

## **UNIVERSITE OUAGA II**

Centre d'Etudes, de Documentation  
et de Recherche Economiques et Sociales (CEDRES)

# **REVUE ECONOMIQUE ET SOCIALE AFRICAINE**

## **SÉRIES ÉCONOMIE**

**Impact des conflits armés sur la santé des ménages en Côte d'Ivoire?**

Tito Nestor TIEHI

**Analyse des déterminants de l'intensité énergétique  
dans les pays membres de la CEMAC**

Hermann Clachel LEKENA & Mathias Marie Adrien NDINGA

**Dépenses publiques en infrastructures routières  
et croissance économique au Burkina Faso**

Nouhoun Oumarou MAIGA & Soumaïlla BITIBALE

**Analyse des déterminants de la consommation d'électricité au Mali**

Mahamadou Beidaly SANGARE

**Qualité des institutions et flux entrants d'investissements  
directs étrangers dans les pays d'Afrique subsaharienne ?**

Julien Ghislain MOUANDA MAKONDA

[www.cedres.bf](http://www.cedres.bf)

La REVUE CEDRES-ETUDES « séries économiques » publie, semestriellement, en français et en anglais après évaluation, les résultats de différents travaux de recherche sous forme d'articles en économie appliquée proposés par des auteurs appartenant ou non au CEDRES.

Avant toute soumission d'articles à la REVUE CEDRES-ETUDES, les auteurs sont invités à prendre connaissance des « recommandations aux auteurs » (téléchargeable sur [www.cedres.bf](http://www.cedres.bf)).

Les articles de cette revue sont publiés sous la responsabilité de la direction du CEDRES. Toutefois, les opinions qui y sont exprimées sont celles des auteurs.

En règle générale, le choix définitif des articles publiables dans la REVUE CEDRES-ETUDES est approuvé par le CEDRES après des commentaires favorables d'au moins deux (sur trois en générale) instructeurs et approbation du Comité Scientifique.

La plupart des numéros précédents (68 numéros) sont disponibles en version électronique sur le site web du CEDRES [www.cedres.bf](http://www.cedres.bf)

La REVUE CEDRES-ETUDES est disponible au siège du CEDRES à l'Université Thomas SANKARA et dans toutes les grandes librairies du Burkina Faso et aussi à travers le site web : [www.cedres.bf](http://www.cedres.bf)

### **DIRECTEUR DE PUBLICATION**

Pr Pam ZAHONOGO, Université Ouaga II (UO2)

### **COMITE EDITORIAL**

Pr Pam ZAHONOGO, UO2 Editeur en Chef

Pr Noel THIOMBIANO, Université Ouaga II

Pr Denis ACCLASATO, Université d'Abomey Calavi

Pr Akoété AGBODJI, Université de Lomé

Pr Chérif Sidy KANE, Université Cheikh Anta Diop

Pr Eugénie MAIGA Université Norbert Zongo Burkina Faso

Pr Mathias Marie Adrien NDINGA, Université Marien N'Gouabi

Pr Omer COMBARY, Université Ouaga II

Pr Abdoulaye SECK, Université Cheikh Anta Diop

Pr Charlemagne IGUE, Université d'Abomey Calavi

### **SECRETARIAT D'EDITION**

Dr Samuel Tambi KABORE, UO2

Dr Jean Pierre SAWADOGO, UO2

Dr Théodore Jean Oscar KABORE, UO2

Dr Kassoum ZERBO, Université Ouaga II

### **COMITE SCIENTIFIQUE DE LA REVUE**

Pr Abdoulaye DIAGNE, UCAD (Sénégal)

Pr Adama DIAW, Université Gaston Berger de Saint Louis

Pr Gilbert Marie Aké N'GBO Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)

Pr Albert ONDO OSSA, Université Omar Bongo (Gabon)

Pr Mama OUATTARA, Université Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)

Pr Idrissa OUEDRAOGO, Université Aube Nouvelle

Pr Kimséyinga SAVADOGO, Université Ouaga II

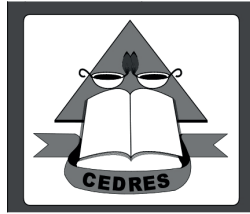
Pr Gnanderman SIRPE, Université Ouaga II

Pr Nasser Ary TANIMOUNE, Université d'Ottawa (Canada)

Pr Gervasio SEMEDO, Université de Tours

Pr Pam ZAHONOGO, Université Ouaga II

Centre d'Etudes, de Documentation et de Recherche Economiques et Sociales (CEDRES)



[www.cedres.bf](http://www.cedres.bf)

# **REVUE CEDRES-ETUDES**

Revue Economique et Sociale Africaine

**REVUE CEDRES-ETUDES N°69**

Séries économie

1<sup>er</sup> Semestre 2020



# SOMMAIRE

**Impact des conflits armés sur la santé des ménages en Côte d'Ivoire.....07**

Tito Nestor TIEHI

**Analyse des déterminants de l'intensité énergétique  
dans les pays membres de la CEMAC.....30**

Hermann Clachel LEKANA & Mathias Marie Adrien NDINGA

**Dépenses publiques en infrastructures routières et croissance  
économique au Burkina Faso.....59**

Nouhoun Oumarou MAIGA & Soumaïla BITIBALE

**Analyse des déterminants de la consommation d'électricité au Mali.....91**

Mahamadou Beidaly SANGARE

**Qualité des institutions et flux entrants d'investissements directs  
étrangers dans les pays d'Afrique subsaharienne.....122**

Julien Ghislain MAKONDA



# **Analyse des déterminants de la consommation d'électricité au Mali**

**Dr. Mahamadou Beïdaly SANGARE**

*Enseignant-Chercheur,  
Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako  
Tél. : + 223-66-27-33-22 / + 223-76-25-18-79  
delta\_962000@yahoo.fr*

## Résumé

L'objectif de cet article est d'identifier les déterminants de la consommation d'électricité au Mali à court et long terme, afin de contribuer au renforcement des outils de prévision et de planification dans ce secteur pour une meilleure adéquation entre l'offre et la demande. Pour comprendre les causes des fluctuations à court terme, nous avons procédé à une analyse descriptive des relevés mensuels de consommation d'électricité au Mali de 2013 à 2017. Il se dégage de cette observation que les fluctuations de consommation d'électricité au cours de l'année sont dues aux variations climatiques. Pour ce qui est des déterminants à long terme, l'analyse du modèle vectoriel autorégressif (VAR) estimé à cet effet montre, l'absence de lien de causalité entre la consommation d'électricité par habitant et la croissance économique. Par ailleurs, les chocs affectant la consommation d'électricité par habitant sont surtout induits par la frange urbaine de la population. Pour une meilleure adaptation de l'offre d'électricité aux besoins des populations et de l'économie nationale, nous recommandons la prise en compte des variables socioéconomiques et climatiques dans le schéma de développement du secteur de l'électricité au Mali.

