0223	Constant	216.863	15.3882	14.0928
AR(1)	1.31326	0.0909236	14.4436	MA(1)	0.908387	0.0846412	10.7322
AR(2)	-0.662659	0.200922	-3.2981	Variance	1597.9	609.801	2.62037
AR(3)	0.350686	0.20029	1.75089				
AR(4)	-0.0315559	0.281979	-0.111909				
AR(5)	-0.26557	0.271115	-0.979549				
AR(6)	0.748804	0.119382	6.27232				
AR(7)	-0.492723	0.0695832	-7.08107				
Variance	283.913	28.7612	9.87141				

Figure 3.19 Estimation des paramètres AR active

Figure 3.20 Estimation des paramètres MA active

ARIMA(7,0,1) Model:				ARIMA(7,1,1) Model:			
-----				-----			
Conditional Probability Distribution: Gaussian				Conditional Probability Distribution: Gaussian			
Parameter	Value	Standard Error	t Statistic	Parameter	Value	Standard Error	t Statistic
-----				-----			
Constant	8.05621	470.969	0.0171056	Constant	8.391	6.7878	1.23619
AR(1)	0.465293	1.33839	0.347652	AR(1)	-0.505084	0.107665	-4.69125
AR(2)	0.395547	1.50492	0.262835	AR(2)	-0.142023	0.105557	-1.34547
AR(3)	-0.152548	1.92031	-0.079439	AR(3)	-0.293912	0.188804	-1.55671
AR(4)	0.597458	1.35994	0.439328	AR(4)	0.305385	0.153114	1.9945
AR(5)	-0.327067	1.95684	-0.16714	AR(5)	-0.10348	0.214931	-0.481459
AR(6)	-0.283565	1.88398	-0.150514	AR(6)	-0.232814	0.234677	-0.992061
AR(7)	0.304881	2.60313	0.117121	AR(7)	0.126366	0.187477	0.674033
MA(1)	1	1.36539	0.732389	MA(1)	1	0.118446	8.44268
Variance	5165.78	1664.49	3.10353	Variance	419.908	104.651	4.01246

Figure 3.21 Estimation des paramètres ARMA active

Figure 3.22 Estimation des paramètres ARIMA active

ARIMA(7,1,1) Model:			

Conditional Probability Distribution: Gaussian			
Parameter	Value	Standard Error	t Statistic

Constant	8.391	6.7878	1.23619
AR(1)	-0.505084	0.107665	-4.69125
AR(2)	-0.142023	0.105557	-1.34547
AR(3)	-0.293912	0.188804	-1.55671
AR(4)	0.305385	0.153114	1.9945
AR(5)	-0.10348	0.214931	-0.481459
AR(6)	-0.232814	0.234677	-0.992061
AR(7)	0.126366	0.187477	0.674033
MA(1)	1	0.118446	8.44268
Variance	419.908	104.651	4.01246

Figure 3.23 Estimation des paramètres SARIMA active

ARIMA(7,0,0) Model:

Conditional Probability Distribution: Gaussian

Parameter	Value	Standard Error	t Statistic
Constant	0.0325663	0.027992	1.16341
AR(1)	1.30667	0.156437	8.35271
AR(2)	-0.656319	0.377239	-1.7398
AR(3)	0.342273	0.399553	0.856641
AR(4)	-0.0112483	0.518353	-0.0217001
AR(5)	-0.264332	0.498194	-0.530581
AR(6)	0.741305	0.218219	3.39706
AR(7)	-0.556162	0.110524	-5.03204
Variance	0.00140545	0.000279633	5.02604

Figure 3.24 Estimation des paramètres AR réactive

ARIMA(0,0,1) Model:

Conditional Probability Distribution: Gaussian

Parameter	Value	Standard Error	t Statistic
Constant	0	Fixed	Fixed
MA(1)	1	0.0364103	27.4647
Variance	0.0316386	0.0120329	2.62933

Figure 3.25 Estimation des paramètres MA réactive

ARIMA(7,0,1) Model:

Conditional Probability Distribution: Gaussian

Parameter	Value	Standard Error	t Statistic
Constant	0.0174073	0.0688373	0.252876
AR(1)	0.462908	0.109642	4.22197
AR(2)	0.396341	0.128265	3.09001
AR(3)	-0.155831	0.165183	-0.943383
AR(4)	0.602299	0.120146	5.01306
AR(5)	-0.315242	0.165277	-1.90735
AR(6)	-0.296861	0.170354	-1.74261
AR(7)	0.292671	0.239325	1.2229
MA(1)	1	0.117601	8.5033
Variance	0.00112486	0.000257702	4.36497

Figure 3.26 Estimation des paramètres ARMA ré active

ARIMA(7,1,1) Model:

Conditional Probability Distribution: Gaussian

Parameter	Value	Standard Error	t Statistic
Constant	0.00880094	0.0173526	0.507183
AR(1)	-0.398135	0.192318	-2.0702
AR(2)	-0.206215	0.136401	-1.51183
AR(3)	-0.466894	0.152847	-3.05466
AR(4)	0.304696	0.178716	1.70492
AR(5)	0.0777652	0.214174	0.363094
AR(6)	-0.133816	0.205142	-0.652308
AR(7)	0.158623	0.162469	0.976328
MA(1)	1	0.100117	9.98833
Variance	0.00116723	0.000287092	4.06569

Figure 3.27 Estimation des paramètres ARIMA réactive

ARIMA(7,1,1) Model:

Conditional Probability Distribution: Gaussian

Parameter	Value	Standard Error	t Statistic
Constant	0.00880094	0.0173526	0.507183
AR(1)	-0.398135	0.192318	-2.0702
AR(2)	-0.206215	0.136401	-1.51183
AR(3)	-0.466894	0.152847	-3.05466
AR(4)	0.304696	0.178716	1.70492
AR(5)	0.0777652	0.214174	0.363094
AR(6)	-0.133816	0.205142	-0.652308
AR(7)	0.158623	0.162469	0.976328
MA(1)	1	0.100117	9.98833
Variance	0.00116723	0.000287092	4.06569

Figure 3.28 Estimation des paramètres SARIMA réactive

3.4.2.6 Validation des modèles

A. Pour l'énergie active Input1

➤ Validation du modèle AR (7)

Nous avons appliqués le test de Ljung-Box, l'hypothèse nulle sur les résidus est un bruit ce qui donne une P-valeur de 0.6103, seul 5% dans ce cas des résidus sont des bruits blancs.

La représentation du correlogramme simple des résidus est montrée dans la figure (3.29). On remarque sur le correlogramme simple des résidus que tous les pics sont à l'intérieur de la bande de confiance, donc les résidus sont des bruits blancs.

➤ **Validation du modèle *MA (1)***

Nous avons appliqués le test de Ljung-Box l'hypothèse nulle sur les résidus est un bruit ce qui donne une P-valeur de 0.8159, seul 5% dans ce cas les résidus sont des bruits blancs.

