

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Supérieure de Statistique Et de l'Economie Appliquée (ex INPS)

## Mémoire de stage

En vue de L'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Statistique et  
Economie Appliquée

OPTION. : Statistique Appliquée



---

Thème

ETUDE PREVISIONNELLE A COURT TERME DE  
LA CONSOMMATION D'ELECTRICITE EN  
ALGERIE

---



Réalisé par :

Mr :Ammi Yacine

2020

# Rapport de stage

OPTION. : Statistique Appliquée



Thème

---

## ETUDE PREVISIONNELLE A COURT TERME DE LA CONSOMMATION D'ELECTRICITE EN ALGERIE

---



Réalisé par :  
Mr :Ammi Yacine

2020

# Sommaire

|  |    |
|--|----|
| Introduction .....   | 4  |
| Chapitre I : l'électricité en algérie .....                        | 5  |
| Section 01 : Généralités sur l'électricité .....                   | 5  |
| 1. Définition de l'électricité : .....                             | 5  |
| 2. L'électricité en Algérie : .....                                | 5  |
| 3. Les caractéristiques de l'électricité : .....                   | 5  |
| 4. Les sources de l'électricité : .....                            | 5  |
| Section 02 : Le Groupe SONEGAS .....                               | 6  |
| 1. Présentation du Groupe Sonelgaz : .....                         | 6  |
| 2. Organisation et Missions du Groupe Sonelgaz : .....             | 7  |
| Section 03 : Les filiales du Groupe Sonelgaz .....                 | 8  |
| 1. Présentation des filiales : .....                               | 8  |
| 2. Répartition des filiales : .....                                | 8  |
| Chapitre II : rappel théorique sur les séries chronologiques ..... | 10 |
| Section 01 : Généralités sur les séries chronologiques .....       | 10 |
| 1. Définition : .....  | 10 |
| 2. Les composantes d'une série temporelle : .....                  | 10 |
| 3. Les modèles des séries chronologiques : .....                   | 11 |
| 4. Choix d'un schéma de décomposition : .....                      | 12 |
| 5. Stationnarité : .....   | 13 |
| 6. Les processus ARMA : .....                                      | 15 |
| Section 02 : la procédure de « Box-Jenkins » .....                 | 15 |

|  |    |
|--|----|
| 1. Identification :.....   | 15 |
| 2. Estimation des paramètres du modèle : .....   | 16 |
| 3. Validation des processus ARMA : .....   | 16 |
| Chapitre III : Application de la méthodologie de Box & Jenkins sur la<br>consommation d'électricité..... | 20 |
| Section 01 : Présentation des données .....  | 20 |
| 1. Présentation générale des données :.....  | 20 |
| 2. Source des données : .....  | 20 |
| 3. Logiciel d'estimation : .....   | 20 |
| 4. Représentation graphique des données :.....   | 20 |
| Section 02 : Méthodologie de Box & Jenkins.....  | 21 |
| 1. Etude de stationnarité : .....  | 21 |
| 2. Choix du meilleur modèle(selon AIC) : .....   | 22 |
| 3. Estimation du modèle ARIMA(0,1,0) : .....   | 23 |
| 4. Validation du Modèle : .....  | 23 |
| 5. Prévision pour les années 2020 – 2024 : .....   | 25 |
| Conclusion.....  | 27 |
| Bibliographie .....  | 28 |

# INTRODUCTION

De nos jours, la consommation de l'énergie en général est considérée comme un indice représentatif de développement économique d'un pays, et plus particulièrement l'énergie électrique :

- Celle-ci est à la base de toutes activités industrielles
- Elle constitue par conséquent un facteur très important à l'amélioration des conditions de vie des citoyens, à l'accession et à la modernité.

En Algérie, la croissance rapide de la consommation de cette énergie due essentiellement à la croissance démographique, ainsi qu'au développement industriel, l'urbanisation de plus en plus des villes et des campagnes et l'utilisation des biens électroménagers, nécessite un réseau performant capable de répondre en permanence à cette demande sans cesse grandissante. Le système économique Algérien est basé principalement sur le secteur énergétique qui est un élément stratégique dans le mécanisme du développement économique d'une nation. Ainsi le secteur de l'énergie électrique et gazier représenté par la Société Nationale de l'Electricité et du Gaz Sonelgaz est considéré comme l'un des piliers de l'économie. Il a joué dans le passé un rôle primordial dans l'industrialisation du pays et il continue encore d'assurer les besoins nationaux dans les meilleures conditions de qualité de service, de sécurité et de coût.

# CHAPITRE I : L'ELECTRICITÉ EN ALGERIE

## Section 01 : Généralités sur l'électricité

### 1. Définition de l'électricité :

L'électricité est en effet une énergie secondaire, elle résulte de la transformation de la chaleur en énergie mécanique, laquelle est ensuite transformée en énergie électrique.

La chaleur peut provenir soit de la combustion d'un combustible «traditionnel» (charbon, fuel, gaz, bois), soit de la radioactivité d'un combustible nucléaire, soit du soleil.

### 2. L'électricité en Algérie :

L'électricité en Algérie est produite essentiellement par cinq types de centrales, les turbines à gaz, les turbines à vapeur, les turbines Diesel, les turbines Hydraulique et les cycles combinés.

### 3. Les caractéristiques de l'électricité :

- L'électricité ne se stocke pas en grande quantité.
- L'électricité se propage à une grande vitesse
- Le système réagit en temps réel aux besoins du consommateur
- Le courant emprunte de lui-même le chemin « le plus facile »
- Une partie de l'électricité transportée se dissipe sous forme de chaleur

### 4. Les sources de l'électricité :

#### 4.1. *Les énergies renouvelables :*

Une énergie renouvelable est une énergie renouvelée ou régénérée naturellement à l'échelle d'une vie humaine. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels, réguliers ou constants, provoqués par les astres.

- L'énergie solaire
- L'énergie éolienne
- L'énergie hydraulique
- La biomasse
- La géothermie

#### 4.2. *Les énergies non renouvelables :*

Une énergie non renouvelable est une source d'énergie qui ne se renouvelle pas assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme, ou même qui ne se renouvelle pas du tout, par opposition aux énergies renouvelables.

