



**ECREEE**  
TOWARDS SUSTAINABLE ENERGY

#1/2018

# La revue des énergies durables de la CEDEAO (ESEJ)



# La revue des énergies durables de la CEDEAO (ESEJ)

La revue des énergies durables de la CEDEAO est une revue évaluée par des pairs et publiée par le Centre pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (CEREEC) de la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO), Achada Santo Antonio, CP 288, Praia, Cap-Vert.

L'ESEJ est en harmonie avec la mission du CEREEC: promotion des marchés des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique en Afrique de l'Ouest en remédiant aux obstacles techniques, financiers, politiques et réglementaires. Compte tenu de la transformation progressive du paysage énergétique dans la région, l'importance d'acquérir des connaissances pertinentes et scientifiques afin de faciliter la prise de décision ne peut pas être sous-estimée.

Dans le renforcement des connaissances des décideurs, la science a joué un rôle essentiel dans la formation du paysage énergétique, dans l'influence des décisions pour satisfaire les besoins des générations actuelles et même futures. Concernant la région de la CEDEAO, avec les problèmes de la disponibilité des données et de la rareté d'études nationales spécifiques, le besoin de stimuler et de cultiver le développement des projets de recherche scientifique politiquement pertinents n'a jamais été plus urgent, particulièrement à la lumière des objectifs de développement durable de la région.

À travers sa relation avec l'initiative pour le développement du leadership des jeunes dans le domaine de l'énergie de la CEDEAO, l'ESEJ vise particulièrement à donner la parole à la jeunesse ouest-africaine en mettant à disposition une plateforme à travers laquelle elle peut contribuer à l'orientation des décisions relatives au secteur énergétique dans la région.

Les rédacteurs et les éditeurs n'assument aucune responsabilité concernant les points de vue et les affirmations avancés par les contributeurs à leur publication.

## À propos du CEREEC

Le CEREEC a été mis en place par le Règlement C/REG.23/11/08 de la 61e session du Conseil des ministres de la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) à Ouagadougou, Burkina Faso en novembre 2008. Le CEREEC est une agence spécialisée de la CEDEAO qui opère comme une entité indépendante, mais dans le cadre juridique, administratif et financier des dispositions réglementaires actuelles de la CEDEAO. Le centre est créé pour promouvoir l'établissement des marchés régionaux d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique en soutenant diverses activités relatives à la réduction des barrières existantes dans les différents niveaux et secteurs. Ces activités incluent le développement politique, le renforcement des capacités, la sensibilisation, la gestion des connaissances et la mobilisation ainsi que la promotion de l'investissement et le développement des affaires.

## Manuscrits d'articles

Les instructions relatives à la manière de soumettre les manuscrits pour l'ESEJ sont disponibles sur le site web : [www.ecreee.org](http://www.ecreee.org). La correspondance éditoriale doit être envoyée au rédacteur en chef à l'adresse email suivante : [ESEJ@ecreee.org](mailto:ESEJ@ecreee.org)

Tous droits réservés au Centre pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique de la CEDEAO (CEREEC) 2018



# La revue des énergies durables de la CEDEAO (ESEJ)

## **Directeur de Publication**

**MAHAMA KAPPIAH**, Directeur exécutif du CEREEC

## **Rédacteurs en chef**

**MONICA MADUEKWE**, CEREEC

**SIRE DIALLO**, CEREEC

**HYacINTH ELAYO**, CEREEC

## **Comité de rédaction**

**ADEOLA ADENIKINJU (PROFESSEUR)**, Université d'Ibadan, Nigeria

**FRANCIS KEMASUOR (DOCTEUR)**, Université des Sciences et Technologies

Kwame Nkrumah (KNUST)

**EDEM N'TSOUKPOE (DOCTEUR)**, L'Institut international de l'eau et de l'environnement – 2iE

**MOUSSA SORO (DOCTEUR)**, L'Institut international de l'eau et de l'environnement – 2iE

**YURI HANDEM**, CEREEC

## **Éditeur**

Centre régional pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique de la CEDEAO avec le financement de la coopération autrichienne au développement (ADC), de l'Agence espagnole de coopération internationale pour le développement (AECID) et de la Commission européenne.



# La revue des énergies durables de la CEDEAO (ESEJ)

## Table des matières

Volume 1, Numéro 1, janvier 2018

<b>Introduction de l'éditeur en chef, Mahama Kappiah, Directeur exécutif de l'ECREEE</b>	7
<b>Déterminants des dépenses énergétiques des ménages : Analyse sexospécifique réalisée au Nigeria</b> Efobi Uchenna, Akinyemi Opeyemi	9
<b>Efficacité énergétique au Burkina Faso : une analyse des déterminants de l'adhésion des entreprises</b> TRAORE Inoussa, KABORE Idrissa, NIKIEMA Roukiatou	31
<b>Évaluation de la capacité de pénétration de l'énergie renouvelable Réseau électrique de l'île de Boa Vista – Cap-Vert</b> Carlos Eduardo Vieira, Carlos Teixeira Fortunato, Patrício Fernandes Andrade	55
<b>Efficacité énergétique dans les économies de l'Afrique occidentale : Implication pour l'utilisation durable de l'énergie</b> Christian Angui Aboua, Yasmine Fougnigué Touré	65
<b>Facteurs influant l'utilisation de la biomasse agricole non alimentaire pour la production d'énergie renouvelable : L'analyse des acteurs en Gambie, Afrique occidentale</b> Olawale Festus Olaniyan, Pulo Taal, Aji Awa Kara, Adewale Adekunle, Kemo Ceesay	93
<b>Étude de faisabilité sur les systèmes solaires photovoltaïques pour l'approvisionnement en énergie des habitations résidentielles : étude de cas de la métropole de Lagos, Nigeria</b> Sheila Ifeakarochukwu Obi, Iduh Jonathan Joseph Otene, Enongene Kevin Enongene, Chioma Okafor	107



## **Introduction de l'éditeur en chef, Mahama Kappiah, Directeur exécutif de l'ECREEE**

Cher lecteur,

Je suis heureux de vous présenter la première édition du Journal de l'énergie durable de la CEDEAO (ESEJ).

En tant qu'organisation créée avec le mandat d'identifier et d'atténuer les obstacles à la création et au fonctionnement efficace des marchés des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique en Afrique de l'Ouest, connaître nos goulots d'étranglement, ce qu'ils sont et pourquoi ils persistent, est notre métier.

Au fil des ans, ECREEE a développé et continue de mettre en œuvre des initiatives qui traitent des obstacles existants sur les plans technologique, financier, juridique, politique, institutionnel et de la capacité en ce qui concerne le secteur de l'énergie durable. Nous y sommes parvenus en travaillant étroitement avec les secteurs public et privé. A travers ESEJ, nous souhaitons approfondir notre collaboration en vous informant directement des obstacles que vous rencontrez toujours et de vos recommandations concernant la résolution de ces obstacles. Nous considérons ESEJ comme une plate-forme grâce à laquelle nos solutions sont adaptées et adaptées aux besoins de nos parties prenantes, déterminées par des méthodes empiriques.

ESEJ englobe les qualités promues par ECREEE, telles que la prise de décision basée sur des preuves et la présentation de solutions pratiques, applicables et mesurables. À cela s'ajoute l'inclusion des jeunes et des femmes. Cette édition est particulièrement spéciale car les articles de recherche ont été développés dans le cadre de «l'initiative de la CEDEAO sous-direction des jeunes dans le développement de l'énergie». Cette initiative a octroyé des subventions à des équipes de recherche composées d'étudiants masculins et féminins de la maîtrise et du doctorat de la région. Ils ont également bénéficié de l'encadrement et du mentorat de membres du corps professoral des meilleures universités d'Afrique de l'Ouest pour les aider à effectuer des recherches sur des questions d'actualité dans le secteur de l'énergie et ainsi leur permettre de contribuer à éclairer les décisions liées à l'énergie dans leurs pays respectifs et dans la région.

Je suis convaincu que vous apprécierez cette édition et j'ai hâte de vous présenter les éditions suivantes.

Cordialement,



**Mahama Kappiah**



# Déterminants des dépenses énergétiques des ménages : Analyse sexospécifique réalisée au Nigeria<sup>1</sup>

EFOBI UCHENNA<sup>a</sup>, AKINYEMI OPEYEMI<sup>b</sup>

## Résumé

Le présent rapport étudie les déterminants de la dépense en énergie au niveau des ménages à travers les différents seuils de dépenses énergétiques, tout en prenant en considération la dimension sexospécifique. Un ensemble de données d'enquête réalisée à l'échelle nationale (de 2012 à 2013) contenant des informations sur les ménages dans les différentes régions du Nigeria a été utilisé pour aider à l'atteinte de notre objectif. Les estimations ont été faites sur la base de l'approche de régression paramétrique et celle de régression non paramétrique afin de tirer une conclusion rigoureuse. Nous trouvons une relation de forme concave (non linéaire) entre les revenus et les dépenses énergétiques au sein des ménages. Nous trouvons également d'autres déterminants importants des dépenses énergétiques des ménages, notamment la présence des deux chefs de ménage, l'âge moyen des membres du ménage, le type de ménage, la localisation, les biens, pour ne citer que ceux-là. Les résultats interpellent sur la nécessité de mettre en place des mesures politiques différenciées afin de rectifier les politiques qui influent sur les prix de l'énergie. Cette rectification s'impose car les déterminants des dépenses énergétiques des ménages varient selon les caractéristiques de ces derniers, en fonction du montant de la dépense en énergie parmi ces ménages.

**MOTS-CLÉS:** GENRE, ENERGIE DOMESTIQUE, NIGÉRIA

---

a Ecole de commerce, Covenant University, Ota, État d'Ogun, Nigeria. Email: uche.efobi@covenantuniversity.edu.ng; + 234-8036273494

b Département d'économie, Université Covenant, Ota, État d'Ogun, Nigéria. Email: opeyemi.akinyemi@covenantuniversity.edu.ng; + 234-8068953591

### 1 Remerciements

Ce projet de recherche a été financé par le Centre régional pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique de la CEDEAO – Subvention de recherche de l'ECREEE. Les conseils de l'équipe de l'ECREEE et les commentaires utiles de notre mentor, professeur Adeola Adenikinju (Centre pour le pétrole, l'économie et le droit de l'énergie, Université d'Ibadan), sont très appréciés. Les auteurs assument la responsabilité pour tout autre point de vue exprimé dans ce document.

# 1. Introduction

L'ajustement de la demande des ménages à l'offre en électricité a été un sujet important depuis les années 1970 en raison de l'intérêt porté à la conservation de l'énergie et l'impact de la hausse des prix de l'électricité sur le bien-être social. Depuis lors, le secteur énergétique au Nigeria a connu plusieurs réformes en vue de l'amélioration du service de distribution. Par conséquent, le prix moyen de l'électricité résidentielle a grimpé au cours des ans et l'impact sur les différents groupes de revenus demeure toujours une source de préoccupation. Plus particulièrement, cette relation porte sur une problématique pertinente des politiques relatives au bien-être et à la pauvreté du moment qu'il existe une probabilité d'impacts différentiels sur les différents ménages, selon leur groupe de revenu. Ainsi, la relation entre l'utilisation de l'électricité et le revenu demeure un grand centre d'intérêt pour les chercheurs, les analystes politiques et les décideurs politiques.

Les dépenses des ménages en énergie ont augmenté de manière constante de même que la richesse économique des populations. L'impact sur les ménages soulève beaucoup d'inquiétude, car les ménages sont représentatifs d'une part importante de l'utilisation totale d'énergie et du bien-être économique dans les sociétés modernes. Cela dit, une hausse de la demande en électricité résidentielle est prévue dans un futur proche (Jamasb et Meier, 2010). Cette hausse doit être accompagnée par la prise en considération des dimensions socio-économiques importantes relatives aux ménages qui doivent être mieux comprises. C'est dans ce sens que l'objectif de cette recherche porte sur la compréhension de ces dimensions en fonction du revenu et de la structure des ménages, et également sur les enjeux sexospécifiques liés au chef de ménage ainsi qu'à sa composition.

Toutefois, il serait malaisé d'expliquer le lien entre les dépenses énergétiques et le revenu des ménages au moyen d'une description linéaire simple. Dans la plupart des cas, des complications surviennent et elles demandent une attention accrue dans le cadre d'une telle analyse. Les dépenses énergétiques augmentent avec le revenu, mais à un rythme irrégulier (Jamasb et Meier, 2010). Par conséquent, les courbes Engel pour les dépenses énergétiques sont non-linéaires et dans la majeure partie des cas, elles rappellent les courbes-S qui représentent selon les cas, une hausse, une stagnation voire même un fléchissement des dépenses des ménages par rapport au revenu. Dès lors, les politiques orientées vers l'utilisation de l'électricité par les ménages doivent prendre en considération cet aspect de relativité. Partant de là, les politiques peuvent être mieux canalisées ou mises en œuvre en prenant en compte les singularités des différents ménages et la manière dont elles ont une incidence sur les dépenses énergétiques.

Plus précisément, l'objectif de ce rapport est de fournir une analyse comparative des déterminants des dépenses énergétiques à travers les différents seuils de dépense en énergie au Nigeria et à partir d'un point de vue sexospécifique. La principale question de recherche à considérer dans cette étude est de savoir quels sont les déterminants des dépenses énergétiques des ménages à travers les différents seuils de dépenses énergétiques pour les ménages au Nigeria. Afin d'évaluer les relations qui nous intéressent, nous avons d'abord procédé à une estimation non paramétrique en utilisant les régressions polynomiales locales qui présentent une illustration graphique des courbes de régression à travers les différentes estimations. Nous avons ensuite défini et estimé un ensemble de régressions paramétriques qui explique les principaux déterminants socio-économiques et les moteurs des dépenses énergétiques parmi les ménages au Nigeria, tout en prenant en considération les différents seuils de dépense en énergie des ménages. L'approche de régression quantile a été utilisée aux différents seuils de dépenses énergétiques qui varient de 0,10, 0,25, 0,75, à 0,90. Le quantile qui représente le groupe de dépense énergétique le plus bas est 0,10, celui du groupe du milieu est 0,50 et le groupe de revenu supérieur est représenté par 0,90. Nous prévoyons que les dépenses énergétiques augmentent parallèlement avec le revenu des ménages. Plus encore, nous nous attendons à des effets différents de ceux des autres variables socio-économiques des ménages dans les différents groupes de revenu. Par exemple, l'âge moyen du ménage et du chef de ménage, le type de structure du ménage, le nombre moyen d'années de scolarité et la part des femmes membres du ménage sont autant de caractéristiques importantes du ménage qui seront examinées à travers les groupes de revenu par rapport aux dépenses énergétiques.

Notre champ d'enquête est motivé par les raisons suivantes : premièrement, au Nigeria, on assiste à une diminution de la part des ménages qui utilisent l'électricité ; à la place, d'autres sources d'énergie sont utilisées pour les activités domestiques, ceci remet en question l'efficacité du secteur énergétique dans sa capacité à assurer les activités des ménages et l'effet pécuniaire de la hausse des prix de l'électricité au Nigeria. La plupart des autres sources d'énergie sont soit nuisibles à l'environnement à cause des émissions de carbone, soit susceptibles d'entraîner une dégradation supplémentaire de l'environnement matérialisée par la déforestation, entre autres. Par exemple, Ndegwa et al. (2011) observent qu'en Afrique, environ 94 % de la population rurale et 73 % de la population urbaine dépendent des combustibles ligneux comme principale source d'énergie, les zones urbaines reposant fortement sur le charbon et les zones rurales étant plus dépendantes du bois de chauffe. En prenant l'exemple des activités de cuisine qui représentent une part importante de l'énergie dans le ménage, nous pouvons voir que moins de 1 % des ménages nigériens dépendent de l'électricité pour ces activités. Par contre, 72 % utilisent du bois de chauffe et 23,8 % utilisent du pétrole, il n'est donc pas étonnant que le Nigeria perde environ 400 000 hectares de terres par an. Dès lors, la première étape pour résoudre ce détournement de source d'énergie au profit de moyens nocifs pour l'environnement consistera à prendre en compte les facteurs des ménages qui peuvent soutenir les dépenses des ménages en électricité face à la hausse des prix.

Deuxièmement, il est nécessaire de prendre en compte les femmes dans ce type d'analyse énergétique, car elles représentent une grande proportion de la main-d'œuvre domestique qui utilise des sources d'énergie peu écologiques pour les activités ménagères. Les émissions de ces sources d'énergie contiennent généralement des gaz toxiques (particules, monoxyde de carbone, oxyde d'azote, oxyde de soufre et benzène) qui ont un effet néfaste sur la santé des femmes et des enfants qui en Afrique sont traditionnellement chargés de faire la cuisine. Par conséquent, une modification du prix de l'électricité peut exposer ces groupes de membres du ménage à un très haut niveau de particules fines, ainsi qu'à d'autres risques pour la santé en raison du désir de chercher une autre alternative énergétique qui pourrait être nuisible à l'environnement. Il est donc essentiel de comprendre les facteurs du ménage qui peuvent avoir un impact significatif sur les dépenses énergétiques entre les groupes de revenus, puis d'examiner les politiques qui peuvent maintenir les dépenses en électricité face à la hausse des prix. Le maintien des dépenses en électricité des ménages, en particulier pour les femmes, est conforme à la documentation de plus en plus abondante selon laquelle la réduction de la pauvreté et des inégalités chez les femmes nécessitera de mettre l'accent sur l'accès à l'énergie et les dépenses (voir Oseni, 2012).

Le plaidoyer pour les dépenses en électricité des ménages part du fait qu'il existe de nombreux risques pour la santé associés aux autres sources d'énergie qui sont accessibles aux ménages nigériens. Jusqu'à présent, la source d'énergie de l'électricité est considérée comme la plus sûre, avec moins de risques pour la santé, comparée au bois de chauffe, au kérosène et même au charbon. Plus encore, il a été établi que les ménages qui utilisent l'électricité comme source majeure d'énergie ne subissent aucune pollution intérieure, ceux qui utilisent le gaz et des combustibles liquides (le pétrole et le gaz de pétrole liquéfié) sont exposés à une pollution moyenne, tandis que celle-ci augmente à un niveau élevé dès lors que des combustibles solides (tels que le fumier animal, les résidus de récolte et le bois) sont utilisés (Nations Unies, 2010).

La contribution de ce rapport est double: premièrement, il complète la documentation théorique de plus en plus abondante sur les dépenses énergétiques des ménages, en particulier en considérant le comportement de la dépense énergétique aux différentes covariables des ménages, et en considérant de tels comportements à différents seuils de dépenses énergétiques. à notre connaissance, il n'existe pas d'examen empiriques qui prennent compte du déterminant de la dépense énergétique entre les différentes caractéristiques du ménage au Nigeria avec une attention particulière portée au genre. Deuxièmement, le document fournit des données récentes sur les déterminants de la dépense énergétique entre les ménages et le genre au Nigeria. Considérant l'objectif de cette étude, nous pensons qu'il est pertinent et intéressant de faire une étude de cas des ménages nigériens comme il est bien connu que l'inégalité est élevée<sup>2</sup>, non sans oublier de tenir en compte une possible

---

2 En 2013, période considérée de nos données, le Nigeria avait un coefficient de Gini de 48,8 / 100.

variation possible du déterminant de la dépense énergétique entre les différents seuils de dépenses énergétiques des ménages. La compréhension de cette variation est pertinente car les conclusions politiques actuelles au Nigeria sont généralement basées sur des classifications particulières selon les caractéristiques des ménages. Par ailleurs, à bien des égards, le Nigeria est un bon exemple pour les pays en développement, en particulier en Afrique.

Notre étude se classe dans la documentation générale de l’approvisionnement/la dépense énergétique et le développement. Cependant, elle diffère à certains égards des études précédentes qui, par exemple, ont examiné les caractéristiques principales tirées des statistiques nationales sur l’accès des ménages à l’électricité et aux dépenses énergétiques au Nigeria (par exemple Oseni, 2012), ou les études prolifiques sur les énergies renouvelables, aussi bien pour les dépenses en électricité des ménages, et que pour le développement national (par exemple, Oseni, 2012, Shaaban et Petinrin, 2014, Yamusa et Ansari, 2015). Nous utilisons des données d’enquête réelles qui couvrent la période qui a succédé à la privatisation du PHCN et qui nous permettent également d’utiliser des techniques d’estimation qui reflètent de manière efficace la dynamique des ménages<sup>3</sup>. Plus encore, notre analyse diffère parce que nous nous intéressons principalement aux caractéristiques des ménages qui expliquent la dépense énergétique entre les différents groupes de revenu des ménages, et la manière dont cela se reflète dans le sexe du chef de ménage. Comme indiqué précédemment, cette analyse n’a pas reçu d’attention empirique dans la documentation de plus en plus abondante où se classe notre étude.

Le reste du rapport est articulé comme suit: la deuxième section présente un synopsis des caractéristiques principales de la politique énergétique au Nigeria, qui est immédiatement suivi par les fondements théoriques de l’étude et la revue de la documentation dans la troisième section. Le plan d’étude qui prend en compte les données, le modèle empirique et la technique d’estimation figure dans la quatrième section. La cinquième section présente les résultats et les discussions, tandis que la sixième section conclut l’étude avec des recommandations pour la future orientation de la recherche.

## 2. Politique énergétique au Nigeria

Avant 2013, quand la Power Holding Company of Nigeria (PHCN) était toujours privatisée, il y avait une effervescence grandissante ayant trait à l’évaluation de l’efficacité du secteur énergétique sur les ménages et les entreprises qui utilisent l’électricité à des fins commerciales et domestiques. Certaines conclusions convergentes ont suggéré qu’il y ait plus d’investissement et également une réduction de l’inefficacité dans l’approvisionnement et l’utilisation de l’électricité, étant donné que ces deux mesures pouvaient contribuer à stimuler la croissance (Akinlo, 2009). Ibitoye et Adenikinju (2007) ont auparavant souligné la nécessité d’améliorer la production d’électricité, de réformer l’infrastructure de transport et de distribution et d’assurer un investissement et une maintenance constants des centrales de production d’électricité. Pour faire face à ces enjeux, le gouvernement nigérian a promulgué la loi sur la réforme du secteur de l’électricité (EPSR) en mars 2005 dans le seul but de s’assurer que le Nigeria bénéficie d’un approvisionnement de l’industrie de l’électricité qui satisfait voire surpasse la demande.

L’un des principaux résultats de l’EPSR a été la scission du PHCN en filiales gérées par le Bureau des entreprises publiques et le Ministère des Finances. Cela a ouvert la voie à la privatisation complète du PHCN en 2013. À la suite de ce changement, le volume d’approvisionnement en électricité a augmenté : en 2005, seulement 2 494 méga watts (MW) d’électricité étaient produits, contre 3 795

---

3 Le choix de la période tient également compte du fait que tous les ménages ne sont pas raccordés au réseau national, en particulier les ménages ruraux. Par conséquent, notre analyse prend en compte la localisation du ménage.

MW en 2014 (soit une augmentation de plus de 52 %)<sup>4</sup>. Malgré l'augmentation de la production d'électricité, certains auteurs (Aliyu, Dada et Adam, 2015, Onochie, Obanor et Aliu, 2015) observent que la privatisation n'a peut-être pas été un moyen efficace de transformer le secteur de l'électricité, étant donné qu'environ 60 % des Nigériens ne sont toujours pas raccordés au réseau national, et ceux qui le sont connaissent encore des pannes fréquentes. Ceci explique les raisons d'une agitation croissante pour une transformation radicale du secteur énergétique par le biais de l'adoption d'énergies renouvelables dans la production d'électricité (voir Emodi et Boo, 2015, Mas'ud et al, 2015, Usman et al, 2015). En plus d'être une solution au problème de l'approvisionnement en électricité, les auteurs soutiennent que la transition vers les énergies renouvelables favorisera également le développement durable et la protection de l'environnement.

L'évolution vers un secteur énergétique efficace constitue un aspect du problème. Un autre aspect important est d'identifier les individus/ménages qui bénéficieront de cette transformation structurelle. Ce faisant, il faudra poser des questions pertinentes à savoir: quelle catégorie de revenus sera la plus touchée par cette transformation? Cet impact sera-t-il ressenti différemment selon le sexe du chef de famille? Ces aspects importants nécessitent une attention politique urgente. Hormis la rareté des preuves empiriques qui fournissent des orientations adéquates pouvant servir d'éléments de réponse, ces questions relèvent de la plus haute importance si l'on considère le principe plus large du développement durable qui accorde une attention particulière à la réduction de la pauvreté absolue et à l'autonomisation des femmes. Premièrement, le taux de pauvreté au Nigeria est passé de 35,2 en 2010/2011 à 33,1 en 2012/2013 (Banque mondiale, 2015). Par contre, l'inégalité est passée de 46,5 en 1996 à 48,8 en 2013, ce qui suggère que malgré la réduction du taux de pauvreté, l'inégalité croissante suscite encore des inquiétudes pour ce qui est la répartition des revenus et a fourni davantage de raisons de s'appesantir sur les facteurs susceptibles de réduire ces écarts croissants. Deuxièmement, l'étude de l'inégalité et la pauvreté dans une perspective sexospécifique est devenu un enjeu primordial dans le domaine du développement. En général, les femmes sont plus pauvres que les hommes et l'inégalité est constatée dans l'acquisition des biens et la propriété des terres (Doss, Meinzen-Dick et Bomuhangi, 2014). Ce constat est plus net au Nigeria : les femmes représentent environ 60-79% de la population active rurale, en revanche les hommes sont cinq fois plus riches et sont susceptibles de posséder des terres (British Council, 2012). Les statistiques fournissent une base appropriée permettant d'accorder une attention sérieuse aux politiques de développement qui peuvent affecter différemment les femmes.

Au vu de ces constats, la recherche n'a pas porté sur le rythme auquel la réforme du secteur de l'électricité affecte les différents groupes de revenu et le genre dans le ménage. Nous suivons une approche unique en étudiant les dépenses des ménages en électricité et la manière dont le groupe de revenu des ménages rend compte de ces différences. Avec cela, nous sommes en mesure de déterminer les ménages qui seront les plus touchés par la réforme. Nous sommes convaincus par l'argument d'Obadan (2008) qui soutient que la privatisation conduit à la participation de l'investissement privé, ce qui occasionnera une augmentation du prix du service, et par conséquent, nuira aux consommateurs. Donc, si la privatisation du secteur énergétique est la voie à suivre, nous sommes en mesure de savoir quel ménage sera le plus touché parmi les groupes de revenu, ainsi que le sexe des individus qui composent le ménage.

Comme première vérification de la relation entre la dépense énergétique et le groupe de revenu du ménage au Nigeria, nous présentons dans la Figure 1 une tendance macroéconomique qu'illustre le diagramme de dispersion entre la dépense en électricité et le PIB par habitant (US \$ constant 2010). D'après la figure, il est évident qu'il n'existe pas de relation linéaire entre ces deux variables : le diagramme de dispersion de la Figure 1 montre qu'à certains seuils de revenu, les dépenses d'électricité par habitant ont tendance à augmenter puis à diminuer jusqu'à atteindre un seuil, où elles commencent à augmenter à nouveau. La tendance ressemble à une tendance en forme de S, qui est mieux expliquée par la courbe en S d'Engel; cette base théorique sera abordée par la suite.

4 Ces données proviennent d'Usman et al (2015).

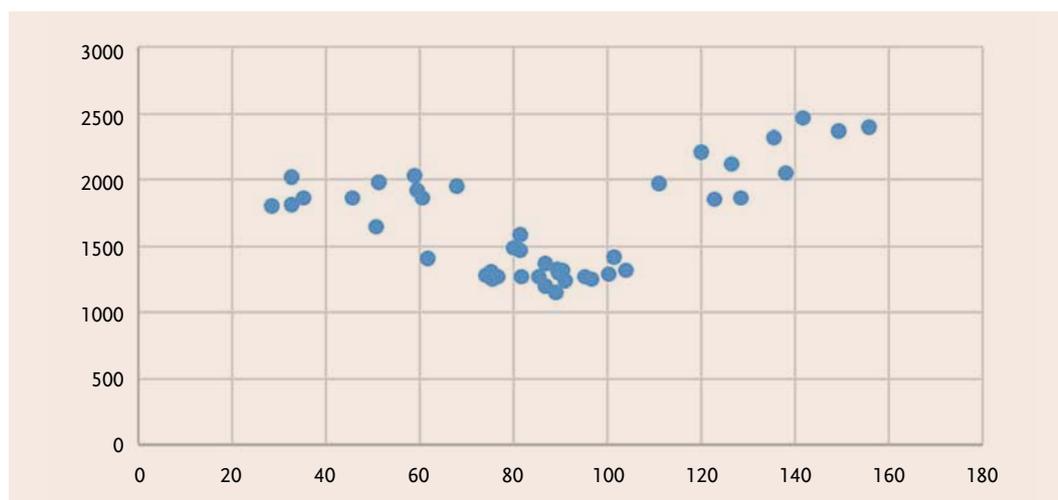


FIGURE 1: DÉPENSES MOYENNES EN ÉLECTRICITÉ ET REVENU PAR HABITANT (1971-2016)

Calcul de l'auteur inspiré par la Banque mondiale - Indicateurs du développement dans le monde - 2016

### 3. Fondement théorique et examen de la documentation

La relation entre le revenu des ménages et la dépense énergétique est mieux expliquée par la courbe S d'Engel pour la dépense énergétique. La courbe d'Engel illustre la relation entre la dépense énergétique des individus et leur revenu et prédit que la relation suit une courbe en S. C'est de cette manière que la dépense énergétique varie avec le revenu, mais pas selon une tendance linéaire. L'analyse de la courbe S d'Engel a été présentée antérieurement par Bradshaw et al (1987) comme une technique statistique permettant d'identifier les points d'inflexion où les dépenses allouées aux besoins primaires comme l'énergie, l'alimentation et l'habillement changent avec les niveaux de revenu. En substance, le revenu augmente de même que les dépenses en besoins primaires de manière moins proportionnelle, jusqu'à atteindre un point d'inflexion au-delà duquel les dépenses stagnent (voire diminuent) et reprennent ensuite leur élan croissant (Jamasp et Meir, 2010). Cette prédiction théorique peut suggérer que le déterminant de la dépense d'électricité des ménages peut changer à différents niveaux de revenu.

Les études qui analysent la structure et les déterminants de la dépense énergétique ont largement pris en compte certaines variables socio-économiques des ménages qui influent sur la dépense énergétique. Parmi ces variables figurent le revenu, l'âge, l'éducation, la profession et l'emplacement, le sexe du chef de ménage, la composition et le nombre de ménages, entre autres. Par exemple, Reddy (2004) a retracé la variation de la consommation d'énergie des ménages indiens selon différentes caractéristiques des ménages. Jamasp et Meir (2010) ont retracé les dépenses énergétiques des ménages britanniques par rapport à leur revenu. Les auteurs ont constaté que les ménages à faible revenu étaient moins sensibles aux variations des prix de l'électricité, mais l'étaient davantage aux autres sources d'énergie, en comparaison aux ménages à revenu élevé. Ce résultat est similaire à celui de Cashin et McGranahan (2006) qui ont étudié les dépenses énergétiques des ménages aux États-Unis et ont constaté que l'impact d'une hausse du prix de l'énergie sur les ménages diffère selon les habitudes de dépense énergétique du ménage. Foster, Tre et Wodon (2000) ont également trouvé une relation inversée-U entre la dépense énergétique et le revenu par habitant en utilisant des données pour le Guatemala : les auteurs ont retracé ce modèle énergétique par rapport à la politique sociale et environnementale. Elnakat, Gomez et Booth (2016) ont quant à eux identifié le style de la maison, sa taille, la situation socio-économique, les données démographiques et la composition de la famille comme un déterminant important de la dépense énergétique des ménages. Le revenu est

également considéré comme un déterminant important, l'intensité et l'utilisation de l'électricité : les personnes qui ont un revenu ont généralement des habitations moins efficaces en termes d'utilisation de l'énergie et d'intensité électrique. Cela montre qu'il existe un lien direct entre le revenu du ménage et la dépense énergétique.

L'étude d'Eakins (2013) sur les ménages irlandais incluait des caractéristiques du ménage telles que le niveau de revenu et certaines caractéristiques du logement comme le nombre de personnes dans les ménages, l'âge des chefs de ménage, la profession, l'éducation, le lieu de résidence et l'électroménager. Ces conclusions sont semblables à celles de Conniffe (2000), qui a retracé les modèles des dépenses énergétiques en fonction de l'emplacement géographique du ménage. Un autre point important est que, souvent, l'augmentation des prix de l'énergie tend à décourager la consommation d'énergie traditionnelle non durable pour la durabilité environnementale et est généralement considérée comme contreproductive. Les ménages n'ont d'autre choix que de rediriger leur consommation vers des sources d'énergie moins coûteuses, comme le bois de chauffe et le kérosène, ce qui nuit à l'environnement et à la santé humaine. Kristiansen (2012) s'est concentré sur le niveau d'éducation du chef de ménage; cette variable contribue à réduire la dépense d'énergie seulement lorsque le niveau d'étude dépasse le cycle secondaire. Le mécanisme par lequel cela est possible est qu'une éducation plus poussée améliorerait la capacité de l'individu à optimiser la dépense énergétique et son utilisation, en particulier en régulant les kilowattheures d'utilisation des appareils électroménagers. Les études de Grossman (1972) et d'Elnakat, Gomez et Booth (2016) montrent également que l'éducation augmente la capacité des individus à être plus sensibles à l'utilisation de l'électricité.

Dans le cas du Nigéria, Abd'razack *et al* (2012) ont observé qu'en raison des questions de régime de subvention, la tendance de consommation s'est déplacée vers la biomasse dans certains États du Nigéria en raison de la disponibilité, du prix bon marché et des affinités traditionnelles autour de la consommation. En revanche, une énergie moderne propre, saine et respectueuse de l'environnement a été progressivement abandonnée. L'étude a également trouvé une relation pertinente entre le choix de l'énergie et les revenus de même qu'entre la consommation d'énergie et la taille du ménage. Dans le même esprit, Ogwumike, Ozughalu et Abiona (2014) ont identifié la taille des ménages, les dépenses par habitant et l'éducation comme les principaux déterminants des dépenses énergétiques.

En se concentrant sur l'énergie et le genre, des efforts ont également été faits pour comprendre comment ce dernier influence le modèle de dépense énergétique. Certains auteurs comme Khamati-Njenga et Clancy (2003) ont affirmé que les hommes et les femmes n'ont pas un accès égal aux services énergétiques et que par conséquent, ils auront un comportement différent vis-à-vis des dépenses énergétiques. Permana et Siong (2015) ont également constaté que les femmes étaient plus économes en énergie que les hommes. Les auteurs ont également constaté que les dépenses énergétiques tendent à être plus faibles lorsque les femmes prennent des décisions en matière de dépenses énergétiques. Ainsi, les femmes peuvent se révéler être de meilleurs gestionnaires de l'énergie et être plus prudentes lorsqu'il s'agit de dépenses des ménages, tandis que les hommes peuvent se montrer négligents en ce qui concerne les dépenses énergétiques. De même, Elnakat et Gomez (2015) soutiennent que la participation des femmes aux activités domestiques peut jouer un rôle important sur l'intensité énergétique. Les auteurs estiment que la dépense énergétique par habitant est supérieure de 80 % lorsque des tâches ménagères se font au sein du ménage. Un élément important à prendre en compte est l'âge des individus dans le ménage. Les femmes qui passent la majeure partie de leur temps à la maison auront tendance à consommer plus d'énergie que celles qui sortent pour aller travailler ou pour d'autres activités (Domene et Sauri, 2006). Invariablement, il existe une tendance à la hausse des dépenses énergétiques des ménages dans les ménages où les résidents sont composés d'individus plus âgés qui ont besoin d'énergie pour l'éclairage et le conditionnement. (Gram-Hanssen *et al.*, 2004).

Des études antérieures ont pris en compte deux aspects que nous analyserons différemment dans notre étude, il s'agit du déterminant de la dépense énergétique des ménages et des différents groupes de revenus des ménages. Nous avons également pris en compte le sexe du ménage lors de l'examen des déterminants des dépenses d'électricité dans tous les groupes de revenu. Ces domaines sont des considérations spécifiques que nous entendons aborder dans le cadre de notre étude.

## 4. Plan d'étude Données

Les données de cette étude proviennent de l'étude sur la mesure des niveaux de vie de la Banque mondiale (LSMS) — enquête post-récolte de l'enquête intégrée auprès des ménages 2012-2013. Cette enquête a été menée en collaboration avec le Bureau national des statistiques du Nigeria. Le Nigeria est l'un des sept pays d'Afrique couverts par le LSMS<sup>5</sup>. L'ensemble de données LSMS contient de riches informations sur les ménages dans les différents états du Nigeria, ainsi que d'autres informations de base nécessaires à notre analyse. Parmi ces informations figurent le revenu du ménage, la répartition de la consommation, le sexe (y compris celui du chef de ménage), le compte de l'actif et de l'infrastructure du ménage.