La représentation du correlogramme simple des résidus est montrée dans la figure (3.30). On remarque sur le correlogramme simple des résidus que tous les pics sont à l'intérieur de la bande de confiance, donc, les résidus sont des bruits blancs.

➤ **Validation du modèle *ARMA (7,1)***

Nous avons appliqués le test de Ljung-Box l'hypothèse nulle sur les résidus est un bruit ce qui donne une P-valeur de 0.6034, seul 5% dans ce cas des résidus sont des bruits blancs.

La représentation du correlogramme simple des résidus est montrée dans la figure (3.31). On remarque sur le correlogramme simple des résidus que tous les pics sont à l'intérieur de la bande de confiance donc les résidus sont des bruits blancs.

➤ **Validation du modèle *ARIMA (7,1,1)***

Nous avons appliqués le test de Ljung-Box l'hypothèse nulle sur les résidus est un bruit ce qui donne une P-valeur de 0.8434, seul 5% dans ce cas des résidus sont des bruits blancs.

La représentation du correlogramme simple des résidus est montrée dans la figure (3.32) On remarque sur le correlogramme simple des résidus que tous les pics sont à l'intérieur de la bande de confiance donc les résidus sont des bruits blancs.

➤ **Validation du modèle *SARIMA (7, 1,1)***

Nous avons appliqués le test de Ljung-Box l'hypothèse nulle sur les résidus est un bruit ce qui donne une P-valeur de 0.7134, seul 5% dans ce cas les résidus sont des bruits blancs.

La représentation du correlogramme simple des résidus est montrée dans la figure (3.33) On remarque sur le correlogramme simple des résidus que tous les pics sont à l'intérieur de la bande de confiance donc les résidus sont des bruits blanc.

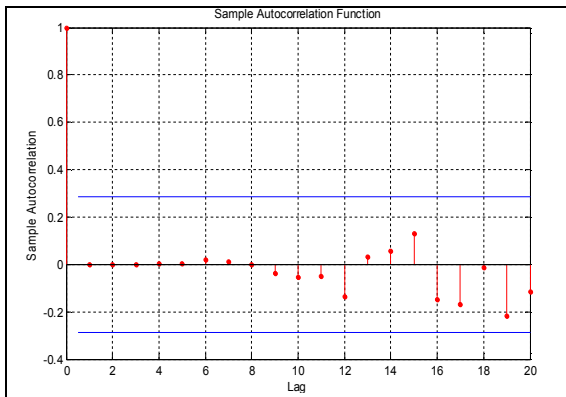


Figure 3.29Corrélogrammesimple des résidus du modèle AR(7)

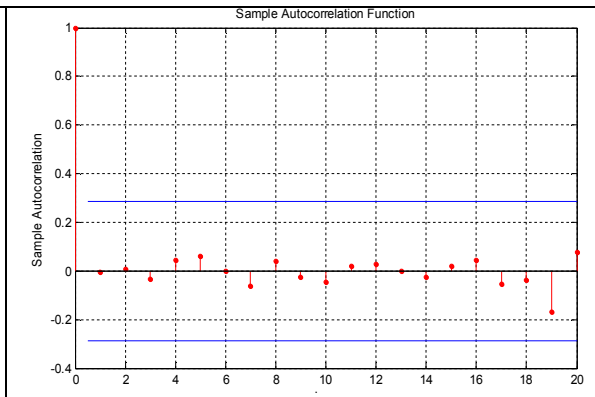


Figure 3.30Corrélogrammesimple des résidus du modèle MA(1)

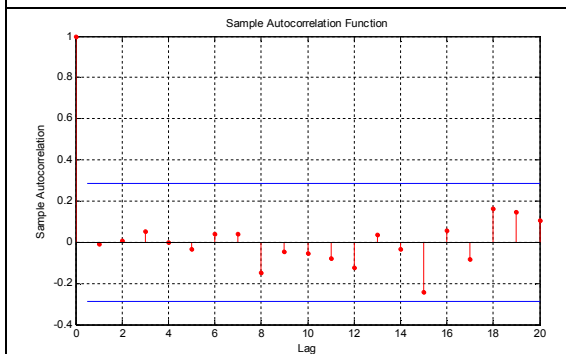


Figure3.31 Corrélogrammesimple des résidus du modèle *ARMA(7,1)*

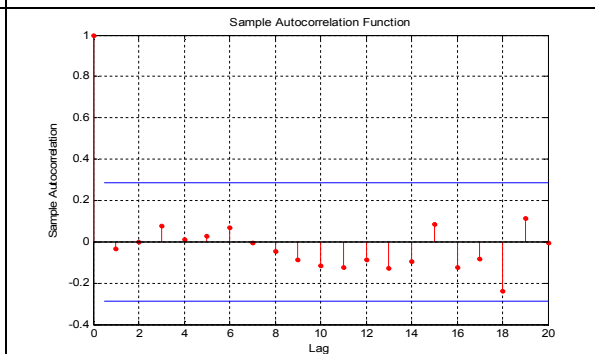


Figure3.32Corrélogrammesimple des résidus du modèle *ARIMA(7,1,1)*

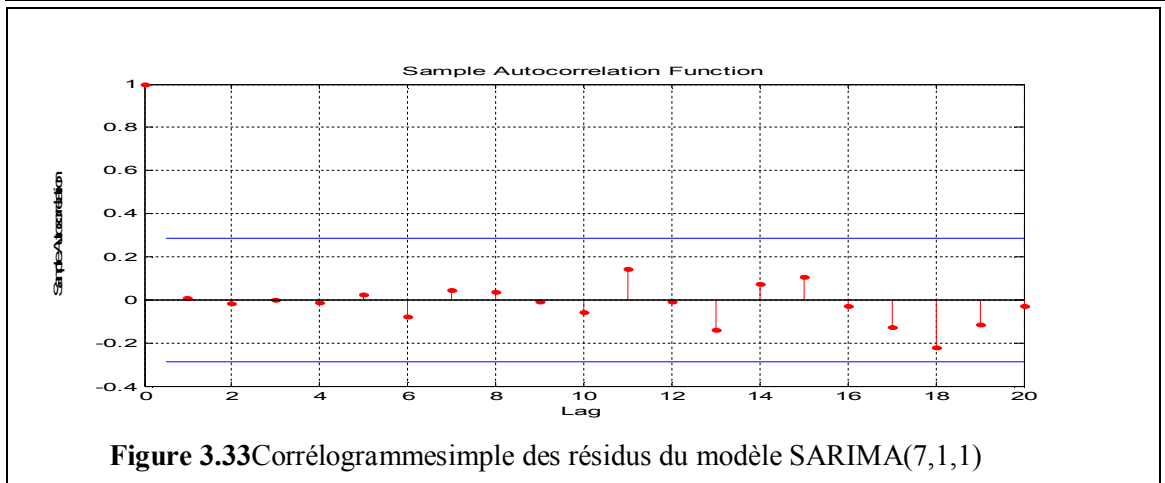


Figure 3.33Corrélogrammesimple des résidus du modèle *SARIMA(7,1,1)*

B. Pour l'énergie réactive $Input_2$

➤ Validation du modèle $AR(7)$

On applique le test de Ljung-Box l'hypothèse nulle sur les résidus est un bruit ce qui donne une P-valeur de 0.9534, seul 5% dans ce cas des résidus sont des bruits blancs.