- Le charbon
- Le pétrole
- Le gaz
- L'électricité
- Le nucléaire

## **Section 02 : Le Groupe SONELGAZ**

### 1. Présentation du Groupe Sonelgaz<sup>1</sup> :

Sonelgaz est l'opérateur historique dans le domaine de la fourniture des énergies électrique et gazière en Algérie. A la faveur de la promulgation de la loi sur l'électricité et la distribution du gaz par canalisations, Sonelgaz est passée d'une entreprise verticalement intégrée à une holding pilotant un Groupe industriel multi-sociétés et multi-métiers. Il est attribué à Sonelgaz le monopole de la production, du transport, de la distribution de l'énergie électrique, et de l'importation et l'exportation de gaz.

Sonelgaz a toujours joué un rôle majeur dans le développement économique et social du pays. Sa contribution dans la concrétisation de la

---

<sup>1</sup> [www.sonelgaz.dz/fr/category/qui-sommes-nous](http://www.sonelgaz.dz/fr/category/qui-sommes-nous)

politique énergétique nationale est à la mesure des importants programmes réalisés, en matière d'électrification rurale et de distribution publique gaz ; ce qui a permis de hisser le taux de couverture en électricité à 99,4% et le taux de pénétration du gaz à 62%.

## 2. Organisation et Missions du Groupe Sonelgaz :

### 2.1. *Organisation :*

Le groupe Sonelgaz est constitué de la société mère (Administrateurs Délégués, Directions générales et Directions Exécutives) et de plusieurs autres filiales.

### 2.2. *Missions :*

Depuis sa création, Sonelgaz a œuvré à la promotion de l'utilisation de l'électricité et du gaz dans les secteurs économiques et domestiques, ainsi que du transport et de la distribution du gaz naturel sur le territoire national.

Sonelgaz a pour mission :

- La production, le transport, la distribution et la commercialisation de l'électricité, tant en Algérie qu'à l'étranger.
- Le transport du gaz pour les besoins du marché national.
- La distribution et la commercialisation du gaz et sa canalisation, tant en Algérie qu'à l'étranger.
- Le développement et la fourniture de toutes prestations en matière de services énergétiques.
- L'étude, la promotion et la valorisation de toutes formes et sources d'énergie.
- Le développement par tout moyen de toute activité ayant un lien direct ou indirect avec les industries électriques et gazières.
- Le développement de toute forme d'activités conjointes en Algérie et hors d'Algérie.



## **Section 03 : Les filiales du Groupe Sonelgaz**

### **1. Présentation des filiales<sup>2</sup> :**

Aujourd'hui, le Groupe Sonelgaz est composé de 16 sociétés directement pilotées par la Holding, de 18 sociétés en participation avec des entités du Groupe et de 10 sociétés en participation avec des tiers.

Ses filiales métiers de base assurent la production, le transport et la distribution de l'électricité, ainsi que le transport et la distribution du gaz par canalisations. Ses filiales travaux sont en charge de la réalisation des infrastructures électriques et gazières du pays. Ses filiales de prestations de service activent principalement dans les domaines de la fabrication et de la maintenance d'équipements énergétiques, la distribution de matériel électrique et gazier, le transport et la manutention exceptionnels.

### **2. Répartition des filiales :**

#### *2.1. Métiers :*

- ❖ CEEG : Compagnie de l'Engineering de l'Electricité et du Gaz Spa.
- ❖ SPE : Assure la production et la commercialisation de l'électricité.
- ❖ GRTE : Assure l'exploitation, la maintenance et le développement du réseau de transport de l'électricité.
- ❖ OS : L'Opérateur du Système Electrique.
- ❖ GRTG : Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport du Gaz Spa.
- ❖ SDC : Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz Spa.

#### *2.2. Fabrication industrielle et travaux :*

- ❖ INERGA : Société de Réalisation d'Infrastructures Spa.

---

<sup>2</sup> <https://www.sonelgaz.dz/>

- ❖ AMC : Assure la construction des réseaux de transport aérien et souterrain toutes tensions confondues ainsi que l'étude et la réalisation des postes électriques.
- ❖ ETTERKIB : Assure le montage et la maintenance des ouvrages industriels. Elle est également présente pratiquement dans tous les secteurs économiques.
- ❖ KAHRAKIB : Assure la construction des réseaux de transport aérien et souterrain toutes tensions confondues ainsi que l'étude et la réalisation des postes électriques.
- ❖ ROUIBA ECLAIRAGE : Assure la conception, la fabrication et la commercialisation de diverses gammes de produits, matériels et accessoires d'éclairage public.
- ❖ KAHIRIF : Assure la réalisation des ouvrages énergétiques (Lignes et postes HT, MT/BT, Réseaux souterrains électriques, gaz, fibre optique, hydraulique).
- ❖ KANAGHAZ : Société de Réalisation de Canalisations Spa .
- ❖ MEI : Société de Maintenance des Equipements Industriels.

# CHAPITRE II : RAPPEL THÉORIQUE SUR LES SÉRIES CHRONOLOGIQUES

## Section 01 : Généralités sur les séries chronologiques

### 1. Définition<sup>3</sup> :

Une série temporelle (ou série chronologique) est constituée par une succession des observations sur un même sujet ou sur un même phénomène, les observations étant régulièrement espacées dans le temps, les séries chronologiques diffèrent selon la période concernée par l'étude (mensuelles, annuelles...).

Une série statistique est désignée comme étant chronologique quand les données qui la constituent sont les valeurs d'une variable enregistrée en fonction de la date pendant une certaine période.

Ces données statistiques recueillies se présentant comme une suite de valeurs  $y_1, y_2, \dots, y_t$ , correspondant à des dates différentes, les dates d'observation sont en général équidistantes les unes des autres, c'est le cas d'une série statistique d'intervalles séparant deux dates d'observation successives.

Les dates équidistantes sont la suite indicée par les entiers  $t = 1, 2, \dots, t$ , ou  $t$  désigne le nombre d'observations.