Les données sur les ménages fournies par l'étude la plus récente du LSMS\_ISA (c'est-à-dire 2012/2013) sont utilisées pour notre analyse des données. L'étude la plus récente est privilégiée, car il s'agit d'une version mise à jour des données précédentes du LSMS\_ISA (c'est-à-dire 2010/2011). Les données LSMS\_ISA sont représentatives de 5 000 ménages et de manière spécifique, la deuxième vague des données LSMS\_ISA a été réalisée en deux visites (visite post-plantation en septembre-novembre 2012 et visite post-récolte en février-avril 2013). Plus précisément, nous utilisons les données post-récolte pour cette analyse : ces données s'ajustent pour les ménages qui ont changé de lieu après la visite post-plantation. Ce type de source de données est privilégié par certains auteurs comme Ogwumike, Ozughalu et Abiona (2014) qui ont utilisé l'enquête sur les niveaux de vie au Nigeria de 2004 pour examiner certains des déterminants de la consommation d'énergie des ménages au Nigeria.

### Modèle empirique

Pour étudier la relation entre le revenu et les dépenses énergétiques, nous commençons par examiner les courbes de dépenses d'Engel pour les dépenses énergétiques afin de voir si les différences qui existent entre les groupes de revenus se présentent sous la forme de courbes en S.

Après avoir considéré la relation revenu-dépense énergétique, nous poursuivons avec l'estimation de notre modèle empirique de la forme suivante :

$$Q_Y(\tau) = \sigma_i + \alpha_i X + \varepsilon_i \quad (1)$$

L'équation suggère que la dépense en énergie ( $\tau$ ) est expliquée par les déterminants ( $X$ ) du ménage et à travers divers quantiles de dépense ( $Q_Y$ ). Les paramètres " $\sigma$ " et " $\alpha$ " sont des paramètres inconnus qui doivent être définis, tandis que " $\varepsilon$ " est le terme d'erreur. Il convient de noter que l'équation (1) sera estimée pour l'ensemble du ménage, puis pour les ménages dirigés par une femme et pour les femmes en général. Ceci afin de permettre une compréhension claire de la relation supposée sur les femmes.

La variable des dépenses d'électricité des ménages est mesurée comme étant le montant mensuel moyen en monnaie locale payé par le ménage pour la consommation en électricité (voir par exemple Bacon, Bhattacharya et Kojima, 2010). Ce montant est basé sur les données de dépenses mensuelles des ménages dans l'enquête du LSMS\_ISA. Le déterminant à prendre en considération dans les ménages comprend: l'âge moyen du ménage, le nombre moyen d'années d'éducation du ménage, la localisation du ménage, la taille moyenne du ménage, la part d'adulte dans le ménage, le type d'habitation dans lequel vit le ménage et le nombre moyen d'heures que le chef de famille consacre à ses activités économiques.

L'inclusion de ces déterminants des ménages est motivée par deux facteurs. Premièrement, ces variables ont été récurrentes dans la documentation existante en tant que déterminant probable

---

<sup>5</sup> L'ensemble de données, les questionnaires structurés, les manuels et le livre de codes sont disponibles en ligne sur la page Web de la Banque mondiale (<http://go.worldbank.org>).

de la dépense énergétique des ménages au Nigeria et dans d'autres pays en développement (voir Abd'razack et al 2012, Ogwumike, Ozughalu et Abiona, 2014). Deuxièmement, la plupart des déterminants des ménages sont des variables mesurables qui peuvent facilement être identifiées et qui sont utilisées pour stratifier les ménages lors de la formulation des politiques relatives aux dépenses énergétiques des ménages. Les mesures de ces variables et leurs indicateurs sont inclus dans le tableau 1.

TABLEAU 1: INDICATEUR D'AUTONOMISATION: DOMAINES, INDICATEURS ET PONDÉRATIONS

Variable	Définition	Indicateur
<b>Électricité</b>	Ceci mesure le montant mensuel alloué à la dépense en électricité dans le ménage.	Valeur pécuniaire du budget mensuel pour l'électricité.
<b>Revenu</b>	Revenu total du ménage. Ceci inclue les dépenses liées à l'alimentation et celles non liées à l'alimentation.	Valeur pécuniaire des dépenses totales du ménage
<b>Chef</b>	Chef de ménage	Variable dichotomique, où 1=chef de ménage, et 0=autrement.
<b>Âge du ménage</b>	Ceci mesure l'âge moyen des individus qui composent le ménage.	Âge moyen des individus dans le ménage.
<b>Éducation du ménage</b>	Ceci est le statut d'éducation du chef de ménage (c'est-à-dire si le chef de ménage a déjà fréquenté l'école).	Variable nominale, où 1 est lorsque le chef de ménage a déjà fréquenté l'école et 0, autrement
<b>Part de femmes</b>	Part de femme dans le ménage.	Calculé comme le ratio entre le nombre total de femmes dans le ménage sur le nombre total de ménages.
<b>Femme chef</b>	Femme chef de ménage	Variable dichotomique qui fait que 1=femme chef de ménage et 0=autrement.
<b>Localisation du ménage</b>	Ceci rend compte de la localisation du ménage.	Variable dichotomique où 1=nombre de ménages en zone urbaine et 2=nombre de ménages en zone rurale.
<b>Taille du ménage</b>	Ceci mesure la taille du ménage. Ceci renseigne sur le nombre d'individus qui composent le ménage.	Variable de comptage qui donne le nombre d'individus dans le ménage.
<b>Adultes du ménage</b>	Ceci mesure le nombre d'adultes (ceux qui sont âgés de 18 ans et plus) et qui vivent dans le ménage.	Ceci est mesuré en divisant le nombre d'individus adultes dans le ménage par le nombre total d'individus du ménage.
<b>Type de ménage</b>	Ceci mesure la taille de l'habitation au sein de laquelle vit le ménage.	Variable de comptage pour le nombre de pièces qui sont dans l'habitation du ménage.
<b>Actifs du ménage</b>	Ceci mesure le nombre d'actifs que possède actuellement le ménage.	Variable de comptage qui présente le nombre d'actifs qui peuvent être identifiés dans le ménage au moment de l'enquête.
<b>Heures d'électricité publique</b>	Nombre d'heures pendant lesquelles le ménage a accès à l'électricité publique.	Variable de comptage qui définit le nombre d'heures pendant lesquelles le ménage a accès à l'électricité publique.

Source: Auteurs

## Stratégie d'estimation

Deux stratégies d'estimation principales sont utilisées dans cette analyse. La première consiste à tester la relation spécifique entre le revenu et la dépense énergétique des ménages en utilisant l'approche de régression non paramétrique. Cela nous permet d'évaluer la manière dont les variations de revenus expliquent le volume de dépenses en électricité du ménage. La régression non paramétrique basée sur l'approche de régression polynomiale locale est privilégiée pour tester cette relation en raison de ses valeurs. Ces valeurs font que ce type de régression correspond aux relations entre les variables d'intérêt, de sorte que des relations ajustées séparées sont obtenues à différentes valeurs de la variable indépendante, de manière à prédire avec précision les courbes de régression. Plus encore, cette forme de régression, contrairement à la technique de régression linéaire paramétrique, permet de poser l'hypothèse de linéarité et peut prédire des estimateurs et des procédures d'inférence moins dépendants des hypothèses de forme fonctionnelle (Yatchew, 1998; Frolich, 2006). Les différentes formes de relations peuvent également être facilement explorées entre les variables à prendre en considération, ce qui les rend utiles pour l'analyse exploratoire des données et pour l'analyse pratique et pertinente des politiques. Enfin, les régressions non paramétriques permettent, dans de nombreux cas, d'estimer les variables malgré leur caractère d'endogénéité (Frohlich, 2008).

L'approche de régression paramétrique, sous la forme de la régression des moindres carrés ordinaires, est appliquée dans cette étude. Notre forme de MCO permet de regrouper les erreurs types des estimations autour du ménage. Le regroupement de l'erreur type autour du ménage est préférable afin d'avoir une estimation précise des erreurs types des coefficients de régression pour les covariables. Afin d'évaluer cette relation à l'aide de l'approche MCO, nous classons d'abord le ménage en trois quantiles de revenu différents (moins de 25 %, entre 25 et 50 % de revenu et entre 50 et 75 % de groupes de revenu). Ensuite, l'estimation MCO sera effectuée dans les groupes de revenu. Avec cette approche, nous serons en mesure d'affirmer dans quelle mesure le déterminant de la dépense énergétique des ménages varie d'un groupe de revenu à un autre.

## 5. Résultats Économétriques

### Description de la dépense du ménage en énergie à travers les différentes caractéristiques du ménage

Avant d'estimer la relation paramétrique entre les revenus des ménages sur la dépense énergétique pour différents seuils de dépenses énergétiques, nous commençons par étudier les graphiques de régression non paramétriques qui illustrent la manière dont différents ménages seraient affectés par (en termes de dépenses d'électricité) un changement sur leur revenu. La première régression non paramétrique est présentée à la figure 2 pour le sexe du chef de ménage (c'est-à-dire le ménage dirigé par un homme ou une femme) : elle affiche séparément les courbes de régression ajustées pour les ménages dirigés par une femme et un homme, chaque point de la courbe de régression reflétant le ratio moyen en dépense énergétique pour un niveau de revenu donné (qui est calculé par approximation en utilisant les dépenses totales du ménage).

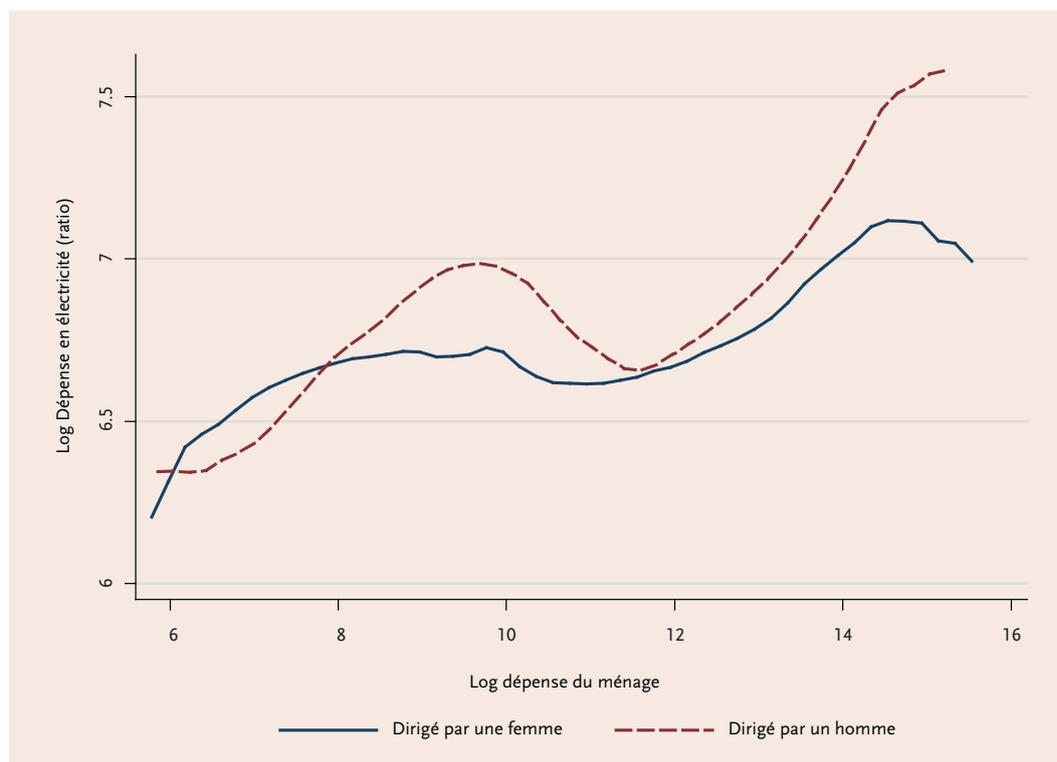


FIGURE 2: DÉPENSES EN ÉLECTRICITÉ ET REVENU DES MÉNAGES

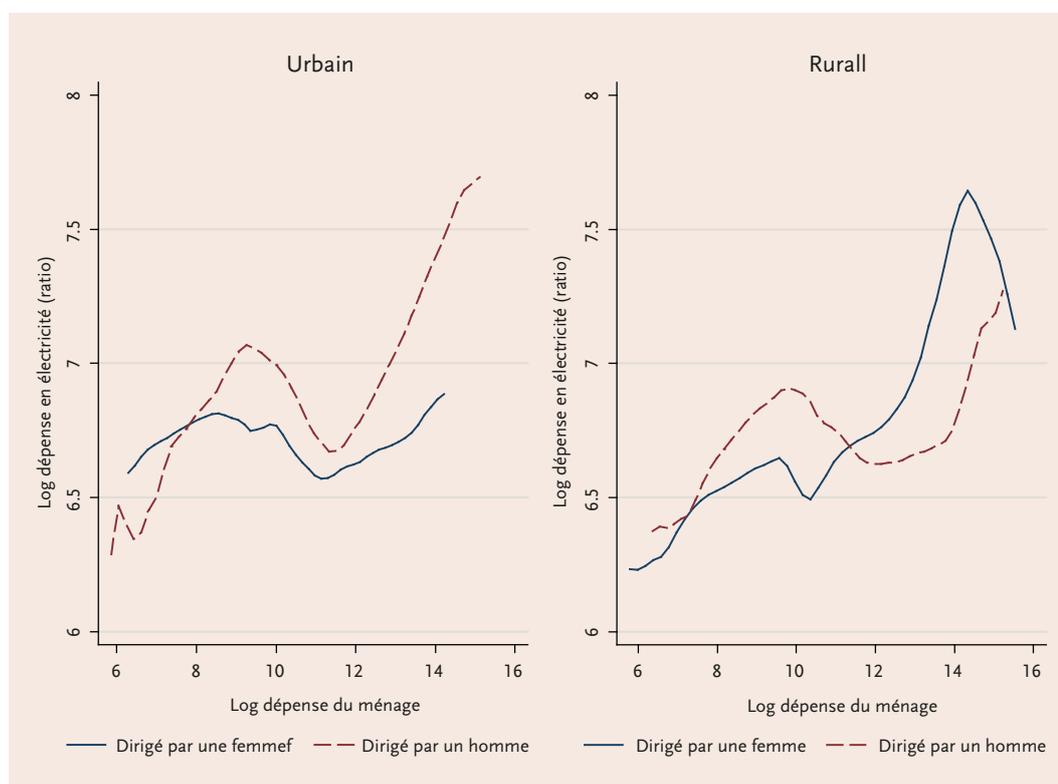
De toute évidence, les ménages plus pauvres à faible revenu consacrent une faible part de leur revenu à l'achat d'électricité. L'importance des dépenses en électricité dans le ménage augmente alors constamment avec celle des revenus et commence ensuite à diminuer à mesure que le revenu augmente, jusqu'à un certain point où la dépense en électricité correspond davantage aux revenus supplémentaires dans le positif et commence ensuite à diminuer à nouveau. À partir de la figure 2, la relation positive entre la dépense énergétique et le revenu est très visible pour les ménages du percentile du revenu allant du 0e au 50e percentile et ceux du 75e au 95e percentile du revenu. Cependant, pour les ménages à revenu intermédiaire (c'est-à-dire supérieur au 50e et inférieur au 75e percentile de revenu) et les ménages extrêmement riches (c'est-à-dire dont le percentile de revenu est supérieur au 95e percentile), la diminution de la dépense énergétique est considérée comme un revenu supplémentaire. Ce résultat rejoint les courbes de dépenses d'Engel pour la dépense énergétique (voir Jamasb et Meier, 2010), qui montrent que la proportion du revenu dépensé en énergie suit une courbe en S illustrative de la dépense énergétique du ménage qui augmente d'abord avec le revenu, puis stagne ou diminue avec le revenu et après quoi elle augmente à nouveau.

Nous trouvons également des preuves de différences entre les sexes : à l'exception des ménages très pauvres, les ménages dirigés par une femme semblent dépenser moins d'énergie que les hommes disposant d'un revenu total du ménage similaire. Ceci suggère que les politiques qui proposent une augmentation du prix de l'électricité au Nigeria vont probablement affecter les ménages les plus pauvres dirigés par des femmes puisqu'ils ont tendance à dépenser plus de leurs revenus pour les dépenses en électricité que les ménages dirigés par des hommes. De manière générale et pour les autres percentiles de revenu, les ménages dirigés par un homme seront lésés par l'augmentation des tarifs de l'électricité par rapport aux ménages dirigés par une femme.

Afin d'assurer une perspective plus approfondie des résultats, nous fournissons la ligne de régression entre les ménages ruraux et les ménages urbains de la figure 3 pour vérifier si la tendance est linéaire ou si elle change, selon la localisation des ménages. La ligne de régression des ménages urbains de la figure 3 est similaire à celle de la figure 2 ; pour les ménages à faible revenu, les dépenses en énergie des ménages dirigés par une femme sont plus élevées et restent ensuite plus faibles que celles pour les ménages dirigés par un homme à mesure que le revenu augmente. Pour les ménages ruraux,

cependant, une tendance différente est observée : les ménages dirigés par une femme dépensent constamment plus d'énergie que ceux dirigés par un homme à mesure que le revenu augmente. Dans les deux zones, la courbe d'Engel est observée. Une conséquence politique simple qui découle de cette désagrégation est qu'avec l'augmentation des tarifs de l'électricité, les travailleurs à faible revenu et les ménages dirigés par une femme seront plus touchés que ceux dirigés par un homme en zone urbaine. En zone rurale, la personne gagnant le plus revenu dans les ménages dirigés par une femme sera la plus touchée en comparaison au ménage dirigé par un homme.

Pour finir, nous évaluons ensuite si le nombre de femmes au sein du ménage a une conséquence sur le volume de la dépense énergétique et à travers différentes localisations du ménage. Cette enquête est nécessaire compte tenu du constat qui établit que les femmes sont largement impliquées dans les activités domestiques non rémunérées et seront très probablement impliquées dans une consommation d'énergie plus élevée que les hommes qui sont pour la plupart absents du foyer (activités de travail). Par ailleurs, comme indiqué précédemment, le secteur des ménages représente une part importante de la consommation totale d'énergie (Jamash et Meier, 2010); par conséquent, il sera raisonnable de considérer l'impact de la concentration du membre féminin du ménage puisque ce groupe d'individus est largement impliqué dans le ménage. Le résultat de cette tendance de régression est présenté à la figure 4.



**FIGURE 3: DÉPENSES EN ÉLECTRICITÉ ET REVENU DES MÉNAGES SELON LA LOCALISATION DU MÉNAGE**

D'après la figure 4, les ménages urbains avec moins ou plus de membres féminins dépensent manifestement plus d'énergie que les ménages ruraux. Bien sûr, dans les zones rurales, plus de femmes équivaut à moins de dépenses pour les dépenses énergétiques des ménages : il existe une relation décroissante entre ces deux indicateurs. Toutefois, pour la localisation urbaine, on observe une tendance à la hausse : lorsque le nombre de femmes dans le ménage est au plus bas, la dépense énergétique augmente, mais elle diminue régulièrement lorsque le nombre de femmes membres du ménage dépasse le 50e percentile (soit plus de 4 femmes dans le ménage). Une explication possible serait que lorsque le nombre de femmes membres du ménage augmente, une tendance à optimiser l'utilisation de l'énergie prévaut, de sorte que moins de dépenses soient consacrées à la dépense énergétique. Par conséquent, les politiques pour les prix de l'énergie auront plus d'incidence sur les

ménages urbains comptant des femmes que sur les ménages ruraux du même type et ces résultats devraient être soigneusement pris en compte lorsque des politiques liées à l'énergie sont élaborées.

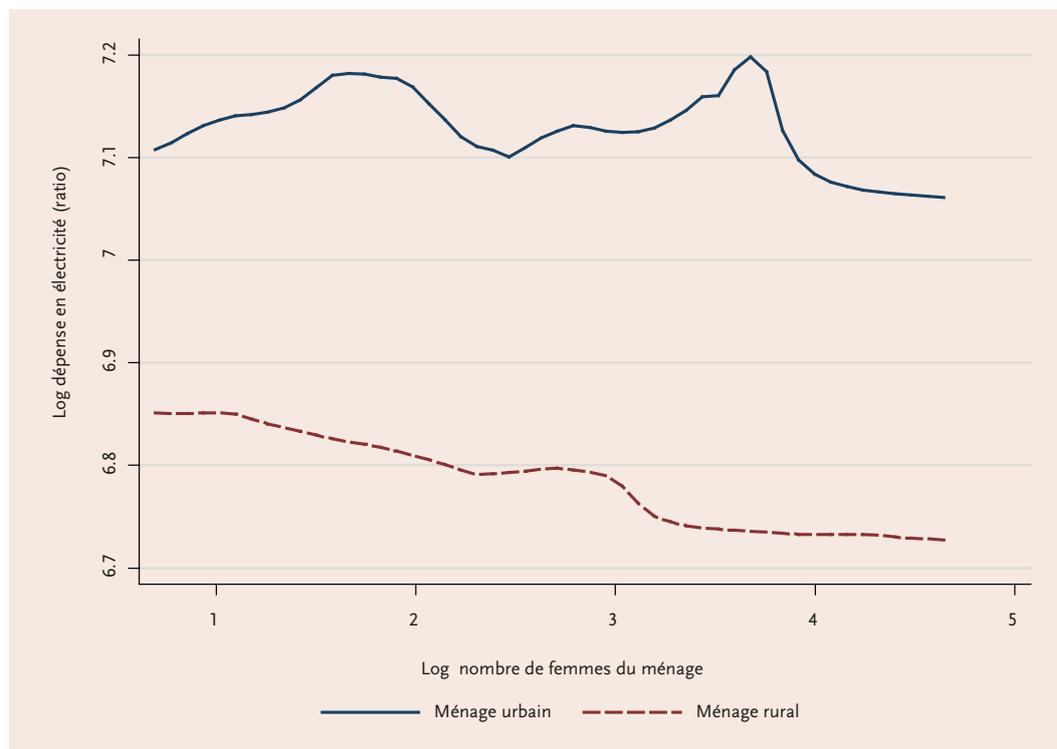
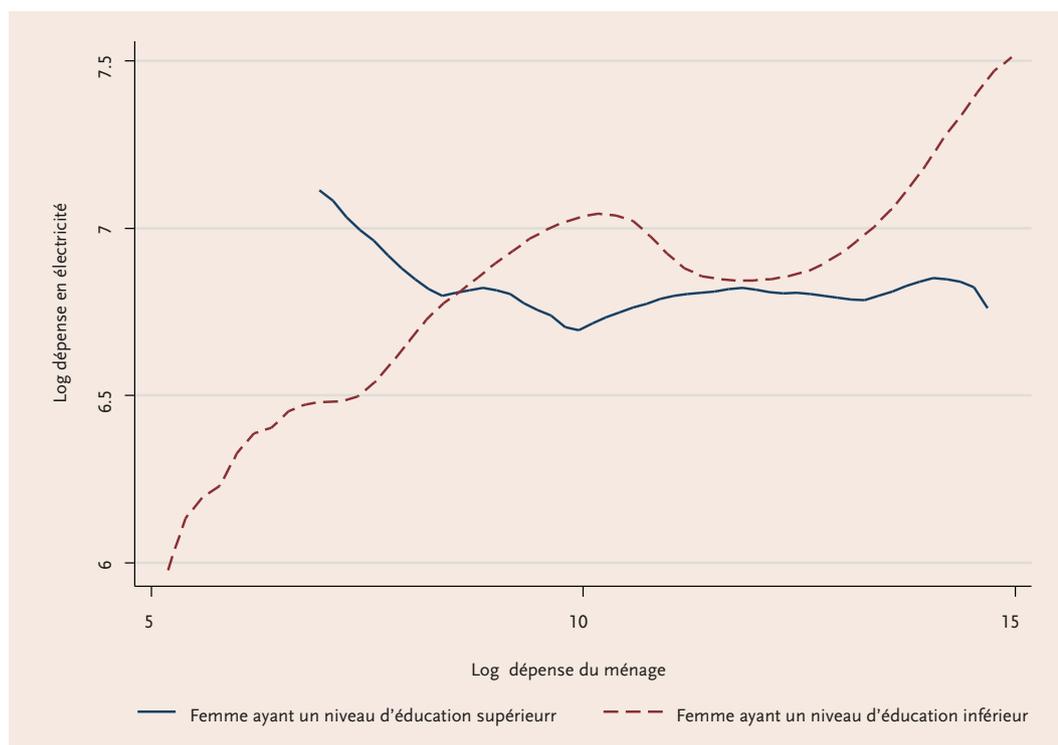


FIGURE 4: DÉPENSES EN ÉLECTRICITÉ DES MÉNAGES ET NOMBRE DE FEMMES DANS LE MÉNAGE

Nous poursuivons avec l'examen de la relation entre le revenu et la dépense énergétique en considérant certaines hétérogénéités qui peuvent exister entre les caractéristiques propres aux femmes chefs de ménage. Les trois caractéristiques hétérogènes des femmes chefs de ménage étudiées sont dans cet ordre, les femmes ayant reçu plus d'éducation, les femmes les plus âgées et les femmes vivant dans de plus petites habitations. Ces trois hétérogénéités sont considérées en raison de leur pouvoir à influencer la vitesse à laquelle la dépense énergétique est déterminée à travers les chefs de ménages. Par exemple, des études (Kristiansen, 2012, Sovacool, 2014, Elnakat, Gomez et Booth, 2016) ont confirmé que les femmes plus éduquées, celles vivant dans de petites habitations et celles plus âgées devraient consommer moins d'énergie, en fonction de leur revenu. Nous avons examiné cette prédiction pour le Nigeria en utilisant la régression non paramétrique et pour sa valeur. Les résultats sont présentés aux figures 5, 6 et 7.

À la figure 5, nous présentons le graphique de régression entre le revenu et la dépense énergétique des ménages dirigés par une femme, en tenant compte de leur niveau de scolarité. Les individus ont été classés en deux groupes selon leur niveau de scolarité : ceux ayant un niveau d'éducation inférieur au niveau secondaire et ceux ayant un niveau d'éducation supérieur au niveau secondaire (par exemple, université, collège d'éducation et de troisième cycle). La courbe de régression a ensuite été tracée pour représenter l'interaction entre le revenu et l'énergie entre ces deux groupes de ménages dirigés par une femme. Manifestement, pour les ménages dirigés par une femme ayant un niveau d'éducation inférieur, une relation positive est observée entre les revenus et les dépenses énergétiques. L'inverse se produit pour les ménages dirigés par une femme ayant un niveau d'éducation plus élevé, où nous observons une relation négative. Plus le dernier type de ménage gagne, plus son désir d'économiser de l'énergie augmente et il oriente plutôt son revenu vers d'autres dépenses plutôt que vers les dépenses énergétiques. En outre, ces ménages sont plus efficaces dans la gestion de l'énergie avec l'augmentation des revenus, contrairement à ceux qui jouissent d'un niveau de scolarité inférieur. Ce résultat étaye les prédictions de Grossman (1972) et d'Elnakat, Gomez et Booth (2016) selon lesquelles le niveau de scolarité augmente la capacité d'être de plus en plus sensible à l'utilisation de l'électricité.

Un enjeu politique intéressant qui se dégage de cette présentation est qu'une politique énergétique qui augmentera le prix du tarif de l'électricité au Nigeria aura un plus grand impact sur les ménages à faible revenu dirigés par une femme ayant un niveau d'éducation plus élevé et sur les ménages à revenu plus élevé dirigés par une femme ayant un niveau d'éducation plus faible. Les revenus de ces deux catégories de ménages tendent à être dépensés dans une proportion de plus en plus élevée en électricité. Il est fort probable que les ménages à faible revenu dirigés par une femme n'aient pas un revenu suffisant pour acheter des appareils électroménagers économes en énergie ; il est évident qu'ils dépenseront moins pour l'électricité à mesure que leur revenu augmente. Ceci est différent pour les ménages à revenu élevé dirigés par une femme ayant un faible niveau d'éducation ; ils peuvent avoir tendance à être plus imprécis sur les dépenses en électricité à mesure que leur revenu augmente.



**FIGURE 5: REVENU ET DÉPENSE EN ÉNERGIE SELON LE NIVEAU D'ÉDUCATION DE LA FEMME QUI DIRIGE LE MÉNAGE**

Une deuxième hétérogénéité à prendre en considération est l'âge de la femme qui dirige le ménage. Cette variable a été classée en deux groupes : le premier avec les femmes plus jeunes et le deuxième avec les femmes plus âgées. Ces classifications sont basées sur la Charte de l'Union africaine en 2012 et la Politique nationale de jeunesse du Nigeria en 2009 qui définit les jeunes comme étant des individus âgés entre 18 à 35 ans ; les adultes sont donc des individus âgés de plus de 35 ans. À partir de cette classification, la courbe de régression a été tracée afin d'établir la relation entre le revenu et la dépense énergétique entre ces deux catégories de ménages dirigés par une femme. Nous avons trouvé une relation positive entre le revenu et la dépense énergétique pour les deux types de ménages. Les ménages à revenu élevé dirigés par des femmes plus jeunes et les ménages dirigés par des femmes plus âgées dépensent tous deux plus pour les dépenses énergétiques : cependant, les ménages à revenu élevé et les ménages dirigés par une femme plus âgée ont tendance à dépenser plus que les ménages à revenu plus élevé et plus jeunes. Cette tendance soutient la rhétorique selon laquelle les anciens ménages peuvent avoir plus de besoins en énergie que leurs homologues plus jeunes. Par exemple, avec le besoin de chauffage, plus d'appareils qui consomment de l'énergie et d'autres besoins énergétiques qui surviennent avec l'âge des individus devraient expliquer la tendance positive.

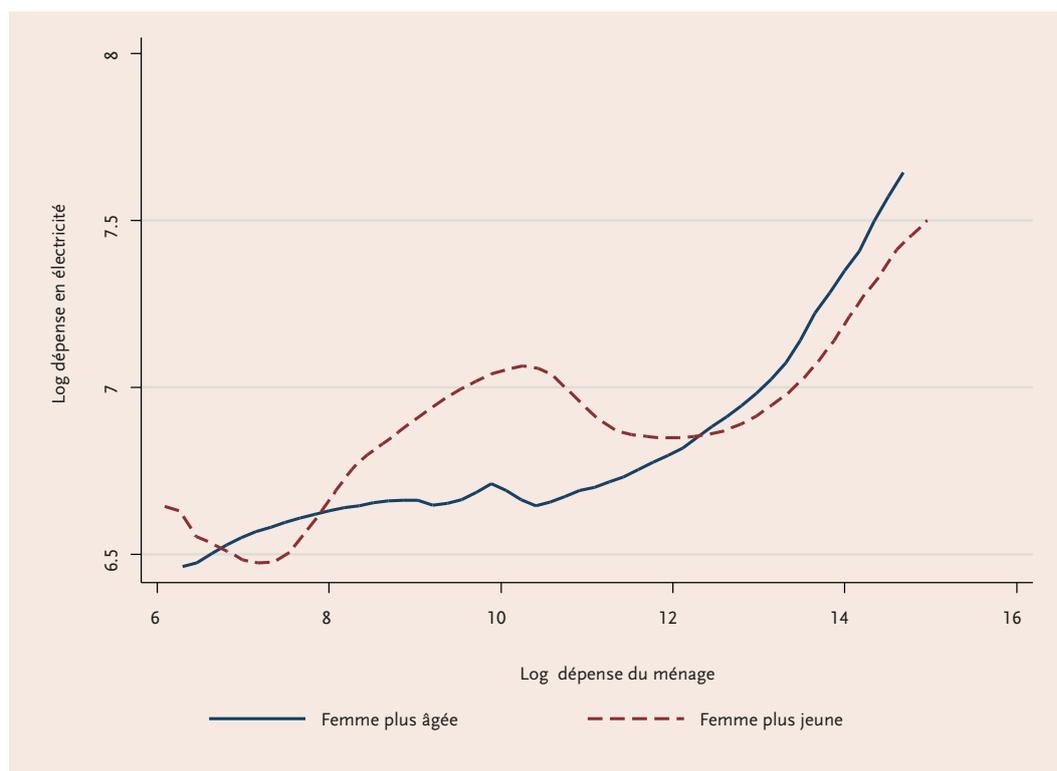


FIGURE 6: REVENU ET DÉPENSE EN ÉNERGIE SELON L'ÂGE DE LA FEMME QUI DIRIGE LE MÉNAGE

S'agissant du type de construction du ménage dirigé par une femme, nous avons considéré le type de bâtiment qui est construit avec du ciment lisse, du bois et même en carreaux. Ces types de construction donnent un aperçu sur l'état actuel du bâtiment. Elles diffèrent des bâtiments qui sont construits avec du sable, de la terre et de la paille, et de la boue lissée. Environ 69 % de la taille de l'échantillon vit dans des habitations que nous avons classées comme modernes, tandis que 31 % vivent dans des habitations construites avec du sable, de la paille et de la boue lissée. La courbe de régression de la figure 7 suggère que si une relation positive est observée entre le revenu et la dépense énergétique des types de bâtiments des ménages dirigés par une femme, les ménages vivant dans des habitations modernes tendent à dépenser moins en énergie que ceux qui ne vivent pas dans des habitations modernes. Il convient de noter pour cette tendance que le type d'habitation est important pour les ménages dirigés par des femmes : il est possible que les ménages vivant dans des types d'habitations modernes utilisent l'énergie de manière plus efficace que les ménages ne vivant pas dans des habitations modernes. Ceci explique donc pourquoi les dépenses en énergie sont plus faibles malgré le fait qu'ils ont des revenus similaires avec les ménages dirigés par des femmes vivant dans des habitations qui ne sont pas qualifiées de « modernes ».

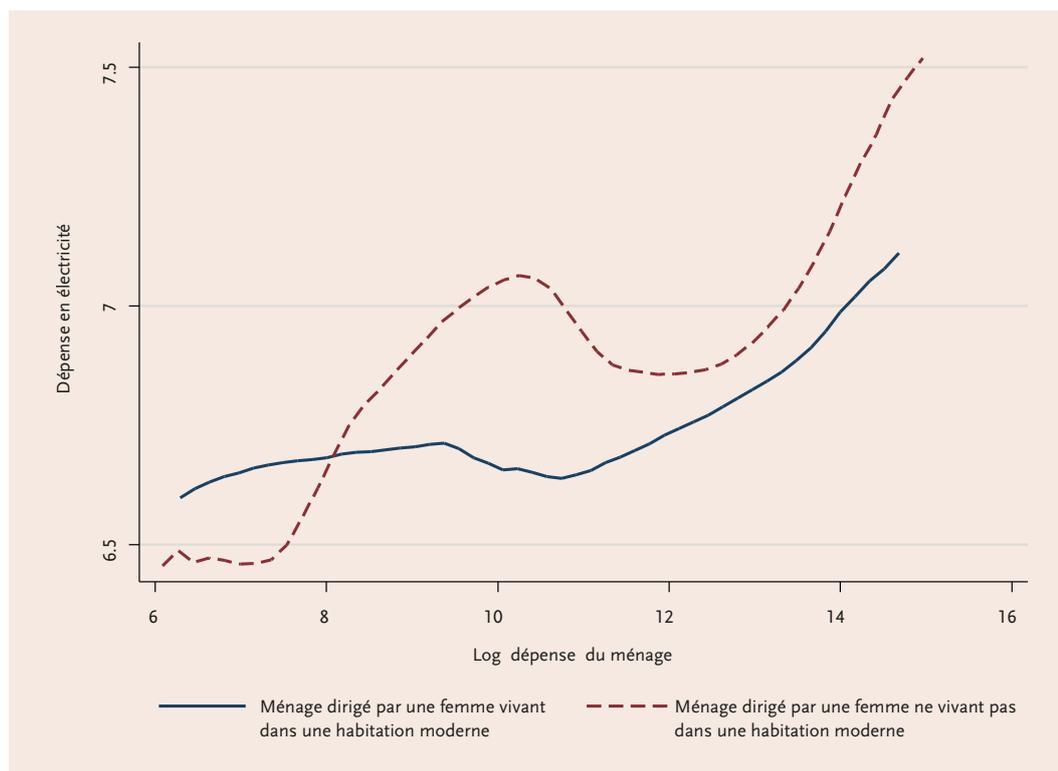


FIGURE 7: REVENU ET DÉPENSE EN ÉNERGIE SELON LE TYPE D'HABITATION DANS LAQUELLE VIT LE MÉNAGE DIRIGÉ PAR UNE FEMME

En résumé de la régression non paramétrique, certains points importants ont été retenus. Premièrement, les ménages à revenu plus élevé dirigés par une femme dépensent davantage en énergie; cependant, ils dépensent moins que les ménages dirigés par un homme. Deuxièmement, il est important de tenir compte de différentes hétérogénéités qui peuvent exister entre les ménages dirigés par une femme. Parmi ces hétérogénéités figurent la localisation du ménage, l'âge et le niveau d'éducation du chef de ménage, et le type d'habitation du ménage. Ces variables sont d'importants explicatifs de la relation qui existe entre le revenu et la dépense énergétique. Cependant, nous allons plus loin pour fournir des estimations économétriques du déterminant de la dépense énergétique entre les différents quintiles de revenu en prenant en considération les dimensions sexospécifiques.