**Mots clés :** Consommation d'électricité, Facteur climatique, Croissance démographique, Croissance économique, Taux d'urbanisation, Modèle VAR.

**Code JEL :** A1, J1, O47, R0, C22.



## **Abstract**

The objective of this research is to identify the determinants of electricity consumption in Mali in the short and long term thus contributing to the strengthening of forecasting and planning tools in this sector for a better match between supply and demand. To understand the causes of short-term fluctuations we carried out a descriptive analysis of monthly electricity consumption records in Mali from 2013 to 2017. It emerges that fluctuations in electricity consumption during the year are due to climatic variations. Regarding the long-term determinants the analysis of the autoregressive vector model (VAR) estimated shows the absence of a causal link between electricity consumption per capita and economic growth moreover that changes affecting electricity consumption per capita are induced by the urban fringe of the population. For a better adaptation of the electricity supply to the needs of the populations and the national economy, we recommend that socioeconomic and climatic variables be taken into account in the development plan for the electricity sector in Mali.

## Introduction

Le secteur de l'électricité est un secteur à vocation économique et sociale, pourvoyeur de produits, de services et de commodités. L'électricité a un caractère éminemment transversal, en ce sens qu'elle est nécessaire à la plupart des secteurs du développement socio-économique. Aussi, ne peut-elle être déconnectée des besoins de la population et de l'économie nationale, elle contribue de manière significative à toutes les activités humaines pour l'atteinte des meilleures conditions de vie qu'il s'agisse de l'éducation, de la santé, de l'accès à l'eau potable et des activités génératrices de revenus.

La progression de la production et de la consommation d'électricité est un important indicateur de développement économique et social. Percebois (2000), trouve que la relation positive entre la consommation d'électricité et la croissance économique est un postulat presque irréfutable si l'on tient compte du rôle de l'électricité dans le bien-être social et les effets d'envergure du réseau électrique qui font qu'à mesure que le réseau s'élargit, on constate une augmentation du nombre de services offerts en relation avec le réseau. Les résultats de Hamadi et Soliman (2005) corroborent aussi cette relation positive entre la consommation d'électricité et la croissance du PIB. Par conséquent, le développement économique du Mali, est fortement tributaire de sa capacité à mettre des quantités d'électricité toujours croissantes et suffisantes à la disposition de ses différents secteurs socioéconomiques.

Malgré un potentiel hydroélectrique très important (plus de 3000 MW), la production et la consommation d'électricité au Mali restent parmi les plus faibles au monde. Dans le classement mondial de l'Agence Internationale pour l'Energie (AIE) en 2018, le Mali occupait la 164<sup>ème</sup> place avec une consommation d'électricité par habitant de 162 KWH. Dans ce contexte, si des dispositions adéquates ne sont pas suffisamment prises à temps, le développement socioéconomique du Mali risque d'être fortement handicapé et le malaise social s'instaurera.

Par ailleurs, au fur et à mesure que la population croît et que l'activité économique se développe, le problème de la fourniture d'électricité en quantité et en qualité se pose avec de plus en plus d'acuité.

L'offre d'énergie électrique au Mali augmente en moyenne de 4% par an alors que la demande, tirée par l'urbanisation rapide, croît en moyenne de 14% par an (Sangaré 2014). Le déficit entre l'offre et la demande se traduit par des délestages et des interruptions dans la fourniture surtout en période de chaleur. En 2017, on a enregistré 6173 interruptions sur l'ensemble du réseau pour une durée totale de 157 843 minutes (soit près de 110 jours d'interruption).

La production d'électricité nécessite des équipements spécifiques et très coûteux dont la mise en place requiert un certain délai. De ce fait, il est difficile d'augmenter les capacités de production à court terme. D'autant plus que, la non-stokabilité de l'électricité, combinée à son caractère essentiel pour le client, nécessite l'instantanéité de l'adaptation de la production à la manifestation des demandes. L'adéquation entre l'offre et la demande d'électricité doit donc être permanente. Cela nécessite d'identifier, de modéliser et de planifier les facteurs influençant la consommation d'énergie électrique, permettant ainsi, d'élaborer des scénarios d'évolution réalistes et d'ajustements utiles.

Cet article a donc pour objet d'identifier les déterminants de la consommation d'électricité au Mali à court et long terme. Il contribuera à la compréhension de l'évolution des besoins, ainsi qu'au renforcement des outils de prévision et de planification pour une meilleure adéquation entre l'offre et la demande d'électricité.

La démarche méthodologique est basée sur l'analyse descriptive et économétrique de la consommation d'électricité au Mali, à court et long terme. A cet effet, deux sources de données seront utilisées : d'une part, les séries mensuelles de la consommation d'électricité disponibles dans les rapports d'activités de la Société d'électricité du Mali (EDM-SA) pour la période de 2013 à 2017 ; d'autre part, les séries annuelles de la BCEAO

sur différentes variables socioéconomiques disponibles sur la période de 1960 à 2018.

Après cette introduction, la suite de l'article sera structurée en trois sections. La première dressera la revue de la littérature des déterminants de la consommation d'électricité. La seconde section décrira la démarche méthodologique adoptée. Enfin, la troisième section présentera les résultats des analyses descriptive et économétrique.

## **I. Revue de la littérature**

La littérature sur les déterminants de la consommation d'électricité est surtout empirique et peut être abordée sous l'angle microéconomique ou macroéconomique.

L'approche microéconomique traite la question en termes de demande d'électricité. En effet, l'électricité peut être demandée comme facteur de production (par le secteur industriel) mais surtout comme commodité (pour l'usage domestique et résidentiel). Pour ce dernier usage, les enquêtes sur les dépenses des ménages régulièrement réalisées dans la plupart des pays constituent une source importante d'informations. Ainsi, plusieurs auteurs se sont intéressés à la demande résidentielle d'électricité (Aucoin, 2007 ; Lampin, 2013 ; Allibe, 2017, Levy et al, 2014 ; Thioune, 2016, etc.). Ces auteurs lient en général la demande d'électricité à des variables comme, le revenu du ménage, le facteur climatique (mesuré par la température), la structure démographique du ménage, le prix de l'électricité, les énergies de substitution, l'efficacité des appareils électriques, etc. Si le revenu et la taille du ménage ont tendance à faire augmenter la consommation d'électricité (Aucoin, 2007 et Levy et al, 2014), l'utilisation rationnelle de l'énergie et le recours à des appareils électriques efficaces, freinent la consommation d'électricité (Lampin, 2013 et Allibe, 2017). Plusieurs auteurs soulignent l'influence du climat sur la consommation d'électricité, cependant, son sens diffère selon les

régions du monde. En effet, si les basses températures ont tendance à accroître la consommation d'électricité dans les pays comme la France (Allibe, 2013 ; Levy et al, 2014), la Suisse (Rapport de conseil fédéral, 2017) et le Canada (Aucoin, 2007), ce sont les températures élevées qui stimulent la consommation d'électricité au Sénégal (Thioune, 2016).