Plus simplement une série temporelle est une suite d'observations ordonnées dans le temps chiffrées.

### 2. Les composantes d'une série temporelle :

L'évolution globale de la variable en termes de valeurs au cours de temps est caractérisée en général par des hausses, des baisses ou des stagnations qu'il y a lieu d'expliquer et d'analyser.

Les fluctuations sont-elles exceptionnelles ou durables et quelles explications leur donner ?

---

<sup>3</sup> Régis Bourbonnais et Michel Terraza, "Analyse des séries temporelles, application à l'économie et à la gestion", édition DUNOD, Paris 2009 P 245

En réalité, il s'agit de déterminer les éléments constitutifs de l'évolution globale d'une chronique : ce sont les composantes.

### 2.1. La composante tendancielle ( $T_t$ ) :

Elle est censée d'écrire le mouvement à long terme d'une série chronologique. On admet d'ordinaire que cette projection à long terme est une ligne droite à la hausse ou à la baisse qui élimine toutes les fluctuations (aléatoires) dues aux facteurs saisonniers et cycliques.

### 2.2. La composante cyclique ( $C_t$ ) :

C'est une succession de mouvements persistant des variations de mouvements ascendants (période prospérité) et de mouvements descendants (période de dépression) retraçant le cycle économique, la tendance et le cycle sont regroupées en une seule composante appelée l'extra saisonnier ( $E_t$ ).

### 2.3. La composante saisonnière ( $S_t$ ) :

C'est une composante cyclique relativement de période intra annuelle et qui correspond souvent à des phénomènes de mode, de coutume, de climat....etc.

### 2.4. La composante résiduelle ( $E_t$ ) :

Elle rassemble tout ce que les autres composantes n'ont pas expliquées du phénomène observé, elle contient des fluctuations imprévisibles telle que les inondations, les grèves, guerres ....etc.

## 3. Les modèles des séries chronologiques<sup>4</sup> :

On peut combiner les composantes du modèle ou du schéma de deux manières différentes. En effet, l'évolution de mouvement globale  $X_t$  peut être de trois types :

### 3.1. Modèle additif :

Dans le modèle additif on considère que le phénomène étudié en fonction du temps se décompose en éléments (les composantes) indépendants les uns des autres. Graphiquement, les amplitudes des composantes saisonnières ( $S_t$ ) sont constantes par rapport à la tendance  $X_t = T_t + S_t + E_t$

---

<sup>4</sup> BERNARD PU, « statistique descriptive », 4ème édition, Economica, paris, 1996. Page 224

### 3.2. *Modèle multiplicatif :*

Dans le modèle multiplicatif ; les éléments (les composantes) de phénomène sont dépendants les uns des autres. Graphiquement (  $S_t$  ) et (  $E_t$  ) sont proportionnelle à la tendance

#### ➤ Première forme de modèle multiplicatif :

On suppose que les variations saisonnières dépendent de la tendance et on considère que  $X_t$  s'écrit de la manière suivante :

$$X_t = f_t \times S_t + E_t$$

#### ➤ Deuxième forme de modèle multiplicatif :

On suppose que les variations saisonnières et les variations accidentelles dépendent de la tendance et on considère que  $X_t$  s'écrit de la manière suivante :

$$X_t = f_t \times S_t \times E_t$$

### 3.3. *Modèle mixte :*

Il s'agit là de modèles, où addition et multiplication sont utilisées. Nous pouvons supposer par exemple que la composante saisonnière agit de façon multiplicative alors que les fluctuations irrégulières sont additives :

$$X_t = (1 + S_t) + E_t.$$

## 4. Choix d'un schéma de décomposition<sup>5</sup> :

### 4.1. *La méthode de la bande :*

La procédure de la bande consiste à partir de l'examen visuel du graphique de l'évolution de la série brute à relier, par une ligne brisée, toutes les valeurs « hautes » et toutes les valeurs « basses » de la chronique. Si les deux lignes sont parallèles, la décomposition de la chronique peut se faire selon un schéma additif ; dans le cas contraire le schéma multiplicatif semble plus adapté.

---

<sup>5</sup> Régie Bourbonnais, Michel Terraza : « Analyse des séries temporelles », édition Dunod; PARIS 2004. Page 20,21

#### 4.2. Le test de Buys-Ballot :

Ce test consiste à estimer par la méthode des MCO les paramètres  $a_0$  et  $a_1$  de l'équation : et la règle de décision est la suivante :

$$\sigma_i^2 = a_1 + a_0 x_i$$

$H_0$  : «  $a_0$  n'est pas significativement différent de 0 : c'est un schéma Additif »

$H_1$  : «  $a_0$  est significativement différent de 0 : c'est un schéma Multiplicatif »

#### 5. Stationnarité<sup>6</sup> :

La stationnarité est la clef de l'analyse des séries temporelles avant d'effectuer des tests spécifiques sur cette série et de chercher à la modéliser. Nous commencerons par donner la définition d'un processus stationnaire au sens strict (ou stationnarité forte), et ensuite celle de la stationnarité du second ordre (ou stationnarité faible).

##### 5.1. Stationnarité forte (stricte) :

Le processus  $X_t$  est strictement stationnaire si pour tout  $n$ -uplet du temps tel que  $t_1 < t_2 < \dots < t_n$  et pour tout temps  $h \in \mathbb{Z}$  avec  $t_{i+h} \in \mathbb{Z}$  et  $i = 1, \dots, n$ .

La suite  $(X_{t_1+h}, X_{t_2+h}, \dots, X_{t_n+h})$  à la même loi de probabilité que la suite  $(X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_n})$

Autrement dit, la stationnarité stricte signifie que la distribution conjointe d' $(x_{t_1}, \dots, x_{t_n})$  est invariante par translation dans le temps.

Cette condition est difficile à vérifier en pratique, c'est pourquoi on utilise en général une version plus faible de la stationnarité, à savoir la stationnarité au second ordre.

##### 5.2. Stationnarité faible (du second ordre) :

Dans la pratique, on se limite généralement à requérir la stationnarité faible.