## Estimation de régression paramétrique

La régression paramétrique est conduite pour évaluer la relation d'intérêt selon les distributions quantiles afin de comprendre efficacement les facteurs qui déterminent la dépense énergétique à différents groupes de revenu. Comme indiqué précédemment, l'approche de régression quantile est appliquée dans les estimations économétriques pour modéliser les quintiles propres à la distribution conditionnelle des fonctions linéaires relatives aux variables explicatives. Elle est également plus efficace que la traditionnelle régression des moindres carrés ordinaires, en particulier lorsqu'on a affaire à des valeurs atypiques et lorsque la distribution de la variable dépendante est un modèle hautement atypique (Okada et Samreth, 2012).

Nous voyons au tableau 5.1 que le revenu du ménage est un déterminant important de la dépense énergétique des ménages à travers le quantile différent des dépenses énergétiques des ménages. Cela implique que la mesure dans laquelle les ménages consomment de l'énergie est déterminée de manière significative et positive par leur revenu. Un examen plus approfondi du résultat montre qu'il existe une relation quelque peu concave entre le revenu et l'énergie du ménage. Le coefficient entre le revenu et la dépense d'énergie augmente jusqu'à un certain point, avant de diminuer avec les dépenses énergétiques supplémentaires des ménages.

Nous passons à d'autres caractéristiques des ménages comme la présence des chefs de ménage, l'âge moyen, la localisation, la taille moyenne, le type de ménage, le nombre d'actifs possédés par le ménage et la connectivité du ménage à l'électricité au sein de la communauté dans laquelle vit le ménage. Il apparaît évident dans le tableau 5.1 que les ménages avec deux chefs de ménage (homme et femme) et la taille moyenne du ménage ont un impact négatif et significatif sur la dépense énergétique de par le quantile de dépenses énergétiques. Ceci ne tient pas en compte la taille du ménage qui enregistre une relation significative et négative seulement pour les groupes de ménages situés dans le 75<sup>e</sup> et le 90<sup>e</sup> quantile de dépense énergétique. Bien sûr, la présence de deux chefs de ménage homme et femme a une relation négative avec la quantité d'argent dépensée en énergie dans le quantile différent. Une observation minutieuse du coefficient du tableau 5.1 montre que cette influence diminue avec la dépense énergétique supplémentaire. Ainsi, suggérant que la relation entre la présence des deux chefs de ménage et la dépense énergétique connaît une baisse positive lorsque davantage d'argent supplémentaire est dépensé en énergie. Pour la taille moyenne des ménages, l'influence sur la dépense énergétique n'est significative que lorsque le quantile de dépense énergétique est plus élevé.

L'âge moyen du ménage est positif et explique de manière significative les dépenses énergétiques des ménages au quantile moyen et inférieur de la dépense énergétique. Pour les ménages ayant le quantile de dépenses énergétiques le plus élevé, l'âge moyen du ménage n'a aucune influence significative. Ainsi, les ménages qui consomment plus d'énergie ne tiennent pas compte de l'âge de leurs membres en prenant des décisions relatives à l'énergie. Nous avons trouvé une relation positive et significative entre la localisation du ménage, le type de ménage et le nombre d'actifs appartenant au ménage, et la dépense énergétique du ménage à travers le quantile différent de la dépense énergétique du ménage. Les résultats du tableau 5.1 montrent que les ménages vivant en milieu urbain dépensent davantage en énergie à travers le quantile différent. De même, les ménages qui vivent dans des maisons plus spacieuses et qui ont plus d'actifs dépensent plus en énergie à travers le quantile différent. À partir du résultat, nous constatons que l'impact de la localisation du ménage, du type et du nombre d'actifs ne varie pas considérablement entre les différents quantiles de dépenses énergétiques.

TABLEAU 5.1: RÉGRESSION QUANTILE SUR LE DÉTERMINANT DE DÉPENSE EN ÉNERGIE DANS LES MÉNAGES

	OLS	Q(0,10)	Q(0,25)	Q(0,50)	Q(0,75)	Q(0,90)
<b>Revenu</b>	0,147*** (0,000)	0,121*** (0,000)	0,143*** (0,000)	0,189*** (0,000)	0,132*** (0,000)	0,086*** (0,000)
<b>Chef</b>	-0,509*** (0,001)	-0,669** (0,018)	-0,567*** (0,000)	-0,521*** (0,007)	-0,428** (0,036)	0,227*** (0,000)
<b>Âge du ménage</b>	0,005** (0,012)	0,007* (0,090)	0,007*** (0,008)	0,006** (0,022)	0,004 (0,208)	-0,002 (0,596)
<b>Éducation du ménage</b>	0,023 (0,911)	-0,435 (0,182)	-0,213 (0,336)	-0,130 (0,556)	0,305 (0,194)	0,259 (0,306)
<b>Part de femmes</b>	0,065 (0,510)	0,115 (0,525)	0,103 (0,403)	0,119 (0,330)	0,103 (0,428)	0,141 (0,317)
<b>Femme chef</b>	-0,074 (0,220)	-0,118 (0,275)	-0,112 (0,127)	-0,143** (0,050)	-0,006 (0,940)	-0,014 (0,867)
<b>Localisation du ménage</b>	0,269*** (0,000)	0,190*** (0,010)	0,268*** (0,000)	0,286*** (0,000)	0,237*** (0,000)	0,227*** (0,000)
<b>Taille du ménage</b>	-0,017 (0,150)	-0,007 (0,723)	-0,004 (0,789)	-0,022 (0,114)	-0,037** (0,013)	-0,032*** (0,000)
<b>Adultes du ménage</b>	-0,015 (0,320)	-0,025 (0,370)	-0,012 (0,547)	-0,024 (0,213)	0,005 (0,814)	0,018 (0,426)

	OLS	Q(0,10)	Q(0,25)	Q(0,50)	Q(0,75)	Q(0,90)
<b>Type de ménage</b>	0,060*** (0,000)	0,028 (0,119)	0,047*** (0,000)	0,084*** (0,000)	0,072*** (0,000)	0,064*** (0,000)
<b>Actifs du ménage</b>	0,012*** (0,003)	0,011*** (0,003)	0,011*** (0,000)	0,015*** (0,000)	0,019*** (0,000)	0,018*** (0,000)
<b>Accès à l'électricité</b>	0,001* (0,070)	-0,002* (0,100)	0,001** (0,054)	0,002*** (0,004)	0,001 (0,500)	0,001 (0,936)
<b>Constant</b>	5,484*** (0,000)	4,907*** (0,000)	4,926*** (0,000)	5,109*** (0,000)	6,038*** (0,000)	6,806*** (0,000)

Remarque: Valeur de probabilité entre parenthèses \* p < 0,05, \*\* p < 0,01, \*\*\* p < 0,001

## 6. Conclusion

Dans cette étude, nous avons examiné les déterminants de la dépense énergétique au Nigeria, en tenant compte des différents seuils de dépenses énergétiques. Nous avons utilisé les données de l'étude sur la mesure des niveaux de vie de la Banque mondiale (LSMS) — enquête post-récolte de l'enquête intégrée auprès des ménages 2012-2013. L'ensemble des données LSMS contient une riche base de données sur les ménages dans les différents États du Nigeria. Les techniques d'estimation de régression paramétrique et celle non paramétrique ont toutes deux été utilisées afin d'établir nos résultats et conclusions.

Un résumé du résultat de la régression non paramétrique indique que la relation positive entre la dépense énergétique et le revenu est très visible pour les ménages du percentile du revenu allant du 0e au 50e percentile et ceux du 75e au 95e percentile du revenu. Cependant, pour les ménages à revenu intermédiaire (c'est-à-dire supérieur au 50e et inférieur au 75e percentile de revenu) et les ménages extrêmement riches (c'est-à-dire dont le percentile de revenu est supérieur au 95e centile), la diminution de la dépense énergétique est considérée comme un revenu supplémentaire. Le résultat inclut également qu'il existe des preuves de différences sexospécifiques dans la relation entre le revenu et la dépense énergétique entre les ménages. Excepté les ménages très pauvres, les ménages dirigés par une femme semblent dépenser moins d'énergie que les ménages dirigés par les hommes qui disposent d'un revenu total similaire pour le ménage. Nous avons également établi que les ménages urbains ayant moins ou plus de membres féminins dépensent manifestement plus d'énergie que les ménages ruraux. Cependant, pour la localisation urbaine, une tendance au galop est observée de sorte que pour un plus petit nombre de femmes membres du ménage, la dépense énergétique augmente, mais diminue régulièrement lorsque le nombre de femmes du ménage dépasse le 50e percentile (c.-à-d. plus de 4 femmes dans le ménage). Les résultats montrent aussi que pour les ménages dirigés par une femme ayant un faible niveau d'éducation, une relation positive est observée entre le revenu et les dépenses énergétiques. L'inverse se produit pour les ménages dirigés par une femme ayant un niveau d'éducation plus élevé, où nous observons une relation négative. Nous avons également constaté que la relation entre le revenu et la dépense énergétique varie parmi les ménages selon l'âge du chef de ménage et le type d'habitation du ménage.

Une limitation importante de cette étude est que nous n'avons pas distingué les dépenses énergétiques d'autres sources d'énergie. Cet aspect n'a pu être réalisé dans le cadre de cette étude faute de données accessibles. Cela devrait être sans doute repris dans les études futures, où les variables qui étudient les dépenses des ménages sur d'autres sources d'énergie sont complètes. Dans l'ensemble de données actuelles que nous avons utilisé, ces variables étaient incomplètes et il était difficile de les utiliser dans nos estimations actuelles.

## Références

- Abd'razack, N.T.A., Medayes, S. O., Matins, V. I., Idowu, O. O., Adeleye, B. M. and Bello, L. O. (2012), An appraisal of household domestic energy consumption in Minna, Nigeria. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 2(3), 16-24.
- Bacon, R., Bhattacharya, S., and Kojima, M., (2010), Expenditures of Low-income Households on Energy: Evidence from Africa and Asia, World Bank – Extractive Industries for Development Series, Vol. 16. Tiré de [http://siteresources.worldbank.org/EXTOGMC/Resources/336929-1266963339030/eifd16\\_expenditure.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTOGMC/Resources/336929-1266963339030/eifd16_expenditure.pdf)
- Akinlo, A.E., (2009), Electricity Consumption and Economic Growth in Nigeria: Evidence from Co-integration and Co-feature Analysis, *Journal of Policy Modeling*, 31: 681-693.
- Aliyu, A.S., Dada, J.O., and Adam, I.K., (2015). Current status and future prospects of renewable energy in Nigeria, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48: 336-346.
- Bradshaw, J., Mitchell, D., and Morgan, J., 1987. Evaluating Adequacy: the Potential of Budget Standards. *Journal of Social Policy* 16(2), 165-181.
- British Council(2012), *Gender in Nigeria Report 2012: Improving the Lives of Girls and Women in Nigeria*, United Kingdom: UK Department for International Development
- Cashin, D. B., and McGranahan, L. (2006). Household energy expenditures, 1982-2005. *Chicago Fed Letter*, Number 227.
- Conniffe, D. (2000), Household energy expenditures: Policy relevant information from the household budget survey. The Economic and Social Research Institute, Dublin.
- Domene, E., and Sauri, D., (2006). Urbanisation and Water Consumption: Influencing Factors in the Metropolitan Region of Barcelona. *Urban Studies*. 34 (9): 1605-1623.
- Doss, C., Meinzen-Dick, R. and Bomuhangi, A. (2014). Who Owns the Land? Perspectives from Rural Ugandans and Implications for Large-Scale Land Acquisitions. *Feminist Economics*, 20(1), 76-100.
- Eakins, J. (2013), An analysis of the determinants of household energy expenditures: Empirical evidence from the Irish household budget survey. Being thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy in Economics from the University of Surrey.
- Elnakat, A., and Gomez, J.D., (2015). Energy Engenderment: An Industrialized Perspective Assessing the Importance of Engaging Women in Residential Energy Consumption Management. *Energy Policy*, 82: 166-177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.03.014>
- Elnakat, A., Gomez, J.D., and Booth, N., (2016). A Zip Code Study of Socioeconomic, Demographic, and Household Gendered Influence on the Residential Energy Sector, *Energy Reports*, 2: 21-27
- Emodi, N.V., and Boo, K., (2015). Sustainable Energy Development in Nigeria: Current Status and Policy Options, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51: 356-381.
- Foster, V., Tre, J. and Wodon, Q. (2000), Energy consumption and income: An inverted-U at the household level? A World Bank document.
- Frolich M (2006). Non-parametric Regression for Binary Dependent Variables. *Econometrics Journal* 9: 511-40.
- Gram-Hanssen, K., Kofod, C., and Petersen, K., (2004). Different Everyday Lives: Different Patterns of Electricity Use, *American Council for an Energy Efficient Economy*, 1-13.
- Grossman, M., (1972). The demand for health: A theoretical and empirical investigation. New York: National Bureau of Economic Research; Columbia University Press.
- Ibitoye, F.I., and Adenikinju, A., (2007), Future Demand for Electricity in Nigeria, *Applied Energy*, 84: 492-504.
- Jamasb, T., and Meier, H., (2010), Household Energy Expenditure and Income Groups: Evidence from Great Britain, *Cambridge Working Paper in Economics* 1011.
- Khamati-Njenga, B. and Clancy, J. (2003). Concepts and Issues in Gender and Energy. Being report compiled for Energia, under a Co-operation Agreement Ref: 992081 for ETC Netherlands. URL: <http://www.africa-adapt.net/media/resources/80/Energia-gender-energy.pdf>
- Kristiansen, D., (2012), Does Information Lead to Household Electricity Conservation? Macalester College *Honours Projects*, Paper 42. [http://digitalcommons.macalester.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1042&context=economics\\_honors\\_projects](http://digitalcommons.macalester.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1042&context=economics_honors_projects)
- Mas'ud, A.A., Wirba, A.V., Muhammad-Sukki, F., Mas'ud, I.A., Munir, A.B., Yunus, N.M., (2015).

- An assessment of renewable energy readiness in Africa: Case study of Nigeria and Cameroon, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51: 775-784.
- Ndegwa, G., Moraa, V., Jamnadass, R., Mowo, J., Nyabenge, M., and Liyama, M. (2011). Potential for biofuel feedstock in Kenya. ICRAF Working Paper No. 139. Nairobi: World Agroforestry Centre.
- Obadan, M., (2008), *The Economic and Social Impact of Privatisation of State-owned Enterprises in Africa*. Dakar: CODESRIA
- Ogwumike, F. O., Ozughalu, U. M. and Abiona, G. A. (2014), Household energy use and determinants: Evidence from Nigeria. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 4(2), 248-262.
- Okada, K., and Samreth, S.,(2012). "The effect of foreign aid on corruption: A quantile regression approach", *Economic Letters*, 11(2), pp. 240-243.
- Onochie, U.P., Obanor, A., and Aliu, S.A., (2015), Electricity Crisis in Nigeria: The Way Forward, *American Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 1(4): 180-186.
- Oseni, M.O., (2012). Improving Households' Access to Electricity and Energy Consumption Pattern in Nigeria: Renewable Energy Alternative, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 3967-3974.
- Permana, A. S., Abd Aziz, N. and Siong, H.C. (2015), Is Mom energy efficient? A study of gender, household energy consumption and family decision making in Indonesia. *Energy Research and Social Science*, 6 (78-86).
- Reddy, S. B. (2004), Economic and social dimensions of household energy use: A case study of India. In Ortega, E., and Ulgiati, S. (editors): *Proceedings of IV Biennial International Workshop on "Advances in Energy Studies"*: Brazil, pp. 469-477.
- Shaaban, M., and Petinrin, J.O., (2014), Renewable Energy Potentials in Nigeria: Meeting Rural Energy Needs, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29: 72-84.
- Sovacool, B., (2014), *Electricity and Education: The Benefits, Barriers, and Recommendations for achieving the Electrification of Primary and Secondary Schools*, United Nations Department of Economic and Social Affairs,
- United Nations - UN (2010), *The World's Women 2010: Trends and Statistics*, Washington: United Nations
- Usman, Z.G., Abbasoglu, S., Ersoy, N.T., Fahrioglu, M., (2015). Transforming the Nigerian Power Sector for Sustainable Development, *Energy Policy*, 87: 429-437.
- World Bank (2015), *Nigeria Economic Update: World Bank Cites Positive Economic Trends and Progress in Poverty Reduction*. Retrieved from <http://www.worldbank.org/en/news/press-release/2014/07/22/nigeria-economic-update-world-bank-cites-positive-economic-trends-and-progress-in-poverty-reduction>
- Yamusa, S.U., and Ansari, A.H., (2015). Renewable Energy Development as a Solution to Rural Electrification in Nigeria, 3(1): 85-103.
- Yatchew A (1998). Non-parametric Regression Techniques in Economics. *Journal of Economic Literature* 36(2): 669-721.





# Efficacite energetique au Burkina Faso : une analyse des determinants de l'adhesion des entreprises<sup>1</sup>

TRAORE INOUSSA<sup>a</sup>, KABORE IDRISSE<sup>b</sup>, NIKIEMA ROUKIATOU<sup>c</sup>

## Résumé

L'énergie est une composante essentielle du développement économique et social. Cette étude tente d'élucider les facteurs déterminants de l'adoption par les Petites et Moyennes Entreprises burkinabè de mesures d'efficacité énergétique. En utilisant les données de l'enquête sur la consommation d'énergie électrique dans les PMI /PME 2015 de la Chambre de Commerce et de l'Industrie du Burkina Faso, l'étude s'appuie sur une combinaison de méthodes d'analyse descriptive et d'analyse économétrique pour identifier les facteurs déterminants de l'adoption des mesures d'efficacité énergétique. Les résultats indiquent que les coûts liés à la recherche de l'information, le manque de connaissance sur les fournisseurs d'équipement appropriés ainsi que le manque de connaissance sur les possibilités d'économies d'énergie constituent les obstacles majeurs à l'adoption des mesures d'efficacité d'énergie. Aussi, l'âge de l'entreprise, sa localisation ainsi que sa taille influencent significativement la décision d'adoption des mesures d'efficacité énergétique.

**MOTS-CLÉS :** EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ; DÉCISION D'ADOPTION ; ENTREPRISE ; PROBIT ; BURKINA FASO

---

a Enseignant-chercheur, Université Ouaga 1 Professeur Joseph Ki-Zerbo (Ouagadougou, Burkina Faso) ;  
Mail : traore.inoussa02@gmail.com Tél : +226 71 19 30 49/+226 78 08 19 79

b Chambre de Commerce et d'Industrie du Burkina Faso (www.cci.bf). Mail. idrissbon@yahoo.fr/ idrissa.kabore@cci.bf.  
Tel : (00226) 701 341 02

c Enseignant-chercheur, Université Norbert Zongo (Koudougou, Burkina Faso) ; Mail : roukiatoun@yahoo.fr; Tel. (00226)62535336

### 1 Remerciements

Ce projet de recherche a été financé par le Centre régional pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique de la CEDEAO - Subvention de recherche de l'ECREEE. Les conseils de l'équipe de l'ECREEE et les commentaires utiles de notre mentor, Professeur Mahamadou Diarra (Maître de Conférence, Université de Koudougou), sont très appréciés. De même, nous exprimons notre gratitude à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) notamment Dr Edem N'TSOUKPOE, Dr Moussa SORO et M. Jean Francis SEMPORE pour les conseils avisés et leur disponibilité. Les auteurs assument la responsabilité pour tout autre point de vue exprimé dans ce document.

# 1. Introduction

L'accès à l'énergie est devenu une préoccupation fondamentale de la question du développement dans les économies contemporaines. Longtemps marginalisée dans le processus de production, la question de l'intégration de l'énergie dans les modèles analytiques de production basés sur la combinaison de trois facteurs classiques (le travail, le capital et la terre) a commencé à se poser dans le contexte de la révolution industrielle à la fin du 18<sup>ème</sup> siècle. Cette prise en compte de l'énergie dans l'activité de production tient notamment aux augmentations de productivité permises par la mise en œuvre des machines utilisant des énergies de diverses sources. Le développement industriel, l'augmentation du parc des moyens de transport motorisés et la multiplication des équipements domestiques indispensables à la vie de l'Homme ont entraîné une croissance importante des besoins en énergie. Dès lors, l'énergie est devenue une composante essentielle du développement économique et social. Elle est donc utilisée tantôt comme bien de consommation finale (éclairage, cuisine, chauffage, climatisation...) tantôt comme facteur de production ou bien de consommation intermédiaire. L'importance de l'énergie dans l'activité économique tient particulièrement à cette dernière utilisation.

Ainsi la disponibilité de ce facteur est devenue le nœud gordien de la performance de tout système productif et un enjeu majeur de la problématique du développement économique et social, notamment dans les pays en développement. Au plan macroéconomique, par exemple, il est largement admis que le Produit Intérieur Brut (PIB) par habitant d'un pays est fortement corrélé à sa consommation énergétique par habitant (Shiu et Lam, 2004 ; Altinay et Karagol, 2005 ; Narayan et Singh, 2007 ; Akinlo, 2009 ; Yoo et Kwak, 2010 ; Ouédraogo, 2010). D'autres analyses établissent un lien étroit entre l'indice de développement humain et la consommation nationale d'électricité (PNUD, 2008).

C'est dans ce sens que la problématique de l'approvisionnement en énergie est devenue une préoccupation majeure des pays en développement. En effet, la plupart de ces pays connaissent un écart important et souvent structurel entre l'offre et la demande d'énergie, notamment d'électricité, qui se traduit par des délestages<sup>2</sup> récurrents affectant l'activité des entreprises<sup>3</sup> (Scott et al. 2014, Frederick et Selase 2014, Banque Mondiale 2014).

Une étude de Databank Ghana, estime à environ 1,4 milliards le manque à gagner pour l'économie ghanéenne du fait de l'impact de la crise énergétique sur l'industrie manufacturière, les services et le secteur informel dans lesquels les Petites et Moyennes Entreprises (PME) jouent un rôle très important (Frederick et Selase 2014).

Dans les pays en développement, les PME représentent une part importante du système productif. Elles jouent un rôle important dans la valorisation des ressources locales, la création d'emplois et de revenus ainsi que la mise à disposition des populations de biens et services indispensables. La contribution de ces entreprises au produit intérieur brut et à l'emploi a été évaluée respectivement à 60% et 70% dans les pays en développement contre 55% et 65% dans les pays développés. Ces chiffres s'établissent à 70% et 95% dans les économies en transition (Ayyagari et al. 2003), montrant ainsi le rôle primordial des PME dans la phase de transformation des économies en développement. L'expérience des pays comme la Chine, la Corée du Sud et Taiwan est édifiante dans ce sens (Horn, 1995 ; Pang, 2008 ; Naudé, 2013 ; Motilewa et al., 2015).

Malgré leur importance reconnue de tous, les PME dans les pays en développement éprouvent des difficultés à jouer pleinement leur rôle, dans la mesure où celles-ci subissent avec le plus d'acuité la crise énergétique. Une étude de la Banque Mondiale indique que dans les pays d'Afrique Sub-saharienne, les PME identifient l'accès à l'énergie comme la principale contrainte qui mine leurs activités (Banque Mondiale, 2014). Près de la moitié (49,3%) des entreprises de cette zone considèrent

2 Selon une enquête menée en (2004) par la Banque mondiale, les entreprises du sud du Sahara font face à une moyenne de 8 pannes de courant (comparativement à une moyenne mondiale de 6,3) par mois, pour une durée moyenne de 4,6 heures (comparativement à une moyenne mondiale de 2,8 heures).

3 Ces pannes de courant entraînent des pertes et des coûts divers pour les entreprises. Au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire, au Niger et au Togo, les pertes subies sont estimées à 3,2%; 2,6%; 1,1%; et 6,1% du chiffre d'affaires des entreprises.

la problématique de l'accès à l'électricité comme étant leurs contraintes majeures. Cette proportion est de loin supérieure à la moyenne mondiale (34,1%) et à celles des régions économiques comme l'Europe de l'Est et l'Asie Centrale (17,9 %) et de l'Asie de l'Est et le Pacifique (22,6%).

Le Burkina Faso, à l'instar de la plupart des pays en développement fait face depuis quelques années à des déficits d'approvisionnements de son économie en énergie et recherchent des stratégies visant à réduire l'impact de ces déficits sur la compétitivité de son économie. La promotion des mesures d'efficacité énergétique visant à rationaliser la consommation de cette ressource constitue l'une des mesures entreprises dans ce sens.

Du fait de sa situation de pays enclavé sans un réel potentiel en matière de production hydroélectrique, le Burkina Faso fait face au problème énergétique avec le plus d'acuité. Le pays connaît donc des déficits énergétiques importants, et ce malgré les accords d'interconnexion établis avec certains pays voisins, notamment la Côte d'Ivoire et le Ghana qui ont permis l'importation de 661 GWh en 2012 et 532 GWh en 2013 (soit respectivement 42,16% et 57,98% de la quantité totale d'électricité distribuée). De 2011 à 2015, le pays a accusé un déficit moyen de 25 GWh par an et des déficits de puissance pouvant atteindre 110 MW (ARSE, 2014). Cette situation est particulièrement critique pendant les périodes de forte demande au cours desquelles le déficit peut souvent atteindre 50 GWh (Ouédraogo et al, 2015).

A cette offre insuffisante de l'énergie s'ajoute le coût élevé du kWh fourni par le réseau. Les 17,68% de burkinabè privilégiés qui avaient accès à l'électricité en 2014 (Agence Internationale de l'Energie, 2016) ont dû faire face aux tarifs d'électricité parmi les plus élevés au monde. En effet, le Burkina Faso a été identifié par l'Union des Producteurs, Transporteurs et Distributeurs de l'Energie électrique d'Afrique (UPDEA) comme second pays ayant le coût du kWh le plus élevé en Afrique de l'Ouest (ARSE, 2014) ; qui reste d'ailleurs la région du monde au coût du kWh le plus élevé.

Ces statistiques qui caractérisent globalement une situation énergétique, notamment électrique, non reluisante contrastent avec les ambitions affichées par le pays dans son plan national de développement économique et social (PNDES), le référentiel gouvernemental en matière de politiques économiques et sociales à l'horizon 2020. Dans ce document, la politique énergétique est exclusivement consacrée au développement du secteur de l'électricité qui passe par « la garantie de l'accès aux services énergétiques de qualité et l'efficacité énergétique » (PNDES, 2016-2020). Toutefois, cet objectif est loin d'être atteint au regard des statistiques. Egalement, sur le plan institutionnel et réglementaire, le pays a entrepris ces dernières années plusieurs réformes dont les plus importantes sont la création de l'Agence Nationale des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique (ANEREE) et l'adoption par le parlement d'une nouvelle loi réglementant le secteur de l'énergie qui est très favorable au développement du secteur privé.

Pour contribuer à résoudre la question de la compétitivité des entreprises des mesures d'efficacité énergétique sont encouragées à plusieurs niveaux notamment au niveau des entreprises mais, le constat sur le terrain est que l'adoption de ces mesures par les entreprises reste toujours faible. Cela nous amène à nous poser la question suivante : quels sont les facteurs déterminants de l'adoption par les entreprises de comportements d'efficacité énergétique ?

L'objectif principal de cette étude est d'élucider les facteurs déterminants de l'adoption par les PME burkinabè de mesures d'efficacité énergétique. Le but ultime étant de formuler des recommandations à même de servir les décideurs publics et notamment une structure comme la chambre de commerce dans leur objectif d'optimisation de la consommation énergétique afin de réduire le gap énergétique au Burkina Faso. Plus spécifiquement, il s'agira de faire un diagnostic des comportements de consommation d'énergie par les entreprises au Burkina Faso et d'identifier les facteurs internes et externes aux entreprises qui expliquent l'adoption des mesures d'efficacité énergétique.

Cette étude se veut empirique et adopte une méthodologie axée sur un travail important de collecte de données auprès des entreprises. En effet, l'étude utilise les données de l'enquête sur la consommation d'énergie électrique dans les PMI /PME réalisée par la Chambre du Commerce et de

l'Industrie du Burkina Faso en 2015. L'enquête couvre 315 entreprises de la ville d'Ouagadougou et de Bobo-Dioulasso. Outre cela, l'étude utilise une combinaison de méthodes d'analyse descriptive et d'analyse économétrique basée sur un modèle Probit.

La suite du papier est organisée en plusieurs sections. La première section porte sur une revue de littérature détaillée sur la problématique de l'adoption des mesures d'efficacité énergétique. La deuxième section traite de la méthodologie utilisée. La troisième section présente les résultats. Et la quatrième section conclut le papier tout en faisant ressortir des recommandations de politiques économiques.

## 2. Revue de littérature

La littérature économique situe la problématique de l'efficacité énergétique au cœur des politiques énergétiques et s'interroge sur la nécessité de telles politiques dans le contexte des économies libérales où la recherche de l'efficacité est inhérente au système de production dans toutes ses composantes. Dans ce sens, Giraudet (2011) s'interroge sur la nécessité, voire l'utilité de la promotion des mesures d'efficacité énergétique à travers des politiques énergétiques dans la mesure où le bon fonctionnement des mécanismes du marché permet d'assurer cette efficacité. Selon cet auteur, c'est sans doute aujourd'hui la question la plus délicate dans un contexte où les prix du marché international des hydrocarbures sont bas et où l'aiguillon de la concurrence semble suffire à assurer efficacité et équité selon des principes classiques de l'économie de marché. Une telle analyse de l'auteur est basée sur la compréhension de la politique énergétique comme « l'ensemble des objectifs retenus par la puissance publique pour assurer l'approvisionnement énergétique du pays dans les meilleures conditions de coût et de sécurité, et des moyens réglementaires et incitatifs mis en œuvre pour l'atteinte de ces objectifs ; objectifs et moyens étant coordonnés dans le respect des choix prioritaires fixés par la collectivité et sous la limitation des contraintes physiques, environnementales, économiques et sociales existantes ». Cette section présente d'abord la définition des concepts d'efficacité énergétique et autres concepts associés. Ensuite, les fondements théoriques et empiriques sont présentés à la lumière de plusieurs approches combinant les réflexions en matière d'économie industrielle et aussi d'économie publique.

### 2.1. Définition de concepts : notion d'efficacité énergétique et concepts associés

L'efficacité énergétique est un attribut caractéristique des biens d'usage de l'énergie. Lovins (2004) la définit comme le ratio entre le service énergétique produit et la quantité d'énergie utilisée ou le rendement de conversion de l'énergie finale en énergie utile. Dans la décision d'investissement, différentes options d'efficacité sont en concurrence, l'investisseur ayant le choix entre les options les moins efficaces et les options les plus efficaces. Plus l'option est efficace, plus elle réduit la consommation d'énergie finale pour un service énergétique donné. Dans le cas des biens domestiques d'usage de l'énergie, l'option la plus efficace est généralement la plus coûteuse. Aussi, l'option des biens d'usage de l'énergie peut également être orientée vers une diminution absolue de la consommation d'énergie : réduction de la durée d'éclairage, modération de la température de chauffage, etc. Pour de nombreux auteurs (Salomon et al, 2005 ; Alcott, 2008 ; Herring, 2009), le terme de sobriété énergétique (ou économie d'énergie) est fréquemment utilisé pour qualifier ce type de comportement.

Selon Giraudet (2011), l'efficacité et la sobriété énergétique correspondent à une orientation particulière des comportements d'investissement et d'utilisation des biens d'usage de l'énergie. L'auteur illustre cette idée à partir d'une courbe isoquant (Voir figure 1) qui regroupe l'ensemble des arbitrages entre la consommation d'énergie et la consommation d'un bien efficace agrégé qui procurent le même service énergétique. Sur cette figure, l'efficacité correspond à un déplacement le long de l'isoquant, qui substitue à la consommation d'énergie une plus grande consommation de

bien efficace, tandis que la sobriété correspond à un déplacement de l'isoquant à l'autre vers une consommation d'énergie plus faible, à consommation de bien efficace constante.

Le troisième concept est celui de la maîtrise de l'énergie. Ce concept désigne la recherche conjointe d'efficacité et de sobriété énergétiques, dans le but de maximiser les économies d'énergie par rapport à une situation de référence.

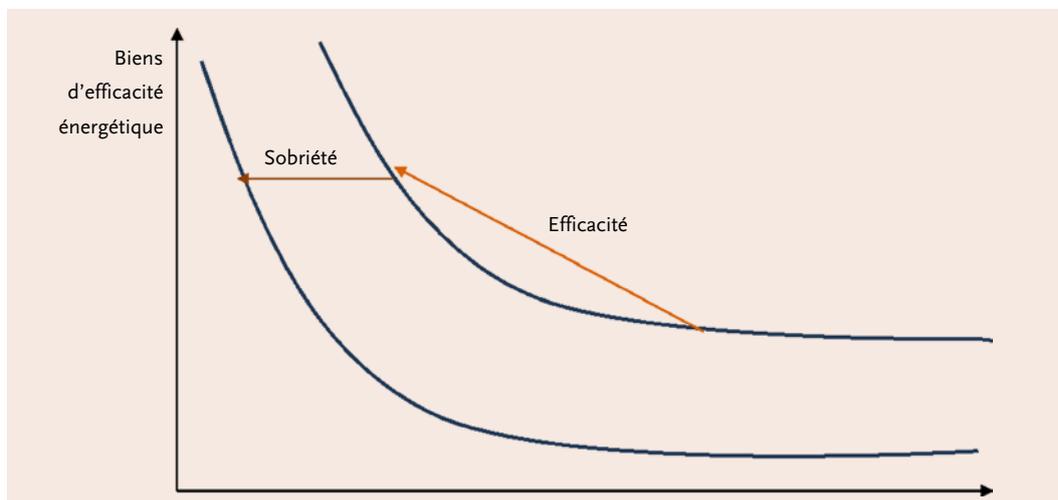


FIGURE 1 : EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE

Source : Giraudet (2011)

## 2.2. Approches théoriques

Sur le plan théorique, l'analyse des mesures d'efficacité énergétique a été abordé tantôt sous l'angle de l'adoption d'innovations, dans la tradition des mêmes approches théoriques utilisées dans le secteur agricole, les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) et autres technologies ou mesures, tantôt sous celui des défaillances des marchés.

### 2.2.1. Les mesures d'efficacité énergétique sous l'angle d'innovations à adopter

Parmi les théories économiques de l'acceptation et de l'appropriation des nouvelles technologies, celle relative au modèle TAM (Technology Acceptance Model) est sans conteste une référence fondamentale (Brangier et al., 2009). Globalement, le TAM suggère que l'acceptation ou l'appropriation d'une technologie par les utilisateurs dépend de deux facteurs : l'utilité perçue (répond aux besoins de la population en termes d'efficacité et d'efficience), et la facilité d'utilisation perçue (techniquement non complexe pour son appropriation et de sa répliation). Plus précisément, le TAM pose en principe que les perceptions qu'ont les utilisateurs de ces deux critères déterminent des intentions qui influencent leurs comportements d'utilisation et d'appropriation et donc, d'adoption.

À partir du TAM, d'autres approches ont cherché à expliquer le succès d'appropriation d'une technologie en soulignant que, plutôt que de se fier à ses perceptions d'utilité et d'utilisabilité, l'utilisateur cherche d'abord à maximiser sa satisfaction. Cette recherche de la satisfaction de l'utilisateur (User Satisfaction Theory) y est vue comme un facteur déterminant d'appropriation et d'utilisation (Information Success Model de DeLone et Ephraim, 1992). D'après Doll et Torkzadeh (1988). Les mesures de la satisfaction ont été appréhendées selon deux classes de critères, à savoir la qualité du système (cohérence, efficacité, efficience, maintenabilité) et la qualité de formation-information (pertinence, adéquation, non complexité, robustesse du système). Olson (1978) dans la stratégie d'appropriation enseigne que, pour que l'acteur s'engage dans un processus d'appropriation et même d'adoption de l'innovation technologique et/ou sociale, il faut que celui-ci perçoive les bénéfices de gains immédiats et tangibles rattachés à cette innovation.

Outre ces théories, celle de la confirmation des attentes développée par Oliver (1981) explique l'adoption d'une innovation par un individu ainsi que sa rétention par un raisonnement logique basé sur les attentes de celui-ci. D'abord l'individu construit des attentes préalables à l'usage ou à l'adoption de l'innovation. Ensuite, il expérimente l'innovation adoptée et constate la réalité. A partir de la comparaison de ses attentes et de l'expérience d'usage, l'individu exprime un certain niveau de satisfaction qui va enfin déterminer son comportement définitif envers l'innovation en question. Le modèle dit de la confirmation des attentes consiste donc en une évaluation comparative de la qualité du service attendue à l'avantage final obtenu par l'utilisation. La satisfaction est donc bien envisagée comme le résultat de l'évaluation positive d'une expérience d'interaction ; même si certains déterminants sociaux sont loin d'être négligés.