Quant aux déterminants macroéconomiques de la consommation d'électricité, ils n'ont pas mobilisé autant de recherches que l'approche microéconomique. Toutefois, on peut citer Diagne (2017) qui a utilisé un modèle vectoriel autorégressif (VAR) pour modéliser la consommation d'électricité au Sénégal, même si le choix des variables retenues dans ce modèle reste à discuter. En effet, l'utilisation dans le même modèle de la consommation totale d'électricité, de ses composantes basse et moyenne tension dont elle constitue la somme nous semble peu pertinente. Dans un rapport en 2017, le conseil fédéral de la confédération Suisse, a identifié des valeurs macroéconomiques telles que la hausse du PIB et celle de la population comme facteurs alimentant la croissance de la consommation d'électricité.

On retient de façon générale, que les déterminants macroéconomiques de la consommation d'électricité ont fait l'objet de très peu d'analyses. En effet, la question des déterminants de la consommation d'électricité semble avoir été diluée dans la problématique plus générale de l'énergie. Or, dans ce domaine, la richesse de la littérature tient plus de la diversité des approches méthodologiques ou des modèles utilisés que du débat sur les déterminants de la consommation énergétique. En effet, l'unanimité semble faite quant aux facteurs influençant la consommation d'énergie, à savoir : les facteurs économiques, les facteurs démographiques et les facteurs physiques (climatiques et technologiques). Ainsi, des auteurs comme Kraft et Kraft, (1978), Yu et Choi, (1985), Erol et Yu (1987), Masih et Masih (1996), Mahadevan et Asafu (2006), ont tous démontré qu'il existe une relation statistique positive entre la croissance économique et la consommation d'énergie.

Toutefois, Gbaguidi (2015) utilisant une spécification log-linéaire sur des données de panel de six pays de la CEDEAO, a montré que le revenu par tête affecte négativement la demande d'énergie aussi bien à long terme qu'à court terme. Aussi, observe-t-on dans la littérature une abondance de modèles de demande ou de prévision de la consommation d'énergie. Ces modèles peuvent être classés selon : leur objectif général, (simulation ou optimisation) ; leur structure (type, organisation et niveau d'agrégation des données) ; leur approche analytique (top down ou bottom up) ; le type de régression utilisé ; la zone géographique ou les secteurs économiques couverts ; la projection dans le temps (court, moyen ou long terme) et les données requises (Sughanti, 2012).

En dépit de leur grande diversité, on peut regrouper ces modèles en deux grandes catégories : les modèles économétriques et les modèles d'optimisation. Dans la première catégorie, on retrouve les modèles de séries temporelles (Villa, 2000 et Pappa, 2008), les modèles à équations multiples (Sharma et al, 2002) et les modèles ad-hoc (Intarapavich, 1996 ; Zhidong, 2003 et Lampin, 2014). Dans la deuxième catégorie nous pouvons citer : le modèle LEAP (Long range Energy Alternatives Planning System) développé par le Stockholm Environment Institute at Boston, les modèles MARKAL (Market Allocation) et TIME-G5, tous deux développés par l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) et les Modèles MAED-1 et MAED-2 développés par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA). Ces deux derniers modèles ont fait l'objet d'applications électriques par Miskinis (2002), pour prévoir la consommation d'énergie électrique de la Lituanie et par Hainoun (2006), pour élaborer différents scénarios de consommation énergétique en Syrie sur un horizon de 30 ans. Ce groupe peut être complété par les modèles inspirés du Modèle d'Equilibre Général Calculable (MEGC) développés notamment par Beaver et Huntington (1992) et Bhattacharyya (1996).

Pour notre part, nous considérons qu'en tant que composante essentielle des besoins énergétiques, la consommation d'électricité est à certains égards soumise aux mêmes déterminants que la consommation globale

d'énergie. Nous tenterons donc de modéliser la consommation d'électricité au Mali en liant son évolution à celles de certaines variables socioéconomiques.

## **II. Méthodologie de recherche**

Afin d'identifier les déterminants de la consommation globale d'électricité au Mali à court et long terme, nous adopterons une démarche méthodologique basée sur l'analyse descriptive et la modélisation économétrique des séries temporelles.

### **II.1. Analyse descriptive**

Dans cette étape, il s'agira d'analyser les variations de la consommation d'électricité à court terme c'est-à-dire dans l'intervalle d'une année (12 mois). Pour mieux cerner ces variations, nous analyserons les données mensuelles de la consommation d'électricité au Mali sur une période de cinq ans (2013 à 2017). L'objectif recherché étant de découvrir les causes des fluctuations de la consommation d'électricité au cours d'une année. L'analyse sera donc particulièrement descriptive.

### **II.2. Analyse économétrique**

Elle vise à construire un modèle économétrique (ad-hoc) mettant en relation la consommation d'électricité et d'autres variables socioéconomiques. Nous partons de l'hypothèse qu'en tant que composante de la consommation globale d'énergie, celle de l'électricité est soumise à l'influence des mêmes facteurs que la consommation d'énergie. Nous retenons dans l'analyse économétrique certaines variables issues des facteurs identifiés dans la littérature économique comme les principaux déterminants de la consommation d'énergie.