---

<sup>6</sup> Sandrine Lardic & Valeri Mignon : «Econométrie des séries temporelles macroéconomique et financière», édition Dunod, 2002. P 12

Un processus est dit stationnaire au second ordre, ou stationnaire au sens faible, si les trois conditions suivantes sont satisfaites :

- $\forall t \in Z : E(X_t) = m$  : Indépendant du temps.
- $\forall t \in Z : E(X_t^2) < \infty$ .
- $\forall t, h \in Z : COV(X_t, X_{t+h}) = E[(X_{t+h} - m)(X_t - m)] = \gamma(h)$  : indépendant du temps.

### 5.3. Test de stationnarité :

➤ Le test de Dickey Fuller simple (1979) <sup>7</sup>

Les tests de Dickey Fuller (D-F) sont des tests de racine unitaire, ils sont construits à partir de 03 modèles de bases :

[1] :  $(1 - \phi_1)\beta)X_t = \varepsilon_t$  : modèle autorégressif d'ordre 1 : AR(1) .

[2] :  $(1 - \phi_1)\beta)(X_t - u) = \varepsilon_t$  : modèle AR(1) avec constante

[3] :  $(1 - \phi_1)\beta)(X_t - a - \varphi t) = \varepsilon_t$  : modèle AR(1) avec tendance.

Et  $\varepsilon_t \text{ iid}(0, \sigma^2)_\varepsilon$

Le principe des tests est : si dans ces 03 modèles  $\phi_1 = 1$ , alors le polynôme d'opérateur du processus contient une racine unitaire ( $B=1$ ).

Le processus est donc non stationnaire.

- Si  $|\phi_1| < 1$  : le processus est stationnaire.
- Si  $|\phi_1| > 1$  :  $X_t$  est non stationnaire : processus explosif.

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

- Modèles [1] :  $\Delta X_t = \rho X_{t-1} + \varepsilon_t$
- Modèles [2] :  $\Delta X_t = \rho X_{t-1} + c + \varepsilon_t$
- Modèles [3] :  $\Delta X_t = \rho X_{t-1} + c + bt + \varepsilon_t$  avec  $\rho = (1 - \Phi_1)$  et  $c = (1 - \Phi_1)\mu$ ,  
 $b = (1 - \Phi_1)\beta$

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

<sup>7</sup> Sandrine Lardic & Valéri Mignon : «Econométrie des séries temporelles macroéconomique et financière», référence précédente. P 132

## 6. Les processus ARMA<sup>8</sup> :

### 6.1. Définition :

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

On appelle  $(X_t, t \in Z)$  un processus autorégressif moyen mobile d'ordre  $(p, q)$  noté ARMA  $(p, q)$  s'il s'écrit sous la forme suivante :

$\Phi(L)X_t = \Theta(L)\varepsilon_t$  Avec  $\{\varepsilon_t, t \in Z\}$  est un processus bruit blanc de variance  $\sigma^2$ .

$$\Phi(L) = 1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2 - \dots - \phi_p L^p \quad \Phi_i \in \mathcal{R}, \forall i = 1 \dots p.$$

$$\Theta(L) = 1 - \theta_1 L - \theta_2 L^2 - \dots - \theta_q L^q \quad \Theta_i \in \mathcal{R}, \forall i = 1 \dots q.$$

Telle que :

- $\{\varepsilon_t, t \in Z\}$  est un processus bruit blanc.
- $\phi_1 \dots \phi_p, \theta_1 \dots \theta_q$  sont des paramètres réels indépendants de  $t$ .

### 6.2. Condition de stationnarité et d'invisibilité d'un processus

ARMA $(p, q)$  :

Un processus ARMA  $(p, q)$  est stationnaire, si le polynôme  $\Phi(L)$  a toutes ses racines en valeurs absolues inférieure à 1 et inversible si toutes les racines du polynôme  $\Theta(L)$  soit en valeurs absolues inférieure à 1.

## Section 02 : la procédure de « Box-Jenkins »

L'ouvrage de Box et Jenkins 'Time séries analysis, forecasting and control ', publié en 1970 a proposé une démarche de prévision pour les séries univariées, fondée sur l'utilisation de processus ARMA.

### 1. Identification :

---

<sup>8</sup> Sandrine Lardic & Valeri Mignon : «Econométrie des séries temporelles macroéconomique et financière», référence précédente. P 28



En examinant l'aspect de la FAC (Fonction d'auto corrélation) empirique, on se fait une idée de la stationnarité (atteinte ou non) de la série. On considère qu'une série est stationnaire quand sa FAC empirique décroît suffisamment vite vers 0. On examine ensuite l'aspect de la FAC et de la FAC Partielle de la série. On se fait ainsi une idée des ordres  $p$  et  $q$  possibles.

## 2. Estimation des paramètres du modèle :

L'estimation des processus ARMA repose sur la méthode du maximum de vraisemblance. On suppose que les résidus suivent une loi normale de moyenne nulle et de variance  $\sigma_2$

## 3. Validation des processus ARMA :

### 3.1. Test sur les paramètres :

Tous les coefficients du modèle retenu doivent être significativement différents de zéro, il convient donc d'utiliser le test de Student classique. Il s'agit dans cette étape de tester la significativité des paramètres.

### 3.2. Tests sur les résidus :

#### 3.2.1. Tests d'absence d'autocorrélation :

##### ➤ Test "Portemanteau" (Box-Pierce 1970)<sup>9</sup>

Ce test permet d'identifier les processus de bruit blanc. Cette statistique permet de tester  $\text{Cov}(s_t, s_{t-h}) = 0$  pour tout  $h$ , soit  $q(h) = 0$  pour tout  $h$ . Ce test s'écrit :

$$H_0 : q(1) = q(2) = \dots = q(h) = 0$$

$$H_1 : q(1) = q(2) = \dots = q(h) \neq 0$$

---

<sup>9</sup> Charpentier A, «Cours de séries temporelles : théories et applications», Université Paris Dauphine, Paris, 2003. Page 130

Pour effectuer ce test, on utilise la statistique de Box-Pierce Q, donnée par :

$$Q_h = T \sum \hat{\alpha}_k^2$$

Où h est le nombre de retard, T le nombre d'observation et  $\hat{\alpha}_k^2$  l'autocorrélation empirique.