La représentation du correlogramme simple des résidus est montrée dans la figure (3.34) On remarque sur le correlogramme simple des résidus que tous les pics sont à l'intérieur de la bande de confiance donc les résidus sont des bruits blancs.

➤ Validation du modèle $MA(1)$

On applique le test de Ljung-Box l'hypothèse nulle sur les résidus est un bruit ce qui donne une P-valeur de 0.9306, seul 5% dans ce cas les résidus sont des bruits blancs.

La représentation du correlogramme simple des résidus est montrée dans la figure (3.35) On remarque sur le correlogramme simple des résidus que tous les pics sont à l'intérieur de la bande de confiance donc les résidus sont des bruits blancs.

➤ Validation du modèle $ARMA(7,1)$

On applique le test de Ljung-Box l'hypothèse nulle sur les résidus donne un bruit ce qui donne une P-valeur de 0.7410, seul 5% dans ce cas des résidus sont des bruits blancs.

La représentation du correlogramme simple des résidus est montrée dans la figure (3.36) On remarque sur le correlogramme simple des résidus que tous les pics sont à l'intérieur de la bande de confiance donc les résidus sont des bruits blancs.

➤ Validation du modèle $ARIMA(7,1,1)$

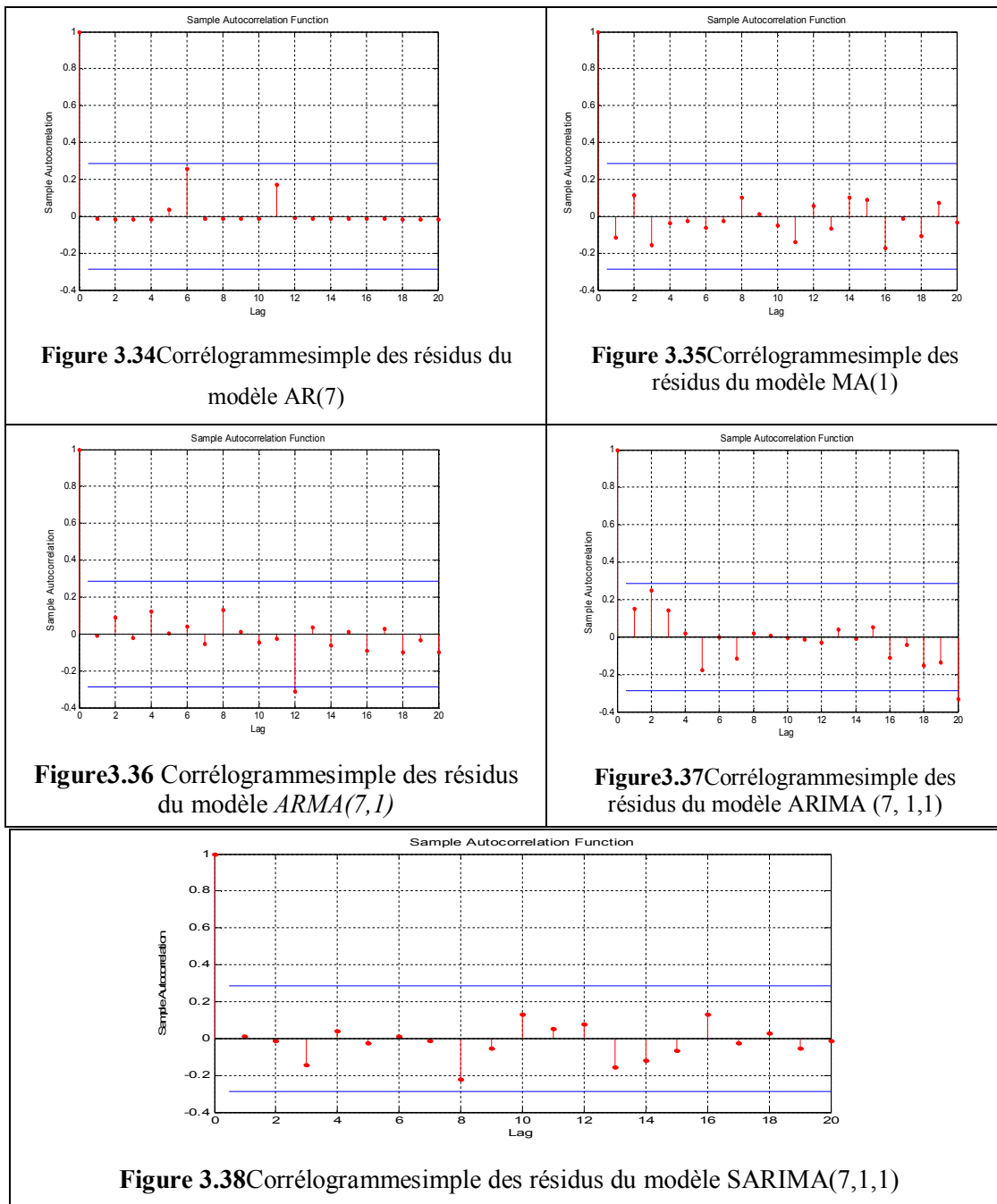
On applique le test de Ljung-Box l'hypothèse nulle sur les résidus est un bruit ce qui donne une P-valeur de 0.9612, seul 5% dans ce cas des résidus sont des bruits blancs.

La représentation du correlogramme simple des résidus est montrée dans la figure (3.37) On remarque sur le correlogramme simple des résidus que tous les pics sont à l'intérieur de la bande de confiance donc les résidus sont des bruits blancs.

➤ Validation du modèle $SARIMA(7, 1,1)$

On applique le test de Ljung-Box l'hypothèse nulle sur les résidus est un bruit ce qui donne une P-valeur de 0.8257, seul 5% dans ce cas des résidus sont des blancs.

La représentation du correlogramme simple des résidus est montrée dans la figure (3.38) On remarque sur le correlogramme simple des résidus que tous les pics sont à l'intérieur de la bande de confiance donc les résidus sont des bruits blancs.



3.4.2.7 La Prédiction avec les différents modèles

A. l'énergie active (Input1)

➤ Prédiction avec le modèle AR(7)

D'après la méthode de Box-Jenkins, nous pouvons conclure que le modèle convenable est AR(7), la figure (3.39) donne la prédiction de la consommation d'énergie électrique active.