### 2.2.2. Efficacité énergétique : paradoxe énergétique et défaillance du marché

Giraudet (2011) utilise les outils de l'économie industrielle et les théories de l'économie institutionnelle pour analyser l'adoption ou non par les acteurs économiques de mesures d'efficacité énergétique. Il s'appuie ainsi sur le concept de « paradoxe énergétique » développé par Jaffe et Stavins (1994). Il y a paradoxe énergétique, selon ces auteurs, du fait que si l'on se fie aux critères usuels de calcul économique, de nombreux investissements dans l'efficacité énergétique sont rentables, pourtant les décisions d'investissement réelles ne suivent pas les résultats de ces calculs élémentaires. Ainsi donc, bien qu'ils paraissent rentables du point de vue des critères usuels de calcul économique, le sous-investissement dans certains équipements de « rationalisation » de la consommation énergétique est fréquent. De même, certains investissements de « renouvellement » ne sont pas réalisés au-delà du rythme naturel de déclassement. Ce qui affecte l'efficacité énergétique du système dans son ensemble du fait de l'usure des équipements.

Comme l'explique Huntington et al. (1994), ce paradoxe énergétique s'explique par les défaillances des marchés de l'efficacité énergétique, notamment les défaillances liées aux problèmes d'information sur ces marchés. Dans la mesure où ces problèmes prennent différentes formes, les grilles utilisées pour les analyser sont rarement homogènes et mobilisent une variété de concepts issus de la théorie des biens publics (caractère non-rival et non-exclusion de l'information) et de la théorie de l'agence (problèmes principal-agent, aléa moral, anti-sélection). Gillingham et al. (2009) retiennent, dans leur analyse, trois concepts relatifs à des défaillances informationnelles qui affectent la décision d'adoption des mesures d'efficacité énergétique. Il s'agit des concepts d'information imparfaite, d'asymétrie d'information et d'externalité positives d'adoption.

Le concept d'information imparfaite dans l'analyse de Gillingham et al. (2009) est lié au fait que les utilisateurs, voire les vendeurs d'équipement fonctionnant à base d'énergie, n'ont pas connaissance des bénéfices que procurent l'efficacité énergétique, qui n'est pas perçue comme un attribut valorisant les biens d'usage de l'énergie. L'information sur l'efficacité énergétique apparaît comme un bien public, systématiquement sous-produit par le marché. Ce qui ne favorise pas une plus grande adoption des mesures d'efficacité énergétique.

Le concept d'asymétries d'information dans cette analyse traduit le fait que les caractéristiques des biens d'usage de l'énergie ne sont pas connues à l'avance. En effet, alors que l'énergie peut être caractérisée comme un « bien de recherche », dont les caractéristiques sont connues avec certitude avant l'achat, les biens d'usage de l'énergie sont considérés comme des « biens de croyance », dont les caractéristiques ne se révèlent pas totalement à l'usage (Sorrell, 2004 ; Quirion, 2004). C'est le cas par exemple des équipements électriques, qui ne disposent pas d'un compteur électrique individuel et dont il est difficile de savoir avec exactitude le niveau réel de consommation, ni la qualité. En conséquence, le consommateur apparaît plus réticent à dépenser des sommes élevées pour les biens d'usage de l'énergie que pour l'énergie. Cette caractéristique de « bien de croyance » génère des problèmes d'anti-sélection, situation dans laquelle les vendeurs du bien d'usage de l'énergie ne sont pas en mesure de transférer toute l'information à l'acheteur. Par exemple, lorsque des travaux d'isolation sont réalisés lors de la construction d'une maison, leur coût est encore rarement répercuté dans le prix de revente du logement. Les investissements d'efficacité énergétique sont souvent découragés par l'impossibilité pour le financeur de s'en approprier les bénéfices.

Enfin le concept d'externalités positives d'adoption traduit, dans cette analyse, le fait que l'information relayée par les premiers utilisateurs d'une technologie ou d'une innovation est déterminante pour le niveau global d'adoption de cette technologie/innovation. En effet, les « adopteurs précoces » d'une technologie nouvelle porte ses performances à la connaissance d'autres adopteurs potentiels, induisant ainsi des phénomènes d'imitation. La littérature économique et sociologique utilise divers concepts pour désigner ce phénomène. L'on distingue alors les concepts de learning-by-using (Jaffé et al., 2004 ; Gillingham et al., 2009), de neighbour effect (Mau et al., 2008 ; Axsen et al., 2009), de social contagion (Mahapatra et Gustavsson, 2008) ou encore social learning (Darby, 2006).

Selon Giraudet (2011), il existe sur les marchés de l'efficacité énergétique des défaillances traditionnellement liées à l'innovation, comme le sous-investissement en recherche et développement et les externalités positives liées à l'apprentissage du côté de l'offre de technologies (learning-by-doing). Le phénomène d'apprentissage se manifeste par une baisse du coût des technologies avec l'accroissement de la connaissance, généralement approché par la production cumulée (Arrow, 1962 ; Wing, 2006 ; Gillingham et al., 2008).

Certains marchés de l'efficacité énergétique sont caractérisés par une structure de concurrence imparfaite. Lorsque l'offre de biens d'usage de l'énergie est segmentée par gamme d'efficacité, les fabricants qui disposent d'un pouvoir de marché ont la possibilité de discriminer les consommateurs par les prix et d'accroître leur marge sur le haut de gamme, qui correspond en général, dans le secteur résidentiel et tertiaire, aux options les plus efficaces (Quirion, 2004). Les contraintes de financement constituent un dernier type de défaillance des marchés de l'efficacité énergétique (Gillingham et al., 2009).

### 2.2.3. Quelques analyses empiriques sur l'adoption des mesures d'efficacité énergétique

Plusieurs études (Henry, 1974 ; Metcalf et Hassett, 1999 ; Timilsina et al., 2016 ; Liu, 2014 ; Trianni et al., 2013 ; Costa-Campi, 2015, etc.) ont tenté d'analyser les obstacles à l'efficacité énergétique des entreprises. En effet, les barrières qui ne sont pas des défaillances de marché, qualifiées ici d'obstacles à la diffusion des technologies efficaces tels que l'incertitude qui entoure à la fois les prix futurs de l'énergie et le coût futur des technologies d'une part, le caractère irréversible de la majorité des investissements d'efficacité énergétique d'autre part, créent une incitation à retarder l'investissement, généralement qualifiée de valeur d'option (Henry, 1974).

De même, certains coûts cachés inhérents au fonctionnement normal des marchés ne sont pas pris en compte dans les calculs de rentabilité les plus élémentaires, mais « absorbés » par le taux d'actualisation implicite, dont ils contribuent à élever la valeur. Ces coûts correspondent aux efforts de recherche d'un produit sur le marché, au dérangement occasionné par l'installation des équipements intérieurs (particulièrement important dans le cas des travaux d'isolation), ou encore à la perte d'utilité sur certains attributs des équipements autres que l'efficacité énergétique (e.g. changement de teinte des ampoules basse consommation par rapport aux ampoules à incandescence). Il se peut également que l'efficacité réelle des équipements ne corresponde pas aux prévisions des ingénieurs (Metcalf et Hassett, 1999), même si le sens de ce biais ne semble pas systématique.

Timilsina et al. (2016) sur une étude des firmes commerciales et industrielles en Ukraine distinguent cinq barrières dans l'adoption de l'efficacité énergétique : barrières financières et économiques, barrières informationnelles, barrières techniques, barrières institutionnelles, barrières liées au manque de motivations. Ils utilisent essentiellement une analyse de données en coupe transversale et une analyse en composante principale. Ils ont trouvé que les barrières financières et économiques ainsi que les barrières institutionnelles occupent une place majeure dans les contraintes énergétiques des firmes Ukrainiennes. Le raisonnement économique et financier peut être vu comme un cercle vicieux de l'accès à l'énergie. En effet, les mauvaises conditions économiques entraînent une adoption non efficiente de la technologie énergétique ; impliquant à son tour une situation économique défavorable.

Liu (2014) arrive à la même conclusion sur une étude de cas de 98 firmes en Chine. Il trouve que les contraintes d'incitations financières sont les plus importantes parmi toutes les autres barrières que

rencontrent ces firmes. Toutefois, d'autres études (Trianni et al ; 2013, Kostka et al ; 2013, Rohdin et Thollander ; 2006) montrent que les barrières d'informations sont les plus importantes pour les entreprises. Le manque d'information et l'information imparfaite accroissent le coût d'opportunité lié à l'efficacité énergétique (Trianni et Cagno, 2012).

L'étude de Mattes et al. (2014) montre que la nature des biens produits par les entreprises est un indicateur de l'adoption de technologie énergétique. En utilisant la régression logistique multiple, ces auteurs, sur une étude des industries manufacturières en Allemagne, indiquent que les entreprises produisant les biens de consommation finale adoptent la technologie des énergies renouvelables par rapport aux autres industries manufacturières.

Un autre volet important dans l'explication du choix énergétique est la taille des entreprises. Avec un modèle logit, Costa-Campi (2015), sur une étude en Espagne, montre que la taille des firmes est un indicateur important dans l'adoption de l'efficacité énergétique. Ce même résultat a été trouvé dans les études de Trianni et al. (2013) qui, eux, utilisent une méthode semi-structurée d'interviews et de questionnaires dans 20 entreprises manufacturières. En effet, les entreprises de petite taille ont beaucoup plus de difficultés ou assez de contraintes à adopter des mesures d'efficacité énergétique due à des problèmes organisationnels. Les entreprises de grande taille sont souvent beaucoup plus organisées et sont enclines à adopter des techniques d'efficacité énergétique. Cela pourrait aussi être expliqué par les économies d'échelle en ce sens que les entreprises de grande taille supportent beaucoup plus les barrières économiques et financières. Cependant Mattes et al. (2014) montrent dans leur étude que la taille de l'entreprise n'explique pas significativement le choix énergétique.

Les considérations culturelles, sociales et politiques peuvent aussi expliquer la non adoption de certaines techniques énergétiques (Urmee et Md, 2016). Les croyances culturelles et sociales influencent fortement les habitudes des individus surtout dans le monde rural. En effet, les politiques énergétiques ne prenant pas en compte ces dimensions sont très souvent voués à l'échec. Les approches participatives dans l'élaboration et la mise en œuvre de ces politiques sont de ce fait à encourager. Des études (Schleich, 2009 ; Sardianou, 2008) montrent que l'adoption de l'efficacité énergétique est déterminée par la perception des entreprises de l'adoption de l'efficacité énergétique comme une priorité ou non pour les entreprises. Cette perception pourrait être expliquée par des barrières informationnelles quant aux bénéfices liés aux technologies énergétiques (Timilsina, 2016). La figure 2 donne la synthèse des obstacles liés à l'adoption des mesures d'efficacité énergétique fait par Jaffe et al. (2004) et Sorell (2004).

En dépit de cette large littérature, le manque d'étude sur l'efficacité énergétique est constaté, à notre connaissance, dans le cas du Burkina Faso.

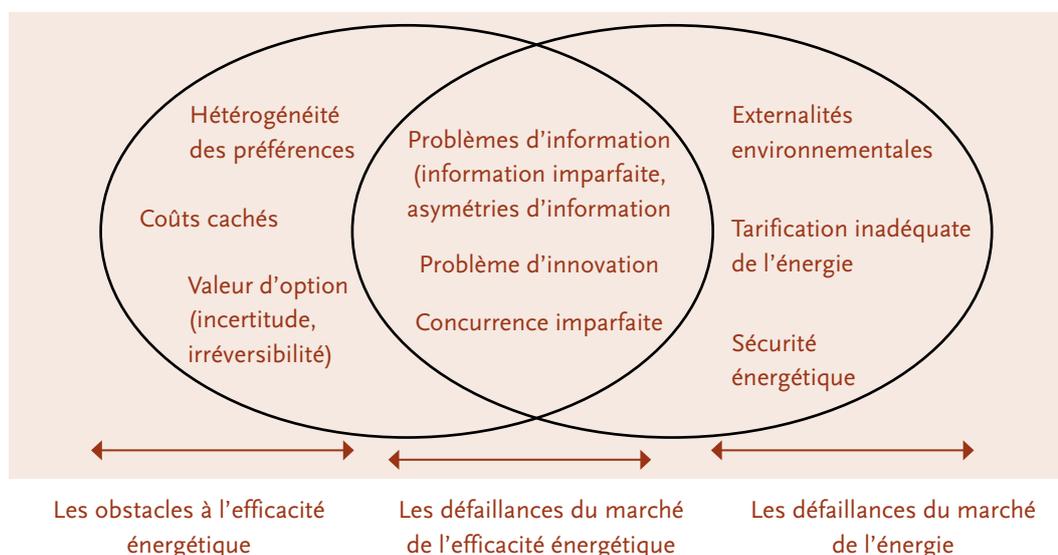


FIGURE 2 : SYNTHÈSE DES OBSTACLES À L'ADOPTION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Source: Différents Sortes de Barrières et Défaillances Selon Sorell (2004), Jaffe et al. (2004)

## 3. Méthodologie de l'étude

La démarche méthodologique utilisée dans l'étude est une combinaison d'analyse descriptive et d'analyse économétrique. Ces analyses s'appuient sur une base de données sur la consommation d'électricité collectée sur un échantillon de PME/PMI des villes d'Ouagadougou et de Bobo-Dioulasso. Cette section présente de façon détaillée les différentes étapes de la démarche méthodologique ainsi que la description des différents outils et approches utilisés.

### 3.1. Méthodologie d'enquête.

La base de sondage a été constituée des PME/PMI du Fichier National des Entreprises et des Regroupements d'Entreprises (Fichier NERE) exerçant des activités identifiées comme pertinentes pour le sujet traité. Il s'agit des entreprises dont la mise en œuvre de la production nécessite la disponibilité de l'énergie électrique. A cet effet, les entreprises exerçant les activités principales suivantes ont été retenues : Hôtellerie et restauration ; Enseignement privé ; Distribution de carburant (Stations-services) ; Services de soins médicaux (Cliniques et centres de santé privés) ; Exploitation de supermarchés ; Vente de produits pharmaceutiques (pharmacies) ; Production d'huiles alimentaires ; Boucheries / Charcuterie /Poissonnerie ; Transformation de céréales ; Production d'eaux conditionnées ; Transformation de lait. Ces secteurs concentrent la plus grosse population de PME/PMI au Burkina Faso dont l'activité dépend énormément de l'énergie électrique. Les données ont été collectées par les services techniques de la Chambre de Commerce et d'Industrie à travers la Direction de la Prospective et de l'intelligence Economique dont les principaux animateurs sont partie prenante à cette étude. Cette opération réalisée en 2015 a permis de rendre disponible une base de données qui renseigne sur les comportements en matière de consommation et d'efficacité énergétique des PME/PMI burkinabè. Cette collecte a concerné essentiellement les PMI/PME des villes de Ouagadougou et de Bobo-Dioulasso qui concentrent la grande partie des PME du Burkina Faso. La collecte a porté sur un échantillon de 315 PME suivant la méthode d'échantillonnage stratifié. Les strates étant les sous-catégories professionnelles (activités principales exercées) retenues dans le cadre de l'enquête. Cette stratification s'est imposée car l'étude désirait obtenir des renseignements spécifiques sur la consommation d'énergie électrique dans les entreprises exerçant les activités suscitées.

### 3.2. Méthodes d'analyse

Deux (02) types d'analyse ont été menés. Une analyse descriptive utilisant les méthodes de la statistique descriptive a permis, d'une part, de caractériser les comportements de consommation et de gestion de la problématique énergétique et d'autre part, de sortir les premières tendances du poids des différents facteurs d'adoption des mesures d'efficacité énergétique. La méthode Probit a permis d'approfondir l'analyse et d'identifier clairement les principaux déterminants de l'adoption des mesures d'efficacité énergétique.

#### 3.2.1. Le modèle

Afin de déterminer les facteurs explicatifs de l'adoption des mesures d'efficacité énergétique, un modèle Probit a été utilisé. En effet, la variable mesurant la mesure d'efficacité énergétique est une variable binaire qui prend la valeur 0 et 1. Or, un des modèles les plus adaptés lorsque la variable dépendante est binaire est le modèle Probit (Greene, 2002).

Soit le modèle suivant :

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{si l'individu } i \text{ adopte la mesure d'efficacité énergétique avec une probab} \\ 0 & \text{sinon; avec une probabilité } 1 - p \end{cases}$$

Soit  $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik})$  une matrice de variables explicatives et  $\beta$  un  $K \times 1$  vecteur de paramètre.

Alors,  $p_i \equiv \Pr(Y_i = 1|X) = F(X_i'\beta)$  où

$$F(X_i'\beta) = \Phi(X_i'\beta) = \int_{-\infty}^{X_i'\beta} \varphi(z) dz \text{ avec}$$

$$\varphi(z) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\right) \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right).$$

Les effets marginaux sont donnés par  $\frac{\partial p_i}{\partial x_{ij}} = \varphi(X_i'\beta)\beta_j$ . L'estimation se fait par la méthode du maximum de vraisemblance.

### 3.2.2. Les variables d'analyse

Les variables utilisées pour l'estimation du modèle Probit sont issues des réponses aux questions de l'enquête sur l'énergie électrique/CCI-BF 2015.

#### La variable dépendante

La variable rendant compte de l'adoption de mesures d'efficacité énergétique est une variable qualitative. L'enquête a appréhendé cette variable à travers le comportement des entreprises face à trois principales mesures. Il s'agit d'abord de l'information du staff et/ou sa motivation pour une attitude orientée vers les économies d'énergie, ensuite de l'implémentation d'un système de gestion de l'énergie au sein de l'entreprise et enfin de la prise en compte de la consommation énergétique lors de l'achat de nouveaux équipements ainsi que l'isolation des bâtiments. Ainsi, les entreprises sont considérées comme ayant adopté des mesures d'efficacité énergétique relativement à ces trois mesures lorsqu'elles ont déjà mis en œuvre la mesure ou sont en cours de la mettre en œuvre. En revanche, une entreprise n'adopte pas une mesure d'efficacité énergétique donnée si la mesure en question n'a pas encore été mise en œuvre en son sein ou n'est pas en cours de mise en œuvre. Pour chacune de ses trois variantes, la variable dépendante (efficacité énergétique) est alors égale à 1 si l'individu adopte la mesure d'efficacité énergétique et 0 sinon.

Cependant, à l'issue de l'implémentation du modèle économétrique, seules les deux premières variantes de la variable dépendante s'avèrent pertinentes pour l'analyse des déterminants de l'adoption des mesures d'efficacité énergétique. De ce fait, deux spécifications caractériseront le modèle économétrique et porteront sur les deux premières mesures indiquées plus haut. Le tableau 1 résume les informations concernant les deux variables dépendantes.

TABLEAU 1 : DIFFÉRENTES VARIANTES DE LA VARIABLE DÉPENDANTE.

Nom de la variable	Variantes	Description de la variable
Efficacité énergétique (Eff_Energ)	Info_Staff	1= information du staff et/ou sa motivation pour une attitude orientée vers les économies d'énergie ; 0 sinon
	Gestion_Energ	1= mise en place un système de gestion des mesures d'efficacité énergétique ; 0= sinon

#### Les variables indépendantes

La littérature sur l'adoption des mesures d'efficacité énergétique nous permet de retenir quatre groupes de variables explicatives. Il s'agit des variables portant sur les caractéristiques de l'entreprise, les variables relatives au domaine d'activité de l'entreprise, les variables liées à la gestion de la question énergétique et enfin les variables liées au coût de l'énergie. Le tableau 2 donne la description des différentes variables indépendantes retenues pour les estimations.

TABEAU 2 : DESCRIPTION DES VARIABLES INDÉPENDANTES

Variables	Description
<b>Variables liées aux caractéristiques de l'entreprise</b>	
Age	La différence entre année de création de l'entreprise et l'année de l'enquête (2015)
MiE_CA	Entreprise ayant un chiffre d'affaire de 2013 inférieur à 30 millions de FCFA
PE_CA	Entreprise ayant un chiffre d'affaire de 2013 compris entre 30 millions inclus et 150 millions exclus
Localité	1= Ouagadougou ; 0= Bobo-Dioulasso
<b>Variables liées au secteur d'activité</b>	
Huileries	1= le secteur d'activité concerne la production d'huile ; 0= sinon.
Supermarchés	1= le secteur d'activité concerne l'exploitation de super marché ; 0= sinon.
Hôtel_Restau	1= le secteur d'activité concerne l'exploitation d'hôtel/restaurant ; 0= sinon.
Santé_Privés	1= le secteur d'activité concerne l'exploitation d'un centre de santé privés ; 0= sinon.
<b>Variables liées au coût d'exploitation de l'entreprise</b>	
Coutfactur_mensuel	Coût moyen mensuel de la facture d'électricité
Coutmaintien_groupe	Coût annuel d'entretien du groupe électrogène
Chargénerg>20	1=Part des dépenses énergétiques annuelles > 20% des dépenses totales ; 0 sinon.
CM_annuel_2011-2013	Coût moyen annuels de la facture d'électricité sur la période 2011-2013
<b>Variables liées à la gestion de la question énergétique</b>	
Audit_Energ	1= Audit énergétique réalisée au cours des trois dernières années ; 0 sinon.
Product_Electricite	1= produit tout ou partie de l'électricité consommée ; 0 sinon.
Energie_solaire	1= produit de l'électricité de sources solaire ; 0 sinon.
Pres_Electricien	1= présence d'un électricien dans l'entreprise ; 0 sinon.
Ajour_Facture	1= a jour du paiement des factures d'électricité ; 0 sinon.
Volum_H_Travail	Volume horaire journalier de travail dans l'entreprise

Source : Les auteurs à partir de la base de données de l'enquête PME/PMI, 2015.

Le choix de ces variables s'appuie sur la « User Satisfaction Theory ». Cette théorie qui émane du modèle de l'acceptation et de l'appropriation de technologie (Technology Acceptance Model) met la satisfaction de l'entité qui adopte au cœur de la décision d'adoption de nouvelles technologies. Or selon la théorie microéconomique classique un élément important qui affecte la satisfaction, notamment le niveau du profit, d'une entité comme l'entreprise reste sa capacité à maîtriser ses coûts, certaines caractéristiques de celle-ci ainsi que le comportement qu'elle adopte face à son environnement.

## 4. Principaux Résultats

L'analyse détaillée des données nous montre les comportements de consommation des entreprises, l'état des lieux des mesures d'efficacité énergétique au sein de ces entreprises, ainsi que les facteurs internes et externes permettant d'influer sur leur décision d'adoption des mesures d'efficacité énergétique. Les résultats du modèle Probit sont également indiqués.

### 4.1. Diagnostic des comportements de consommation d'énergie par les PME au Burkina Faso

L'énergie est une source de dépense importante dans les charges de fonctionnement des entreprises au Burkina Faso et sa maîtrise est un aspect important de la compétitivité de ces entreprises. Ce présent sous-point présente les résultats de l'analyse descriptive relative aux comportements de consommation d'énergie.

#### 4.1.1. La consommation d'énergie électrique dans les entreprises Burkinabè

Au Burkina Faso, la fourniture de l'énergie électrique est assurée par la Société Nationale d'Electricité du Burkina Faso (SONABEL) sur toute l'étendue du territoire national. Les résultats de l'enquête montrent que la quasi-totalité des entreprises enquêtées (99%) sont branchées au réseau de distribution de cette société. Cependant, du fait des difficultés que rencontre ce fournisseur à répondre régulièrement à la demande d'électricité, certains consommateurs, notamment les entreprises tentent de diversifier leur source d'approvisionnement en énergie afin d'éviter les désagréments liés aux délestages récurrents. Il ressort de l'enquête que seulement 34% des entreprises dépendent exclusivement de la fourniture d'électricité par la SONABEL. La grande majorité des entreprises (66%) associent à l'électricité fournie par la SONABEL de l'électricité qu'elles produisent elles-mêmes à partir d'installations photovoltaïques et/ou des groupes électrogènes.

Cette stratégie de diversification des sources d'approvisionnement des entreprises en énergie électrique répond non seulement au besoin de pallier l'irrégularité dans la fourniture de l'énergie par la SONABEL mais aussi de réduire la facture énergétique à moyen et long terme. L'enquête révèle que les dépenses énergétiques (factures SONABEL+achat de carburant pour groupes électrogènes) constituent pour 32% des entreprises, un poste qui représente plus de 20% de leurs charges de fonctionnement, particulièrement pour ce qui concerne les entreprises des secteurs des services de soins médicaux, de l'hôtellerie et de la restauration, de la distribution de carburant et de l'exploitation des supermarchés. En termes de niveau de consommation, il ressort que les secteurs de l'exploitation des supermarchés et des huileries sont les plus gros consommateurs d'énergie. Ils sont suivis par le secteur de l'hôtellerie et de la restauration comme l'indique la figure 3.

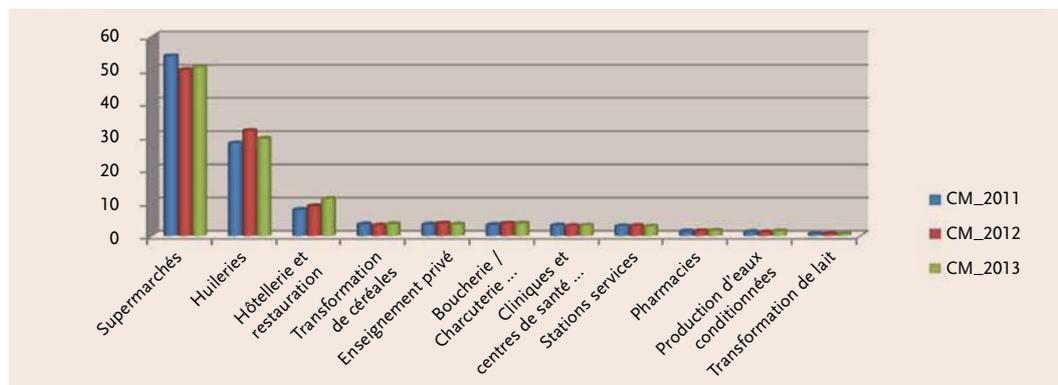


FIGURE 3: CONSOMMATION MOYENNE (MILLIONS DE FCFA) ANNUELLE D'ÉLECTRICITÉ PAR ACTIVITÉ ENTRE 2011 ET 2013

Source : les auteurs, à partir des données de l'Enquête énergie électrique/CCI-BF 2015.

La consommation d'énergie électrique dans le secteur de l'exploitation des supermarchés s'explique par la nécessité de tenir permanemment une chaîne de froid entraînant un fonctionnement continu des équipements de froid. Au niveau des huileries, la situation s'explique par l'importance et la puissance des équipements, notamment les presses à huile, plutôt qu'à la durée de fonctionnement. Quant au secteur de l'hôtellerie, la forte consommation d'énergie s'explique, d'une part, par la tenue de chaîne de froid dans les restaurants et d'autre part par le fonctionnement des climatiseurs et des chauffe-eaux électriques.

#### 4.1.2. Niveau de consommation d'énergie et production de biens et services

Cette section vise à justifier, au-delà de la problématique des délestages, la nécessité de mesures d'efficacité énergétique au sein des entreprises burkinabè, notamment les PME/PMI. Cette ambition s'appuie sur une comparaison de l'évolution de la consommation d'énergie électrique des entreprises avec celle de la production de biens et services par celles-ci.

Les données de l'enquête montrent que cette relation est beaucoup plus visible si l'analyse est faite en fonction de la taille des entreprises en termes de chiffre d'affaires. En effet, il ressort de l'analyse que l'écart entre les dépenses d'énergies (factures SONABEL) des entreprises et le chiffre d'affaires de celles-ci augmente au fur et à mesure que la taille des entreprises augmente (figure 4). Autrement dit, le rapport chiffres d'affaires sur le montant des factures énergétiques est nettement plus élevé pour les moyennes entreprises que les petites.

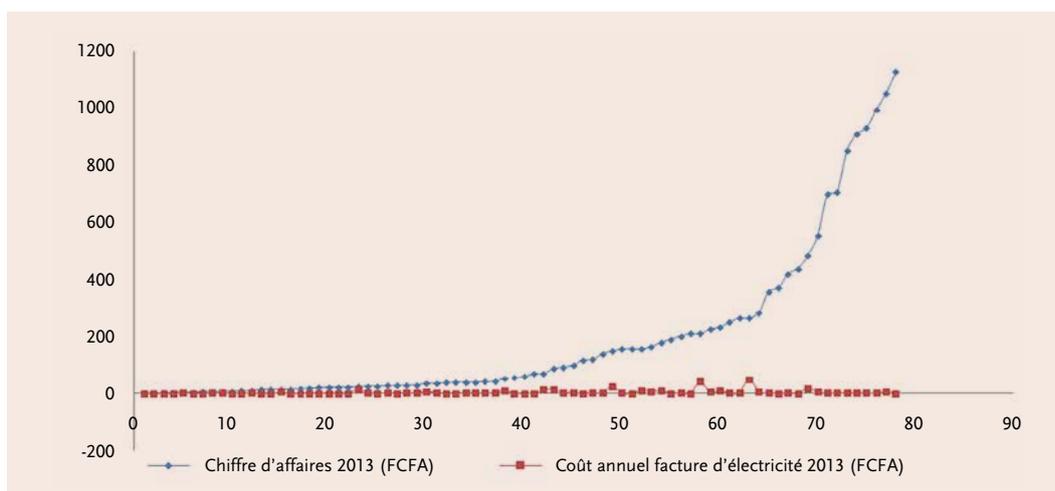


FIGURE 4 : ECART ENTRE LE CHIFFRE D'AFFAIRES 2013 ET LE COÛT DE LA FACTURE D'ÉLECTRICITÉ 2013 DES ENTREPRISES SELON LEUR TAILLE (MILLIONS FCFA)

Source : les auteurs, à partir des données de l'Enquête énergie électrique/CCI-BF 2015.

Cela traduit le fait que les dépenses d'énergie représentent une part importante de la valeur de la production chez les PME qui constituent plus des 1/3 des entreprises de notre échantillon. Les petites entreprises de plus petite taille semblent avoir une meilleure maîtrise de leur consommation d'énergie que PME/PMI selon ce résultat. Pour ces dernières le recours aux mesures d'efficacité énergétique se présente comme une solution à encourager.

#### 4.1.3. La gestion de la question énergétique dans les entreprises.

Le constat général qui se dégage au travers de l'analyse des résultats de l'enquête est la faiblesse de la gestion professionnelle de l'énergie au sein des entreprises interviewées. En effet, seulement 6% d'entre elles ont réalisé un audit énergétique au cours de ces trois dernières années. Par ailleurs, moins de 30% dispose d'un électricien dans leurs effectifs employés et la gestion des factures d'électricité incombe généralement au comptable (33% des entreprises) ou au gérant lui-même (57%).

On note également le faible intérêt des entreprises pour une maîtrise du mode de facturation de leur consommation d'électricité par la SONABEL. En effet, moins de 20% des entreprises connaissent le mode de facturation de la SONABEL. L'enquête s'est intéressée aux différentes consommations en kWh des entreprises et aux puissances des appareils utilisées. Il ressort que très peu d'entreprises ont répondu à ces questions, dénotant ainsi soit un désintérêt pour ces questions, soit une méconnaissance des consommations internes et la mise en relation avec la facture d'électricité.

Toutefois, face à la problématique d'approvisionnement en énergie électrique, bon nombre d'entreprises utilisent des équipements économes d'énergie. Il s'agit essentiellement de lampes économiques (lampes néons sans starter), de téléviseurs, de réfrigérateurs, de congélateurs, d'appareils médicaux et d'ordinateurs. Les fluides réfrigérants (gaz fréon), utilisés dans les équipements de production de froids, participent aussi à la réalisation de l'efficacité énergétique et au phénomène de réchauffement climatique.

## 4.2. Etat des lieux des mesures d'efficacité énergétique dans les entreprises burkinabè

Au sein des entreprises, les mesures d'efficacité énergétique sont mises en œuvre de manière globale et dispersée. Or, pour être les plus efficaces possibles, ces mesures doivent être distinguées selon le secteur d'activité considéré : chacun possède des caractéristiques énergétiques qui lui sont propres, et qui doivent être prises en compte avant l'implémentation de mesures d'efficacité énergétique.

L'enquête s'est donnée pour objectif d'évaluer le degré d'adoption de certaines mesures d'efficacité énergétique dans les entreprises. Les mesures analysées sont essentiellement l'information du staff et/ou motivation pour une attitude orientée aux économies d'énergie, l'implémentation d'un système de gestion de l'énergie, la prise en compte de la consommation énergétique lors de l'achat de nouveaux équipements, et l'isolation du bâtiment.

### 4.2.1. Information du staff et/ou motivation pour une attitude orientée aux économies d'énergie

Cette mesure s'inscrit dans l'approche systématique et globale de gestion de l'énergie qui vise à optimiser la consommation d'énergie de l'entreprise en supprimant tous les gaspillages grâce à une gestion de l'alimentation des équipements en fonction de leur utilisation. Elle a un rôle d'information et de conscientisation des principaux dirigeants de l'entreprise sur les enjeux liés à la gestion de l'énergie. Elle est de loin la plus partagée au niveau des entreprises enquêtées. En effet, elle se positionne comme une mesure déjà mise en œuvre ou en cours de mise en œuvre par 59% des entreprises du secteur de l'hôtellerie, 57% de celles du secteur de la distribution de carburant, 56% de celles du secteur des services de soins médicaux, 60% de celles du secteur de l'exploitation des supermarchés, 60% de celles du secteur de la production d'eaux conditionnées et 50% du secteur de la transformation de lait. Il faut rappeler qu'un travail de sensibilisation a déjà été entrepris par la cellule de gestion de l'énergie du ministère de l'énergie. Cette campagne a consisté en des affiches de sensibilisation et des spots publicitaires.

### 4.2.2. Implémentation d'un système de gestion de l'énergie

Comme pour la précédente mesure, elle s'inscrit également dans le cadre de l'approche systématique et globale de gestion de l'énergie au sein des entreprises. Cette mesure consiste à l'évaluation des mesures déjà implémentées.

Elle se présente au sein des entreprises enquêtées comme une mesure non envisagée à ce jour. En effet, plus de 40% des entreprises enquêtées ont traité la mesure comme telle ; les plus grands nombres se situant dans les secteurs de l'huilerie (60% des entreprises du secteur), de la boucherie (50% des entreprises du secteur), de la production d'eaux conditionnées (45% des entreprises du secteur), de la distribution de carburant (43% des entreprises du secteur).

Toutefois, 17% des entreprises déclarent l'avoir déjà mis en œuvre ou sont en cours de la mettre en œuvre. Ces dernières évoluent majoritairement dans les secteurs de la production d'eaux conditionnées, de la transformation de lait, de l'enseignement privé et de la boucherie.

#### 4.2.3. Prise en compte de la consommation énergétique lors de l'achat de nouveaux équipements

Cette mesure s'inscrit dans l'approche axée sur le rendement énergétique des équipements techniques. Elle vise l'acquisition d'équipements électriques économes d'énergie. Il ressort de l'enquête qu'environ, 38% des entreprises déclarent utiliser des équipements économes contre 62% qui ont déclaré ne pas les utiliser. Ce résultat pourrait être expliqué par le manque d'un spécialiste sur les questions énergétiques dans l'entreprise ou d'un manque de conscience sur le poids des équipements dans la facture énergétique de l'entreprise.

La mesure est mise en œuvre ou est en cours de mise en œuvre par 36% des entreprises enquêtées. Les secteurs les plus concernés sont l'hôtellerie et la restauration, l'exploitation des supermarchés, l'huilerie et la transformation de céréales. Elle se traduit en général dans sa mise en œuvre par le recours à des lampes économiques, l'installation de minuteries, etc. En effet, plus de 34% des entreprises ont eu recours aux lampes économes dont le plus grand nombre se trouve dans les secteurs de l'hôtellerie et de la restauration, de la pharmacie et de la production d'eaux conditionnées. Par ailleurs, une proportion non moins importante (22% des entreprises enquêtées) déclare que c'est une mesure appropriée pour l'entreprise, mais non planifiée.

Parmi les trois mesures d'efficacité énergétique étudiées, l'enquête révèle que celle de l'implémentation d'un système de gestion de l'énergie est la plus négligée comme l'atteste la figure 5.