### II.2.1. Le choix des variables

La littérature économique explique généralement la consommation d'énergie par des facteurs appelés effets de quantité : les facteurs économiques, les facteurs climatiques et technologiques et les facteurs démographiques. En supposant que les mêmes facteurs peuvent influencer la consommation d'électricité, nous allons retenir dans notre analyse les variables suivantes :

- **la consommation d'électricité par habitant ( $Elect\_tête_t$ )** : il s'agit de la quantité d'électricité en KWH consommée par habitant et par an. Elle est obtenue en faisant le rapport de la quantité totale d'électricité produite et consommée au cours d'une année par la population totale du pays. Le reproche fait à cet indicateur est qu'il ne reflète pas les disparités entre les populations urbaines, généralement desservies par le réseau électrique, et les populations rurales défavorisées, surtout dans un pays où l'électricité reste encore l'apanage des centres urbains. Malgré cette faiblesse, la consommation d'électricité reste un indicateur très utilisé par les institutions internationales (Banque mondiale, l'AIE, etc.) ;

- **le taux de croissance du PIB ( $Grow_t$ )** : cette variable nous permettra de mesurer l'influence de l'activité économique sur la consommation d'électricité. Dans la littérature, la hausse du PIB accroît les besoins énergétiques et donc de l'électricité surtout dans un pays où elle reste la principale source d'énergie du système productif. D'un autre point de vue, cette variable permet d'appréhender l'impact de l'augmentation du revenu sur la consommation d'électricité ;

- **le taux de croissance démographique ( $POP\_Grow_t$ )** : l'augmentation de la population s'accompagne de l'augmentation des besoins énergétiques en général. De ce fait la croissance démographique devrait entraîner une augmentation de la consommation d'électricité. Cependant, compte tenu du faible taux d'électrification au Mali (30,76% en 2018) l'accroissement de la population pourrait provoquer une baisse de la consommation d'électricité par habitant ;



- **le taux d'urbanisation ( $URBAN_t$ )** : le taux d'urbanisation est le rapport de la population urbaine à la population totale. Il permet d'appréhender les changements de modes de vie qui sont prépondérants dans la consommation d'électricité. Car une urbanisation rapide crée des effets d'envergure pour la consommation d'électricité avec la multiplication des chaînes de production de biens et services dans tous les domaines d'activités. Enfin l'utilisation de cette variable permet de prendre en compte les disparités entre population urbaine (segment de la population réellement desservie) et populations rurales pour l'accès au service de l'électricité.

### **II.2.2. Spécification du Modèle**

La spécification des modèles de séries temporelles est tributaire de la nature des variables et des caractéristiques des données utilisées. De ce fait, la formulation des relations et les méthodes d'estimation dépendront des résultats de l'analyse des données. Les données utilisées proviennent de la base de données de la BCEAO, il s'agit des séries annuelles couvrant la période de 1960 à 2018. Le choix de cette période s'explique par la disponibilité des données sur toutes nos variables.

De par sa définition, le taux d'urbanisation dépend de la taille de la population, cela risque de créer un biais de simultanéité. Aussi, la croissance économique et l'urbanisation peuvent être corrélées car la croissance économique peut être un accélérateur de l'urbanisation. Enfin, la croissance démographique et la croissance économique peuvent aussi être corrélées. De ce fait, la présence de ces trois variables dans une même équation comme variables exogènes risque de créer des biais dans les résultats. Ce risque doit être pris en compte dans la spécification et l'estimation du modèle.

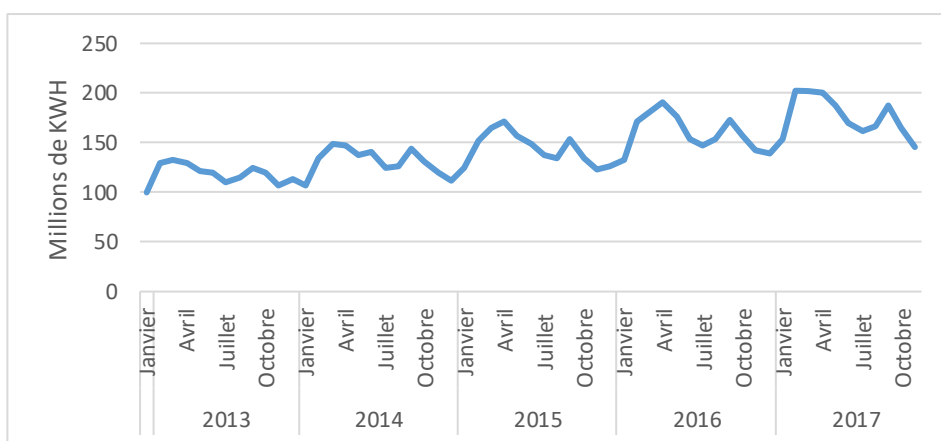
### III. Résultats

Dans cette section, nous présenterons les principaux résultats de l'analyse descriptive et économétrique.

#### III.1. Résultats de l'analyse descriptive

Dans cette sous-section, nous exposons les résultats de l'analyse descriptive de la consommation mensuelle d'électricité au Mali de 2013 à 2017. Nous estimons que cette série est suffisante pour comprendre les causes des variations de la consommation d'électricité au cours d'une année.

#### Graphique 1 : Evolution de la consommation mensuelle d'électricité de 2013 à 2017



- La représentation graphique de la consommation d'électricité montre l'existence d'un trend haussier c'est-à-dire que la consommation augmente avec le temps. Cette tendance générale (trend) calculée à partir de nos données (par la méthode des MCO), peut être représentée par l'équation suivante :

$$y = 1.28t + 103.88$$

Avec  $y$  la consommation d'électricité en million de KWH et  $t$  le temps. On rappelle que nous avons retenu 5 ans pour notre analyse soit 60 mois. Cette équation du trend permet de calculer, pour chaque mois, en faisant varier  $t$  de 1 à 60 la quantité d'électricité en millions de KWH, qui serait consommée si ne s'exerçait que l'influence de la tendance générale.

- Le graphique montre aussi des variations saisonnières, ce qui veut dire que notre chronique est affectée de saisonnalités dont les coefficients sont calculés dans le tableau ci-dessous.

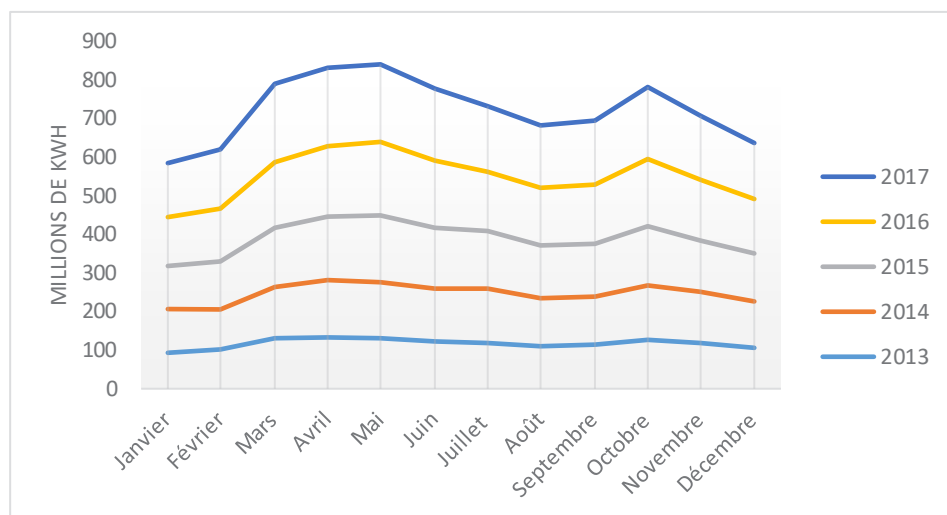
**Tableau 1 : Coefficients saisonniers de la consommation d'électricité au Mali**