Nous rejetons l'hypothèse de bruit blanc au seuil h si Q est supérieure au quantile d'ordre  $(1-\alpha)$  de la loi de  $\chi^2$  à h degrés de liberté.

### ➤ Test de Ljung et Box<sup>10</sup>

Ce test à appliquer, de préférence au test de BOX-PIERCE, lorsque l'échantillon est de petite taille, la distribution de la statistique du test de LJUNG-BOX est en effet plus proche de celle de KHI-DEUX en petit échantillon que ne l'est celle de BOX-PIERCE. La statistique de test s'écrit :

$$Q(m) = n(n+2) \sum_{j=1}^m \frac{r_j^2}{n-j},$$

Nous rejetons l'hypothèse nulle et disons que le modèle montre un manque d'ajustement si :

$$Q > \chi_{1-\alpha, h}^2$$

Où:

$\chi_{1-\alpha, h}^2$  = la valeur trouvée sur la table de distribution du chi carré pour le niveau de signification  $\alpha$  et h degrés de liberté.

### 3.2.2. Test de normalité<sup>11</sup>

Il convient de vérifier la normalité des résidus, ceci est possible par un test de Jarque et Bera (1984), qui est basé sur le skewness (coefficient

<sup>10</sup> Sandrine Lardic & Valeri Mignon : «Econométrie des séries temporelles macroéconomique et financière», référence précédente. Page 46

<sup>11</sup> Régie Bourbonnais, Michel Terraza : « Analyse des séries temporelles », édition Dunod; PARIS 2004.

d'asymétrie de la distribution) et la kurtosis (aplatissement-épaisseur des queues).

### 3.3. Les critères de choix de modèle :

#### ➤ Critère de pouvoir prédictif<sup>12</sup>

Comme nous les verrons par la suite, dans un modèle ARMA, l'erreur de prévision à l'horizon 1 dépend de la variance du résidu. On peut alors choisir le modèle conduisant à la plus petite erreur de prévision. Plusieurs indicateurs sont alors possible :

(i) la variance du résidu  $\sigma^2$ , ou la somme des carrés des résidus SCR

(ii) le coefficient de détermination  $R^2$ , correspondant à une normalisation de la variance

(iii) le coefficient de détermination modifié  $R^2$ ,

(iv) la statistique de Fisher

Le but est de minimiser (i), ou de maximiser (ii), (iii), (iv).

#### ➤ Critère d'information<sup>13</sup>

L'idée sous-jacente consiste à choisir un modèle sur la base d'une mesure de l'écart entre la vraie loi inconnue et le modèle estimé. Cette mesure peut être fournie par la quantité d'information de kullback. Les différents critères ont alors pour objet d'estimer cette quantité d'information.

- Le critère d'information d'AKAIKE (1969)

$$AIC = 2K - 2\ln(L)$$

---

<sup>12</sup> Charpentier A, «Cours de séries temporelles : théories et applications», référence précédente. Page 140

<sup>13</sup> Sandrine Lardic & Valeri Mignon : «Econométrie des séries temporelles macroéconomique et financière», référence précédente. Page 50

### 3.4. *Prévision des processus ARMA*<sup>14</sup>

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

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

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

---

<sup>14</sup> 1 Sandrine Lardic & Valéri Mignon : «Econométrie des séries temporelles macroéconomique et financière», référence précédente. Page 57

# CHAPITRE III : APPLICATION DE LA MÉTHODOLOGIE DE BOX & JENKINS SUR LA CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ

## Section 01 : Présentation des données

### 1. Présentation générale des données :

#### **Consommation d'électricité (kwh par personne)**

Cette statistique donne une évaluation de la production des centrales électriques moins les pertes occasionnées par la transmission, la distribution, la transformation ainsi que l'énergie utilisée par les centrales elles-mêmes. Un kilowattheure est l'équivalent du « travail accompli en une heure par un moteur d'une puissance de 1 000 watts ». Par exemple, une ampoule de 60 watts utilise 60 wattheures d'énergie à chaque heure. De même, une ampoule de 100 watts utilise 50 wattheures en 30 minutes. À cause de la demande générée par leur climat, les pays nordiques figurent parmi les plus importants consommateurs d'électricité par habitant au monde.

### 2. Source des données :

La casi majorité de ces données a été prélevé de la Banque Mondiale, soit les données datant de 1971 jusqu'à 2014<sup>15</sup>

Les données datant d'après l'année 2014 ont été prélevé de l'Agence internationale de l'énergie (IEA)<sup>16</sup>

### 3. Logiciel d'estimation :

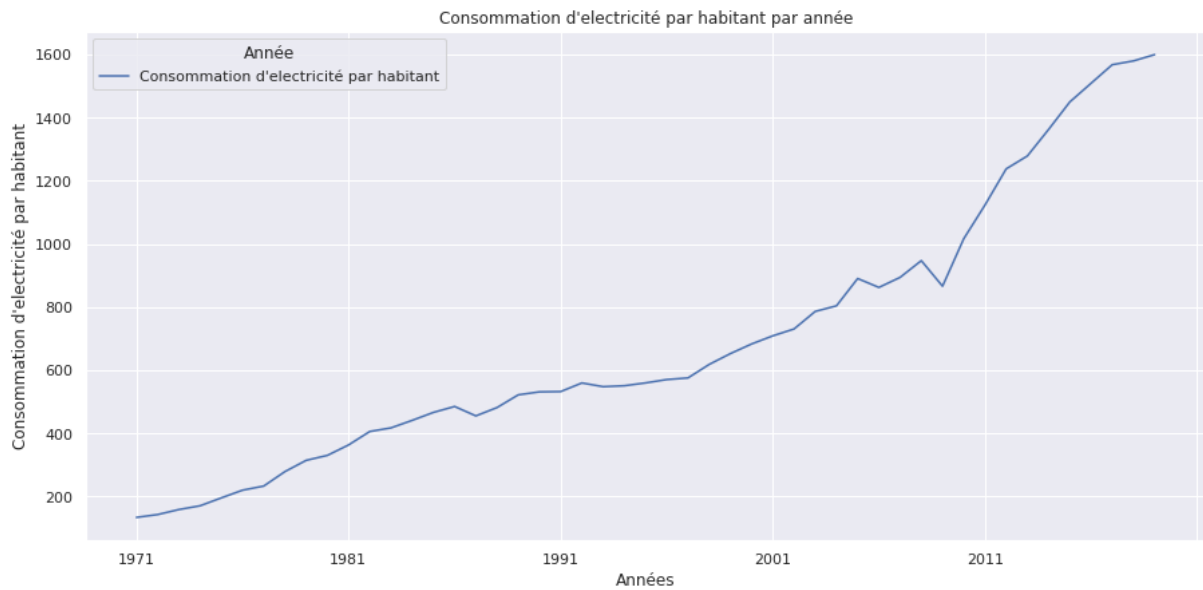
Toutes les démarches appliquée dans l'analyse de cette série sont appliquées en utilisant le langage de programmation Python.