➤ **Prédiction avec le modèle $MA(1)$**

D'après la méthode de Box-Jenkins, nous pouvons conclure que le modèle choisi est $MA(1)$, la figure (3.40) donne la prédiction de la consommation d'énergie électrique active .

➤ **Prédiction avec le modèle $ARMA(7,1)$**

D'après la méthode de Box-Jenkins, nous pouvons conclure que le modèle choisi est $ARMA(7,1)$, la figure (3. 41) donne la prédiction de la consommation d'énergie électrique active.

➤ **Prédiction avec le modèle $ARIMA(7,1,1)$**

D'après la méthode de Box-Jenkins, nous pouvons conclure que le modèle choisi est $ARIMA(7, 1,1)$ la figure (3. 42) donne la prédiction de la consommation d'énergie électrique active

➤ **Prédiction du modèle $SARIMA(7,1,1)$**

D'après la méthode de Box-Jenkins, nous pouvons conclure que le modèle choisi est $SARIMA(7, 1,1)$, la figure (3. 43) donne la prédiction de la consommation d'énergie électrique active.

Tableau 3. 1 Résultats d'erreurs de prédiction de l'énergie active

model	MSE	MAPE	MABE	R^2
AR	0.0801	0.1117	0.0452	0.8176
MA	0.1940	0.5316	0.1667	0.5838
ARMA	0.1525	0.3514	0.1423	0.9061
ARIMA	0.0430	0.0515	0.0209	0.9472
SARIMA	0.1068	0.2367	0.0959	0.9125

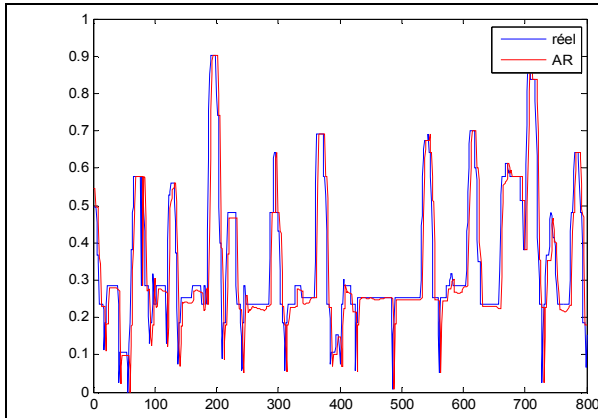


Figure 3.39 Prédiction du modèle $AR(7)$ Active

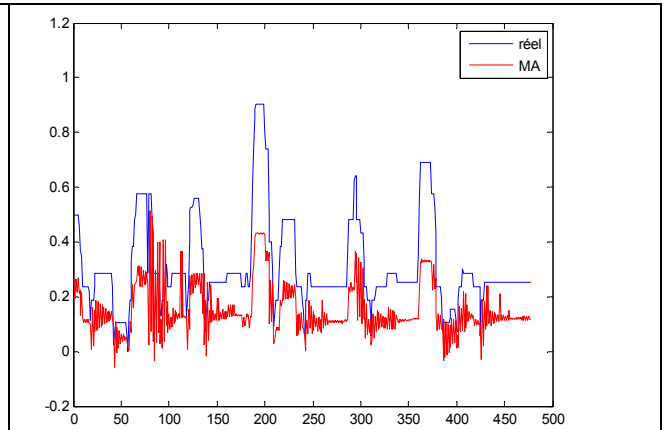


Figure 3.40 Prédiction du modèle $MA(1)$ Active

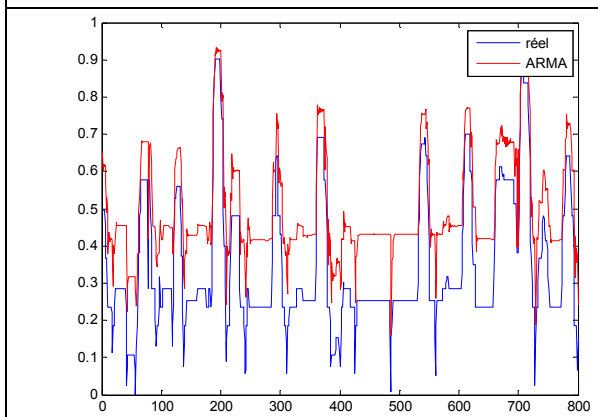


Figure 3.41 Prédiction du modèle $ARMA(7,1)$ Active

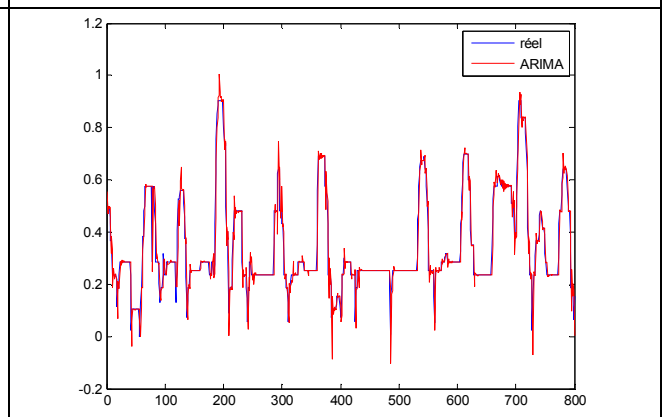


Figure 3.42 Prédiction du modèle $ARIMA(7,1,1)$ Active

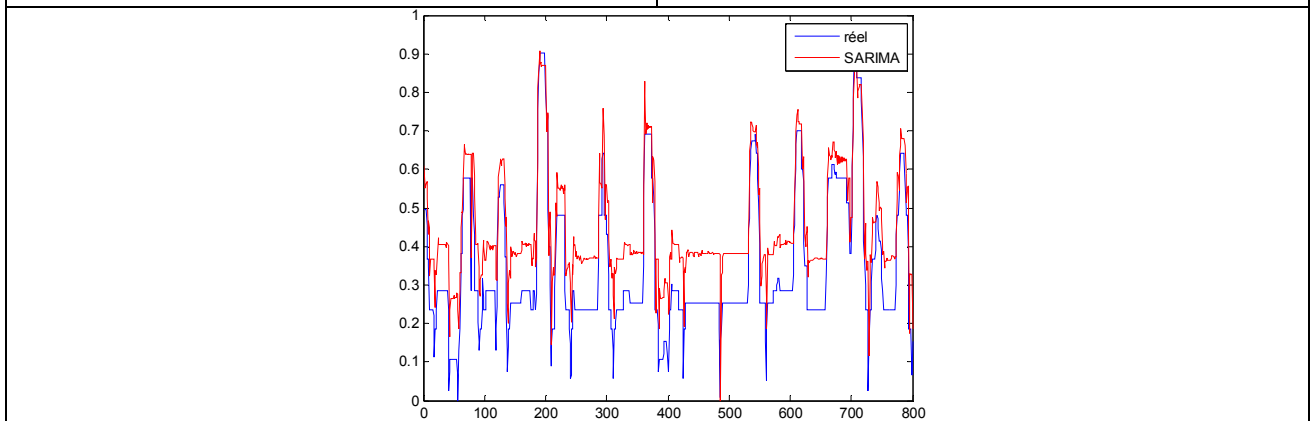


Figure 3.43 Prédiction du modèle $SARIMA(7,1,1)$ Active

B. l'énergie réactive (Input2)

➤ Prédiction du modèle $AR(7)$

D'après la méthode de Box-Jenkins, nous pouvons conclure que le modèle convenable est $AR(7)$, la figure (3.44) donne la prédiction de la consommation d'énergie électrique réactive.