Mois	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Coefficient	0,86	0,90	1,14	1,19	1,19	1,09	1,03	0,94	0,95	1,06	0,95	0,85

**Calcul de l'auteur à partir des données de l'EDM-SA**

Ces coefficients permettent de calculer les écarts moyens dans la consommation d'électricité du fait des influences saisonnières. Ainsi, du fait des influences saisonnières, la consommation d'électricité en Avril et en Mai est supérieure de 19% à ce qu'elle serait en moyenne, en absence de cette variation saisonnière. De même, à cause des influences saisonnières la consommation d'électricité est inférieure à son niveau moyen de 15% en Décembre et de 14% en janvier. La question est donc de savoir à quoi sont dues ces variations saisonnières ? L'analyse du graphique suivant en corrélation avec celle des variations climatiques dans l'année nous permet de répondre à cette question.

**Graphique 2 : Consommation mensuelle d'électricité au Mali de 2013 à 2017**



Lorsqu'on observe la consommation d'électricité des cinq dernières années, on constate que chaque année la consommation d'électricité augmente à un rythme modéré de janvier à février. A partir de février, son rythme de croissance s'accélère et elle atteint son maximum entre fin mars et fin mai. Cette pique de consommation peut s'expliquer par la forte chaleur qui prévaut en cette période de l'année (les températures maximales oscillent entre 40 et 45°C), ce qui entraîne une surutilisation des équipements de froid. Ainsi, la consommation reste élevée jusqu'en fin mai où elle amorce une chute du fait de la baisse des températures à la faveur de l'hivernage, cette baisse se poursuit jusqu'en fin août. Mais à partir de septembre, la tendance s'inverse et la consommation d'électricité augmente encore jusqu'en fin octobre à cause du regain de chaleur (hausse des températures) pendant cette période intercalaire. Enfin, elle baisse considérablement à partir de novembre jusqu'en janvier ce qui correspond à la saison froide au Mali. Ces fluctuations saisonnières qui s'observent chaque année, s'expliquent donc par le cycle de la chaleur. On peut donc conclure qu'à court terme, les fluctuations de la consommation d'électricité s'expliquent essentiellement par le facteur climatique. On

rappelle que cette influence du climat sur la consommation d'électricité avait été confirmée par Allibe, (2013) et Levy et al, (2014) en France, par Aucoin, (2007) au Canada et par Thioune, (2016), au Sénégal.

## **III.2. Résultats de l'analyse économétrique**

Dans cette sous-section, nous utiliserons un modèle ad-hoc pour estimer la relation entre la consommation d'électricité et les facteurs qui influencent son évolution à long terme en suivant les étapes de la modélisation des séries temporelles.

### **III.2.1. Analyse des données**

La validité des résultats d'une étude économétrique dépend en partie de l'adéquation entre le type de modèle utilisé et la nature des données. Il s'agira dans cette étape de conduire une série de tests sur les données utilisées afin de discerner leurs caractéristiques.

#### **III.2.1.1. Test de stationnarité et de Cointégration**

Comme notre analyse porte sur des séries temporelles, nous allons d'abord vérifier si elles sont stationnaires en utilisant le test de Dikey et Fuller Augmenté (ADF : Augmented Dikey-Fuller 1981). Les résultats de ce test sont consignés dans le tableau ci-dessous

**Tableau 2 : Résultats du test de stationnarité ADF**

Variable	Définition	Ordre d'intégration	Stationnarité
<i>Elect_tête<sub>t</sub></i>	Consommation d'électricité par tête	1	Non stationnaire
<i>Grow<sub>t</sub></i>	Taux de croissance	0	Stationnaire
<i>POP_Grow<sub>t</sub></i>	Taux de croissance démographique	1	Non stationnaire
<i>URBAN<sub>t</sub></i>	Taux d'urbanisation	2	Non stationnaire

*Source : Estimations de l'auteur à partir des données de la BCEAO*

Les variables ne sont pas intégrées du même ordre. Seul le taux de croissance économique est stationnaire car intégré d'ordre zéro, la consommation d'électricité par habitant et le taux de croissance démographique sont intégrés d'ordre 1, tandis que le taux d'urbanisation est intégré d'ordre 2. Ce résultat justifie la conduite d'un test de cointégration. Nous utiliserons à cet effet le test de Johansen (1988).

**Tableau 3 : Résultats du test de cointégration de Johansen**

Nbre de relation de cointégration	Trace Statistic	Probabilité	Max-Eigen statistic	Probabilité
0	80.26897	0.0000	50.94658	0.0000
1	29.32238	0.0566	25.22274	0.0112
2	4.099643	0.8953	3.895049	0.8702
3	0.204594	0.6510	0.204594	0.6510

*Source : estimations de l'auteur à partir des données de l'EDM-SA*

Les statistiques utilisées par Johansen pour détecter les relations de cointégration sont la « *Trace Statistic* » et la « *Max-Eigen Statistic* » ; la première statistique indique l'existence d'une relation de cointégration à 5% tandis que la seconde en indique 2.

### III.2.1.2. Test de causalité de Granger

Ce test vise à vérifier l'existence et le sens de la causalité entre les variables du modèle. La connaissance du sens de la causalité entre les variables d'un modèle est importante pour la validation des relations établies à partir des hypothèses ou par la théorie, mais aussi pour la formulation des politiques économiques dans la pratique.