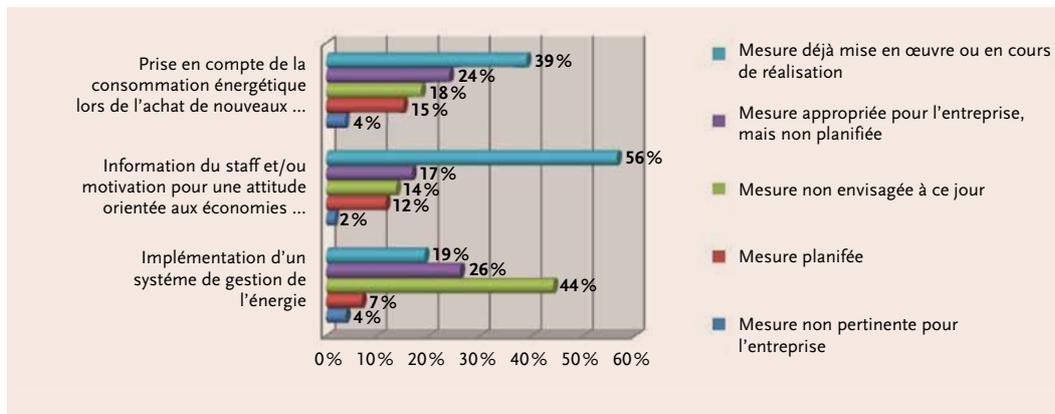


FIGURE 5 : MISE EN ŒUVRE DES MESURES D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Source : Les auteurs, à partir des données de l'Enquête énergie électrique/CCI-BF 2015.

### 4.3. Les facteurs internes et externes influençant l'adoption des mesures d'efficacité énergétique

Les réponses aux questions par les entreprises de notre échantillon d'étude ont permis d'identifier quelques facteurs internes et externes pouvant influencer l'adoption des mesures d'efficacité énergétiques. Il ressort que les coûts liés à la recherche de l'information, le manque de connaissance sur les fournisseurs d'équipement appropriés ainsi que le manque de connaissance sur les possibilités d'économies d'énergie constituent les obstacles majeurs à l'adoption des mesures d'efficacité d'énergie (figure 6).

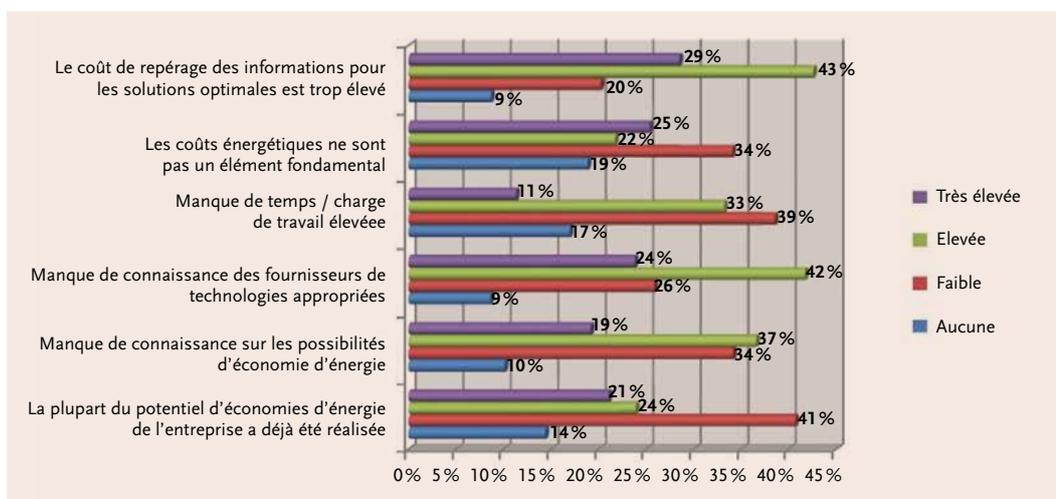


FIGURE 6 : LES OBSTACLES À LA MISE EN PLACE DES MESURES D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Source : les auteurs, à partir des données de l'Enquête énergie électrique/CCI-BF 2015.

Un autre aspect de l'analyse a concerné l'étude des facteurs pouvant influencer l'adoption des énergies renouvelables comme mesure entrant dans le cadre de l'efficacité énergétique. Il ressort que le facteur financier (support financier et allègement fiscal) et le facteur lié à l'information sont très déterminants pour encourager l'utilisation de l'énergie solaire. Les facteurs liés à l'éducation et la formation, ainsi que les motivations tels que les reconnaissances publiques et les partages d'expériences sont également importants.

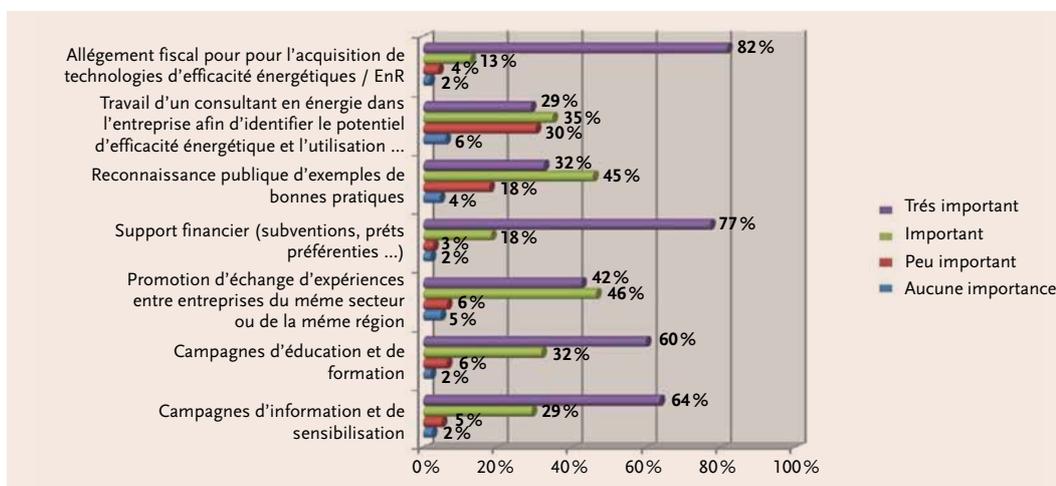


FIGURE 7: LES ATTENTES DES ENTREPRISES RELATIVES À LA PROMOTION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES NOTAMMENT L'ÉNERGIE SOLAIRE

Source : les auteurs, à partir des données de l'Enquête énergie électrique/CCI-BF 2015

#### 4.4. Résultat du modèle Probit

Les résultats du modèle rendent compte des déterminants de deux mesures d'efficacité énergétique. Il s'agit, d'une part, de la mesure portant sur l'information du staff et/ou motivation pour une attitude orientée aux économies d'énergie et d'autre part sur celle portant sur l'implémentation d'un système de gestion de l'énergie. Ces résultats sont indiqués dans le tableau 3.

Par rapport à la première mesure (spécification (I)), les résultats de l'estimation indiquent que ce sont essentiellement des variables relatives aux caractéristiques de l'entreprise, au secteur d'activité et au coût de la facture énergétique qui affectent d'une manière ou d'une autre la décision d'adoption de la mesure.

Ainsi, il ressort que les entreprises de petite taille, plus précisément celles qui réalisent un chiffre d'affaires annuel moyen compris entre 30 et 150 millions sont enclines à adopter la mesure d'efficacité énergétique. Ce résultat est contraire à celui de Costa-Campi (2015) ainsi qu'à celui de Trianni et al. (2013). Mais, il pourrait être expliqué par le fait que les entreprises de petite taille adoptent la mesure d'efficacité énergétique afin de mieux supporter les coûts de production et de réduire les désavantages liés à la faiblesse des économies d'échelles associées à leur taille. Il s'agirait ainsi d'une forme de résilience vis-à-vis des charges de fonctionnement dont le poids se fait plus sentir sur ces petites entreprises.

Pour ce qui concerne le secteur d'activité, il ressort que le fait d'opérer dans la production d'huile, l'hôtellerie et la restauration et l'exploitation des supermarchés accroît la probabilité d'adoption de la mesure d'efficacité énergétique, en l'occurrence l'information du staff et la motivation pour une attitude orientée vers les économies d'énergie. En effet l'énergie est un facteur de production hautement indispensable dans ces secteurs d'activité et exigent une disponibilité continue de l'approvisionnement de cette ressource. Cette situation pourrait expliquer le comportement des acteurs de ses secteurs d'activités envers les mesures d'efficacité énergétiques dans l'objectif d'assurer un fonctionnement régulier de leurs équipements à coût réduit.

TABLEAU 3 : RÉSULTATS DES ESTIMATIONS

Efficacite_Energ	(I)	(II)
PE_CA	0,421* (0,215)	
Pres_Electricien	0,279 (0,243)	
Coutfactur_mensuel	-3,43e-07** (0,000)	
Huilerie	1,227* (0,627)	
Supermarchés	1,143* (0,692)	
Hôtel_Restau	0,646* (0,367)	0,498 (0,441)
Santé_Privés	0,152 (0,250)	0,273 (0,523)
Audit_Energ	0,532 (0,380)	0,668 (0,624)
Product_Electricite	0,189 (0,212)	0,415 (0,313)
Energie_solaire	-1,447 (0,366)	-0,387 (0,503)
Age	-0,008 (0,010)	-,029* (0,017)

<b>Efficacite_Energ</b>	<b>(I)</b>	<b>(II)</b>
<b>Ville</b>		0,456*** (0,315)
<b>MiE_CA</b>		-0,189 (0,336)
<b>Coutmaintien_groupe</b>		-1,77e-06** (7,60e-07)
<b>Chargénerg&gt;20</b>		0,239 (0,338)
<b>CM_ annuel_2011-2013</b>		3,64e-09 (9,90e-09)
<b>Ajour_Facture</b>		0,136 (0,668)
<b>Volum_H_Travail</b>		-0,055* (0,033)
<b>Cons</b>	0,141 (0,223)	-1,963*** (0,727)
<b>Nombre d'observations</b>	192	123
<b>Wald chi2</b>	32.90	31.60
<b>Prob &gt; chi2</b>	0.000	0.002
<b>Pseudo R2</b>	0.120	0.194

Le comportement de la variable « *Coutfactur\_mensuel* » semble pourtant réfuter cette explication. En effet, il ressort que le coût moyen mensuel de la facture de l'énergie affecte négativement la probabilité d'adoption de la mesure d'efficacité énergétique. Ce résultat pourrait être expliqué par le fait que l'adoption de mesures d'efficacité énergétique n'est pas l'apanage des grandes entreprises qui consomment des quantités importantes d'énergies. Cela est conforme au résultat parvenu plus haut et qui montre que ces mesures ont beaucoup plus de chance d'être adoptées par les entreprises de petite taille. Cela pourrait s'expliquer par l'importance du coût de la mise en œuvre de telles mesures, qui finissent par ne pas donner des motivations dans ce sens.

Pour ce qui concerne la deuxième mesure d'efficacité énergétique, les résultats montrent que des caractéristiques de l'entreprise comme l'âge et la localisation de celle-ci affectent la probabilité d'adoption de l'efficacité énergétique. Une hausse d'un point de l'âge de l'entreprise entraîne une baisse de la probabilité d'adoption de la mesure d'efficacité énergétique de 0,6%. Ce résultat s'expliquerait par le fait que les entreprises âgées sont beaucoup plus rigides au changement de technologie par rapport aux jeunes entreprises. Les politiques visant à encourager l'adoption des mesures d'efficacité énergétique doivent être beaucoup plus orientées vers ces entreprises.

La localisation de l'entreprise explique significativement et positivement l'adoption des mesures d'efficacité énergétique. La probabilité d'adoption des mesures d'efficacité énergétique augmente de 21% pour les entreprises localisées à Ouagadougou par rapport à celles localisées à Bobo-Dioulasso. Ce résultat pourrait être expliqué par le fait que les entreprises localisées à Ouagadougou (capitale du pays) ont plus facilement accès à l'information et aussi une plus grande disponibilité des mesures d'efficacité énergétiques. Aussi, le projet conduit par la CCI-BF à travers le BRMN et dont un des volets a porté sur l'incitation à l'adoption de mesures d'efficacité énergétique a connu la participation de plus d'entreprises localisées à Ouagadougou.

Le coût de la maintenance du groupe électrogène et le volume horaire journalier de travail au sein de l'entreprise affectent négativement les chances d'adoption d'un système de gestion de l'énergie au niveau des entreprises. En effet, le recours à un groupe électrogène traduit l'option de l'entreprise pour la disponibilité permanente du service énergétique plutôt que l'optimisation du coût de ce service. Et plus le besoin en énergie de l'entreprise est important, l'est également la puissance du groupe à installer, ainsi que le coût de son entretien en termes de consommation de combustibles et de réparation. Ainsi donc, plus la puissance installée (respectivement le coût de l'entretien) est importante moins l'adoption d'un système de gestion de l'énergie demeure un souci. Quant au volume horaire journalier, son signe semble être lié au résultat précédent. En effet, les nombreux délestages affectent négativement le volume horaire journalier de travail dans les entreprises dans lesquelles cette ressource est indispensable. Ce qui entraîne des comportements résilients comme le recours aux groupes électrogènes ou à l'énergie solaire chez certaines entreprises. Comme expliqué précédemment ces comportements, tout en permettant le fonctionnement permanent de l'entreprise même en cas de délestage, réduisent la nécessité de recours à des mesures d'efficacité énergétique.

## 4.5. Analyse de l'adéquation des résultats

Avant de s'intéresser à l'analyse de l'adéquation, il convient de souligner que les résultats des estimations des deux modèles montrent que ceux-ci sont globalement significatifs. L'analyse des Pseudo R<sup>2</sup> montrent que ces deux modèles se démarquent du modèle trivial. Ce résultat est confirmé par les statistiques de Wald sur l'apport significatif de ces modèles, au seuil de 5%, à l'explication de l'adoption des deux mesures d'efficacité énergétique.

Quant à l'adéquation du modèle dans son ensemble, elle est appréciée à travers le test de Hosmer-Lemeshow, la table de prédiction et le test diagnostic (la courbe ROC).

Le test de Hosmer-Lemeshow permet de tester la significativité globale des deux modèles. Il repose sur l'hypothèse nulle de bon ajustement contre celle alternative de mauvais ajustement. La probabilité de significativité du test est supérieure à 5% pour les deux spécifications retenues dans cette étude traduisant ainsi un bon ajustement du modèle et une bonne capacité explicative de notre modèle.

L'analyse par la prédiction vise à évaluer la capacité des modèles à prédire les valeurs des variables dépendantes. En effet, la prédiction évalue en pourcentage le nombre de fois que la valeur prédite de la variable dépendante correspond à sa valeur observée (Gourieroux, 1989). Il est couramment admis qu'au-delà de 50% de prédiction correcte sur des données en coupe, le modèle est adéquat pour expliquer le phénomène étudié. Les tables de prédiction pour nos deux modèles indiquent des valeurs supérieures à 67% et 75% de taux de bonnes prédictions (annexe 1). Ce qui montre l'adéquation des modèles pour expliquer l'adoption des mesures d'efficacité énergétique.

La courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) permet de représenter la capacité discriminatoire d'un modèle. L'aire sous la courbe ROC résume la capacité du modèle à discriminer les entreprises qui adoptent les mesures d'efficacité énergétique de celles que n'en adoptent pas. Ces aires désignées sous le nom de AUC (Area Under Curve) s'établissent à 0,71 et 0,79 (annexe 2) montrant ainsi un bon pouvoir discriminatoire des modèles.

En somme, l'ensemble des résultats de ces trois tests permet de confirmer la validité économétrique de nos modèles d'analyse de l'adoption des mesures d'efficacité énergétique et par conséquent la robustesse des résultats auxquels nous sommes parvenus.

## 5. Conclusion

Cette recherche sur l'efficacité énergétique dans les PME au Burkina Faso a permis d'une part d'analyser le comportement des PME en matière de gestion de la question énergétique et d'autre part d'élucider les facteurs déterminants de l'adoption ou non par ces PME de comportement d'efficacité énergétique. Les principales réflexions théoriques sur le sujet ont permis de construire un cadre théorique essentiellement axé d'une part sur les théories de l'acceptation et de l'appropriation des nouvelles technologies (Theory of acceptance model) et d'autre part les approches du paradoxe énergétique et des défaillances du marché. Ces différentes théories ont beaucoup inspiré la construction du modèle économétrique notamment l'identification des variables clés du modèle.

L'analyse descriptive a permis d'obtenir des informations utiles d'une part sur les comportements de consommation d'énergie des PME au Burkina Faso et d'autre part sur les déterminants de ces comportements. C'est ainsi qu'au terme de l'analyse, on peut retenir en termes de comportement que les PME adoptent plusieurs mesures pour tenter de maîtriser le fardeau énergétique parmi lesquelles la plus populaire est celle consistant en l'information et la motivation du staff sur les bonnes pratiques en matière d'efficacité énergétique. Toutefois, très peu d'entreprises implémentent de façon formelle un système de gestion de l'énergie au sein de l'entreprise ou la prise en compte systématique de la consommation énergétique lors de l'achat de nouveaux équipements.

Quant aux principaux déterminants de tels comportements, l'étude économétrique à travers l'estimation du modèle Probit a permis de montrer que des facteurs tels que les coûts liés à la recherche de l'information, le manque de connaissance sur les fournisseurs d'équipement appropriés ainsi que le manque de connaissance sur les possibilités d'économies d'énergie constituent les obstacles majeurs à l'adoption des mesures d'efficacité d'énergie. Aussi, l'âge de l'entreprise, sa localisation ainsi que sa taille influencent significativement la décision d'adoption des mesures d'efficacité énergétique.

En termes de perspective et recommandations pour une plus grande adoption de comportements d'efficacité énergétique, il convient de mettre l'accent sur deux axes principaux : un premier axe orienté sur la réduction des asymétries d'information sur les marchés à travers un système de contrôle qualité voire de certifications des équipements au niveau national, une meilleure communication sur les avantages/coûts des solutions d'efficacité énergétique offertes par le marché. Le deuxième axe est orienté sur le renforcement de capacités des parties prenantes avec un accent particulier sur les chefs d'entreprises et leur staff mais aussi les fournisseurs d'équipements et les installateurs.

Enfin, en termes de perspective de recherche future, le présent travail peut être approfondi en essayant d'aller au-delà d'une analyse statique du comportement à une période donnée pour analyser la dynamique des comportements et les comportements de résilience dans le temps des chefs d'entreprises vis-à-vis de la question énergétique.

## Références

- Agence Internationale de l'Énergie (2016). World Energy Outlook 2016;
- Akinlo A. E (2009). Electricity consumption and economic growth in Nigeria: Evidence from cointegration and co-feature analysis. *Journal of Policy Modeling*, Vol 31, pp 681-693;
- Alcott, B., 2008, "The sufficiency strategy: Would rich-world frugality lower environmental impact?", *Ecological Economics*, 64(4): 770-786
- Altınay G. et E. Karagöl (2005). Electricity consumption and economic growth: Evidence of Turkey. *Energy Economic*, Volume 27, Issue 6, Pages 819-898;
- Arrow, K.J., 1962, "The economic implications of learning by doing", *The Review of Economic Studies* 29(3) :155-173
- ARSE (2014). Électricité: Chiffres caractéristiques du secteur en 2013. Ouagadougou. Autorité de Régulation du Sous-secteur de l'Électricité ;
- Axsen, J., D. C. Mountain, M. Jaccard, 2009, "Combining stated and revealed choice research to simulate the neighbor effect: The case of hybrid-electric vehicles", *Resource and Energy Economics*, 31(3): 221-238
- Ayyagari M., T. Beck et A. Demirgüç-Kunt (2003). Small and Medium Enterprises across the Globe: A New Database. Policy Research, Working Paper, No. 3127, World Bank.
- Banque Mondiale. (2014). Databank. Retrieved Avril 2015, from World Bank: databank.worldbank.com;
- Brangier, É., Dinet, J., & Bastien, J. M. C. (2009). La méthode des staffs d'experts de communautés. Orientation théorique, démarche méthodologique et application pratique. Document numérique, 12(2), 111-132.
- Cagno, E., E. Worrell, A. Trianni et G. Pugliese (2013): A novel approach for barriers to industrial energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19, pp. 290–308;
- Costa-Campi M. T., J. García-Quevedo et A. Segarra (2015). Energy efficiency determinants: an empirical analysis of Spanish innovative firms, *Energy Policy*, 83, pp.229-239;
- Darby, S., 2006, "Social learning and public policy: Lessons from an energy-conscious village", *Energy Policy*, 34(17):2929-2940
- DeCanio S. (1998). The efficiency paradox: bureaucratic and organizational barriers to profitable energy-saving investments. *Energy Policy* ; 26(5):441-54;
- DeLone William H, Ephraim R., (1992) McLean Information Systems Success: The Quest for the Dependent Variable . Department of Management The American University Washington, D.C. 20016 Computer Information Systems Georgia State University Atlanta, Georgia 30302-4015
- Doll William J. and Gholamreza Torkzadeh *MIS Quarterly* Vol. 12, No. 2 (Jun., 1988), pp. 259-274  
Published by : Management Information Systems Research Center, University of Minnesota  
DOI: 10.2307/248851 Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/248851> Page Count : 16
- Eder, J., C. Mutsaerts et P. Sriwannawit (2015). Mini-grids and renewable energy in rural Africa: How diffusion theory explains adoption of electricity in Uganda. *Energy Research & Social Science*, Special Issue on Renewable Energy in Sub-Saharan Africa: Contributions from the Social Sciences, 5: pp. 45-54;
- Frederick D. A. et E. Selase (2014). The Effect of Electric Power Fluctuations on the Profitability and Competitiveness of SMEs: A Study of SMEs within the Accra Business District of Ghana. *Journal of competitiveness*. Vol. 6, Issue 3, pp. 32-48, September 2014;
- Gillingham, K., R. Newell, K. Palmer, 2009, "Energy Efficiency economics and policy", *Annual Review of Resource Economics*, 1 :597–619
- Gouvernement du Burkina Faso (2010). Stratégie de croissance accélérée et de développement durable 2011-2015;
- Gourieroux, (1989), *Econométrie des variables qualitatives*, 2e éd. Collection : Économie et statistiques avancées, Paris, London, Genève : Editions Economica, 1 vol. (430 p.)
- Henry, C., 1974, "Option values in the economics of irreplaceable assets", *The Review of Economic Studies*, 41:89-104
- Herring, H., 2009, "Sufficiency and the rebound effect", pp. 224-239, in Herring, H., S. Sorrell (eds), *Energy efficiency and sustainable consumption: the rebound effect*, Palgrave MacMillan Ed.
- Horn, P. (1995). Self Employed Women's Union: Tackling the class gender intersection. *South Africa, Labour Bull.* 9 (6), pp 34-38;

- Huntington, H.G., L. Schipper, A.H. Sanstad, 1994, "Editor's introduction", *Energy Policy*, 22(10): 795-797
- Jacobsson, S. et V. Lauber (2006). The politics and policy of energy system transformation—explaining the German diffusion of renewable energy technology. *Energy Policy*;
- Jaffe, A. B., R. G. Newell et R. N. Stavins (2004): *Environmental Policy and Technological Change*. Fondazione Eni Enrico Mattei, Working Paper;
- Jaffe, A.B. et R.N. Stavins (1994a). The energy paradox and the diffusion of conservation technology. *Resource and Energy Economics*, 16(2):91-122;
- Kostka G., U. Moslener et J. Andreas (2013). Barriers to increasing energy efficiency: evidence from small-and medium-sized enterprises in China. *Journal of Cleaner Production*; Vol 57, pp. 59-68;
- Liu, Y. (2014). Barriers to the adoption of low carbon production: a multiple-case study of Chinese industrial firms. *Energy Policy* ;67: pp. 412-421;
- Louis-Gaëtan Giraudet. Les instruments économiques de maîtrise de l'énergie: Une évaluation multidimensionnelle. *Economies et finances*. Université Paris-Est, 2011. Français. <tel-00599374v1>
- Lovins, A.B., 2004, "Energy Efficiency, Taxonomic Overview", pp. 383-401, in Cleveland, C.J. (ed), *Encyclopedia of Energy*, Volume 2, San Diego and Oxford (UK): Elsevier
- Mahapatra, K., L. Gustavsson, 2008, "An adopter-centric approach to analyze the diffusion patterns of innovative residential heating systems in Sweden", *Energy Policy*, 36(2): 577-590
- Mau, P., J. Eyzaguirre, M. Jaccard, C. Collins-Dodd, K. Tiedemann, 2008, "The 'neighbor effect': Simulating dynamics in consumer preferences for new vehicle technologies", *Ecological Economics*, 68(1-2): 504-516
- Mattes, K., S. Müller, A. Jäger, N. Weidner et U. Weibfloch (2014). Adoption and Diffusion of Renewable Energy Technologies: Influence of the Policy Mix in the Manufacturing Industry. Working Paper Sustainability and Innovation, No. s6;
- Metcalf, G.E., K.A. Hassett, 1999, "Measuring the Energy Savings from Home Improvement Investments: Evidence from Monthly Billing Data", *The Review of Economics and Statistics*, 81(3):516-528
- Motilewa B.D, M. Ogbari, et D.O. Aka (2015). A Review of the Impacts SMEs as Social Agents of Economic Liberations in Developing Economies. *International Review of Management and Business Research*, Vol. 4 Issue.3, PP 903-914;
- Narayan P. et B. Singh (2007). The electricity consumption and GDP nexus for the Fiji Islands. *Energy Economics*, Vol 29, pp 1141-1150;
- Naude, W. (2013). *Entrepreneurship and Economic Development: Theory, Evidence and Policy*. IZA Discussion Paper No. 7507.
- Olson Jerry C. (1978), "Inferential Belief Formation in the Cue Utilization Process", in *NA -Advances in Consumer Research* Volume 05, eds. Kent Hunt, Ann Arbor, MI : Association for Consumer Research, Pages : 706-713.
- Oliver Richard L. and Gerald Linda (1981) ,"Effect of Satisfaction and Its Antecedents on Consumer Preference and Intention", in *NA - Advances in Consumer Research* Volume 08, eds. Kent B. Monroe, Ann Arbor, MI : Association for Consumer Research, Pages: 88-93.
- Ouédraogo I. M (2010). Electricity consumption and economic growth in Burkina Faso: a cointegration analysis. *Energy Economics*, Vol 3, pp 524-531;
- Ouédraogo I. M, Y. K.oanda & I. Dianda (2015). "Impact des délestages sur les conditions de vie des populations et les performances économiques des entreprises au Burkina Faso. Rapport de recherche du Laboratoire d'analyse et de politique économique. Septembre 2015. Etude non encore publié ;
- Pang, P. (2008). The Role of SMES in Asian Development-Statement. Asian Development Bank Head of Delegation, Hog Kong and China at the 41st Annual Meeting, Madrid, 5-6 May;
- PNUD (2008). Le renforcement des capacités : l'habilitation des gens et des institutions. Rapport annuel 2008 ;
- Quirion, P., 2004, Les certificats blancs face aux autres instruments de politique publique pour les économies d'énergie : bilan de la littérature économique et priorités de recherche, Rapport pour l'Institut français de l'énergie
- Rohdin P. et P. Thollander (2006). Barriers to and driving forces for energy efficiency in the non-energy intensive manufacturing industry in Sweden. *Energy*;31(12), pp. 136-144;

- Salomon, T., C. Couturier, M. Jedliczka, T. Letz, B. Lebot, 2005, "A negawatt scenario for 2005–2050", Proceedings of the ECEEE Summer Study
- Sardianou E. (2008). Barriers to industrial energy efficiency investments in Greece. *Journal of Cleaner Production*, 16(13), 1416-23;
- Schleich J. (2009). Barriers to energy efficiency: a comparison across the German commercial and services sector. *Ecol Econ*, 68(7), pp.2150-9;
- Scott A. E. Darko, A. Lemma et J-P Rud (2014). How does electricity insecurity affect businesses in low and middle-income countries? Overseas Development Institute. Briefing N°1. July 2014;
- Shiu A. et P. L. Lam (2004). Electricity consumption and economic growth in China. *Energy Policy*, Vol 32, pp 47-54;
- Sorrell, S., 2004, "Understanding barriers to energy efficiency", pp.25-93 in Sorrell S., E. O'Malley, J.Schleich, S. Scott (eds), *The economics of energy efficiency: barriers to cost-effective investment*, Cheltenham: Edward Elgar
- Timilsina, G. R, G. Hochman et I. Fedets (2016). Understanding energy efficiency barriers in Ukraine: Insights from a survey of commercial and industrial firms. *Energy*, 106, pp. 203-213;
- Trianni A., E. Cagno, E. Worrell et G. Pugliese (2013). Empirical investigation of energy efficiency barriers in Italian manufacturing SMEs. *Energy*;49, pp. 444-458;
- Trianni, A. et E. Cagno; 2012: Dealing with barriers to energy efficiency and SMEs: Some empirical evidences. *Energy* 37, 494-504;
- UPDEA. (2009). *Etude comparative des tarifs d'électricité pratiqués en Afrique*. Abidjan: UPDEA Press ;
- Urmee, T. et A. Md; 2016: Social, cultural and political dimensions of off-grid renewable energy programs in developing countries. *Renewable Energy*, 93, pp. 159-167;
- Wing, I.S., 2006, "Representing induced technological change in models for climate policy analysis", *Energy Economics*, 28(5-6) :539-562
- Yoo S.H et S. Y. Kwak (2010). Electricity consumption and economic growth in seven South American countries, *Energy Policy*, Vol 38, pp 181-188.



# Évaluation de la capacité de pénétration de l'énergie renouvelable

## Réseau électrique de l'île de Boa Vista – Cap-Vert<sup>1</sup>

CARLOS EDUARDO VIEIRA<sup>a</sup>,  
CARLOS TEIXEIRA FORTUNATO<sup>b</sup>,  
PATRÍCIO FERNANDES ANDRADE<sup>c</sup>

### Résumé

Récemment, le secteur de l'électricité a connu de grands changements dans la façon dont l'énergie est produite, distribuée et consommée. L'une des étapes majeures de sa restructuration est la décentralisation de sa production, qui a contribué à la participation de différentes technologies basées sur des sources renouvelables (éolien, photovoltaïque, hydroélectrique, géothermique, vagues et marées, etc.). Dans un réseau, en particulier des réseaux isolés, la capacité de pénétration de ces sources renouvelables a une forte influence tant sur la sécurité technique du réseau que sur la minimisation des coûts de production d'énergie. Cela rend son analyse en temps réel intéressante dans une plate-forme de simulation dynamique au moyen de modèles mathématiques dans le but d'évaluer la capacité de pénétration de l'énergie renouvelable, sans compromettre la stabilité et la sécurité du réseau. Cette étude, appliquée à un cas réel, comme le cas des îles du Cap-Vert, où les énergies renouvelables sont un vecteur stratégique de la croissance économique du pays, les résultats obtenus pourraient éventuellement jouer un rôle important dans la formulation de la planification énergétique nationale. De cette manière, les défis de la pénétration de l'énergie renouvelable dans ces réseaux, ainsi que leurs besoins de transmission et de distribution en sécurité technique, peuvent être identifiés a priori. Compte tenu de la méthodologie, cet article a pour but d'évaluer le comportement du réseau électrique de l'île de Boa Vista - Cap-Vert avec la pénétration des énergies renouvelables, en tenant compte de toutes les éventualités de l'architecture actuelle du réseau dans le panorama de pénétration de 50% d'énergie renouvelable d'ici 2020.

**MOTS CLÉS:** DÉCENTRALISATION, ÉNERGIE RENOUVELABLE, STABILITÉ, MODÈLES MATHÉMATIQUES, PLANIFICATION ÉNERGÉTIQUE.

---

a Institut polytechnique de Setúbal, Portugal – carlosvieira.energy@gmail.com

b Institut polytechnique de Setúbal, Portugal – carlos.fortunato@estsetubal.ips.pt

c Institut polytechnique de Setúbal, Portugal – patricioandrade375@gmail.com

<sup>1</sup> Remerciements

Cet article a été réalisé dans le cadre du mémoire de maîtrise de Patricio Fernandes Andrade à l'Institut polytechnique de Setúbal – Portugal. L'auteur remercie l'AEB (Eau et énergie de Boa Vista) pour l'intérêt porté au sujet, la clarification des doutes et la fourniture de données, toutes deux cruciales pour ce travail.

# 1. Introduction

L'utilisation des énergies fossiles a toujours été présente dans le développement de l'humanité depuis la machine à vapeur de l'Antiquité jusqu'à nos jours, et avec le besoin croissant des pays industrialisés ces formes d'énergie ont été épuisées puisqu'elles sont finies. D'un autre côté, les preuves scientifiques ont conclu qu'elles sont très nocives pour l'environnement, dont l'aggravation entraînera des conséquences désagréables telles que la libération de gaz à effet de serre, l'augmentation des températures et les perturbations climatiques sur la planète. Une fois que les décideurs ont pris conscience des problèmes environnementaux, un traité international appelé le Protocole de Kyoto<sup>2</sup> et désigné par la suite le Protocole de Paris<sup>3</sup>, dans le but de réduire la consommation d'énergie fossile dans le monde et par conséquent encourager l'utilisation de modèles durables basés sur des énergies propres et/ou renouvelables. Un excellent exemple de la nécessité d'un changement de paradigme est l'adoption des objectifs européens 20-20-20, qui vise à mettre en œuvre un modèle énergétique fixant les objectifs ambitieux pour 2020, y compris la réduction des gaz à effet de serre en 20% par rapport aux niveaux de 1990, l'établissement d'une part de 20% d'énergie provenant de sources renouvelables dans la consommation finale brute, et une augmentation de l'efficacité énergétique d'environ 20% [1]. Un autre exemple est la vision de la CEDEAO pour 2020, qui est également parfaitement alignée sur le développement durable et a pris des mesures pour intégrer les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique dans ses activités et ses politiques régionales en Afrique de l'Ouest.

Par conséquent, l'énergie est un élément crucial pour toute nation, et est aujourd'hui la base pour le développement économique durable, la prospérité mondiale et des niveaux de vie élevés. En tant que tel, le programme de transformation du Cap-Vert ne peut être atteint sans un approvisionnement énergétique sûr et durable [2].

Le système électroproducteur des réseaux électriques du Cap-Vert repose actuellement essentiellement sur le réseau isolé de centrales thermiques dans lesquelles le Diesel et le mazout sont des sources d'énergie privilégiées, caractérisées par une grande fiabilité, une faible efficacité et un grand besoin de maintenance. D'autre part, un polluant coûteux, sensible aux fluctuations des prix du marché, dont le transport entre les îles devient un défi majeur, étant donné que Cabo Verde n'a pas ce type de ressource sur son territoire national et que le pays doit importer tous le carburant nécessaire. Ce facteur, associé à l'insularité et à une certaine inefficacité dans le secteur, entraîne un coût élevé équivalent à environ 70% plus élevé que dans l'Union européenne [3].

Il existe encore un particularisme significatif qui impacte significativement le paradigme énergétique national: boire un simple verre d'eau nécessite la production d'électricité, c'est-à-dire qu'il faut procéder au dessalement de l'eau pour alimenter les populations et que ce procédé consomme énormément d'énergie représentant environ 10% de la consommation totale du pays [4].

En plus de ce problème, en raison du dynamisme économique que le pays a présenté au cours des 15 dernières années au niveau du continent africain, une demande exponentielle d'électricité a été rencontrée. La croissance moyenne a été légèrement supérieure à 8,5% par an entre 2000 et 2011, atteignant 302 GWh de consommation d'énergie et prévoyant une augmentation de la consommation qui doublera d'ici 2020 (670 GW) [5]. Face à cette réalité, les études techniques et économiques pour l'évaluation de la capacité de pénétration des énergies renouvelables ont été intensifiées. Selon la figure 1, le potentiel des énergies renouvelables au Cap-Vert est estimé à 2.610 MW, le photovoltaïque (PV) étant la ressource la plus abondante estimée à 2068 MW, avec un coût inférieur à 38% au coût de production actuel et l'énergie éolienne, la ressource la plus économique avec un potentiel estimé à 306 MW, coûte moins de la moitié du coût du diesel et du mazout. Les ressources urbaines solides (MSW) peuvent être une source d'énergie compétitive dans certaines îles, tandis que l'énergie houlomotrice et l'énergie géothermique présentaient une incertitude élevée [5].

2 Discutido e negociado em Quioto – Japão em 1997, retificado em 1999, entrou em vigor por 55 países no mundo em 2005.

3 Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima - Paris em 2015

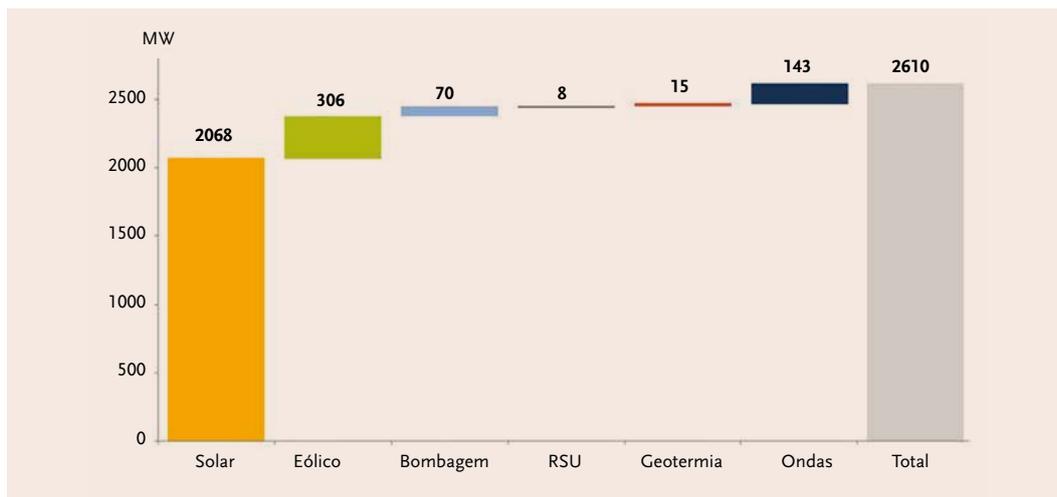


FIGURE 1: POTENTIEL RENOUVELABLE PAR TECHNOLOGIE AU CAP-VERT [6]

Actuellement, le Cap-Vert dispose de 26 MW d'énergie éolienne installée et de 7,5 MW d'énergie photovoltaïque ainsi que de plusieurs projets futurs, dans l'ambition d'atteindre 50% d'énergie renouvelable d'ici 2020, comme le montre la figure 2 [7].