➤ Prédiction du modèle $MA(1)$

D'après la méthode de Box-Jenkins, nous pouvons conclure que le modèle choisi est $MA(1)$, la figure (3.45) donne la prédiction de la consommation d'énergie électrique réactive.

➤ Prédiction du modèle $ARMA(7,1)$

D'après la méthode de Box-Jenkins, nous pouvons conclure que le modèle choisi est $ARMA(7,1)$, la figure (3.46) donne la prédiction de la consommation d'énergie électrique réactive.

➤ Prédiction du modèle $ARIMA(7,1,1)$

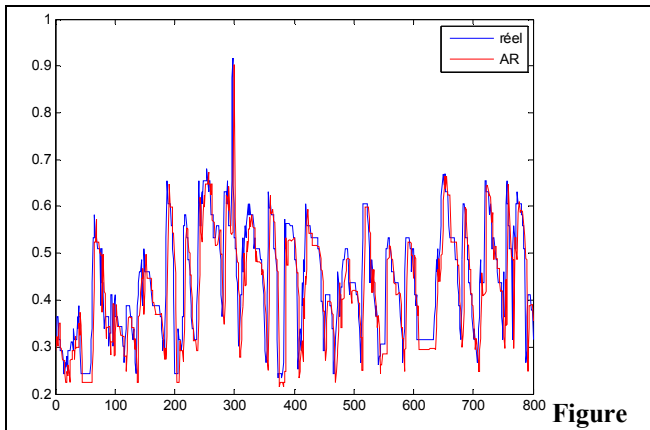
D'après la méthode de Box-Jenkins, nous pouvons conclure que le modèle choisi est $ARIMA(7,1,1)$, la figure (3.47) donne la prédiction de la consommation d'énergie électrique réactive.

➤ Prédiction du modèle $SARIMA(7,1,1)$

D'après la méthode de Box-Jenkins, nous pouvons conclure que le modèle choisi est $SARIMA(7,1,1)$, la figure (3.48) donne la prédiction de la consommation d'énergie électrique réactive.

Tableau 3. 2 Résultats d'erreurs de prédiction de l'énergie réactive

model	MSE	MAPE	MABE	R^2
AR	0.0790	0.1235	0.0511	0.6769
MA	0.2366	0.5334	0.2204	0.5224
ARMA	0.0518	0.0692	0.0286	0.8593
ARIMA	0.0528	0.0689	0.0285	0.8487
SARIMA	0.0584	0.0901	0.0372	0.8457