**Tableau 4 : Résultats du test de causalité de Granger**

<b>Null Hypothesis :</b>	<b>Obs</b>	<b>F-Statistic</b>	<b>Probability</b>
ELECT_TETE does not Granger Cause URBAN	55	0.36111	0.69867
URBAN does not Granger Cause ELECT_TETE		11.9321	5.6E-05
ELECT_TETE does not Granger Cause GROW	56	0.46981	0.62780
GROW does not Granger Cause ELECT_TETE		0.22135	0.80220
ELECT_TETE does not Granger Cause POP_GROW	56	0.69020	0.50610
POP_GROW does not Granger Cause ELECT_TETE		7.31589	0.00161

URBAN does not Granger Cause POP_GROW	55	4.97179	0.01065
POP_GROW does not Granger Cause DURBAN		4.88577	0.01145
GROW does not Granger Cause POP_GROW	57	0.09707	0.90765
POP_GROW does not Granger Cause GROW		0.68316	0.50949
GROW does not Granger Cause URBAN	55	0.28317	0.75457
URBAN does not Granger Cause GROW		0.36336	0.69712

**Estimations de l'auteur à partir des données annuelles de la BCEAO.**

Les résultats montrent que l'urbanisation (URBAN) et la croissance démographique (POP\_GROW) causent la consommation d'électricité par tête (ELECT\_TETE) au sens de Granger. Par contre, ils témoignent de l'absence de lien de causalité entre la croissance économique (GROW) et la consommation d'électricité par tête. Les résultats montrent aussi l'existence d'une boucle rétroactive ou causalité dans les deux sens (feedback effect) entre le taux de croissance démographique et le taux d'urbanisation.

Au regard de ces résultats, l'estimation d'un modèle VAR semble plus appropriée.



### III.2.2. Estimation du modèle VAR

Dans un modèle VAR, chaque variable est fonction de ses propres valeurs passées mais aussi des valeurs passées des autres variables.

Soit  $Y_{jt}$ , la variable  $j$  au temps  $t$ , où  $j = 1; 2 \dots k$  et  $t = 1, 2 \dots T$ . Un modèle VAR d'ordre  $q$  peut prendre la forme suivante :

$$Y_{jt} = \alpha_j + \sum_{i=1}^q \beta_{1i} Y_{1t-i} + \sum_{i=1}^q \beta_{2i} Y_{2t-i} + \dots + \sum_{i=1}^q \beta_{ki} Y_{kt-i} + \varepsilon_j$$

De façon condensée :

$$Y_{jt} = \alpha_j + \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^q \beta_{ji} Y_{jt-i} + \varepsilon_j$$

Comme l'estimation du modèle VAR ne peut se faire qu'avec des variables stationnaires, nous allons donc stationnariser toutes les variables par filtre aux différences, à l'exception du taux de croissance économique (*Grow*) qui est déjà stationnaire à niveau (intégré d'ordre 0).

Par ailleurs, avant d'estimer les paramètres du modèle ( $\alpha_j$  et  $\beta_{ji}$ ), il faut au préalable déterminer l'ordre  $q$  du VAR, c'est-à-dire le nombre de retard optimal.

#### III.2.2.1. Détermination du nombre de retard optimal du VAR

Nous utilisons les critères d'information d'Akaike et de Schwartz pour déterminer le nombre de retard optimal du modèle. Le principe est que le nombre de retard optimal est celui qui minimise la fonction d'information d'Akaike ou de Schwartz.

**Tableau 5 : Détermination du nombre de retard optimal**

Nombre de retard	Critère d'Akaike (AIC)	Critère de Schwarz (SC)
1	6.754850	7.471710
2	5.596076	6.898088
<b>3</b>	<b>4.075599</b>	<b>5.973442</b>
4	4.266427	6.771074

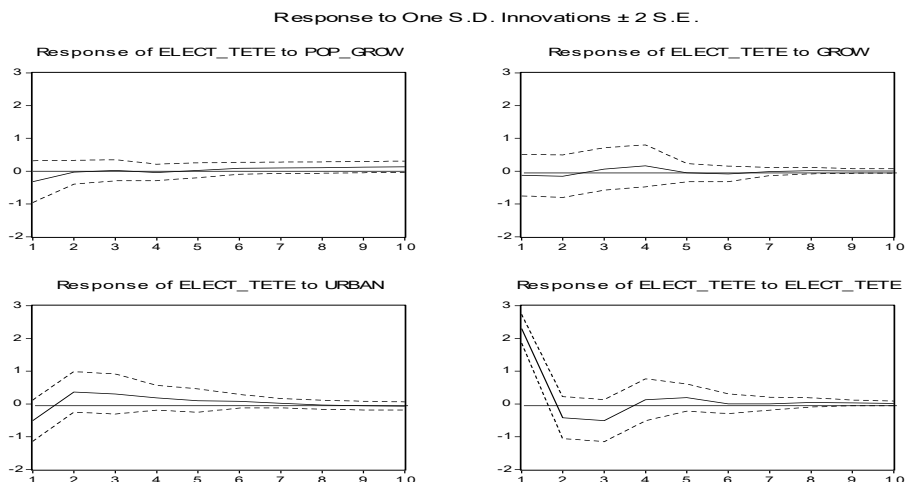
Source : Estimations de l'auteur à partir des données de la BCEAO

Les critères d'Akaike et de Schwarz (SC) indiquent 3 comme nombre optimal de retard du modèle. Les résultats de l'estimation des paramètres du VAR(3) sont en annexe.

### III.2.2.2. Les fonctions de réponses impulsionnelles

Un choc se traduit par une hausse spontanée d'une variable qui peut se transmettre aux autres variables en suscitant une réaction en elles. Notre variable d'intérêt étant la consommation d'électricité par tête, nous stimulerons ici l'impact des chocs (innovations) des autres variables sur elle.

### Graphique 3 : Fonctions de réponses impulsionnelles



Les courbes d'impulsion permettent d'analyser les réponses de la consommation d'électricité par tête à une hausse spontanée du taux de croissance démographique, du taux de croissance économique, du taux d'urbanisation, ainsi que sa réaction à ses propres innovations. Ainsi :

- un choc positif sur la croissance démographique se traduit par un impact négatif de très faible amplitude sur la consommation d'électricité par tête, car l'effet s'annule presque immédiatement à la période suivante. Une accélération de la croissance démographique provoque donc une faible et éphémère baisse de la consommation d'électricité par tête ;
- un choc positif sur la croissance économique n'a pas d'effet sur la consommation d'électricité par habitant car celle-ci disparaît presque instantanément. Cela veut dire que la croissance de l'activité économique n'a aucune influence sur la consommation d'électricité par habitant. ce qui semble être en contradiction avec les résultats des études antérieures, notamment celles de Hamadi et Soliman (2005) ; Kraft et Kraft (1978) ; Yu et Choi (1985) ; Erol et Yu (1987) ; Masih et Masih (1996) ; et Mahadevan et Asafu (2006) ;

- la consommation d'électricité par tête réagit négativement à un choc affectant le taux d'urbanisation pendant la première année, mais l'effet dévient positif à partir de la deuxième année et finit par s'estomper au bout de la cinquième année.