### 4. Représentation graphique des données :

---

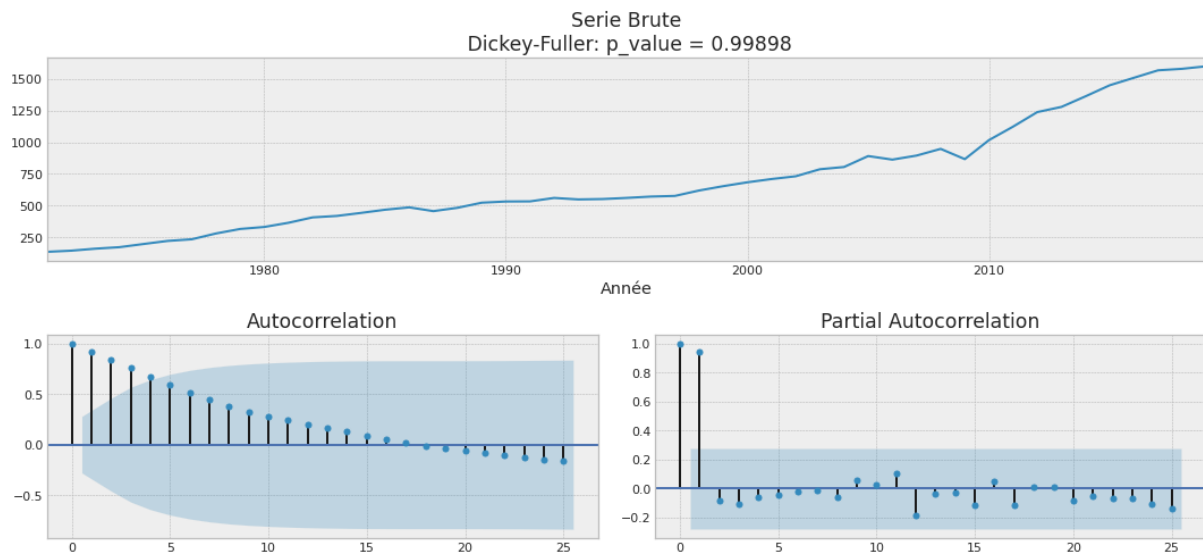
<sup>15</sup> <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/EG.USE.ELEC.KH.PC?locations=DZ>

<sup>16</sup> <https://www.iea.org/data-and-statistics>



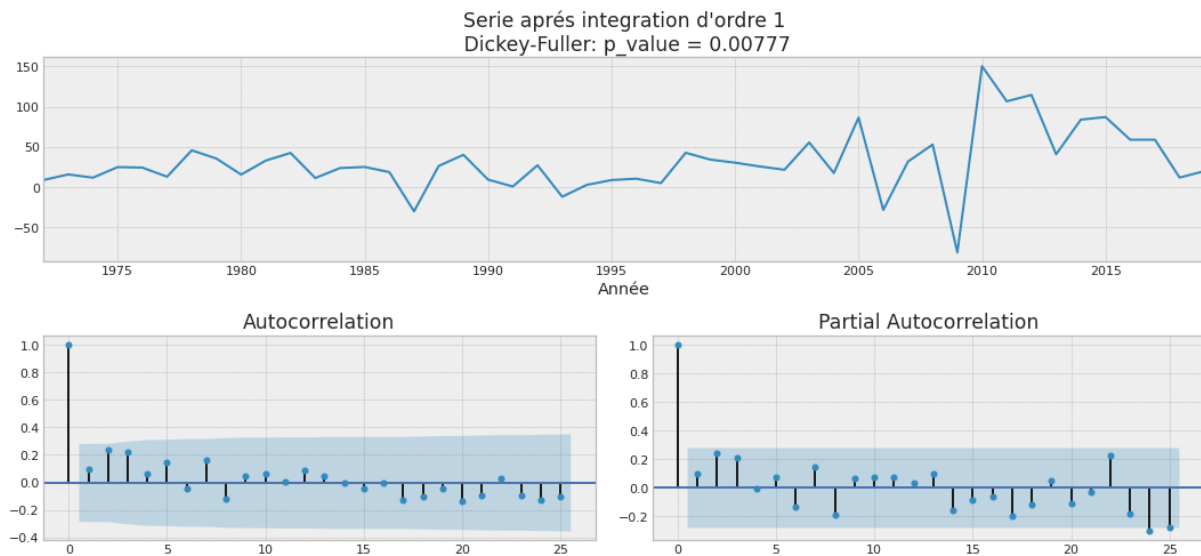
## Section 02 : Méthodologie de Box & Jenkins

### 1. Etude de stationnarité :



- Le graph de la série montre une la possible présence d'une Tendance dans la série.
- On remarque que les piques dans le graph de la fonction d'autocorrélation totale FAC ne descendent pas rapidement vers le zéro, d'où la possibilité que la série n'est pas stationnaire.
- Après avoir appliqué le test de Dickey-Fuller Augmenté, la  $p\_value = 0.99898 > 0.05$ , ce qui signifie que les données ne sont pas stationnaires.