3.44 Prédiction du modèle $AR(7)$ Réactive

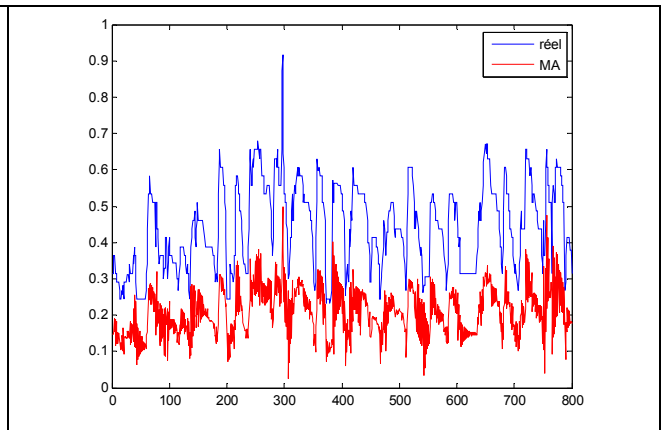


Figure 3.45 Prédiction du modèle $MA(1)$ Réactive

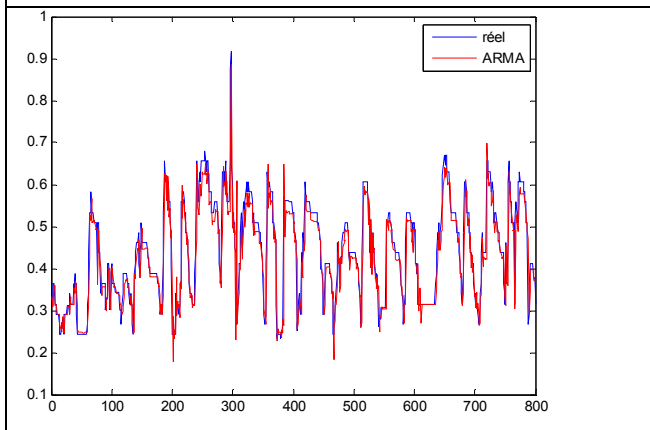


Figure 3.46 Prédiction du modèle $ARMA(7,1)$ Réactive

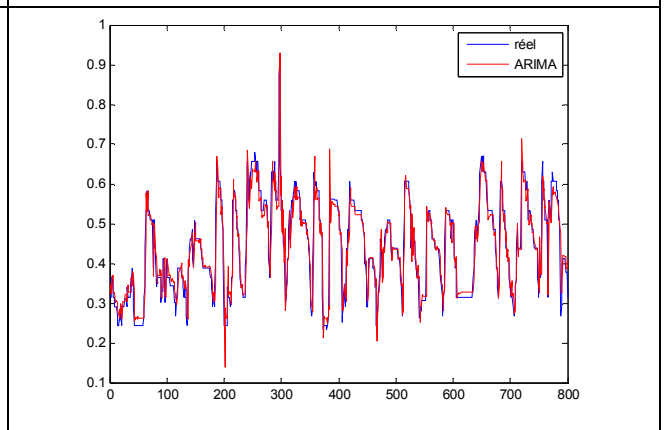


Figure 3.47 Prédiction du modèle $ARIMA(7,1,1)$ Réactive

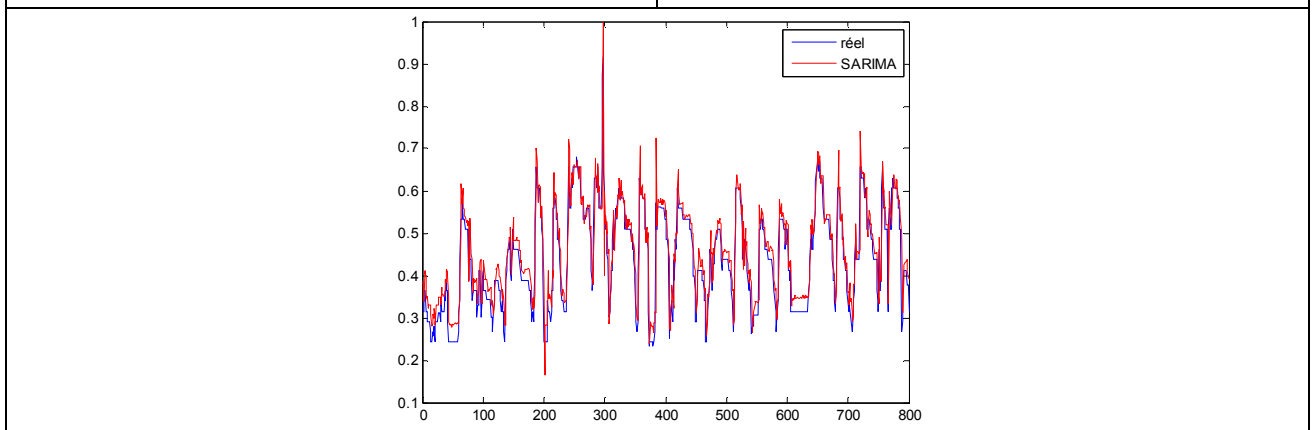


Figure 3.48 Prédiction du modèle $SARIMA(7,1,1)$ Réactive

3.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons montré l'utilisation de la méthode de Box-Jenkins pour construire les différents modèles *AR*, *MA*, *ARMA*, *ARIMA*, *SARIMA*, qui peuvent être utilisés pour résoudre le problème de la prédiction de la consommation de l'énergie électrique. Cela est fait en utilisant deux séries temporelle : a) énergie active et 2) énergie réactive. Les résultats de nos modèles ont été toujours dans l'intervalle de confiances des méthodes proposées.

CONCLUSION GENERALE

Résumé

Dans le cette dernière partie, nous présenterons un bilan général de notre étude et les principales perspectives pour les futurs travaux.

SOMMAIRE

CONCLUSION

PERSPECTIVES ET FUTURS TRAVAUX

CONCLUSION

En guise de conclusion générale, nous allons tenter d'établir une synthèse globale sur le travail qui a été réalisé dans ce mémoire. L'objectif principal de ce mémoire est de développer des modèles statistiques qui peuvent être utilisés pour prédire de la consommation électrique d'une série temporelle réelle, qui sera valable pour des prédictions futures.

Les résultats de cette étude confirment la capacité des modèles autorégressives dans le domaine de la prédiction des séries temporelles, ce qui est vérifié par les critères de performances utilisés et par les courbes réelles et prédites.

L'utilisation de la méthode de Box-Jenkins pour construire les différents modèles : *AR*, *MA*, *ARMA*, *ARIMA*, *SARIMA* qui peuvent être utilisés pour résoudre le problème de la prédiction de la consommation électrique. Cela est fait en utilisant deux séries temporelles réelles (énergie Active/énergie Réactive) issues de la ville de M'sila.

Les résultats de nos modèles ont été toujours acceptables ce qui est représenté par les courbes comparatives entre la valeur réelle et celle prédite.

PERSPECTIVES ET FUTURES TRAVAUX

Les principaux objectifs à atteindre dans une perspective à court terme de notre étude seront:

1. Prédire la consommation électrique en utilisant des méthodes d'intelligence artificielle (réseau de neurones, méthode à noyaux, ... etc.),
2. Étendre cette étude à la prédiction d'autres paramètres météorologiques, ou bien des séries appartenant à d'autres domaines (finance, commerce, biomédicale, ... etc.).

ANNEXES

Annexe

Processus stochastiques non linéaires

Les séries précédemment étudiées étaient supposées stationnaires. Si besoin, tendances et saisonnalités étaient supprimées pour obtenir une série résiduelle stationnaire. Néanmoins, toutes les séries résiduelles obtenues de la sorte ne sont pas nécessairement stationnaires.

C'est le cas par exemple de la série représentée par la figure 26, qui contient les évolutions journalières de la bourse des valeurs de New-York (NYSE) du 19 octobre 1984 au 31 décembre 1991.

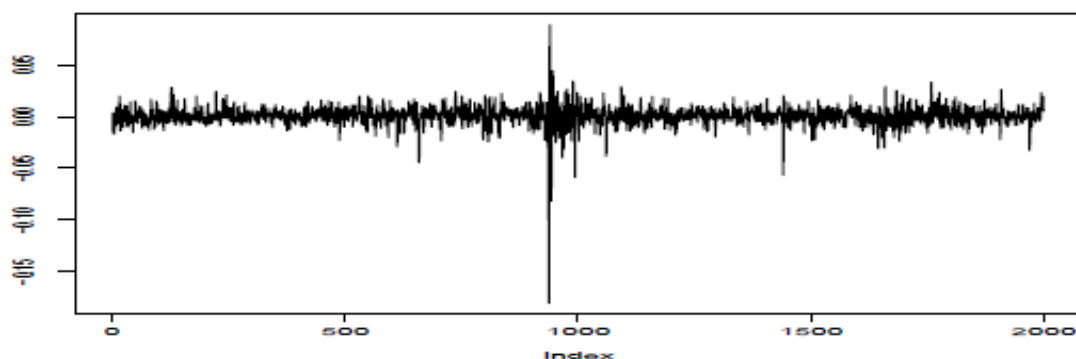


Figure 1 évolution journalière de la bourse des valeurs de New-York (1984-1991)

La figure 2 représente la simulation d'un processus $ARCH_2$.

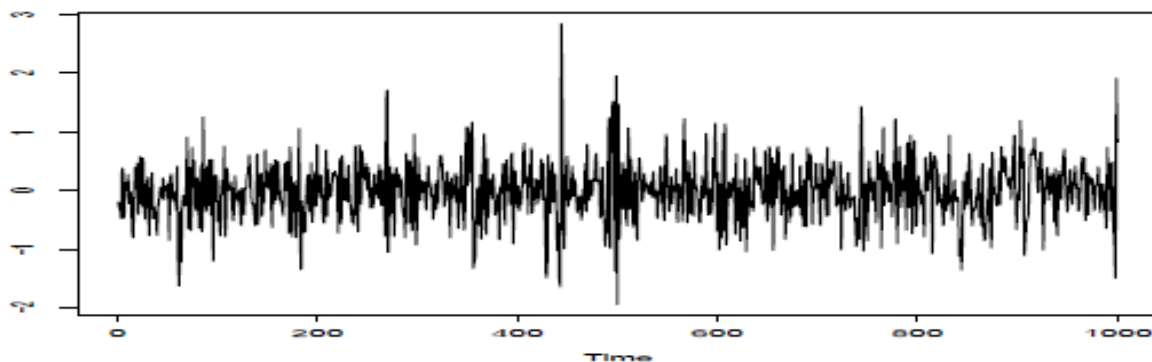


Figure 2 simulation d'un processus $ARCH_2$.