- un choc positif sur la consommation d'électricité, se traduit par un impact négatif sur lui-même à partir de la deuxième année, puis elle se stabilise au bout de la quatrième année, retrouvant ainsi son niveau de long terme.

### III.2.2.3. Décomposition de la variance de l'erreur de prévision

La décomposition de la variance de l'erreur de prévision a pour objectif de calculer pour chacune des innovations, sa contribution à la variance de l'erreur.

**Tableau 6 : Décomposition de la variance de l'erreur de prévision**

Période	S.E.	POP_GROW	GROW	URBAN	ELECT_TETE
1	0.018143	1.804331	0.273611	4.625852	93.29621
2	0.053571	1.722192	0.648693	6.561645	91.06747
3	0.103346	1.634220	0.678540	7.633235	90.05400
4	0.160432	1.639760	1.072769	8.097997	89.18947
5	0.216227	1.635508	1.100084	8.192353	89.07206
6	0.263617	1.739598	1.203994	8.266922	88.78949
7	0.298864	1.888488	1.204087	8.260193	88.64723
8	0.322013	2.060182	1.204868	8.254402	88.48055
9	0.335762	2.281625	1.201791	8.272910	88.24367
10	0.343635	2.556228	1.197641	8.310362	87.93577

*Calcul de l'auteur à partir des données de la BCEAO*

La variance de l'erreur de prévision de la consommation d'électricité par tête est en moyenne due à 89.48% à ses propres innovations, 1.9% aux innovations du taux de croissance démographique, 0.98% aux innovations du taux de croissance économique et 7.65% aux innovations du taux d'urbanisation.

On en déduit que la consommation d'électricité par tête est plus sensible aux chocs affectant le taux d'urbanisation qu'aux innovations affectant les autres variables.

## Conclusion

Le déficit de l'offre d'électricité par rapport aux besoins de la population et de l'économie nationale peut être un handicap au développement économique et social du Mali. L'adaptation permanente de l'offre d'électricité à l'évolution des demandes (industrielle et domestique) nécessite l'identification, la modélisation et la planification des déterminants de la consommation d'électricité au Mali. L'objectif principal de notre étude est donc d'identifier les déterminants de la consommation d'électricité au Mali à court et long terme.

Afin, d'appréhender les causes des variations de la consommation d'électricité à court terme, nous avons analysé les données mensuelles de la société d'électricité du Mali (EDM-SA) de 2013 à 2017. Il en ressort que la consommation d'électricité est plus importante pendant les périodes de chaleur (de février à juin et de septembre à octobre). En revanche, elle diminue considérablement en période de fraîcheur (de novembre à janvier). Les variations climatiques sont donc la principale cause des fluctuations de la consommation d'électricité à court terme.

Pour ce qui est des déterminants de la consommation d'électricité à long terme, nous avons supposé qu'ils sont les mêmes que ceux de la consommation d'énergie en général pour laquelle la littérature économique retient surtout l'influence des facteurs économiques, démographiques, et technologiques sur cette dernière. Nous avons estimé, à partir des données annuelles de la BCEAO, un modèle vectoriel autorégressif (VAR) mettant en relation la consommation d'électricité par habitant, le taux de croissance économique, le taux de croissance démographique et le taux d'urbanisation. L'analyse des fonctions de réponses impulsionnelles montre que la consommation d'électricité par habitant réagit négativement aux chocs affectant le taux d'urbanisation et le taux de croissance démographique. L'impact du choc démographique sur la consommation d'électricité par habitant est négligeable car la

chronique retrouve presque immédiatement son évolution normale. Par contre, l'effet sur l'urbanisation devient positif à partir de la deuxième année et ne s'annule qu'au bout de quatre ans. Ces deux réactions montrent que les changements affectant la consommation d'électricité par habitant sont surtout induits par la frange urbaine de la population qui est en général celle qui a accès à l'électricité. Enfin, on note que contrairement à nos attentes, les innovations sur le taux de croissance économique n'ont pas d'impact sur la consommation d'électricité par tête.

Pour une meilleure adaptation de l'offre d'énergie électrique aux besoins de la population et de l'économie nationale, nous recommandons la prise en compte des variables socioéconomiques et climatiques dans la stratégie de développement du secteur de l'électricité au Mali.

## Bibliographie

**Al Hamadi, H.M. et S.A. Soliman, (2005)**, « Long term/Mid-term electric load forecasting based on short-term correlation and annual growth », *Electrical Power and Energy systems*, N°74, vol.3, PP : 353-361.

**Aucoin, F. (2007)**, « Analyse de la demande d'électricité du secteur résidentiel du Québec », Université du Québec à Montréal.

**Association des Entreprises Electriques Suisses (2015)**, « Facteurs d'influence sur la demande en électricité », VSE. Document Connaissance de base, [www.electricite.ch](http://www.electricite.ch).

**Beaver, R.D. et H.G. Huntington (1992)**, « A comparison of aggregate energy demand models for global warming policy analyses », Elsevier Ltd. Juin 1992.

**Bhattacharyya, S. C. (1996)**, « Applied general equilibrium models for energy studies: a survey », *Energy Economics*, 1996, vol. 18, issue 3, 145-164

**Conseil Fédéral Suisse, (2017)**, « Comprendre les causes de l'évolution de la consommation d'électricité suisse », Rapport du Conseil fédéral en réponse au postulat 15.3583 Nordmann du 17 juin 2015.

**Dabat, M.H. et al, (2014)**, « Comprendre, évaluer et prédire la demande d'énergie: un défi pour les pays en développement », Université de Montpellier I - ART- DeV.

**Diagne, A. (2017)**, « Modélisation économétrique de la consommation d'électricité au Sénégal de 1999 à 2015 », Rapport d'étude ENSAE.

**Erol, U. et E.S.H. Yu, (1987)**, « On the causal relationship between energy and income for industrialised countries », *Journal of energy and development*, vol.13 PP : 113-122.



**Fatai, K. et al (2004)**, « Modelling the causal relationship between energy consumption and GDP in New Zealand, Australia, India, Indonesia, The Philippines and Thailand » *Mathematics and Computers in Simulation* vol. 64, PP : 431–445 Février 2004.

**Hainoun, A. et al (2006)**, « Analysis of the Syrian long-term energy and electricity demand projection using the end-use methodology, *Energy Policy* », Elsevier Ltd, N°14, vol. 34, PP : 1958-1970.