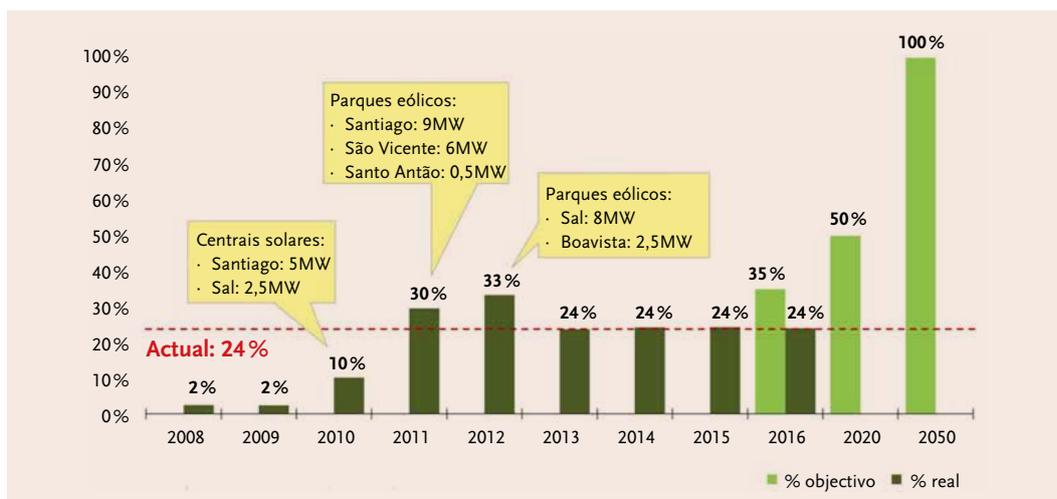


FIGURE 2: PLAN DE PÉNÉTRATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES AU CAP-VERT [8]

Après une décennie de préparation, le Cap Vert envisage la migration de près de 100% Diesel vers un système hybride Diesel-éolien/FV, atteignant une pénétration de l'ordre de 33% en 2011. Avec la désactivation des parcs du projet STEP 1 *Wind Farm*<sup>3</sup> en 2013, a actuellement une pénétration d'environ 24%, et est maintenant le plus grand producteur d'énergie éolienne dans la région de la CEDEAO [9].

Face à cette réalité, le Cap-Vert suppose clairement que la production d'énergie renouvelable est l'un des vecteurs stratégiques de sa croissance, en particulier le pays qui a connu une croissance moyenne dans l'utilisation de l'énergie éolienne en 2011, ce qui devient pertinent pour un pays avec un PIB aussi bas que le Cap-Vert [4].

Par conséquent, le pays a des conditions météorologiques extrêmement favorables pour l'exploitation des sources d'énergie renouvelables, en particulier l'énergie éolienne et photovoltaïque, où sa pénétration est un potentiel pour la réduction du prix de la production d'électricité, une amélioration

3 Instalação de três parques eólicos nas ilhas do Sal, Santiago e São Vicente com potências de 600 kW, 900 kW, 900 kW respetivamente.

de l'environnement et par conséquent, pour la balance commerciale due à la réduction des importations de carburants et à la vente de crédits carbone (CDM).

Cependant, il y a des certaines contraintes techniques qui conditionnent son injection dans le réseau, à savoir résultant de la possibilité de provoquer des problèmes de sécurité dynamiques tels que les courts-circuits, la variabilité des ressources naturelles (vent, soleil, etc.), la régulation des fréquence, niveaux de tension et gestion de la réserve système [10]. Par rapport aux réseaux interconnectés tels que le réseau ibéro-portugais-espagnol, avec leurs interconnexions vers la France et le Maroc, les réseaux isolés sont faibles car ils ont des baisses constantes d'inertie [11]. Le problème est encore plus grave avec l'augmentation de la pénétration des énergies renouvelables, notamment le vent qui tend à remplacer les unités diesel participant à la régulation de la tension et de la fréquence du réseau par des éoliennes présentant des formes de contrôle dissociant pratiquement les grandeurs mécaniques et électriques et empêchent l'éolienne de réagir aux variations du système [12].

## 2. Caractérisation de l'étude de cas

Boa Vista est la troisième plus grande île du Cap-Vert et la plus proche de la côte africaine. Il appartient au groupe des îles Barlavento et présente un fort potentiel de croissance économique adapté au développement du tourisme. Les études les plus récentes indiquent que l'île a un K (facteur d'adaptation aux besoins de consommation d'énergie) très élevé par rapport aux îles restantes [13]. En 2009, la demande d'énergie sur l'île a atteint 13,9 GWh et d'ici à 2020, une tendance de consommation agressive d'environ 98 GWh est attendue, le secteur du tourisme dominant presque toute la consommation de l'île [14]. D'autre part, l'île de Boa Vista est l'une des Zones de Développement des Energies Renouvelables au Cap-Vert (ZDERCV) avec un fort potentiel renouvelable par rapport aux autres, estimé à 56 MW (22,95 MW - éolien, 30 MW solaire et 3,5 MW des courants marins), comme le montre la figure 3 avec sa distribution sur l'île [5].

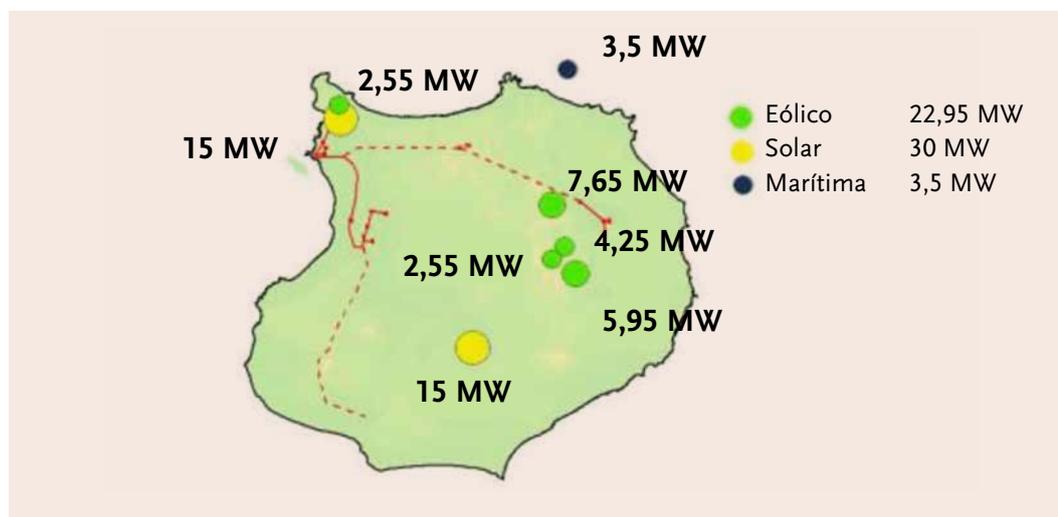


FIGURE 3: RÉPARTITION DU POTENTIEL RENOUVELABLE SUR L'ÎLE [5]

Par conséquent, l'objectif principal de ce travail est d'analyser le potentiel des énergies renouvelables dans l'île de Boa Vista, en tenant compte du plan d'investissement 2020, des données actuelles fournies par la société de gestion du réseau étudié, des prévisions de l'évolution de la consommation, de la production renouvelable et la définition de certaines restrictions de l'architecture du réseau électrique actuel de l'île.

Afin d'obtenir une vue d'ensemble du système, plusieurs tests numériques ont été réalisés avec le logiciel Matlab / Simulink. Dans un premier temps, le fonctionnement actuel du réseau électrique

a été simulé afin de valider les résultats obtenus dans la plateforme de simulation avec les valeurs réelles disponibles, donnant ainsi plus de certitude aux résultats pour prédire le scénario 2020.

## 2.1 Scénario 2015 – Fonctionnement actuel du réseau

Le système actuel de production de l'île de Boa Vista est constitué d'un parc éolien de 2,55 MVA de capacité installée (parc éolien de Boa Esperança - PEBE) et de deux centrales thermiques équipées de générateurs fuel et diesel (Central de Chaves - CC et Central de Lacação - CL) avec une puissance installée de 13,4 MVA. A titre d'illustration, il est montré dans la figure 4, la carte de l'île avec l'emplacement du système actuel de production d'énergie.

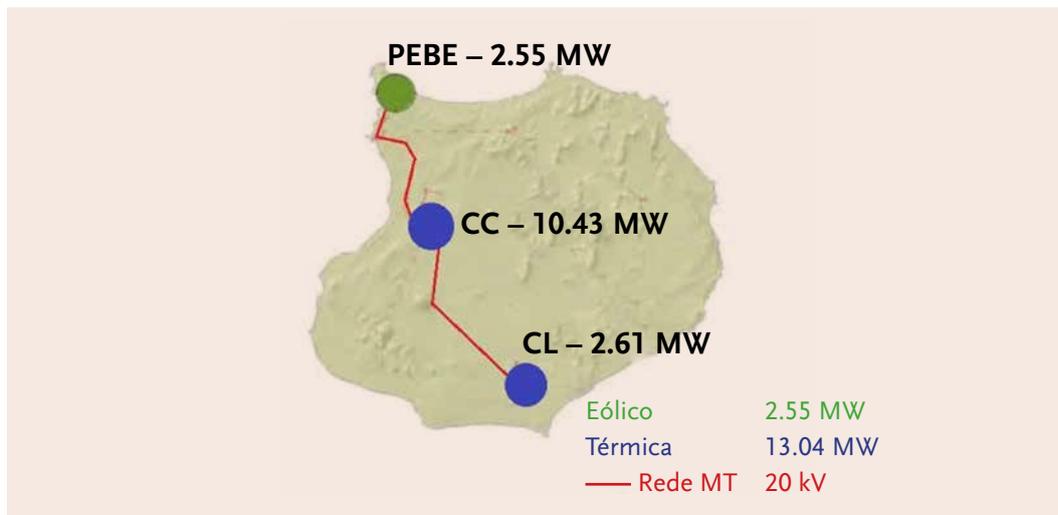


FIGURE 4: SYSTÈME D'ALIMENTATION D'ILHA DA BOA VISTA (2015)

Pour chaque scénario, il y a une production égale à la somme de toutes les charges connectées au réseau et selon les données disponibles, la consommation totale était de 30.935 GWh d'énergie au cours de l'année. La figure 5 montre le diagramme de production de l'île enregistré tout au long de l'année 2015.

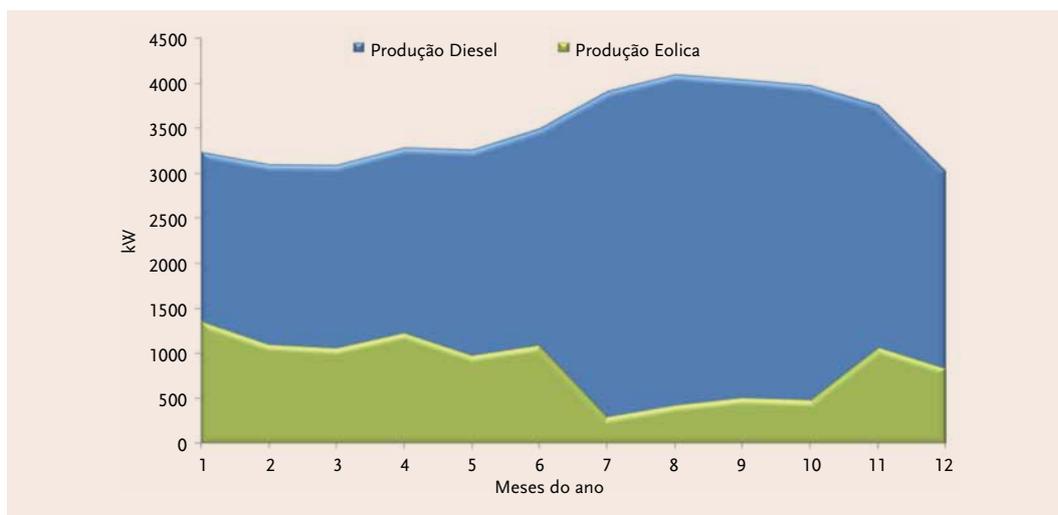


FIGURE 5: PRODUCTION DE DIESEL ET D'ÉNERGIE ÉOLIENNE AU COURS DE L'ANNÉE 2015

Dans le diagramme de la figure 5, on peut vérifier que la consommation est plus intense pendant la période estivale, en particulier pendant les mois d'août, septembre et octobre. Contrairement à l'idéal, la production éolienne au cours de ces mois a sa production la plus faible en raison de

la réduction de la vitesse du vent. Cette réalité est un autre facteur important dans l'étude de cas, puisque lorsque la production éolienne est plus élevée, la consommation dans le réseau est plus faible. Bien qu'il y ait encore de la place pour la pénétration de l'énergie éolienne sur l'île, il s'agit d'un scénario critique du fonctionnement du réseau lorsqu'il est prévu de l'augmenter davantage. L'étape 2015 est la situation de base et le scénario de référence pour l'étude de cas où l'objectif est de montrer que le modèle construit dans la plate-forme de simulation, témoin des situations réelles du diagramme de charge actuelle de l'île de Boa Vista en tant que les données disponibles. Il a été vérifié dans le simulé l'état normal de fonctionnement actuel du réseau électrique, où dans la période de pointe une consommation de 6,13 MW et 1,5 MVAR de puissance réactive a été enregistrée. Pendant les heures de vacuité, le réseau consomme 2,2 MW de puissance active et 0,55 MVAR de puissance réactive. Le système a été ajusté avec la vitesse du vent de la saison elle-même (heures de vide), où elle se compare à la même quantité d'énergie présentée dans les données fournies par l'opérateur de réseau à l'étude.

On a également constaté le respect des niveaux de qualité de tension NP EN 50160 dans les grands barrages avec une moyenne de 0,97 p.u. pendant la période de pointe et 1,03 p.u. pendant la période de vacance, en raison du plus haut niveau de flottabilité dans le réseau et une vitesse de vent élevée.

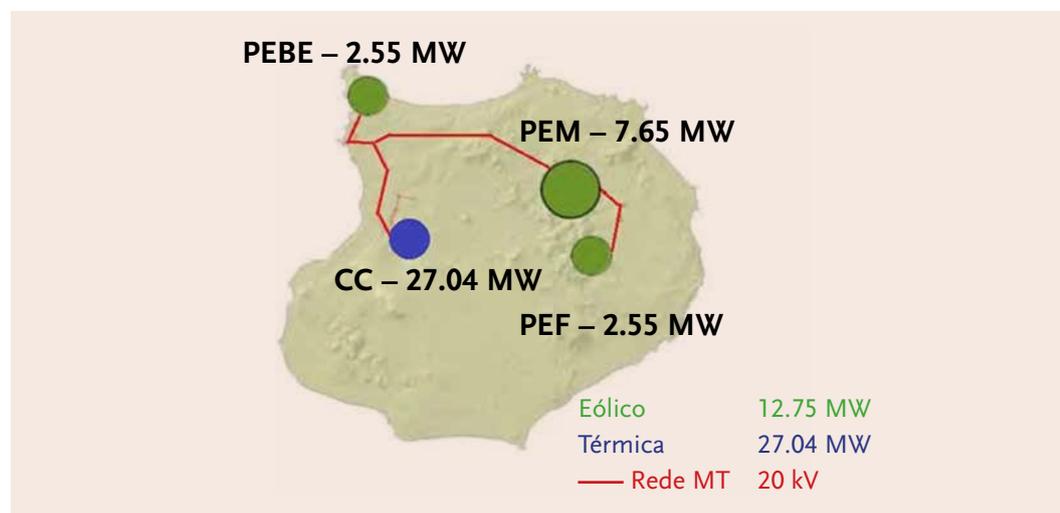
## 2.2 Scénario 2020 – Planification énergétique 2020

Le scénario 2020 est l'axe principal de cette recherche, dont le but est d'étudier le réseau dans le scénario de pénétration des énergies renouvelables d'ici 2020 et avec la même méthodologie du scénario 2015, analysant les scénarios de pointe et de vide avec les pouvoirs respectifs et les niveaux de tension du réseau.

Pour le scénario 2020 de la grille MT 20 kV de Boa Vista, le gouvernement national a prévu dans le PERCV la construction de deux autres parcs éoliens d'une puissance totale de 10,2 MW (PEM - Parc éolien de Mesa de 7,65 MW et le PEF - Parc éolien de Falcão de 2,55 MW) [15]. Afin de transporter cette énergie éolienne à Central Chaves (CC), il existe également un projet d'exécution d'une ligne de 23 km dans le réseau de 20 kV et le remodelage d'une seule centrale thermique (CC) [15].

Avec une consommation attendue d'environ 98 GWh d'ici 2020, sur le même horizon temporel, il est également prévu d'augmenter la capacité thermique d'environ 14 MW (4 générateurs de 3 500 kW à fioul) [15]. Toutes ces éventualités ont été prises en compte dans la plate-forme de simulation de modèle pour le scénario 2020.

La figure 9 présente la carte de l'île de Boa Vista avec l'architecture du réseau pour le scénario 2020.



FFIGURE 6: GRILLE D'ÉLECTRICITÉ DE L'ÎLE DE BOA VISTA PRÉVUE POUR LE SCÉNARIO 2020

La période de pointe du scénario 2020 correspond à une capacité de charge de 18,08 MW telle que prévue dans le PERCV. Le parc éolien de Falcão (PEF), car il a la même capacité installée que le parc éolien de Boa Esperança (PEBE) et avec le même régime de vent, comme prévu, fournit environ la même quantité de puissance active sur le année. Presque tout le groupe Diesel est raccordé au réseau fournissant 14,8 MW de puissance active, les parts de Mesa Eólica Park (PEM) avec une puissance moyenne de 1,6 MW et les 20% restants sont fournis par des parcs éoliens d'une puissance installée de 2,55 MW et PEF).

La période de vide est caractérisée par un vent fort et une charge plus faible, de l'ordre de 8 MW. Bien qu'il présente une plus grande fluctuation en raison de la faible inertie du système et de la disponibilité élevée du vent, pour ce scénario, le modèle a également réussi à fournir la quantité de puissance demandée donnant une réponse positive au système. La quantité d'énergie éolienne fournie est beaucoup plus grande que la quantité thermique, le système Diesel, plus précisément le CC, n'a que 3 MW de puissance active, et les parcs éoliens ont fourni les 60% restants de l'énergie demandée par les charges. Le CC et le PEBE centraux pour avoir associé des charges plus élevées en aval comme prévu fournissent un niveau de tension inférieur aux parcs éoliens PEF et PEM.

### 2.3 Pénétration de l'énergie photovoltaïque dans le réseau

Bien que l'énergie photovoltaïque ne soit pas encore disponible sur l'île de Boa Vista, elle peut être une source d'énergie renouvelable avec une plus grande facilité de pénétration dans ce réseau, plus favorable dans les périodes de consommation plus importante et avec des caractéristiques plus constantes et prévisibles.

En termes de moyenne annuelle, la grande partie du territoire national a un rayonnement global compris entre 1800 et 2000 kWh / m<sup>2</sup> / an, ce qui est beaucoup plus élevé qu'en Europe, où ils n'ont que des valeurs d'environ 1700 kWh / m<sup>2</sup> / an.

Comme on peut le voir sur la figure 7, au niveau des ressources solaires, la température moyenne dans les mois avec le vent le plus bas atteint 30°C avec un rayonnement solaire direct d'environ 7 heures par jour [15].

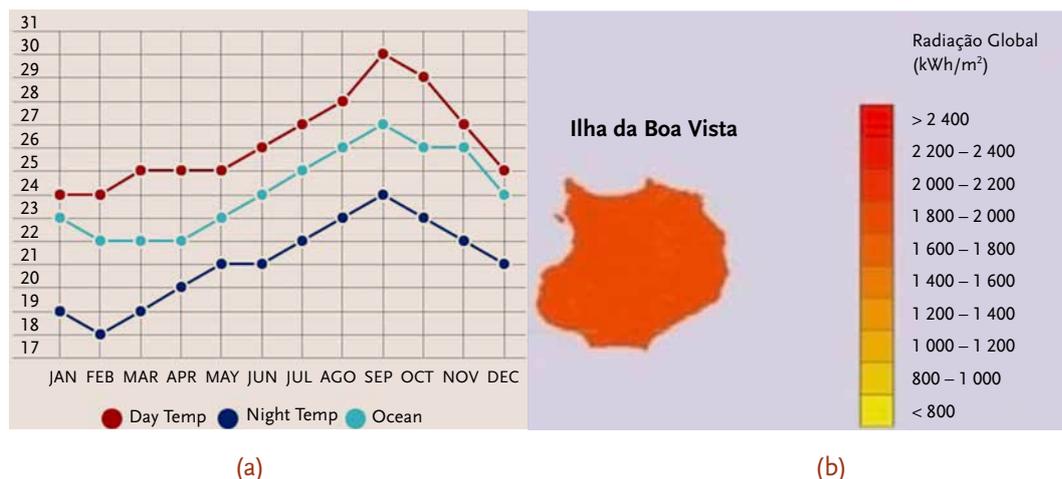


FIGURE 7: TEMPÉRATURE MOYENNE (A) ET RAYONNEMENT GLOBAL EN KWH / M<sup>2</sup> (B) SUR L'ÎLE DE BOA VISTA [16]

## Conclusion

Conformément à la planification énergétique de l'île de Boa Vista jusqu'en 2020, le résultat obtenu montre que la pénétration attendue de l'énergie éolienne ne pose pas de problèmes techniques en termes de niveau de tension. Cette analyse du comportement dynamique du réseau a été réalisée pour les scénarios les plus sévères en termes de stabilité du réseau (scénario pic et vide), ce dernier étant le scénario de fonctionnement le plus critique, caractérisé par une charge réduite, une constante d'inertie plus faible et la réserve tournante présente dans le système et qui sont plus vulnérables aux variations de la production éolienne. Cependant, les unités Diesel se sont avérées capables de maintenir la stabilité dans le réseau même dans des scénarios de perturbations avec une production éolienne élevée. Le grand avantage du travail de modélisation est que tous les facteurs qui peuvent influencer la pénétration des sources d'énergie renouvelables dans un réseau peuvent être évalués dans la phase de planification, offrant ainsi la possibilité de travailler sur la préparation et l'intégration de nouvelles formes d'énergie. De cette façon, il devient un outil indispensable et un moyen d'étudier et de prévenir les effets transitoires qui pourraient compromettre le fonctionnement normal du système électrique.

En général, les résultats ont montré que le système électrique de l'île de Boa Vista fonctionne actuellement normalement et que la pénétration prévue de l'énergie éolienne (10,2 MW), compte tenu des conditions et limites stipulées jusqu'en 2020, ne vérifie pas les problèmes de stabilité et la sécurité. Par conséquent, dans tous les cas la conformité à la norme NP EN 50160 est observée, qui stipule que les valeurs efficaces moyennes ne doivent pas dépasser le  $U_N \pm 10\%$ .

La topologie de l'éolienne utilisée dans le réseau offre une bonne intégration avec des performances quelque peu similaires aux unités Diesel en termes de stabilité de tension, avec une réponse rapide aux situations transitoires et dynamiques indépendantes de l'énergie demandée dans le réseau. D'autre part, ils ont également des améliorations dans la qualité de l'énergie électrique avec des avantages dans la réduction du niveau de scintillement, le filtrage des harmoniques de faible ordre et la limitation du courant de démarrage [17].

L'énergie éolienne en particulier dans l'île de Boa Vista est assez intermittente et avec des variations du vent inversement proportionnelles aux besoins des charges. Étant donné qu'il n'y a pas de ressources en eau pour le stockage d'énergie, ni de projets pour l'utilisation d'équipements de contrôle spécifiques (Volant, STATCON, etc.) pour assurer la fiabilité et la stabilité de l'approvisionnement énergétique, Il est conseillé de limiter la pénétration technique de la production d'énergie éolienne en fonction du temps de pointe du système. L'énergie photovoltaïque qui se produit pendant les périodes de consommation plus élevée avec des caractéristiques plus constantes et prévisibles peut être considérée comme une source avec une plus grande facilité de pénétration dans ce réseau, mais cela n'altère pas l'espace de pénétration de l'énergie éolienne, dont la reprise des investissements est attendue en moins de temps.

## Références bibliographiques

- Résolution du Conseil des ministres, n ° 20/2013. Diário da República, 1ère série - n ° 70 -10 avril 2013, pp. 2022., "<https://dre.pt/>," [Online]. [Accédé le 25 08 2016].
- Patricio Andrade, "Évaluation de la capacité de pénétration de l'énergie éolienne dans le réseau électrique de l'île de Boa Vista - Cap-Vert," Instituto Politecnico de Setúbal, 2016.
- Brito, José, "Politique énergétique du Cap-Vert, «Ministère de la croissance et de la compétitivité de l'économie, Praia, juin 2008
- J. V. ESTEVES, Artist, ANALYSE COMPARATIVE DES PROFILS ÉNERGÉTIQUES DE LA CABOVERDE ET DE LA GUINÉE-BISSAU. [Art]. IICT - Institut de Recherche Scientifique Tropicale et ISCSP-UTL - Institut Supérieur de Sciences Sociales et Politiques de l'Université Technique de Lisbonne, juin 2012.
- Gesto Energy Solutions, A Part of MARTIFER, "Plan d'énergie renouvelable du Cap-Vert - Plan d'énergie renouvelable du Cap-Vert, «Lisbonne, 2011.
- Abrão Andrade, "PLAN STRATÉGIQUE DES ÉNERGIES RENOUVELABLES au CAP VERT 2011-2020," Direction générale de l'énergie - Republica de Cabo Verde, Praia 2011.
- CABEOLICA, SA, [Online]. Disponible: <http://www.cabeolica.com/>. [Accédé le 10 09 2016].
- International Workshop on Renewable Energy, "New framework for procurement of RE IPP projects in Cabo Verde," Development in Macaronesia and West Africa, Praia – Cabo Verde, 30 de Maio de 2016.
- iffi ÉBAUCHE – Rapport de référence du Cap-Vert, "PLAN STRATÉGIQUE DES ÉNERGIES RENOUVELABLES au CAP VERT 2011-2020," Direction générale de l'énergie & Centre pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique de la CEDEAO (CEREEC), Praia, Cabo Verde, octobre 2014.
- Branislav Dosijanowski, M.Sc. Student, Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, University Ss., "Simulation of Doubly-Fed Induction Generator in a Wind Turbine," XI International PhD Workshop OWD 2009, 17–20 October 2009.
- Henrique Tiago Silva Teixeira, "Évaluation de la capacité d'intégration de l'énergie éolienne dans le réseau électrique de l'île de São Miguel, M.S. Thesis," Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, Porto, Julho de 2011.
- Rogério Gaspar de Almeida, "Contributions à l'évaluation de la capacité de fournir les services du réseau par des éoliennes à induction à double alimentation", Ph. D Dissertation," Faculdade Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006.
- Gesto Energy Solutions, A Part of MARTIFER, "Plan d'énergie renouvelable du Cap-Vert – Spécification du modèle conceptuel SIMRES®," Lisboa, 2011.
- Gesto Energy Solutions (A PART OF MARTIFER), "Plan d'énergie renouvelable du Cap-Vert – Evolução da procura de energia," Lisboa, 2011.
- Gesto Energy Solutions, A Part of MARTIFER, "Plan d'énergie renouvelable du Cap-Vert – Plano de Investimentos," Lisboa, 2011.
- Site Oficial, Boa Vista, "Câmara Municipal da ilha da Boa Vista," [Online]. Disponible: <http://www.boavistaoficial.com/PO/previsao-meteo-clima-mar-boavista-cabo-verde.php>. [Accédé le 2016 05 16].
- Rita Manuela da Fonseca Monteiro Pereira, "ÉTUDE DE LA STABILITÉ DE TENSION DYNAMIQUE DANS DES RÉSEAUX À PÉNÉTRATION D'ÉNERGIE ÉOLIENNE ÉLEVÉE, Ph. D Dissertation," Programa Doutoral em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, FEUP, Porto, 2013.



# Efficacité énergétique dans les économies de l'Afrique occidentale :

## Implication pour l'utilisation durable de l'énergie<sup>1</sup>

CHRISTIAN ANGUI ABOUA<sup>a</sup>,  
YASMINE FOUGNIGUÉ TOURÉ<sup>b</sup>

### Résumé

Ces dernières années, l'efficacité énergétique occupe une place prépondérante dans les politiques énergétiques des pays africains. La présente étude analyse les facteurs globaux d'efficacité énergétique dans les économies ouest-africaines pendant la période de 1990-2013 en utilisant le modèle AED. L'analyse empirique s'effectue en deux phases. Dans la première phase, les résultats de l'efficacité énergétique sont calculés avec et sans le produit indésirable comme les émissions de CO<sub>2</sub>. Dans la seconde phase, les excès en énergies, en capitaux, en travail et en CO<sub>2</sub> et les insuffisances dans le PIB sont définis par des scénarios représentant les objectifs qu'une économie peut établir par rapport à l'utilisation de l'énergie. La moyenne des résultats de l'efficacité énergétique pendant la période de l'étude a montré que les pays les plus écoénergétiques sont le Sénégal, le Niger, le Bénin, le Burkina Faso et le Ghana tandis que les pays les moins écoénergétiques sont la Guinée, le Nigeria, le Togo, le Mali et le Liberia. Pour la plupart des pays, l'efficacité énergétique a changé au fil du temps. Les résultats de l'efficacité énergétique avec et sans le produit indésirable sont identiques pour le Ghana, montrant qu'il semble être le meilleur concernant l'utilisation durable de l'énergie. En nous basant sur les scénarios d'AED, nous avons trouvé que tous les pays génèrent des excès dans l'utilisation de l'énergie causant un déficit dans le PIB. Le modèle AED basé sur les écarts souligne que si les pays réduisaient les excès d'utilisation de l'énergie et du CO<sub>2</sub> et utilisaient efficacement le capital et le travail, ils auraient augmenté le PIB. Une diminution de la consommation d'énergie provenant de la biomasse traditionnelle et une meilleure exploitation des énergies renouvelable provenant de la biomasse ajustera la consommation d'énergie et améliorera l'efficacité énergétique et la qualité environnementale.

**MOTS CLÉS:** EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE, ANALYSE PAR ENVELOPPEMENT DE DONNÉES, MODÈLE BASÉ SUR LES ÉCARTS, AFRIQUE OCCIDENTALE

---

a Christian Angui Aboua: [christy.aboua@yahoo.fr](mailto:christy.aboua@yahoo.fr)

b Yasmine Fougnygué Touré: [yasmine.fougnygue.toure@undp.org](mailto:yasmine.fougnygue.toure@undp.org)

<sup>1</sup> Remerciement:

Cette recherche a été menée à bien grâce à une subvention du Centre Régional pour les Énergies Renouvelables et l'Efficacité Énergétique de la CEDEAO.

(Subvention de Recherche du CEREEC), Praia, Cap-Vert. Les auteurs remercient sincèrement le Dr. Kokouvi Edem N'Tsoukpoe (Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), au Burkina Faso), et le Professeur Esso Loesse Jacques (Ecole Nationale Supérieure de Statistique et d'Économie Appliquée d'Abidjan, Côte d'Ivoire) pour leurs précieux commentaires sur notre article. Les auteurs assument l'entière responsabilité de tous les autres points de vue exprimés dans le présent document.

# 1. Introduction

Ces dernières années, l'efficacité énergétique occupe une place prépondérante dans les politiques énergétiques des pays africains. L'énergie est un facteur clé dans leur développement économique et social et les effets de causalité entre l'énergie et la croissance ont été bien démontrés (Esso et Keho, 2016; Esso, 2010; Ouedraogo, 2010). Face à une population grandissante et une croissance des activités économiques, les pays doivent fournir de l'énergie suffisante pour accroître la production tout en préservant l'environnement. Un volume croissant de recherches s'est appesanti sur la mesure de l'efficacité énergétique au niveau macroéconomique en comparant les tendances de performances des pays en termes d'utilisation énergétique dans l'économie.

Comme dans toute économie, l'énergie est consommée dans les transports, l'industrie, les activités commerciales, les services, l'agriculture et les ménages. Provenant des sources primaires (biomasse, pétrole, gaz naturel, hydroélectricité, etc.), elle est transformée en énergie finale à l'étape d'utilisation (électricité, carburant, etc.). Disponible sous diverses formes, la promotion de la politique pour une gestion efficace et durable de l'utilisation de l'énergie est nécessaire. Le concept d'efficacité énergétique est défini de manières différentes. Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), l'efficacité énergétique est la manière de gérer et de réduire la croissance économique dans la consommation énergétique. Cette définition correspond à l'indice d'intensité énergétique qui est la division de la consommation énergétique par la production économique (Produit intérieur brut). Les économistes ont proposé un autre indicateur d'efficacité énergétique qui associe la consommation énergétique, le capital et le travail pour générer une production économique et qui est bien connu sous le concept de «facteurs totaux d'efficacité énergétique» (Hu et Wang, 2006; Zhou et Ang, 2008; Honma et Hu, 2009). Compte tenu de ces indicateurs, une économie est dite écoénergétique si le pays montre un faible niveau d'intensité énergétique ou détient un résultat des facteurs totaux d'efficacité énergétique proche de 1. En d'autres termes, la consommation énergétique est dite efficace si elle offre plus de services pour la même quantité d'énergie ou le même service pour moins d'énergie.

En Afrique occidentale, la consommation d'énergie primaire est principalement dominée par l'utilisation traditionnelle de la biomasse. Le Livre blanc de la CEDEAO<sup>2</sup> relatif à l'accès aux services énergétiques a indiqué que la biomasse représente 80% de la consommation énergétique intérieure. La part de la biomasse parmi les États de la CEDEAO varie entre 22% au Cap-Vert et 94% au Liberia. Les autres pays avec des nombres excédant la moyenne régionale sont le Burkina Faso (91%) le Nigeria (83%) et la Sierra Leone (81%) (Adenikinju, 2008). Les Perspectives énergétiques mondiales<sup>3</sup> 2014 ont aussi indiqué qu'en Afrique occidentale, 80% de la population dépendait de l'utilisation traditionnelle de la biomasse pour la cuisine en 2012. Ces parts varient aussi entre 31% au Cap-Vert et 98% au Liberia. L'accès élevé à l'énergie dans la forme traditionnelle peut constituer une menace à la santé des populations, la dégradation et à la pollution de l'environnement. En outre, l'intensité énergétique en Afrique occidentale est l'une des plus élevées dans le monde et elle était estimée à 0,56 ktep/million de dollars US, tandis qu'elle est de 0,46 ktep/million de dollars US en Chine, 0,16 ktep/million de dollars US aux Nations unies, 0,13 ktep/million de dollars US en Amérique latine, 0,11 ktep/million de dollars US en Union européenne et 0,09 ktep/million de dollars US au Japon (ECREEE, 2014). Cette intensité énergétique élevée indique une utilisation efficace de l'énergie. Cela veut dire que les pays utilisent plus d'énergie par unité de Produit intérieur brut (valeur totale des biens produits et des services fournis dans un pays pendant une année).

2 En 2006, la CEDEAO/UEMOA a adopté le Livre blanc sur la politique régionale relative à l'accès aux services énergétiques pour les populations vivant dans les zones rurales et périurbaines. Le Livre blanc a donné une vision claire concernant le rôle des services d'énergie pour la réalisation des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) particulièrement et le développement socioéconomique en général.

3 Agence Internationale de L'Énergie. Perspectives énergétiques mondiales 2014: utilisation traditionnelle de la biomasse pour la cuisine en Afrique en 2012. 2014

Dans la région, les pays diffèrent en termes de développement économique, de capacité d'investissement et de travail. En plus, ils diffèrent en approvisionnement en énergie. Certains sont des exportateurs nets d'énergie, d'autres sont en grande partie des importateurs. Dans la poursuite de la croissance durable, les pays avaient besoin d'associer l'énergie, le capital et le travail dans le processus de production de la manière la mieux adaptée à la protection de l'environnement. En effet, tandis que les pays africains sont de petits pollueurs en CO<sub>2</sub> la consommation d'énergie est corrélée à la quantité de CO<sub>2</sub> générée (Figure 1). Selon les objectifs de la politique des énergies renouvelables de la CEDEAO, les pays devraient améliorer la sécurité énergétique et la durabilité ainsi que de réduire les externalités environnementales négatives du système énergétique en cours.