Comme on peut le voir, la moyenne semble constante alors que la variance change au cours du temps (on qualifie ce comportement d'« hétéroscédastique »). De plus, les moments de grande variabilité semblent regroupés. Les modèles de type **ARIMA** qui supposent un comportement « homoscedastique » (variance constante), ne sont pas adaptés à ce type de série.

Nous présentons dans cette section des modèles adaptés à ce type de série : les processus **ARCH** (AutoRegressive Conditionally Heteroscedastic) introduits par Engle vers 1982, ainsi que leur généralisation, les processus **GARCH**.

1.1 Modèles Autorégressifs Conditionnellement Hétéroscédastiques (ARCH)

Le processus $(X_t)_{t \geq 0}$ satisfait une représentation d'un processus *autorégressif conditionnellement hétéroscédastique* d'ordre $p \geq 1$, noté ARCH(p), si et seulement si :

$$X_t = \delta_t \varepsilon_t \quad \text{et} \quad \delta_t^2 = \alpha_0 + \sum_{j=1}^p \alpha_j X_{t-j}^2$$

Ici, $\alpha_0, \alpha_1 + \dots + \alpha_p$ sont des paramètres à valeurs dans R^+ et le processus $(\varepsilon_t)_{t \geq 0}$ est un bruit blanc tel que ε_t est indépendant de $\{X_{t-l} \mid l \geq 0\}$ pour tout t . Contrairement aux modèles ARMA, les modèles ARCH permettent à la volatilité, c'est-à-dire la variance, de varier en fonction du temps.

La variance conditionnelle dépend du temps : si les valeurs précédentes sont grandes (en valeur absolue), la variance sera grande, et inversement. Ainsi, si on observe un choc dans la série (valeur anormalement grande), elle sera suivie d'une période de haute volatilité, dont la durée dépend de l'ordre p du modèle ARCH.

1.2 Propriétés des Processus ARCH

- $E[X_t] = 0$
- $E[X_t | Z_{t-1}] = 0$ ou $Z_{t-1} = X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-k}$
- $\text{Cov}(X_t, X_{t+h}) = \delta_h = 0 \quad \forall h > 0$
- $\text{Cov}(X_t, X_{t+h} | Z_{t-1}) = 0$

un processus ARCH est conditionnellement hétéroscédastique mais inconditionnellement homoscedastique

Condition suffisante de stationnarité : $\sum_{i=1}^p \alpha_i < 1$

On peut montrer également, ce qui peut être intéressant pour détecter un ARCH en pratique, que la distribution d'un processus ARCH a

- ✓ un skewness nul (moment centré d'ordre 3) : la distribution est donc symétrique,
- ✓ un kurtosis (moment centré d'ordre 4) supérieur à 3 : la distribution est donc plus aplatie qu'une gaussienne.

1.3 Modèles ARCH Généralisés (Processus GARCH)

Le modèle GARCH (p, q) pour un processus $(X_t)_{t \geq 0}$ s'écrit sous la forme

$$X_t = \delta_t \varepsilon_t \quad \text{et} \quad \delta_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i X_{t-i}^2 + \alpha_0 + \sum_{j=1}^q \beta_j X_{t-j}^2$$

Ici, $\alpha_0, \alpha_1 + \dots + \alpha_p$ et β_1, \dots, β_q sont des paramètres à valeurs dans R^+ et le processus $(\varepsilon_t)_{t \geq 0}$ est un bruit blanc tel que ε_t est indépendant de $\{X_{t-l} \mid l \geq 0\}$ pour tout t . Les modèles GARCH généralisent les modèles ARCH en permettant à la variance conditionnelle de suivre un processus ARMA(p,q) via l'introduction d'une composante autorégressive.

1.4 Propriétés des Processus GARCH

- $E[X_t] = 0$
- $E[X_t | Z_{t-1}] = 0$ ou $Z_{t-1} = X_{t-1}, X_{t-2}, \dots$
- $\text{Cov}(X_t, X_{t+h}) = \delta_h = 0 \quad \forall h > 0$
- $\text{Cov}(X_t, X_{t+h} | Z_{t-1}) = 0$

soit X_t un processus $\text{GARCH}_{p,q}$, et soit $m = \max(p, q)$. Le processus X_t^2 admet une représentation ARMA(m, q).

Ainsi, pour identifier un $\text{GARCH}_{p,q}$, on identifiera tout d'abord le processus ARMA(m, q) qui modélise X_t^2 . Pour identifier p dans le cas où $m = q$ ($p \leq q$), il faut effectuer des tests de significativité des coefficients $\alpha_1, \dots, \alpha_p$ du processus ARMA(m, q) (sont-ils significativement non nuls ?).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **la production d'électrice d'origine renouvelable dans le monde.** Chapitre 2
quinzièmes inventaires édition 2013
- [2] **B. Jérémy Md.** Thibault Technologie Histoire Des Solutions : Comment Produire De
L'électricité.
- [3] **Amine Lagari.**'' Modélisation, Etude Et Analyse Prévisionnelle De La Consommation
D'électricité Basse, Moyenne Et Haute Tension En Algérie (2006-2011)'' . 12 Décembre 2012
- [4] **Abdelkader Benazze *** Estimation De La Consommation Electrique Par Les Réseaux
De Neurones Artificiels* Mémoire De Master .Juin 2013.
- [5] **Zerguine Bilal**'' Modélisation D'un Système De Production Electrique Par La Cellule
Photovoltaïque''. Université D'Annaba. Année 2010
- [6] **Mme Souad Chebbi** .Notions Fondamentales Sur Les Energies. Université Virtuelle
De Tunis2011.
- [7] **Jérôme Damon-Lacoste** « Vers Une Ingénierie De Bandes Des Cellules Solaires A
Hétérojonctions A-Si:H/C-Si. Rôle Prépondérant De L'hydrogène ». Thèse Doctorat 007
Ecole Polytechnique, Lpicm – Laboratoire De Physique Des Interfaces Et Couches Minces.
- [8] **Www.Opg.Com/Learningzone.**(Comment Ça Marche Production D'électricité)
- [9] **O. ROUSTAN T.** Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne 2008-2009
- [10] **Modèles linéaires pour les séries temporelles ULB** 2014 – STATS308 –
Économétrie (Dehon-Van Bellegem) 194
- [11] **Tir Zoheir** «Contribution A L'étude D'un Aérogénérateur Asynchrone En Cascade»

Mémoire De Magister Université Ferhat Abbas De Sétif, 2010.