## Intégration (Différenciation) de la série :



- Le graph de la série ne montre aucune possible présence d'une Tendance dans la série.
- On remarque qu'aucun pique n'est significatif ni dans la FAC ni dans la FAP, il ressemble à un Bruit Blanc.
- La nouvelle série après différenciation est une série stationnaire car la p\_value du test ADF est égale à  $0.007 < 0.05$
- A première vue, un processus ARIMA(0,1,0) est le meilleur pour cette série.

## 2. Choix du meilleur modèle(selon AIC) :

Dans le tableau ci-dessous, différents modèles ont été estimés, les modèles sont ordonnés d'une façon décroissante selon la valeur de leur information Akaike (AIC)

| AIC       |            |
|-----------|------------|
| Ordre     |            |
| (0, 1, 0) | 488.371799 |
| (2, 1, 0) | 489.413460 |
| (1, 1, 2) | 489.867997 |
| (0, 1, 2) | 489.879725 |
| (1, 1, 0) | 489.972328 |
| (2, 1, 2) | 490.062727 |
| (0, 1, 1) | 490.093880 |
| (2, 1, 1) | 490.167045 |
| (1, 1, 1) | 492.251340 |

- Selon le critère Akaike (AIC), le meilleur modèle est un ARIMA(0,1,0) avec un AIC = 488.37
- Cela confirme le graph de la FAC et de la FAP.

### 3. Estimation du modèle ARIMA(0,1,0) :

#### ARIMA Model Results

|                       |   |                            |          |
|-----------------------|---|----------------------------|----------|
| <b>Dep. Variable:</b> | D.Consommation d'electricité par habitant | <b>No. Observations:</b>   | 48       |
| <b>Model:</b>         | ARIMA(0, 1, 0)                            | <b>Log Likelihood</b>      | -242.186 |
| <b>Method:</b>        | css                                       | <b>S.D. of innovations</b> | 37.585   |
| <b>Date:</b>          | Mon, 28 Dec 2020                          | <b>AIC</b>                 | 488.372  |
| <b>Time:</b>          | 22:08:33                                  | <b>BIC</b>                 | 492.114  |
| <b>Sample:</b>        | 01-01-1972                                | <b>HQIC</b>                | 489.786  |
|                       | - 01-01-2019                              |                            |          |

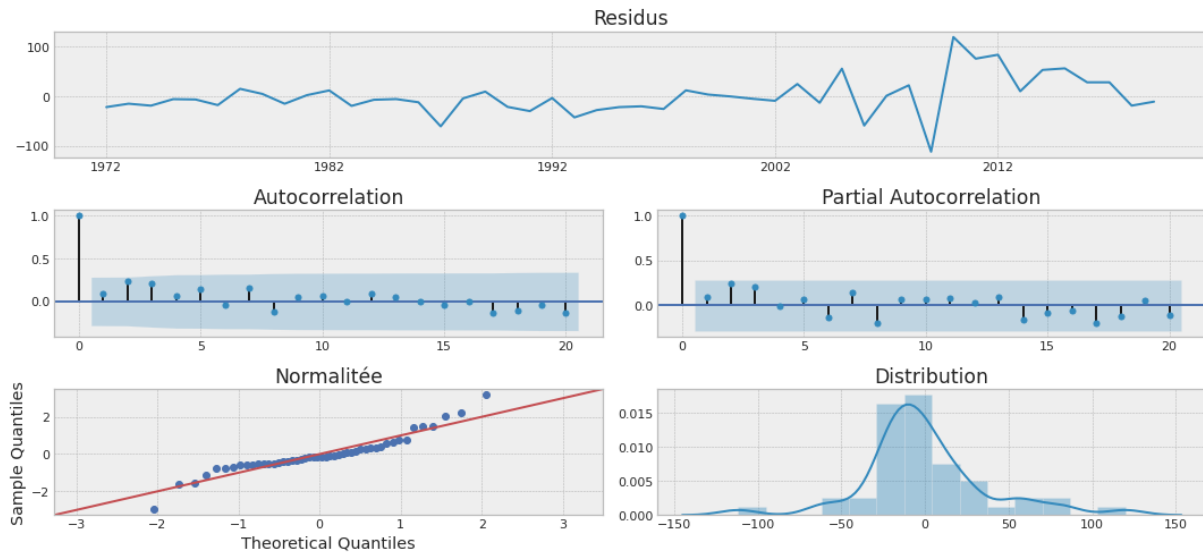
|       | coef    | std err | z     | P> z  | [0.025 | 0.975] |
|-------|---------|---------|-------|-------|--------|--------|
| const | 30.5443 | 5.425   | 5.630 | 0.000 | 19.912 | 41.177 |

- La constante du modèle est significatif.

### 4. Validation du Modèle :

#### 4.1. Examination des Résidus :





- A première vue, les résidus ont les propriétés d'un Bruit Blanc.
- Il n'existe aucun pique significatif dans la FAC et la FAP.

#### 4.2. Test ARCH d'Engle pour l'homoscedasticité des Erreurs.

- $H_0$  : Les résidus au carré sont une séquence de bruit blanc - les résidus sont homoscedastiques.
- $H_1$  : Les résidus au carré n'ont pas pu être ajustés avec un modèle de régression linéaire et présentent une hétéroscédasticité.

La valeur critique : 1.6320909879309025 , la p\_value : 0.15051916477323907

- Étant donné que la p\_value est de  $0.1505 > 0.05$ , nous ne parvenons pas à rejeter l'hypothèse nulle, d'où les résidus sont homoscedastiques
- Donc il n'existe pas d'effet ARCH sur les résidus.