Cette étude cherche à analyser l'efficacité énergétique dans les pays de l'Afrique occidentale en utilisant les modèles AED standards et les modèles AED basés sur les écarts pendant la période de 1990-2013. En théorie, l'intensité énergétique et les facteurs totaux de l'efficacité énergétique sont généralement utilisés dans l'analyse politique de niveau macroéconomique. L'intensité énergétique connue sous le concept d'efficacité énergétique partielle est définie comme la consommation d'énergie divisée par le Produit intérieur brut (PIB) tandis que l'efficacité énergétique partielle à travers les modèles AED associe la consommation avec les intrants économiques (capital et travail) pour obtenir le produit économique (PIB). Un nombre croissant de chercheurs ont démontré que la mesure de l'efficacité énergétique par les facteurs partiels pourrait aboutir à des estimations trompeuses (Hu et Wang, 2006; Zhou et Ang, 2008; Honma et Hu, 2009).

Suite à ces études, on utilise les facteurs totaux d'efficacité énergétique pour mesurer et comparer le niveau d'efficacité énergétique entre les pays de l'Afrique occidentale. En effet, les pays africains sont confrontés à une capacité d'investissement au faible capital, une mauvaise affectation du capital et du travail et un accès limité à l'énergie propre. L'analyse de l'efficacité énergétique en tenant en compte de ces trois facteurs est adéquate pour montrer comment l'utilisation de l'énergie peut être améliorée compte tenu d'une bonne performance économique. Cette étude utilise le travail, le capital et le total de la consommation primaire d'énergie comme des variables d'intrants, le Produit intérieur brut (PIB) comme le seul produit désirable et les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de la consommation d'énergie comme le produit indésirable.

Les contributions de la présente étude sont de trois ordres. D'abord, l'étude montre une preuve empirique des facteurs totaux d'efficacité énergétique dans les 15 pays de l'Afrique occidentale. Beaucoup d'autres études ont été réalisées au niveau régional ainsi que dans les zones économiques comme l'Union européenne, le BRICS<sup>4</sup> et le G-20<sup>5</sup>. L'analyse de l'efficacité énergétique au niveau régional est si importante pour trouver les similarités et les hétérogénéités entre les pays afin d'identifier les leçons à tirer des pays les plus écoénergétiques. En outre, le Centre des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique de la CEDEAO (ECREEE) a élaboré des politiques et actions d'efficacité énergétique régionale qui seront adoptées et mises en œuvre pour améliorer l'efficacité et la sécurité énergétique. Une telle étude empirique pourrait aider les décideurs politiques à formuler des politiques pour les pays. Ensuite, nous calculons les résultats de l'efficacité énergétique de deux manières. La première ne considère pas le produit indésirable alors que la deuxième le prend en compte. La consommation d'énergie dans tous les pays est dominée par la ressource de la biomasse, cependant elle est hétérogène concernant les émissions de CO<sub>2</sub>. Un pays peut être le plus efficace (être précis avec le thème avec ou sans produit indésirable) en produit et le moins efficace avec la production indésirable. L'intérêt de cette contribution est de montrer comment les résultats de l'efficacité énergétique sont surestimés sans tenir compte des émissions de CO<sub>2</sub> provenant de la consommation énergétique. Enfin, l'étude ne limite pas l'analyse de l'efficacité énergétique aux résultats d'efficacité. En plus de ces résultats, les excès dans la consommation d'énergie, le capital, le travail et les émissions de CO<sub>2</sub> et l'insuffisance dans la production économique étaient calculés à travers trois scénarios qu'une économie peut établir (*Scénario-1*: l'économie veut utiliser moins

4 Les cinq principales économies nationales émergentes: Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud.

5 Le G20 (ou G-20 ou le Groupe des vingt) est un forum international pour les gouvernements et les gouverneurs de banque centrale provenant de 20 grandes économies.

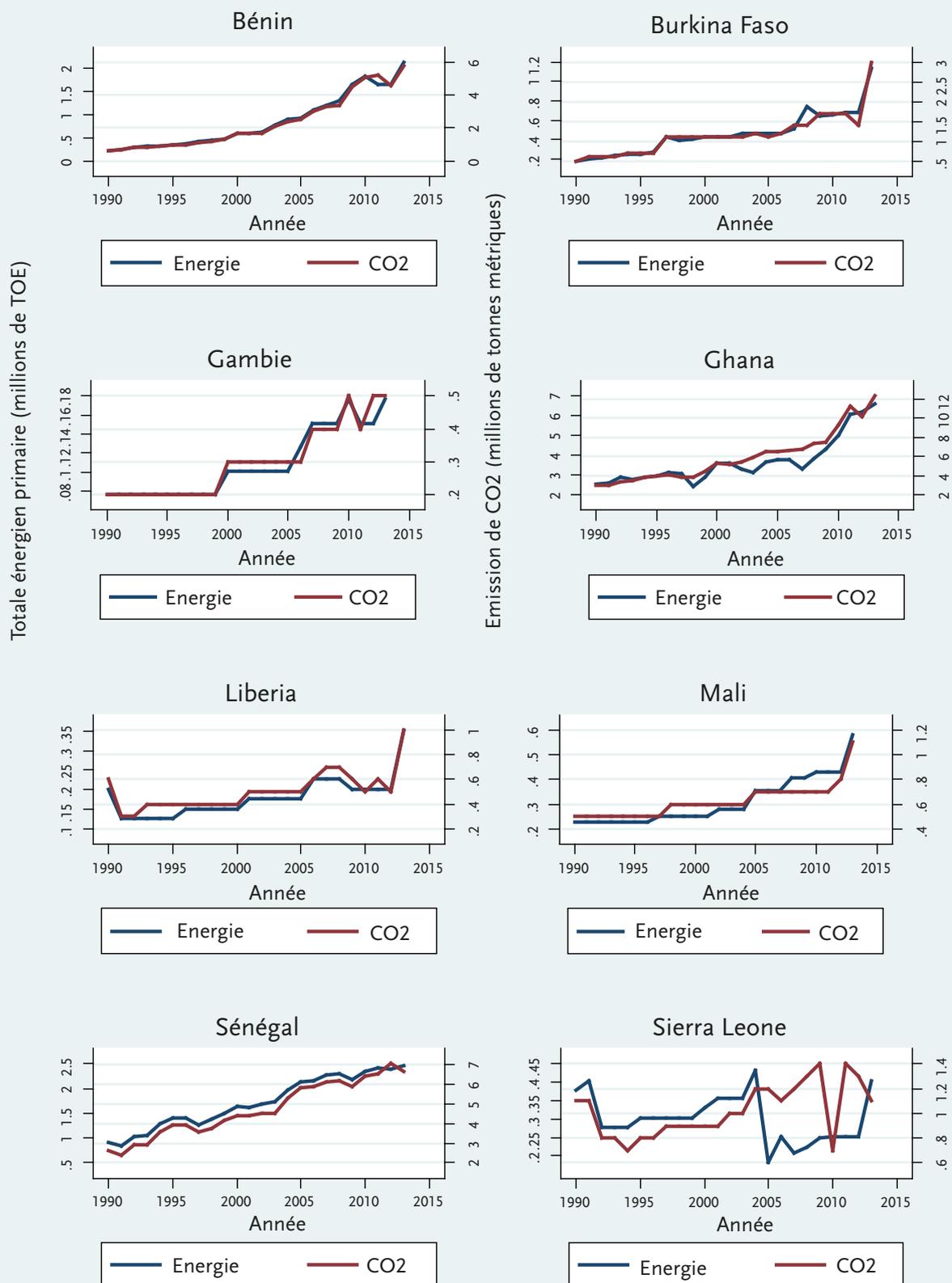
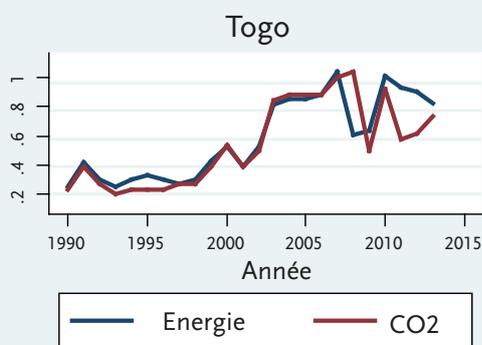
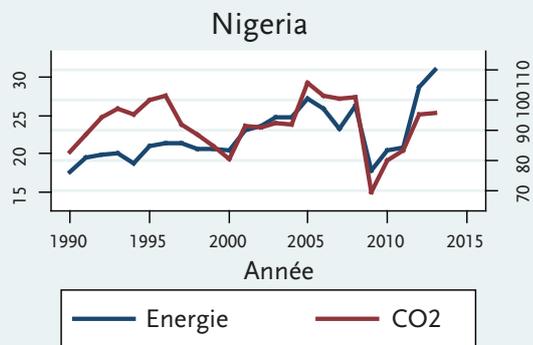
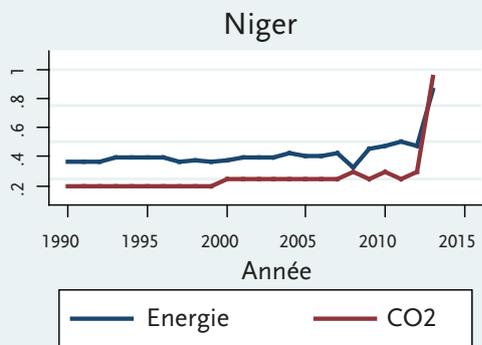
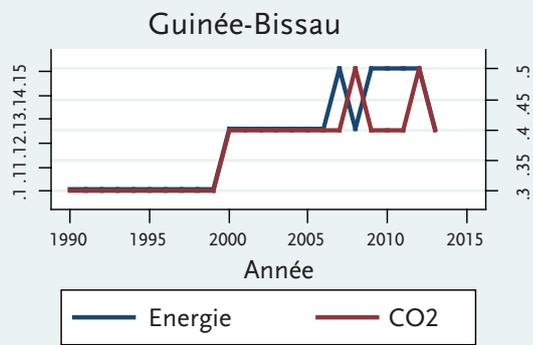
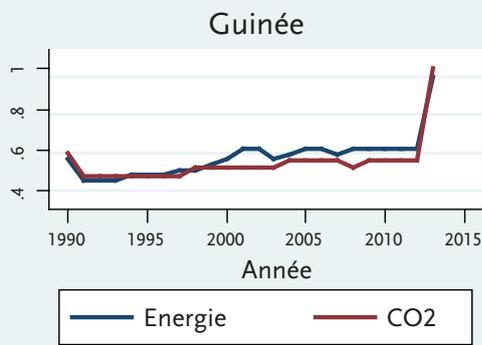
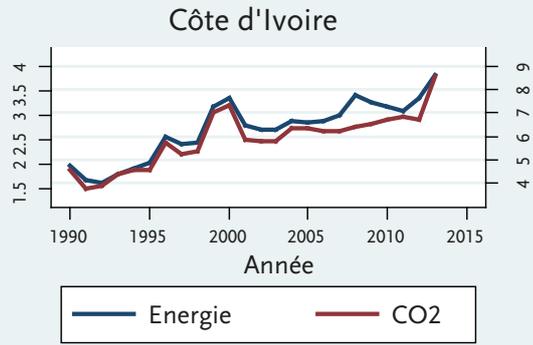
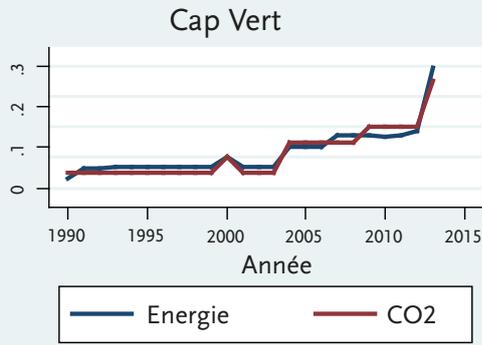


FIGURE 1: ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET DES ÉMISSIONS DE CO2 DANS LES PAYS DE L'AFRIQUE OCCIDENTALE PENDANT LA PÉRIODE DE 1990-2013 (AUTEURS TIRÉS DE LA BASE DE DONNÉES DE L'AIE)



Emission de CO2 (millions de tonnes métriques)

d'énergie pour une croissance du PIB donné; *Scénario-2*: l'économie veut réaliser un maximum de croissance de PIB pour une quantité d'énergie donnée et *Scénario-3*: l'économie considère une réduction dans la consommation d'énergie et une croissance du PIB simultanément tout en réduisant les émissions de CO<sub>2</sub>). L'objectif de cette contribution consiste à déterminer le surplus du PIB qui peut être réalisé si l'excès d'intrants (énergie, capital et travail) et les excès du mauvais produit (émissions de CO<sub>2</sub>) étaient réduits.

Le reste de ce document est organisé de la manière suivante: la partie suivante présente la revue de littérature. La partie 3 décrit la méthodologie et les données de l'étude. Les résultats empiriques et l'analyse sont présentés dans la partie 4. La dernière partie présente la conclusion et quelques implications politiques.

## 2. Revue de littérature

Cette partie présente d'abord le concept d'efficacité énergétique, l'approche non paramétrique de la mesure d'efficacité et la revue empirique sur l'analyse de l'efficacité énergétique.

### 2.1. Le concept d'efficacité énergétique

Le concept d'efficacité énergétique est apparu au début des années 1970 dans les pays développés comme une question de croissance économique durable. L'amélioration de l'efficacité énergétique est devenue une étape cruciale dans plusieurs pays pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. L'efficacité énergétique est un concept relatif et est définie sous plusieurs angles. Au plan économique, l'efficacité énergétique est le ratio d'un indice de performance (biens, services, énergies) ou d'un produit provenant d'un processus de production sur l'énergie comme un facteur de production. Il peut être écrit de la manière suivante:

$$\frac{\text{Produit utile de processus}}{\text{Apport énergétique dans un processus}}$$

Trois indicateurs sont utilisés pour mesurer l'efficacité énergétique, à savoir les indicateurs thermodynamiques, physiques, et monétaires. Ces indicateurs se rapportent à la quantité d'énergie requise par unité de production économique. En plus, les indicateurs physiques et monétaires sont le plus souvent utilisés dans l'analyse de la politique énergétique au niveau macroéconomique. Ces indicateurs mesurent l'efficacité énergétique sur le temps au niveau national et font des comparaisons entre pays. D'importantes recherches ont été faites relativement à la mesure de l'efficacité énergétique, dans la méthodologie et dans les applications empiriques. Deux méthodologies pour mesurer l'efficacité énergétique sont généralement utilisées: la mesure unique intrant-produit et la mesure multiple intrant-produit. La première méthode concerne l'indicateur d'intensité énergétique. Elle est définie comme le ratio de la quantité d'énergie consommée (Énergie) du Produit intérieur brut (PIB), qui mesure la quantité d'énergie consommée par unité du PIB. Ce ratio est utilisé par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et la Banque mondiale pour évaluer l'efficacité énergétique à travers les pays et pour évaluer les politiques énergétiques.

À côté de cette méthode, la mesure de l'efficacité énergétique à travers les intrants-produits multiples en utilisant l'approche de l'Analyse par enveloppement de données a été développée par certains auteurs (Zhou et Ang, 2008, Hu et Wang, 2006). Ils critiquaient l'énergie comme n'étant pas le seul facteur dans le processus de production (Zhou et Ang, 2008). Elle doit être associée à d'autres facteurs de production comme le travail et le capital. Hu et Wang (2006) ont soutenu que la mesure de l'efficacité énergétique en utilisant les intrants-produits multiples est préférable au simple ratio d'intensité énergétique parce qu'il fournit une mesure d'efficacité énergétique basée sur les facteurs totaux. Ensuite, cette méthode prend en compte l'impact environnemental (émissions de

CO<sub>2</sub>) qui représente un produit indésirable provenant de la consommation d'énergie. Dans la plupart des applications AED relatives à la mesure de l'efficacité énergétique ; le capital et le travail sont utilisés comme des intrants pour produire un PIB (produit désirable) et le facteur environnemental comme les émissions de CO<sub>2</sub> (produit indésirable). Cette méthode fournit une mesure d'efficacité énergétique qui est obtenue par une meilleure association des facteurs de production (énergie, capital, travail) qui maximise le produit (PIB) et en même temps réduit les impacts environnementaux (CO<sub>2</sub>).

## 2.2. Analyse par enveloppement de données (AED): Approche non paramétrique de la mesure d'efficacité

La mesure d'efficacité a commencé avec les travaux de Farrell (1957) inspirée par ceux de Koopmans (1951) et de Debreu (1951). Elle est intimement liée à l'estimation de la frontière de production basée sur la fonction de distance. Farrell (1951) a fait la distinction entre l'efficacité technique et l'efficacité allocative. Le concept d'efficacité technique se rapporte à la capacité de produire le maximum de produits à partir d'un ensemble d'intrants donné. L'efficacité allocative est définie comme la capacité de l'unité de production d'associer les intrants dans une proportion optimale, compte tenu de leurs prix respectifs et de la technologie de production.

En pratique, deux approches peuvent être utilisées pour mesurer l'efficacité: L'Analyse de frontière stochastique (approche paramétrique) et l'Analyse par enveloppement de données (approche non paramétrique). En présence de produits multiples, l'approche AED proposée par Charnes et al. (1978) est la plus adéquate. Elle permet de calculer les résultats d'efficacité, les valeurs des écarts d'intrants et de produits, et d'identifier les unités de production qui sont pleinement efficaces. Le résultat d'efficacité est déterminé par l'optimisation du modèle AED en rendements constants ou en rendements variables. En plus, le modèle AED peut être optimisé suivant l'objectif d'orientation de l'unité de production. Les modèles AED orientés vers l'intrant prennent en compte l'éventuelle (proportionnelle) réduction d'intrant tout en maintenant les niveaux de produit actuels. Les modèles AED orientés vers le produit prennent en compte l'éventuelle (proportionnelle) augmentation du produit tout en maintenant le niveau d'intrants. Cependant, les modèles AED standards ne prennent pas en compte les écarts dans la «fonction objective». Charnes et al. (1985) ont développé un modèle AED supplémentaire qui considère une éventuelle diminution de l'intrant ainsi qu'une augmentation du produit simultanément. Ce modèle fournit une mesure des résultats d'efficacité non proportionnels, contrairement aux modèles standards qui fournissent des résultats d'efficacité équiproportionnels. Il détecte les unités efficaces de celles inefficaces. Cependant, il ne mesure pas leur intensité d'efficacité aussi bien que les modèles standards (Tone 2001). A ces égards, Tone (2001) a développé un modèle basé sur les écarts (SBM) qui optimise les écarts d'intrants et de produits et fournit une parfaite mesure d'efficacité et propose un nouveau système d'approche AED non paramétrique pour la mesure d'efficacité en présence du produit indésirable (Tone 2004). Cette évaluation d'efficacité avec le produit indésirable était d'abord traitée par Färe et al. (1989). Ils soutenaient qu'en évaluant les performances du producteur, il est important de les créditer pour leur approvisionnement en produits désirables «bon produit» et les pénaliser pour leur approvisionnement en produits indésirables «mauvais produit». Pour cela, les «bons» et «mauvais» produits devront être traités de manière asymétrique en jugeant les performances du producteur.

## 2.3. Revue empirique

L'approche AED non paramétrique a été largement utilisée pour analyser les facteurs totaux d'efficacité énergétique (intrants-produits multiples) aux niveaux national et régional ainsi que dans les zones économiques. Une première vague de ces études empiriques ne prenait pas en compte l'impact environnemental provenant de la consommation d'énergie.

Par exemple, Hu et Wang (2006) ont évalué l'efficacité énergétique de 29 régions administratives en Chine pendant la période de 1995-2002. Ils considéraient la consommation d'énergie, le capital, le

travail et l'ensemble de la zoneensemencée de cultures agricoles comme indicateur d'énergie de la biomasse (comme intrants) et le PIB comme produit, pour calculer l'indice d'efficacité énergétique en se basant sur les facteurs totaux de production. Ils trouvaient cet indice mieux approprié à la réalité que la simple mesure de l'indice des facteurs partiels d'efficacité énergétique. Leurs résultats ont montré que les régions orientales et centrales ont amélioré leur efficacité énergétique en ajustant la quantité d'utilisation énergétique par l'amélioration de la technologie et du processus de production. En outre, ils ont montré qu'il y a une relation de courbe en forme de U entre l'efficacité énergétique et le revenu par habitant dans les régions de la Chine, confirmant que l'efficacité énergétique améliore la croissance économique.

Chien et Hu (2007) ont analysé les effets des énergies renouvelables en fonction de l'efficacité technique de l'OCDE<sup>6</sup> et d'économies hors de l'OCDE durant la période 2001-2002 par le biais de l'analyse par enveloppement de données (AED). Ils ont découvert que l'augmentation de l'utilisation des énergies renouvelables améliore l'efficacité technique de l'économie. En comparant les résultats d'efficacité des deux groupes de pays, ils ont montré que les pays de l'OCDE sont techniquement plus efficaces que ceux n'y appartenant pas. Cela est dû au fait que les pays de l'OCDE ont une plus grande part de combustible géothermique, solaire, maritime et éolienne en énergie renouvelable bien que les pays n'appartenant pas à l'OCDE aient une plus grande part des énergies renouvelables dans l'ensemble de leur approvisionnement en énergie que les économies de l'OCDE.

NelaVlahinić-Dizdarević et Šegota (2012) ont étudié l'évolution de l'efficacité énergétique dans tous les pays de l'Union européenne pendant la période 2000-2010 et ont comparé leurs résultats avec l'indicateur traditionnel d'intensité énergétique. Ils ont appliqué le modèle AED avec un rendement constant d'échelle en utilisant trois facteurs (capital, travail et consommation énergétique) et un produit (PIB). Leurs résultats empiriques ont confirmé que l'indicateur traditionnel d'efficacité énergétique (intensité énergétique) est très simple et pourrait être trompeur. Ils ont montré que les résultats d'efficacité énergétique des facteurs totaux de production reflètent la possibilité de substitution des facteurs de production à moyen terme et un changement dans la composition de la consommation énergétique. En plus, ils ont découvert que les pays ayant la plus grande part des combustibles de qualité comme l'électricité et le gaz naturel sont plus efficaces, tandis que les sources d'énergie de faible qualité (bois et charbon) sont les pires acteurs d'efficacité énergétique. Leurs résultats ont révélé que tous les pays sont inefficaces et ont suggéré que l'efficacité énergétique pouvait être renforcée en réduisant certains intrants.

Zhang et al (2011) utilisaient les facteurs totaux de production pour étudier l'efficacité énergétique de 23 pays en développement pendant la période de 1980-2005. Leurs résultats empiriques indiquaient que le Botswana, le Mexique et le Panama sont les meilleurs en termes d'efficacité énergétique, alors que le Kenya, le Sri Lanka, la Syrie et les Philippines sont les pires pendant toute la période d'étude. En plus, ils ont trouvé que sept pays ont montré peu de changement concernant l'efficacité énergétique au fil du temps; onze pays ont vécu une décroissance progressive de l'efficacité énergétique dont cinq pays témoignant d'une croissance progressive des facteurs totaux d'efficacité énergétique, au moment où la Chine connaissait le plus grand essor. Cette étude soutenait que le succès de la Chine dans l'amélioration de l'efficacité énergétique est dû à la mise en œuvre de politiques énergétiques effectives comme le renforcement du niveau technologique et la restructuration des industries et des produits énergétiques.

Une autre vague d'études a analysé l'efficacité énergétique en considérant les effets négatifs des émissions de CO<sub>2</sub> en tant que «produit indésirable». En se basant sur l'approche AED orientée vers les intrants, Dogan et Tugcu (2015) ont estimé les résultats techniques et brillants d'efficacité des pays du G-20 en termes de production en électricité pendant la période de 1990-2011. Leurs découvertes révélaient que la Chine et la Russie étaient au top de l'efficacité énergétique tandis que la France et l'Union européenne étaient inefficaces. Cependant, l'étude a démontré un changement de l'efficacité énergétique à travers les pays en montrant que le G-20 connaît une transformation

6 Organisation pour la coopération et le développement économique (OCDE)

allant de la structure monopolaire à celle multipolaire en termes de production énergétique. Les auteurs ont soutenu que le G-20 produit ou consomme environ 85% de l'électricité totale du monde, pour cela cette transformation est aussi importante pour l'économie mondiale. Ils ont suggéré que les décideurs politiques devraient être conscients de ce progrès afin d'éviter une conséquence inattendue pour les énergies futures.

Récemment, Camiato et al. (2016) ont mesuré et analysé les facteurs totaux d'efficacité énergétique dans les pays du BRICS (Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud) en utilisant le modèle AED basé sur les écarts. Il est bien connu que le groupe du BRICS a fait preuve d'une croissance économique rapide et a joué un rôle important dans l'économie mondiale. L'étude a montré que le Brésil est le pays ayant le résultat d'efficacité énergétique le plus élevé, suivi de l'Afrique du Sud, de la Chine, de l'Inde et de la Russie. Ils ont expliqué que le bon positionnement du Brésil pourrait être le résultat d'un mécanisme de soutien pour l'efficacité énergétique prôné par le gouvernement fédéral. En effet, le Brésil a mis en œuvre dans les décennies précédentes d'importants programmes nationaux de politiques énergétiques qui sont encore en exécution comme la conservation d'énergie, la rationalisation et la bonne réglementation de l'énergie.

Ces études précédentes ont démontré que l'efficacité énergétique dépend du développement de nouvelles sources d'énergie (énergie renouvelable). En harmonie avec la deuxième vague de la théorie sur l'efficacité énergétique, notre étude cherche à explorer l'efficacité énergétique dans les pays de l'Afrique occidentale. Elle est différente de celles précédentes par la comparaison de l'efficacité énergétique avec et sans le produit indésirable et elle calcule les excès des intrants et l'insuffisance dans la production économique.

## 3. Méthodologie

Dans cette partie, nous mesurons l'efficacité énergétique en utilisant les modèles AED standards et les modèles AED basés sur les écarts. Dans la première approche, l'efficacité énergétique est analysée sans le produit indésirable tandis que la seconde le prend en compte. Avant de présenter le programme mathématique utilisé pour estimer l'efficacité énergétique, nous proposons un simple schéma pour expliquer notre façon de mesurer l'efficacité énergétique.

### 3.1. Cadre analytique

La relation entre l'énergie et la croissance économique et plus généralement le rôle de l'énergie dans la production économique a été largement débattu dans la discipline économique. Au départ, la théorie traditionnelle de la croissance néoclassique considère généralement le capital, le travail et la terre comme étant les facteurs premiers de la production. L'énergie qui représente un important capital naturel a été négligée. Les économistes des ressources et de l'écologie ont critiqué la théorie selon laquelle l'énergie joue un rôle mineur dans la croissance économique, par exemple les implications de la thermodynamique pour la production économique et les perspectives à long terme de l'économie (Stern, 2004). Ce débat a commencé depuis les années 1970 où les auteurs exposaient l'existence de la « limite de la croissance » biophysique qui éventuellement affaiblirait la croissance économique. De ces critiques, les modèles de croissance économique ont inclus l'énergie, et plusieurs preuves empiriques ont été développées par la suite, avec un accent particulier sur les aspects environnementaux.

Certains économistes ont testé les liens de causalité entre l'énergie et la croissance économique avec ou sans les émissions de CO<sub>2</sub>. D'autres auteurs ont analysé l'efficacité énergétique, l'efficacité environnementale ou l'efficacité écologique en associant la consommation d'énergie aux facteurs traditionnels de production et le produit économique (PIB). Ces dernières années, les chercheurs ont attaché une grande importance à la mesure de l'efficacité énergétique dans l'économie.

L'idée est que l'investissement net effectué dans le pays (stock de capital), le travail (population active économiquement) et le total de la consommation primaire d'énergie sont associés pour donner le Produit intérieur brut (Figure 2). Techniquement, l'analyse par enveloppement de données qui est un modèle mathématique linéaire et est utilisée pour calculer un ratio appelé «score d'efficacité énergétique». Deux hypothèses sont élaborées. Premièrement, l'économie consomme de l'énergie sans se soucier des effets négatifs de l'utilisation énergétique qui est l'émission de CO<sub>2</sub> (énergie efficiente sans émission de CO<sub>2</sub>). Deuxièmement, l'économie est soucieuse de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> causées par la consommation d'énergie et ensuite de l'amélioration de la qualité environnementale. L'idée qui se cache derrière la deuxième analyse pour comprendre qu'un pays est écoénergétique est son orientation vers l'utilisation moderne de l'énergie.

Le modèle AED est mis en œuvre en fonction des objectifs (orientations) que la cellule de prise de décisions peut établir: orientation vers le produit, orientation vers l'intrant et orientation vers l'intrant-produit. Concernant notre étude, nous supposons que l'économie vise à:

- utiliser moins d'énergie, de capital et de main-d'œuvre pour un niveau de PIB donné (orientation vers l'intrant)
- atteindre un niveau maximum de PIB pour une quantité donnée d'énergie, de capital et de travail (orientation vers le produit);
- utiliser moins d'énergie tout en maximisant le PIB et en réduisant les émissions de CO<sub>2</sub> compte tenu de la disponibilité de capital et du travail (orientation intrant-produit)

Les produits du modèle mathématique linéaire fournissent le résultat d'efficacité énergétique qui est le ratio du PIB observé au PIB de potentiel maximum. Le PIB observé ou réel est ce que le pays réalise alors que le PIB potentiel est ce que le pays peut réaliser s'il cumule de la meilleure manière les intrants: énergie, capital et travail. Les produits de modèle fournissent aussi les écarts de l'intrant et du produit représentant les excès ou pertes de revenus et l'insuffisance du produit. L'économie la plus écoénergétique aura un score d'efficacité énergétique équivalent à 1 sans aucun excès d'énergie, de capital, de travail et de CO<sub>2</sub> et aucune insuffisance du PIB. L'économie la moins écoénergétique aura un score d'efficacité énergétique inférieur et la présence d'excès d'énergie, de capital, de travail et de CO<sub>2</sub> et une insuffisance du PIB.

Cette partie a montré le cadre analytique pour comprendre la manière dont l'efficacité énergétique est analysée. Ce qui suit présente de manière plus technique le modèle par enveloppement de données.

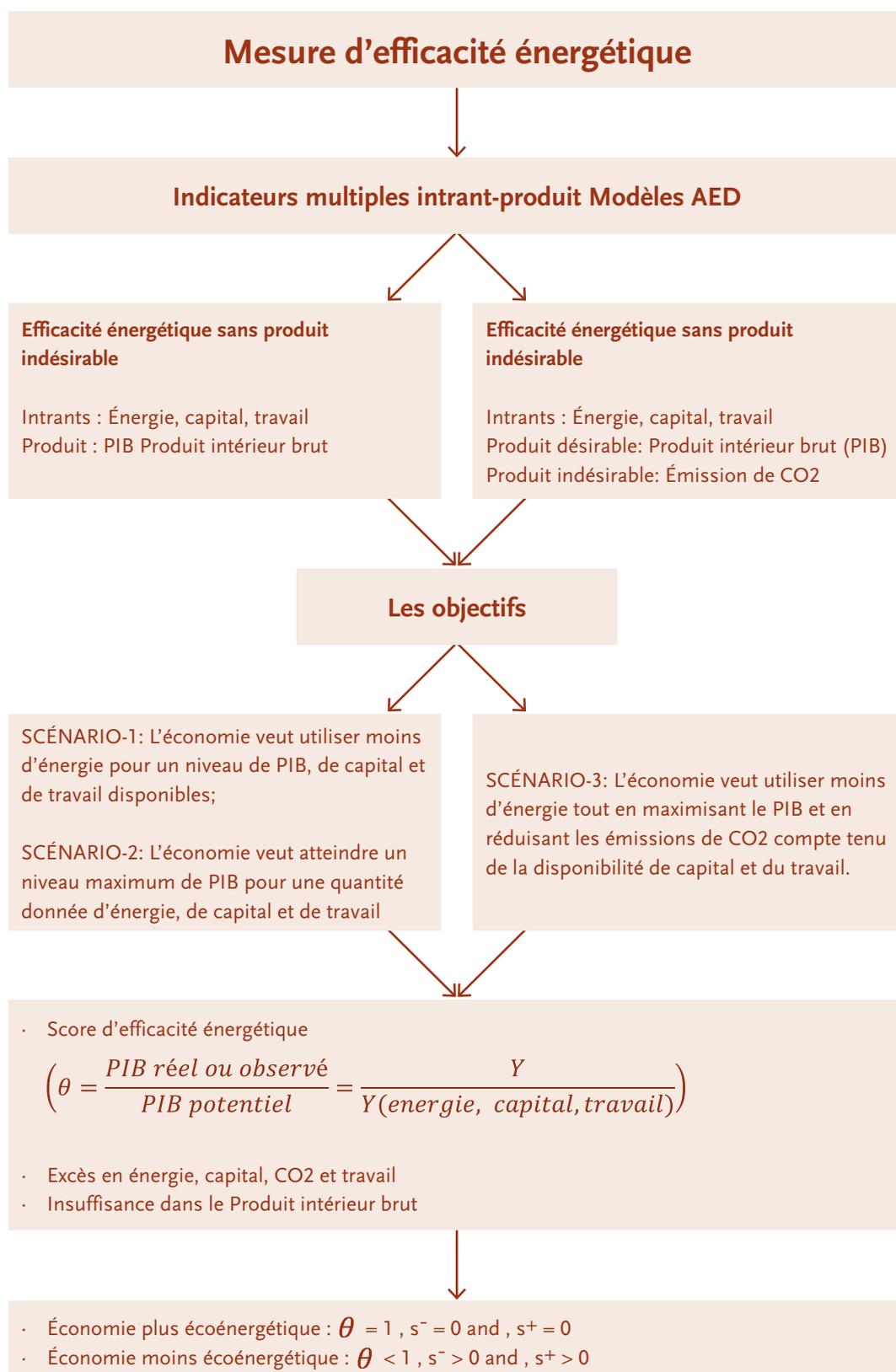


FIGURE 2: CADRE ANALYTIQUE DE LA MESURE D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (AUTEUR)

### 3.2. Modèles AED standards

D'abord, nous présentons brièvement la méthode AED de base à utiliser pour estimer le résultat de l'efficacité énergétique sans le produit indésirable. Supposons qu'il y a  $n$  pays ( $DMUs$ ) devant être évalués et chaque  $DMU_j$  utilise  $m$  intrants  $x_{ij}$  ( $1, 2, \dots, m$ ) pour en faire  $S$  produits,  $y_{rj}$  ( $r = 1, 2, \dots, S$ ). Dans le cas de notre étude les *intrants* sont (la consommation énergétique, le stock de capital et le travail)<sup>7</sup> et le seul produit est le Produit intérieur brut (PIB). Les résultats d'efficacité relatifs pour la  $DMU_{j0}$  sont déterminés par le programme mathématique ci-dessous développé par Charnes, Copper et Rhodes (1978):

$$\min_{\theta, \lambda} \theta - \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \quad (1)$$

$$s. t \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- \leq \theta x_{ij0}, & i = 1, \dots, m & (2) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ \geq y_{rj0}, & r = 1, \dots, s & (3) \\ s_i^- \geq 0, s_r^+ \geq 0, \lambda_j > 0, & j = 1, \dots, n & (4) \end{cases}$$

$\theta$  est le résultat d'efficacité énergétique à estimer en associant les intrants (énergie, capital et travail) et est compris entre 0 et 1.  $S^-$  et  $S^+$  sont des variables d'écarts représentant l'excès d'intrants (énergie, capital et travail) et l'insuffisance dans le produit (PIB).  $\lambda_j$  est un vecteur positif scalaire.  $\varepsilon$  est appelé non archimédien qui est défini comme infiniment petit ou inférieur à tout nombre réel positif. La présence de  $\varepsilon$  à prendre en compte dans la minimisation du résultat d'efficacité, l'optimisation des écarts  $S^-$  et  $S^+$ . La solution optimale\* du programme ci-dessus est de déterminer  $(\theta^*, \lambda_j^*, s_i^-, s_r^+)$ .  $DMU_{j0}$  est efficace si  $\theta^* = 1$ , et  $s_i^- = 0, s_r^+ = 0$ .  $DMU_{j0}$  est faiblement efficace si  $\theta^* = 1$  et  $s_i^- \neq 0, s_r^+ \neq 0$ . Si  $\theta^* < 1$ ,  $DMU_{j0}$  est dit inefficace. Le modèle (1) peut être estimé selon les directions vers l'intrant ou orientation vers le produit. Dans le premier cas, cela veut dire que l'unité de prise de décision minimise l'intrant pour obtenir un niveau de produit donné. Dans le second cas, cela veut dire qu'elle maximise le produit en tenant compte des intrants. Dans le cas de notre étude, la direction vers l'intrant s'explique par le fait que l'économie obtiendra un niveau de PIB donné en minimisant l'énergie, le capital et le travail disponibles dans le pays. La direction de l'orientation vers le produit veut dire que l'économie cherche à réaliser un maximum de PIB compte tenu de la quantité d'énergie, de capital et de travail.