[12] **BENABBAS Farouk** .Méthodes Heuristiques pour la Prédiction des Séries Temporelles, Présentée en vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT en Informatique. Année Universitaire : 2011/2012

[13] **A. Mireck** . “ Etude Comparative De Chaînes De Conversion D'énergie Dédiées A Une Eolienne De Petite Puissance”, Thèse De Doctorat, Institut National Polytechnique De Toulouse, Avril 2005.

[14] **Jérôme Damon-Lacoste**. « Vers Une Ingénierie De Bandes Des Cellules Solaires A Hétérojonctions A-Si:H/C-Si. Rôle Prépondérant De L'hydrogène ». These Doctorat 2007 Ecole Polytechnique, Lpicm – Laboratoire De Physique Des Interfaces Et Couches Minces.

[15] **La Grenelle De La Mer**. “ Le Livre Bleu Des Engagements Du Grenelle De La Mer”, Année 2009.

[16] **M. Nana YAKAM Ander**. (modèle de prévision du parc des comptes d'une banque : cas afriland first Bank, mémoire de Master , université de Yaoundé I, 2004.2005

[17] **Chekroune Malika** « étude comparative de deux technique de séchage (convection et micro-onde) par application on des plans d'expérience. Cas du fruit de datte ».mémoire de magister, universite M'Hamed bougera ,2008-2009.

[18] **Les Différents De Production D'électricité** 45 Rue Des Deux Eglises 1000 Bruxelles © Cpcp Asbl – Novembre 2007 Avec Le Soutien De La Communauté Française, Service Education Permanente.

[19] **World Energy Outlook 2009** «Perspectives Energétiques Mondiales 2009» Agence Internationale De L'énergie (Aie)

- [20] **Corinne Perraudin** « série chronologique » Magister d'Economie – deuxième année, Université Paris I.2004-2005.
- [21] **F. Poitiers** «Etude Et Commande De Génératrices Asynchrones Pour L'utilisation De L'énergie Eolienne-Machine Asynchrone A Cage Autonome-Machine Asynchrone A Double Alimentation Reliée Au Réseau» Thèse De Doctorat Université De Nantes, 2003.
- [22] **Agnès Iagnoux** « Renforcement des Séries chronologiques », Université de Toulouse le Mirail .2010-2011.
- [23] **Wwea** «Rapport Mondial 2010 Sur L'énergie Eolienne» April 2011.
- [24] **J.J. Daudin, C.Duby, S, Robin& P, Trécourt** , « Analyse de séries chronologique », (INA-PG ,Mathématique), MAI1996.
- [25] **Yan Girad** .Séries chronologique à des et plusieurs variables : « synthèse des méthode classique et modèle à base de copules » , mémoire présente à l'université du Québec à Trois - Rivières ,Mai2011.
- [26] **HARITZA CAMBLONG**, « minimisation de L'impact des perturbations d'origine éolienne dans la génération d'électricité par des aérogénérateurs a vitesse variable» thèse de doctorat École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Centre de Bordeaux ,2003.
- [27] **Bernard Rapacchi**, « Dur, les série chronologique » Center Interuniversitaire de calcul de Grenoble, 18 aout 1993.
- [28] **T. Zhou**, “ Commande et Supervision Energétique d'un Générateur Hybride Actif Eolien incluant du Stockage sous forme d'Hydrogène et des Super-Condensateurs pour l'Intégration dans le Système Electrique d'un Micro Réseau ”, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lille, 2009.

- [29] **C. Darras**, “ Modélisation de Systèmes Hybrides Photovoltaïque / Hydrogène : Applications site isolé, micro-réseau, et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE”, Thèse de Doctorat, Université de Corse-Pascal Paoli, May 2011.
- [30] **Didier Delignières** , Analyse des séries temporelles , Septembre 2007 .
- [31] **Michel LUBRANO**, Introduction `a la modélisation des séries temporelles uni variées
Septembre 2008.
- [32] **Didier Delignières**, Analyse des séries temporelles Septembre 2007.
- [33] Jacques Le Grand **BIYICK ET ETOGE**. « Prévision du PIB dans le paye de Zone
Cemac », Mémoire de Master, Université de Yaoundé, Octobre2010.

Résumé

Nous avons discuté dans notre travail au sujet important d'une prédiction de la consommation d'énergie électrique, la production et la consommation d'énergie électrique à l'heure actuelle un très important des raisons économiques et environnementales, l'électricité est une importance majeure et significative exige que la production répond à répondre à la demande de parvenir à un équilibre entre la production et de la consommation , c'est ce que les pertes de limites et il assure l'approvisionnement continu des consommateurs .explique aux producteurs et la situation du marché future, Des outils de prédictions peuvent assurer une connaissance a priori sur la quantité d'énergie requise à la production. Que l'un des outils efficaces pour Prédire les modèles des séries temporelles et processus autorégressif.

Mots clés : l'énergie électrique, séries temporelle, Box-Jenkins, *AR*, *MA*, *ARMA*, *ARIMA*, *SARIMA*, prédiction.

Abstract

We discussed in our work in important subject of a prediction of the consumption of electrical energy, predicting the electrical energy consumption at present a very important economic and environmental reason, electricity is an important most significant and requires that production responds to meet the demand to achieve a balance between production and consumption, that is what the loss limits and ensures the continuous supply of consumers, producers and explains the future viaduct predict market conditions could provide a knowledge of the amount needed for energy production ,as one of the effective tools to predict the time series models and autoregressive.

Keywords: electric energy, time series, Box- Jenkins, *AR*, *MA*, *ARMA*, *ARIMA*, *SARIMA*, predict.

ملخص

تطرقنا في عملنا هذا إلى موضوع هام وهو التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية, إن التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية في الوقت الحاضر في غاية الأهمية لأسباب اقتصادية وبيئية. فالكهرباء كمورد رئيسي وبالغ الأهمية يستلزم إن يستجيب الإنتاج ليلبي الطلب ليحقق التوازن بين الإنتاج والاستهلاك. هذا ما يحد من الخسائر ويضمن إمدادات مستمرة للمستهلكين ويظهر للمنتجين الأفاق المستقبلية للسوق فأدوات التنبؤ يمكن لها إن توفر معرفة كمية الطاقة المستهلكة مستقبلا. إن من بين الأدوات الفعالة للتنبؤ السلاسل الزمنية ونماذج الانحدار الذاتي بالخصوص.

الكلمات الرئيسية: الطاقة الكهربائية , سلسلة زمنية, بوكس جينكينز, *AR*, *MA*, *ARMA*, *ARIMA*, *SARIMA*, والتنبؤ.