#### 4.3. Test de Ljung-Box d'Autocorrélation des Erreurs :

- $H_0$ : Les résidus sont distribués indépendamment.
- $H_1$ : les résidus ne sont pas distribués indépendamment; ils présentent une corrélation en série.

statistique = 10.181333984986784

p\_value = 0.4247309703532606

- Étant donné que la p\_value est de  $0,4247 > 0,05$ , nous ne parvenons pas à rejeter l'hypothèse nulle, les résidus sont donc distribués indépendamment,
- Ce qui signifie que les résidus ne sont pas autocorrélés

#### 4.4. Test de Jarque-Bera de Normalité des Erreurs :

-  $H_0$  : les données suivent une loi normale.

-  $H_1$  : les données ne suivent pas une loi normale.

statistic= 12.584370443790368

p\_value= 0.0018507113100053596

- Puisque la p\_value =  $0.001 < 0,05$ , nous rejetons l'hypothèse nulle. Ainsi, nous avons des preuves suffisantes pour dire que ces données ont une asymétrie et un kurtosis qui sont significativement différents d'une distribution normale.
- Donc les erreurs ne suivent pas une loi Normale.

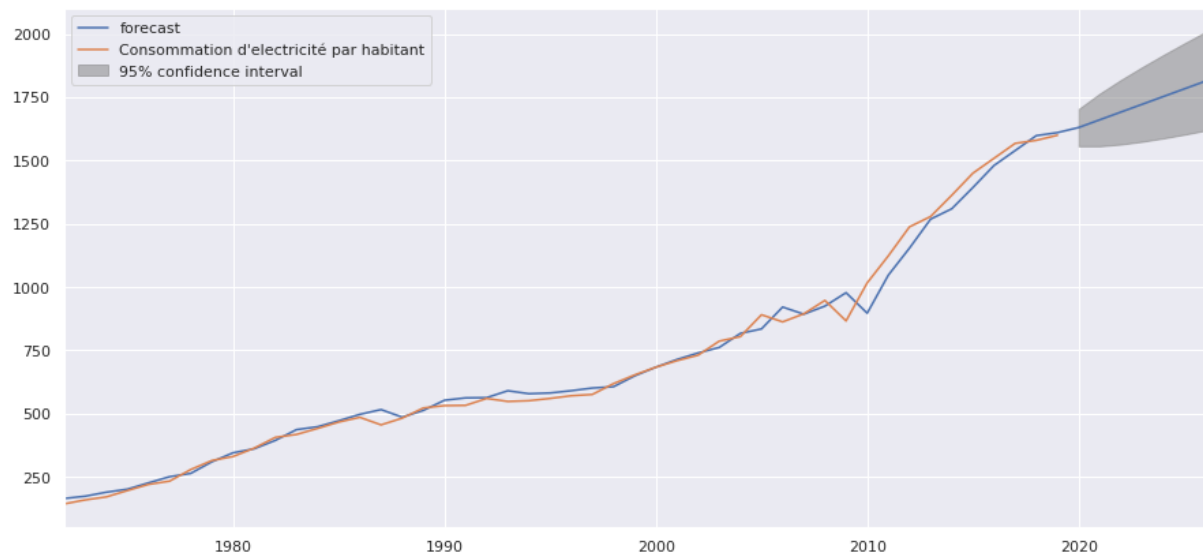
#### 5. Prédiction pour les années 2020 – 2024 :

##### 5.1. Prédiction :

Le tableau ci-dessous montre la prédiction de la consommation d'électricité pour les années 2020 jusqu'à 2024.

| Prevision |             |
|-----------|-------------|
| Années    |             |
| 2020      | 1630.544302 |
| 2021      | 1661.088605 |
| 2022      | 1691.632907 |
| 2023      | 1722.177209 |
| 2024      | 1752.721512 |

##### 5.2. Graph de la prédiction :



- On remarque que le graph du modèle ARIMA(0,1,0) est très proche de celui des vrais valeurs.

# CONCLUSION

Le développement économique d'un pays, sa croissance démographique ainsi que l'amélioration des conditions de vie nécessitent une forte demande en énergie électrique.

L'évolution de la production de l'électricité et de gaz en Algérie s'est faite depuis l'indépendance, cette évolution a été remarquable.

Notre étude a porté sur l'analyse des séries chronologiques représentant l'évolution annuelle de la consommation d'électricité par habitants en Algérie aux périodes 1971 – 2019.

On a modélisé cette série par un des modèles linéaires de séries chronologiques (Processus ARMA). On a commencé par l'application de la méthodologie de Box-Jenkins qui a donné un modèle ARMA.

L'étude prévisionnelle de la production reste un point faible dans la série chronologique, car il existe plusieurs facteurs qui influent sur l'évolution de la consommation comme la baisse considérable du pouvoir d'achat des individus aux files des années.

# BIBLIOGRAPHIE

## Ouvrages et références :

- Bernard Pu, « statistique descriptive », 4eme édition, Economica, paris, 1996.
- Charpentier A, «Cours de séries temporelles : théories et applications», Université Paris Dauphine, Paris, 2003.
- Régis Bourbonnais et Michel Terraza," Analyse des séries temporelle, application à l'économie et à la gestion", édition DUNDO, Paris 2009.
- Sandrine Lardic & Valeri Mignon : «Econométrie des séries temporelles macroéconomique et financière», édition Dunod, 2002

## Mémoires :

- Mr. AYACHI BOUALEM , Mr. BELILA ABDESSAMED : Etude prévisionnelle a court terme de la production d'électricité en Algérie, Cas : Centrale thermique jijel,, ENSSEA 2011.
- Mlle: Rekab Djabri Messaouda, Mlle : Abboud Lamia : Etude analytique et prévisionnelle à court terme des carburants terres Cas : NAFTAL, ENSSEA 2013.
- BEN MEHDI Yassine, HASSANI Mohamed Bachir : Ventes prévisionnelles des véhicules par la méthode BOX&JENKINS Cas : Toyota Algérie SPA, ENSSEA 2012.

## Sites web :

- [www.sonelgaz.dz/fr/](http://www.sonelgaz.dz/fr/)
- [donnees.banquemondiale.org/indicateur/EG.USE.ELEC.KH.PC?locations=DZ](http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/EG.USE.ELEC.KH.PC?locations=DZ)
- [www.iea.org/data-and-statistics](http://www.iea.org/data-and-statistics)