**Intarapravich, D. et al, (1996)**, « Asia-Pacific energy supply and demand to 2010 », *Journal of Energy* N°21, Vol.11, PP : 1017-1039.

**Kraft, J. et A. Kraft, (1978)**, « On the relationship between energy and GNP » *Journal of Energy and development*, Vol.3, PP : 401-403.

**Lévy, J-P. et al, (2014)**, « Les déterminants de la consommation énergétique domestique », *Métropolis Flux* N°96, PP : 40-54.

**Lampin, L. (2014)**, « Les déterminants spatiaux de la demande et de l'efficacité énergétiques », *Economies et finances*. Université Paris-Est.

**Mahadevan, R et J. Asafu-Adjaye, (2006)**, « Energy consumption, economic growth and prices : A reassessment using panel VECM for developing countries », University of Queensland, Australia.

**Masih, A.M.M. et R. Masih, (1996)**, « Energy consumption, real income and temporal causality : result from a multi-country study based on cointegration and error-correction modelling techniques », *Energy Economics*, N°3 Vol. 18, PP :181-191.

**Miskinis, H.V. (2002)**, « Energy demand forecasting in economies in transition », *Energy Studies Reviews*, N°2, Vol.10, PP : 100-120.

**Pappa, S.S. et al, (2008)**, « Electricity demand loads modeling using autoregressive moving average (ARMA) models », *Energy* N°33, PP : 1353-1360.

**Percebois, J. (2000)**, « Cinquante ans de débats (première partie) », Problèmes économiques N°2.670, PP :10-15.

**Sharma, D.P. et al, (2002)**, « Demand for commercial energy in the state of Kerala, India : an econometric analysis with medium-range projections », Energy Policy N°30, PP : 781–791.

**Sughanti, L. et A. A. Samuel (2012)**, « Energy models for demand forecasting: a review Renewable and Sustainable » Energy Reviews, Vol.16, PP :1223-1240.

**Thioune, T. (2015)**, « Tarification et demande résidentielle d'électricité au Sénégal », Thèse de Doctorat ès Sciences économiques UCAD/ED-SJPEG.

**Villa, P. (2000)**, « Evolution sur longue période de l'intensité énergétique », La revue du CEPII, N°82, deuxième trimestre, La documentation française, Paris.

**Yu, E.S.H et J.Y. Choi, (1985)**, « The causal relationship between energy and GNP : an international comparison » Journal of Energy and Development, Vol.10, PP : 249-272.

**Zhidong, L. (2003)**, « An econometric study on China's economy, energy and environment to the year 2030 », Energy Policy, 2003, Vol.31, PP : 1137-1150.

### Annexe : Résultats de l'estimation du modèle VAR (3)

Standard errors & t-statistics in parentheses

	POP_GROW	GROW	URBAN	ELECT_TETE
POP_GROW(-1)	2.705684 (0.05877) (46.0397)	31.73274 (33.8923) (0.93628)	0.173848 (0.07804) (2.22771)	-2.788475 (7.70688) (-0.36182)
POP_GROW(-2)	-2.698868 (0.11283) (-23.9195)	-38.50918 (65.0707) (-0.59181)	-0.301024 (0.14983) (-2.00912)	5.419579 (14.7966) (0.36627)
POP_GROW(-3)	1.021221 (0.06433) (15.8754)	20.49235 (37.0980) (0.55238)	0.185541 (0.08542) (2.17209)	-3.205389 (8.43585) (-0.37997)
GROW(-1)	0.000343 (0.00027) (1.29387)	0.017721 (0.15289) (0.11591)	-2.05E-05 (0.00035) (-0.05827)	-0.016033 (0.03477) (-0.46116)
GROW(-2)	-9.32E-06 (0.00026) (-0.03628)	-0.056521 (0.14811) (-0.38161)	-0.000387 (0.00034) (-1.13349)	0.002722 (0.03368) (0.08081)
GROW(-3)	-0.000411	-0.093601	0.000110	0.017340

	(0.00026)	(0.14919)	(0.00034)	(0.03392)
	(-1.59001)	(-0.62740)	(0.32133)	(0.51114)
URBAN(-1)	-0.251275	-107.6536	1.053002	11.43001
	(0.11367)	(65.5572)	(0.15095)	(14.9073)
	(-2.21048)	(-1.64213)	(6.97587)	(0.76674)
URBAN(-2)	0.196800	90.07816	-0.302110	-4.371798
	(0.16592)	(95.6848)	(0.22032)	(21.7581)
	(1.18615)	(0.94140)	(-1.37124)	(-0.20093)
URBAN(-3)	-0.115458	-39.38322	-0.015023	8.400141
	(0.10800)	(62.2826)	(0.14341)	(14.1626)
	(-1.06909)	(-0.63233)	(-0.10476)	(0.59312)
ELECT_TETE(-1)	0.000240	0.245204	0.001537	-0.181942
	(0.00121)	(0.69611)	(0.00160)	(0.15829)
	(0.19877)	(0.35225)	(0.95862)	(-1.14941)
ELECT_TETE(-2)	0.001806	-0.265241	0.000331	-0.268389
	(0.00120)	(0.69160)	(0.00159)	(0.15726)
	(1.50629)	(-0.38352)	(0.20760)	(-1.70660)
ELECT_TETE(-3)	0.000954	0.165252	0.000900	-0.051054

> Analyse des déterminants de la consommation d'électricité au Mali

	(0.00122)	(0.70537)	(0.00162)	(0.16040)
	(0.78014)	(0.23428)	(0.55431)	(-0.31830)
C	0.035233	10.33752	0.016618	-4.033641
	(0.01183)	(6.82404)	(0.01571)	(1.55174)
	(2.97761)	(1.51487)	(1.05764)	(-2.59943)
R-squared	0.999356	0.149918	0.980664	0.352432
Adj. R-squared	0.999172	-0.092963	0.975140	0.167413
Sum sq. resid	0.018105	6021.478	0.031924	311.3569
S.E. equation	0.020762	11.97366	0.027570	2.722730
F-statistic	5428.288	0.617250	177.5120	1.904841
Log likelihood	142.4787	-207.1749	126.8805	-125.7158
Akaike AIC	-4.708315	8.006359	-4.141111	5.044211
Schwarz SC	-4.233855	8.480820	-3.666650	5.518672
Mean dependent	2.309527	9.377891	0.552473	2.080436
S.D. dependent	0.721333	11.45313	0.174858	2.983938
Determinant Residual Covariance		0.000104		
Log Likelihood		-60.07898		
Akaike Information Criteria		4.075599		
Schwarz Criteria		5.973442		