### 3.3. Modèle AED basé sur les écarts avec le produit indésirable

Nous utilisons le modèle AED basé sur les écarts développé par Tone (2001) pour estimer l'efficacité énergétique en présence du produit indésirable. Il prend en compte les écarts d'intrants et de produits dans la mesure d'efficacité contrairement aux modèles AED standards. Il permet de maximiser les produits tout en minimisant les intrants. Nous considérons maintenant que chaque pays ( $DMU$ ) utilise  $m$  intrants  $x_{ij}$  ( $1, 2, \dots, m$ ) pour produire non seulement  $S$  produits désirables,  $y_{rj}^g$  ( $r = 1, 2, \dots, s$ ) et  $q$  produits indésirables  $y_{pj}^b$  ( $r = 1, 2, \dots, q$ ). Dans le cas de notre étude, l'économie utilise trois intrants (énergie, capital et travail) pour générer un produit économique (Produit intérieur brut) tout en produisant un mauvais produit ou un produit environnemental (émission de CO<sub>2</sub>). En analysant l'efficacité énergétique avec le produit indésirable, la première difficulté est la manière de traiter les produits indésirables conjointement avec les produits désirables

7 Le capital et le travail sont les principaux facteurs de production dans une économie. Le stock de capital est la quantité totale de capital physique à chaque moment particulier dans le temps. Le travail est la population active de la nation représentant la quantité d'efforts physiques, mentaux et sociaux utilisée pour produire des biens et des services dans une économie.

et cela mène à imposer des hypothèses concernant le caractère éliminatoire des produits indésirables (Yang et Pollitt, 2007,2009). Les produits indésirables peuvent être faiblement éliminables (e.g: Fare et al. 1989, 1996; Tyteca, 1996) ou fortement éliminables (Korhonen et Luptacik, 2004). La première hypothèse suppose que si on souhaite réduire les produits indésirables, les bons produits doivent aussi être réduits pour un niveau d'intrants donné. La seconde hypothèse veut dire que les produits indésirables peuvent être réduits sans réduire de produits désirables. Dans notre étude, nous acceptons l'hypothèse faible et adoptons le second modèle de Tyteca (1996) qui minimise le ratio de la somme pondérée d'intrants et des produits indésirables sur les produits désirables. L'efficacité énergétique à travers le modèle AED basé sur les écarts peut être mesurée comme (Chu et al. 2016).

$$\min \rho^* = \frac{1 - \left(\frac{1}{m+q}\right) \left(\sum_{i=1}^m s_i^- / x_{ij} + \sum_{p=1}^q s_p^b / y_{pj}^b\right)}{1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s s_r^g / y_{rj}^g} \quad (2)$$

$$s. t \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} = x_{ij0} - s_i^-, \quad i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^g = y_{rj0}^g + s_r^g, \quad r = 1, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{pj}^b = y_{pj0}^b - s_p^b, \quad p = 1, \dots, q \\ s_i^- \geq 0, s_r^g \geq 0, s_p^b \geq 0, \lambda_j > 0, \quad j = 1, \dots, n \end{array} \right.$$

$\rho$  représente le score d'efficacité du SBM. Le ratio  $\rho$  est défini comme le taux de réduction moyen des intrants et du produit indésirable au taux de foisonnement moyen du produit. En d'autres termes, l'efficacité du SBM est interprétée comme la multiplication de l'efficacité du produit et de l'intrant.  $s_i^-$ ,  $s_r^g$  et  $s_p^b$  sont les écarts correspondant respectivement aux intrants, aux produits désirables et aux produits indésirables de la (DMUS).  $s_i^-$  et  $s_r^g$  sont des excès des intrants et de mauvais produits et  $s_p^b$  est l'insuffisance dans le bon produit. Le modèle (2) est un problème de programmation non linéaire et ne peut être résolu directement. Afin de déterminer le résultat d'efficacité  $\rho$ , le modèle (2) est transformé en un problème de programmation linéaire (modèle 3) en utilisant la transformation de Charnes-Cooper (Charnes et Cooper, 1962). Le modèle (3) est formulé de la manière suivante:

$$\min \rho_a^* = t - \left(\frac{1}{m+q}\right) \left(\sum_{i=1}^m S_i^- / x_{ij} + \sum_{p=1}^q S_p^b / y_{pj}^b\right) \quad (3)$$

$$s. t \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \mu_j x_{ij} = t x_{ij0} - S_i^-, \quad i = 1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \mu_j y_{rj}^g = t y_{rj0}^g + S_r^g, \quad r = 1, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \mu_j y_{pj}^b = y_{pj0}^b - S_p^b, \quad p = 1, \dots, q \\ t + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s S_r^g / y_{rj}^g = 1 \\ S_i^- \geq 0, S_r^g \geq 0, S_p^b \geq 0, \mu_j > 0, \quad j = 1, \dots, n \end{array} \right.$$

Transformation du modèle (2) en (3),  $t = \frac{1}{1 + \frac{1}{s \sum_{r=1}^s s_r^g / y_r^g}}$ ;  $S_i^- = t S_i^-$ ;  $S_r^g = t S_r^g$ ;  $S_r^b = t S_r^b$  et  $\mu_j = t \lambda_j$ .

En résolvant le modèle (3), la solution optimale obtenue est  $(\rho^*, t^*, \mu_j^*, S_i^{g*}, S_r^{b*}, S_p^{g*}, \forall i, r, p)$ . De cette solution optimale du modèle (2), la solution optimale apparait comme suit:

$$(\rho^*, \lambda_j^* = \mu_j^* / t^*, S_i^{g*} = S_i^{g*} / t^*, S_r^{g*} = S_r^{g*} / t^*, S_r^{b*} = S_r^{b*} / t^*, \forall i, r, p)$$

La  $DMU_{j_0}$  est efficace en présence du produit indésirable seulement si  $\rho^* = 1$ , i.e.,  $s_i^{g*} = 0$ ,  $s_r^{g*} = 0$  et  $s_r^{b*} = 0$ . La  $DMU_{j_0}$  est dite inefficace si  $\rho^* < 1$ .

### 3.4. Analyse d'efficacité des ressources

Une  $DMU_{j_0}$  inefficace peut être améliorée et devenir efficace en supprimant les excès en intrants et les mauvais produits, et en augmentant le manque dans les bons produits par la projection suivante:

$$\hat{x}_{j_0} \leftarrow x_{j_0} - s^{g*}$$

$$\hat{y}_0^g \leftarrow y_0^g - s^{g*}$$

$$\hat{y}_0^b \leftarrow y_0^b - s^{b*}$$

Nous analysons l'utilisation d'efficacité des ressources en calculant les excès d'énergie, du capital, de la main-d'œuvre et de CO2 et le déficit dans le Produit intérieur brut. Cette analyse montrera en quelle proportion les excès devraient être réduits pour accroître simultanément le Produit intérieur brut dans l'économie. L'analyse de l'efficacité des ressources est basée sur les écarts d'intrant (excès) et les écarts de produit (insuffisance). Nous estimons les écarts suivant trois objectifs que l'économie peut fixer et définir comme des scénarios:

- Scénario 1: L'économie utilise moins d'énergie, de capital et de travail pour un niveau de PIB donné (orientation vers l'intrant) [**Orientation vers l'intrant de l'objectif**];
- Scénario 2: L'économie maximise le Produit intérieur brut en tenant compte des ressources (énergie, capital et travail) [**Orientation vers le produit de l'objectif**];
- Scénario 3: L'économie maximise le Produit intérieur brut tout en minimisant les ressources (énergie, capital et travail) [**Orientation vers l'intrant-produit de l'objectif**]

L'analyse d'efficacité des ressources consiste à déterminer le surplus du PIB qui peut être réalisé si l'excès d'intrants (énergie, capital et travail) et l'excès du mauvais produit (émissions de CO2) étaient réduits.

## 4. Analyse empirique

### 4.1. Données

L'étude utilise les données de quinze (15) pays d'Afrique occidentale pour estimer de manière empirique les facteurs totaux d'efficacité énergétique pendant la période de 1990-2013. Ces quinze pays sont le Bénin, le Burkina Faso, le Cap-Vert, la Côte d'Ivoire, la Gambie, le Ghana, la Guinée, la Guinée-Bissau, le Liberia, le Mali, le Niger, le Nigeria, le Sénégal, la Sierra Leone et le Togo. Les données sont collectées dans chaque pays à la même période. L'étude considère cinq (5) variables à savoir trois intrants (capital, travail et énergie), un produit désirable (Produit intérieur brut) et un produit indésirable (émission de CO2). Les variables choisies sont décrites dans le tableau 1. Les données relatives à la consommation primaire d'énergie (en millions de tonnes d'équivalent pétrole)

et les émissions de CO<sub>2</sub> (millions de tonnes métriques) sont collectées à l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Le travail (en millions d'individus) est défini comme la population active économiquement à partir de l'âge de 15 ans.

TABLEAU 1: DESCRIPTION DES INDICATEURS ET DONNÉES CHOISIS

	Variables	Indicateurs	Unité	Sources
<b>Intrants</b>	Capital	Capital fixe brut	Millions de dollars américains en 20151	UNTACD
	Travail	Total travail	Millions d'individus	Banque Mondiale (WDI)
	Énergie	Totale consommation énergétique primaire	Millions de tonnes d'équivalent pétrole (Mtoe)	Agence Internationale de l'Énergie (AIE)
<b>Produit désirable</b>	Produit économique	Produit intérieur brut réel (PIB)	Millions de dollars américains en 2005	Banque Mondiale (WDI)
<b>Produit indésirable</b>	Produit environnemental	Émissions de CO <sub>2</sub>	Millions de tonnes métriques	Agence Internationale de l'Énergie (AIE)

Source: Auteurs

Les statistiques descriptives de toutes les variables apparaissent dans le tableau 2. En moyenne, le total de la consommation primaire d'énergie pendant la période de 1990-2013 pour tous les pays est d'environ 2,302 millions de tonnes d'équivalent pétrole (Mtoe) et les émissions de CO<sub>2</sub> sont d'environ 7,908 millions de tonnes métriques. Les pays consommant le plus d'énergie dans la région sont le Nigeria, le Ghana et la Côte d'Ivoire avec un niveau de consommation moyen de 22,433 Mtoe, 3,687 Mtoe et 2,698 Mtoe, respectivement. Ces pays sont aussi ceux qui émettent le plus de CO<sub>2</sub> avec un niveau de production de 91,718 MMT, 5,972 MMT et 5,875 MMT, respectivement. Les pays ayant un faible niveau de consommation primaire d'énergie sont le Cap-Vert, la Guinée Bissau, et la Gambie avec une valeur moyenne de 0,171 Mtoe, 0,120 Mtoe et 0,108 Mtoe respectivement. La quantité moyenne des émissions de CO<sub>2</sub> pour ces pays est de 0,220 MMT, 0,300 MMT et 0,366 MMT, respectivement.

Le PIB moyen pour tous les pays pendant la période de notre étude est de 14,965 millions de dollars américains (constant 2005). Le capital moyen est de 1,647 million de dollars américains (constant 2005) et le nombre moyen de la population active est de 5,666 millions

TABLEAU 2: STATISTIQUES DESCRIPTIVES DES VARIABLES DE PRODUIT ET D'INTRANT (1990-2013)

DMU	Pays	Capital	Travail	Énergie	PIB	CO <sub>2</sub>
1	Bénin	0,979	2,981	0,857	4,291	2,350
2	Burkina Faso	1,100	5,528	0,458	4,782	1,162
3	Cap-Vert	0,360	0,171	0,087	0,948	0,220
4	Côte d'Ivoire	3,366	6,348	2,698	16,705	5,875
5	Gambie	0,143	0,551	0,108	0,571	0,300
6	Ghana	3,571	8,558	3,687	16,054	5,972
7	Guinée	0,738	3,630	0,565	3,714	1,366
8	Guinée-Bissau	0,050	0,564	0,120	0,576	0,366
9	Liberia	0,130	1,021	0,179	0,608	0,504
10	Mali	1,179	3,569	0,308	6,099	0,625
11	Niger	0,727	3,948	0,421	3,170	1,029

DMU	Pays	Capital	Travail	Énergie	PIB	CO <sub>2</sub>
12	Nigeria	9,971	40,729	22,433	155,559	91,718
13	Sénégal	1,801	3,374	1,723	7,647	4,723
14	Sierra Leone	0,230	1,714	0,301	1,672	1,020
15	Togo	0,359	2,291	0,581	2,081	1,048
	<b>Max</b>	21,935	54,159	30,967	287,810	105,601
	<b>Min</b>	0,012	0,113	0,025	0,116	0,096
	<b>Moyenne</b>	<b>1,647</b>	<b>5,665</b>	<b>2,302</b>	<b>14,965</b>	<b>7,909</b>
	<b>Dév. Std</b>	3,153	9,854	5,567	41,724	22,633

Max: Maximum; Min: Minimum et Dév.std: Écart-type.

## 5. Résultats empiriques et analyse

Cette partie présente les résultats des scores de l'efficacité énergétique et l'analyse des scénarios AED de l'efficacité des ressources de 15 pays membres de la CEDEAO.

### 5.1. Résultats de l'efficacité énergétique

Les tableaux 3 et 4 ci-dessous montrent les résultats de l'efficacité énergétique avec et sans le produit indésirable par le biais des modèles AED standards et les modèles AED basés sur les écarts, respectivement. Le premier est calculé en utilisant l'énergie, le capital et le travail comme des intrants et le PIB comme l'unique produit, tandis que le second, en plus de ces variables précédentes, prend en compte les émissions de CO<sub>2</sub> comme produit indésirable. Le tableau 3 montre que pour tous les pays l'efficacité énergétique a changé au fil du temps. Les pays sont pleinement écoénergétiques avec un score équivalent à 1 pour très peu d'années et ils sont inefficaces pour les autres années. Aucun des pays n'a montré une évolution constante d'efficacité énergétique complète pendant la période de l'étude. Les résultats indiquent qu'en moyenne pendant la période de l'étude, le Bénin, la Guinée et le Sénégal, le Burkina Faso et la Gambie ont le meilleur d'efficacité en l'absence de la prise en compte des émissions de CO<sub>2</sub>, tandis que la Sierra Leone, le Togo, le Nigeria, le Mali et le Liberia sont les moins écoénergétiques (Fig.3). La moyenne la plus élevée du score de l'efficacité énergétique pendant la période de l'étude est de 0,98 (pour Bénin, Guinée et Sénégal). Le Mali et le Liberia présentent la plus faible moyenne des scores d'efficacité énergétique avec 0,78 et 0,69 respectivement.

TABLEAU 3: EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE SANS PRODUIT INDÉSIRABLE

Année	Bénin	Burkina Faso	Cap-Vert	Côte d'Ivoire	Gambie	Ghana	Guinée	Guinée-Bissau	Liberia	Mali	Niger	Nigeria	Sénégal	Sierra Leone	Togo
1990	1,00	1,00	0,93	1,00	0,97	0,80	1,00	0,90	0,76	0,61	1,00	0,66	0,95	1,00	1,00
1991	0,98	0,97	0,86	1,00	0,96	0,78	0,98	0,91	0,71	0,61	1,00	0,65	1,00	0,92	1,00
1992	0,94	0,97	0,87	1,00	0,95	0,86	0,96	0,92	0,49	0,71	1,00	0,65	0,93	0,93	0,99
1993	0,94	0,95	0,80	0,93	0,97	0,87	0,95	0,92	0,35	0,72	0,94	0,64	0,97	1,00	1,00
1994	0,94	0,86	0,72	0,90	0,98	0,83	0,94	0,93	0,34	0,72	0,91	0,64	1,00	0,99	0,97
1995	0,98	0,93	0,83	0,92	0,94	0,87	0,94	0,97	0,34	0,62	0,92	0,67	0,98	0,92	0,93

Année	Bénin	Burkina Faso	Cap-Vert	Côte d'Ivoire	Gambie	Ghana	Guinée	Guinée-Bissau	Liberia	Mali	Niger	Nigeria	Sénégal	Sierra Leone	Togo
1996	0,98	0,94	0,77	0,93	0,96	0,85	0,96	1,00	0,20	0,65	0,93	0,66	0,95	0,66	0,97
1997	0,98	0,83	0,87	0,96	1,00	0,86	0,97	1,00	0,38	0,67	0,92	0,66	0,93	0,91	1,00
1998	0,98	0,87	0,93	0,99	0,96	1,00	1,00	0,93	0,45	0,84	1,00	0,67	0,94	0,82	0,91
1999	0,99	0,93	0,92	0,97	1,00	1,00	0,99	1,00	0,52	0,87	1,00	0,67	0,94	1,00	0,94
2000	0,98	0,92	1,00	0,94	1,00	0,80	0,99	0,92	0,84	0,82	0,94	0,68	0,95	0,60	0,85
2001	0,99	0,98	1,00	1,00	0,98	0,84	1,00	0,93	1,00	0,80	0,94	1,00	1,00	0,59	0,82
2002	1,00	1,00	0,98	1,00	0,95	1,00	1,00	0,88	1,00	0,82	0,95	1,00	0,99	0,68	0,77
2003	0,98	0,99	1,00	0,94	0,94	1,00	1,00	0,84	0,85	0,82	0,98	1,00	0,99	0,71	0,77
2004	0,99	0,97	0,91	0,94	1,00	0,93	0,98	0,88	0,78	0,73	0,91	0,86	0,99	0,69	0,77
2005	0,99	0,96	0,97	0,93	0,97	0,96	0,98	0,90	0,65	0,74	0,94	0,84	1,00	0,99	0,75
2006	1,00	1,00	0,99	0,96	0,93	0,97	0,96	0,89	0,68	0,77	0,96	0,81	1,00	0,87	0,74
2007	0,98	0,99	0,96	0,93	0,92	1,00	0,99	0,88	0,71	0,79	0,95	0,93	1,00	1,00	0,76
2008	1,00	1,00	1,00	0,91	0,95	0,98	1,00	0,91	0,79	0,80	1,00	0,96	0,99	1,00	0,74
2009	0,98	0,98	0,99	0,94	0,98	1,00	0,97	0,90	0,89	0,84	0,90	1,00	1,00	0,97	0,73
2010	0,97	1,00	0,96	0,91	1,00	0,96	1,00	0,91	0,92	0,87	0,93	0,98	0,99	0,84	0,72
2011	0,97	1,00	0,98	1,00	0,94	1,00	0,99	0,96	0,95	0,92	0,92	1,00	0,96	0,88	0,73
2012	0,98	1,00	1,00	0,91	0,98	0,98	1,00	0,90	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	0,73
2013	1,00	1,00	1,00	0,94	0,97	1,00	0,91	1,00	1,00	1,00	0,97	1,00	0,99	1,00	0,75
Moyenne	0,98	0,96	0,93	0,95	0,96	0,92	0,98	0,92	0,69	0,78	0,95	0,82	0,98	0,87	0,85

Source: Calculs de l'auteur

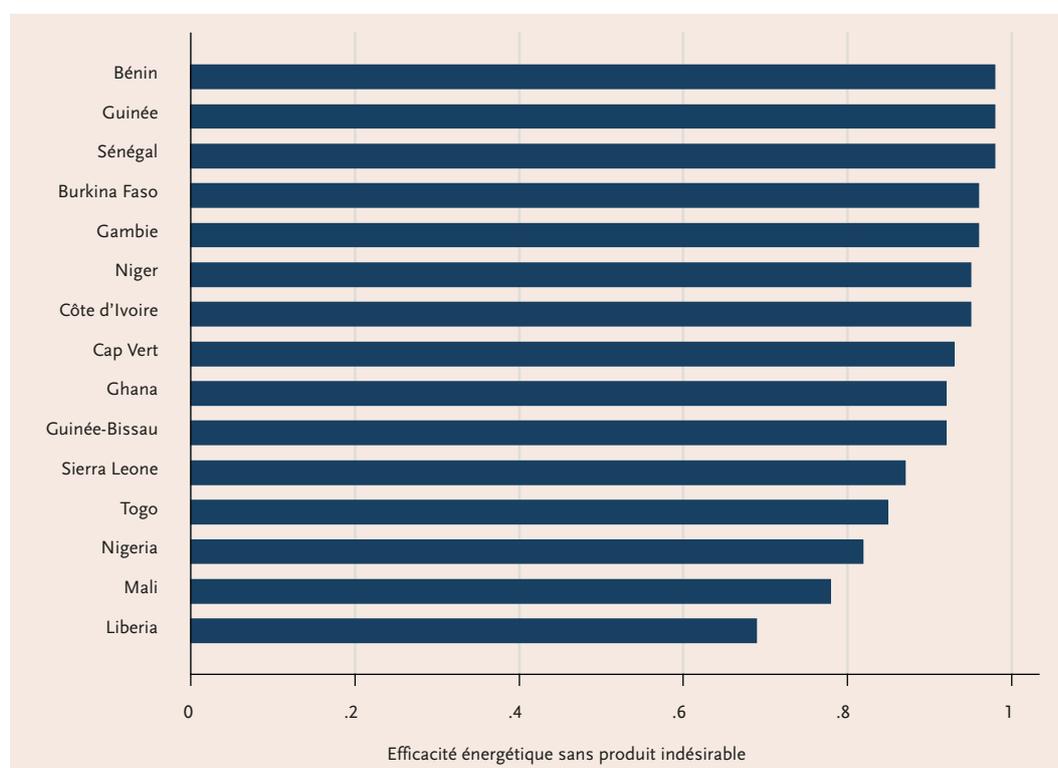


FIGURE 3: CLASSEMENT DU SCORE MOYEN D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (SANS PRODUIT INDÉSIRABLE) PAR PAYS PENDANT LA PÉRIODE 1990-2013W

Comme les résultats du tableau 3, ceux du tableau 4 montrent que pour tous les pays l'efficacité énergétique a changé au fil du temps. Les pays sont pleinement écoénergétiques avec un score équivalent à 1 pour très peu d'années et sont inefficaces pour les autres années. Les cinq premiers pays ayant un niveau élevé du résultat d'efficacité énergétique sont le Sénégal, le Niger, le Bénin, le Burkina Faso et le Ghana (Fig. 4). Le Nigeria, le Togo, le Mali et le Liberia restent les moins efficaces dans l'utilisation de l'énergie. Le Sénégal présente la moyenne la plus élevée du résultat d'efficacité énergétique pendant la période de l'étude avec une valeur de 0,92, pendant que le Mali et le Liberia présentent encore la plus faible moyenne d'efficacité énergétique avec une valeur de 0,68 et 0,65 respectivement.

En ce qui concerne les figures 2 et 3, nous constatons que certains pays ont évolué dans le classement de l'efficacité énergétique tandis que d'autres ont chuté si nous tenons compte du produit indésirable (émissions de CO<sub>2</sub>). Par exemple, le Sénégal est passé de la 3<sup>e</sup> place (score d'efficacité sans émissions de CO<sub>2</sub>) à la 1<sup>re</sup> place (score d'efficacité avec émissions de CO<sub>2</sub>). Le Niger est passé de la 6<sup>e</sup> place à la 2<sup>e</sup>. Le Ghana est passé de la 9<sup>e</sup> place à la 5<sup>e</sup>. Le Bénin a régressé de la 1<sup>re</sup> place à la 3<sup>e</sup>. La Guinée a régressé de 2<sup>e</sup> place à la 10<sup>e</sup>. Le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire ont maintenu la 4<sup>e</sup> et la 7<sup>e</sup> place en termes d'efficacité énergétique.

L'évolution inconstante des scores d'efficacité énergétique dans les pays peut être expliquée par le mode de consommation énergétique, l'instabilité de l'approvisionnement en énergie et l'utilisation inefficace des intrants (capital et travail). En effet, la consommation d'énergie dans la région est dominée par l'utilisation de la ressource énergétique basée sur la biomasse. Une croissance de la consommation de la biomasse génère plus de CO<sub>2</sub> et pollue l'environnement. Comme l'ont indiqué nos résultats, l'évaluation de l'efficacité énergétique sans tenir compte des émissions de CO<sub>2</sub> surestime les résultats d'efficacité. Des études préalables sur l'analyse d'efficacité énergétique n'ont pas montré ce résultat particulier en comparant l'efficacité énergétique sans produit indésirable et avec produit indésirable afin de montrer que les émissions de CO<sub>2</sub> réduisent l'efficacité énergétique. Cependant, ces études ont trouvé que les pays ou régions qui émettent le plus de CO<sub>2</sub> ne sont pas écoénergétiques (Bampatsou et al. 2013; Li et Wang, 2014; Wang et al. 2013).

TABLEAU 4: EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE AVEC PRODUIT INDÉSIRABLE

Année	Bénin	Burkina Faso	Cap-Vert	Côte d'Ivoire	Gambie	Ghana	Guinée	Guinée-Bissau	Liberia	Mali	Niger	Nigeria	Sénégal	Sierra Leone	Togo
1990	1,00	1,00	0,75	1,00	0,90	0,82	0,66	0,75	0,58	0,49	1,00	0,60	1,00	1,00	1,00
1991	0,95	0,90	0,64	1,00	0,88	0,82	0,66	0,77	0,71	0,49	1,00	0,57	1,00	0,85	1,00
1992	0,87	0,90	0,65	1,00	0,88	0,83	0,79	0,77	0,48	0,54	1,00	0,56	0,91	0,86	1,00
1993	0,89	0,88	0,65	0,89	0,93	0,86	0,81	0,82	0,33	0,55	0,89	0,56	0,89	1,00	1,00
1994	0,86	0,80	0,64	0,85	0,93	0,81	0,75	0,85	0,27	0,56	0,84	0,57	0,82	1,00	0,92
1995	0,93	0,85	0,70	0,85	0,89	0,84	0,81	0,92	0,26	0,53	0,87	0,57	0,82	0,89	0,91
1996	0,95	0,90	0,70	0,77	0,90	0,83	0,80	1,00	0,18	0,56	0,89	0,57	0,84	0,64	1,00
1997	0,96	0,73	0,77	0,84	1,00	0,86	0,81	1,00	0,32	0,57	0,89	0,59	0,92	0,65	1,00
1998	0,96	0,79	0,83	0,89	0,95	1,00	0,85	0,90	0,40	0,62	1,00	0,62	0,91	0,62	0,87
1999	0,97	0,87	0,86	0,77	1,00	1,00	1,00	1,00	0,46	0,64	1,00	0,63	0,92	1,00	0,80
2000	0,93	0,85	1,00	0,77	1,00	0,79	0,68	0,77	0,82	0,63	0,91	0,66	0,92	0,52	0,65
2001	0,95	0,96	1,00	1,00	0,94	0,83	0,71	0,79	1,00	0,68	0,91	1,00	0,96	0,56	0,73
2002	1,00	1,00	0,96	1,00	0,78	1,00	1,00	0,75	1,00	0,70	0,93	1,00	0,94	0,64	0,62
2003	0,90	1,00	1,00	0,81	0,79	0,98	0,90	0,73	0,82	0,76	0,98	1,00	1,00	0,67	0,52
2004	0,94	0,93	0,68	0,82	1,00	0,91	0,80	0,78	0,75	0,68	0,92	0,78	0,98	0,64	0,52
2005	0,99	1,00	0,80	0,80	0,91	0,95	0,84	0,82	0,67	0,66	0,95	0,71	1,00	0,94	0,51
2006	1,00	1,00	0,96	0,92	0,81	0,96	0,82	0,81	0,58	0,70	1,00	0,71	1,00	0,83	0,51

Année	Bénin	Burkina Faso	Cap-Vert	Côte d'Ivoire	Gambie	Ghana	Guinée	Guinée-Bissau	Liberia	Mali	Niger	Nigeria	Sénégal	Sierra Leone	Togo
2007	0,90	0,95	0,90	0,83	0,75	1,00	0,79	0,76	0,59	0,73	1,00	0,86	1,00	1,00	0,50
2008	1,00	1,00	1,00	0,76	0,84	0,96	0,81	0,79	0,65	0,72	1,00	0,89	0,98	1,00	0,55
2009	0,84	0,89	0,91	0,81	0,92	1,00	0,89	0,81	0,83	0,79	0,90	1,00	1,00	0,92	0,61
2010	0,74	0,98	0,84	0,78	1,00	0,93	0,88	0,83	0,90	0,83	0,89	0,95	0,98	1,00	0,49
2011	0,75	1,00	0,87	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	0,91	1,00	0,91	1,00	0,95	0,76	0,56
2012	0,86	1,00	1,00	0,84	0,90	1,00	1,00	0,79	1,00	1,00	1,00	0,97	0,96	1,00	0,54
2013	1,00	1,00	1,00	0,79	0,92	1,00	0,77	1,00	1,00	1,00	0,79	1,00	1,00	1,00	0,54
Moyenne	0,92	0,92	0,84	0,87	0,90	0,92	0,83	0,84	0,65	0,68	0,93	0,76	0,94	0,83	0,72

Source: Calculs de l'auteur

En outre, hormis la Côte d'Ivoire, le Ghana, et le Nigeria, les pays de la région de l'Afrique occidentale sont en grande partie des importateurs d'énergie. Les problèmes d'approvisionnement en combustible et en pétrole, le dysfonctionnement et l'obsolescence des équipements et des infrastructures énergétiques, les contraintes de capacité dans les pays voisins exportateurs d'énergie, les crises politiques et les guerres civiles ont limité la disponibilité continue de l'énergie nécessaire pour appuyer les activités économiques. Par conséquent, tous ces facteurs ont réduit la consommation énergétique pendant certaines périodes. Une autre raison est que l'insuffisance et l'inadéquation des investissements en capital physique et humain sont associées à la faiblesse de la consommation énergétique moderne et de l'accès à l'énergie. Tout cela affecte les possibilités de croissance économique dans ces pays. Comme l'a dit Schultz (1961): «la capacité d'absorber le capital physique peut dépendre des investissements dans le capital humain.» Nous verrons dans la sous-partie suivante, à travers les modèles de scénarios AED, comment l'utilisation inefficace des ressources de l'économie conduit aux déficits dans le Produit intérieur brut (PIB).

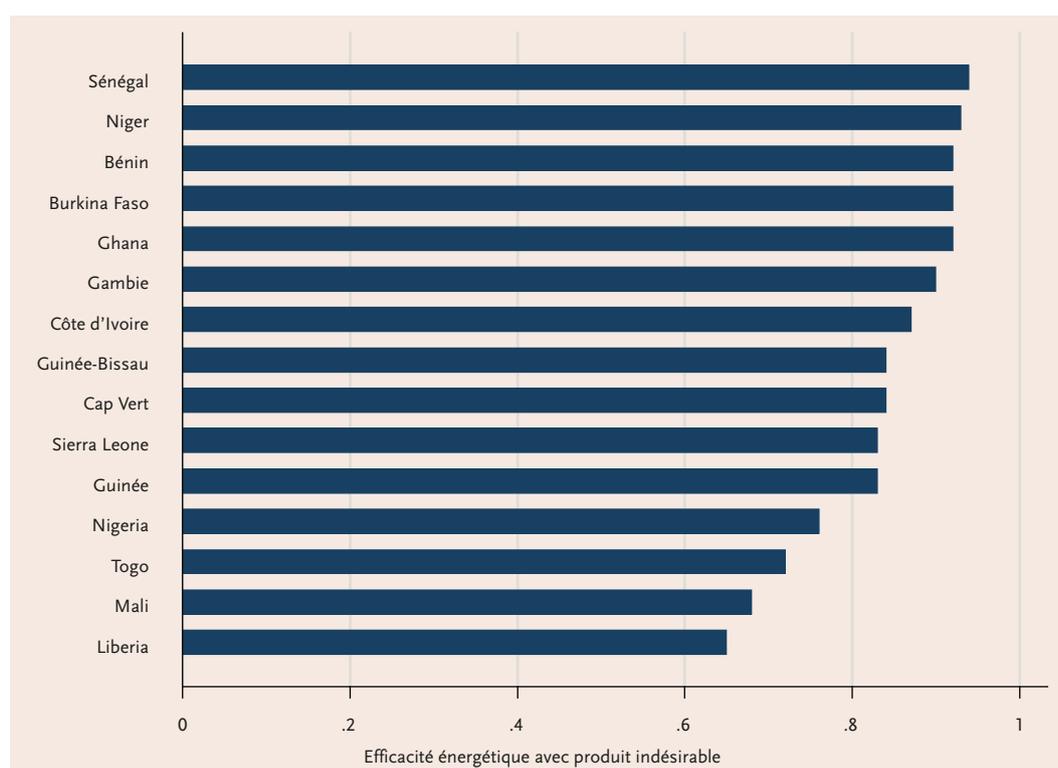


FIGURE 4: CLASSEMENT DU SCORE MOYEN D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE (AVEC PRODUIT INDÉSIRABLE) PAR PAYS PENDANT LA PÉRIODE DE 1990-2013

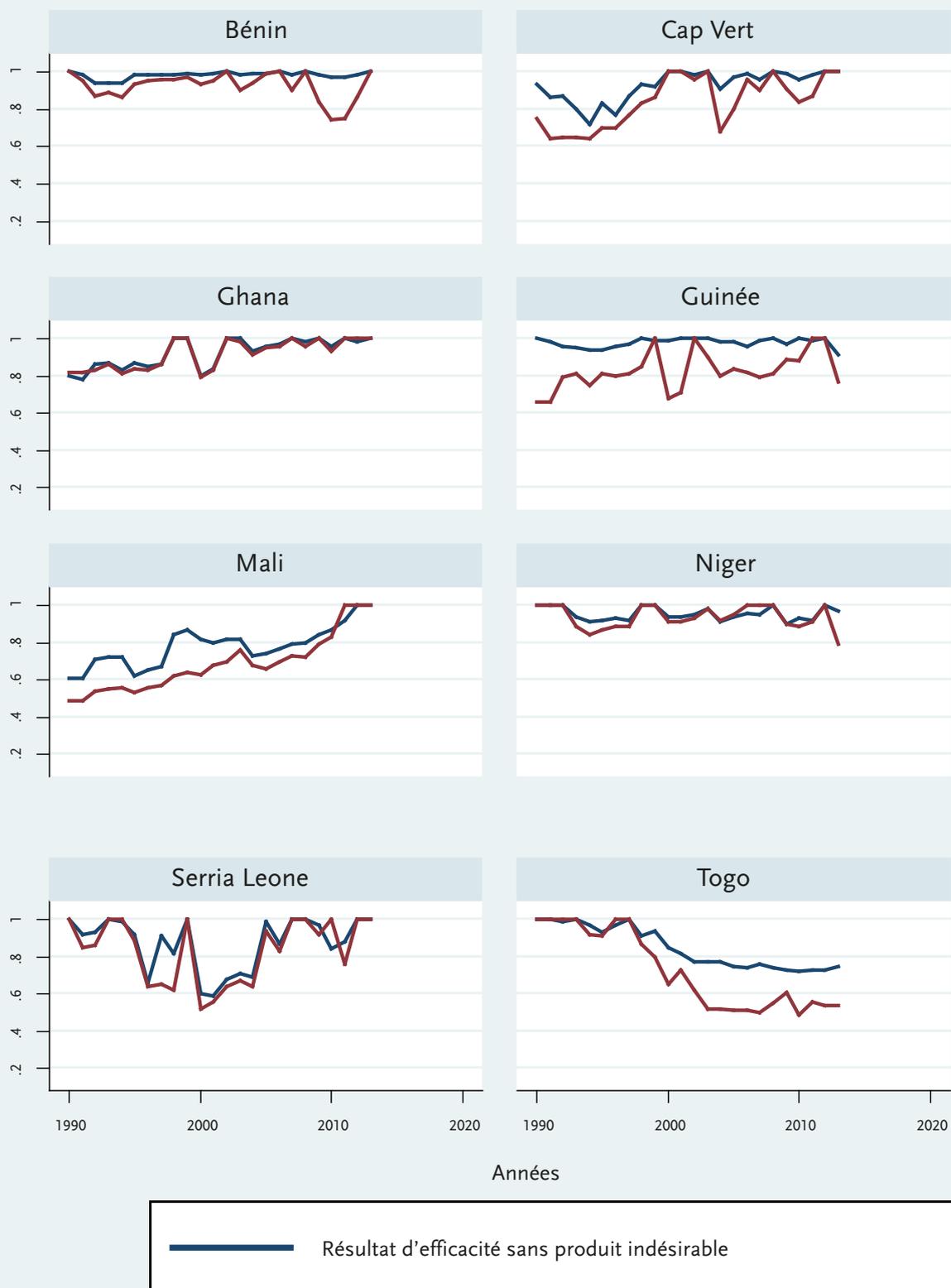
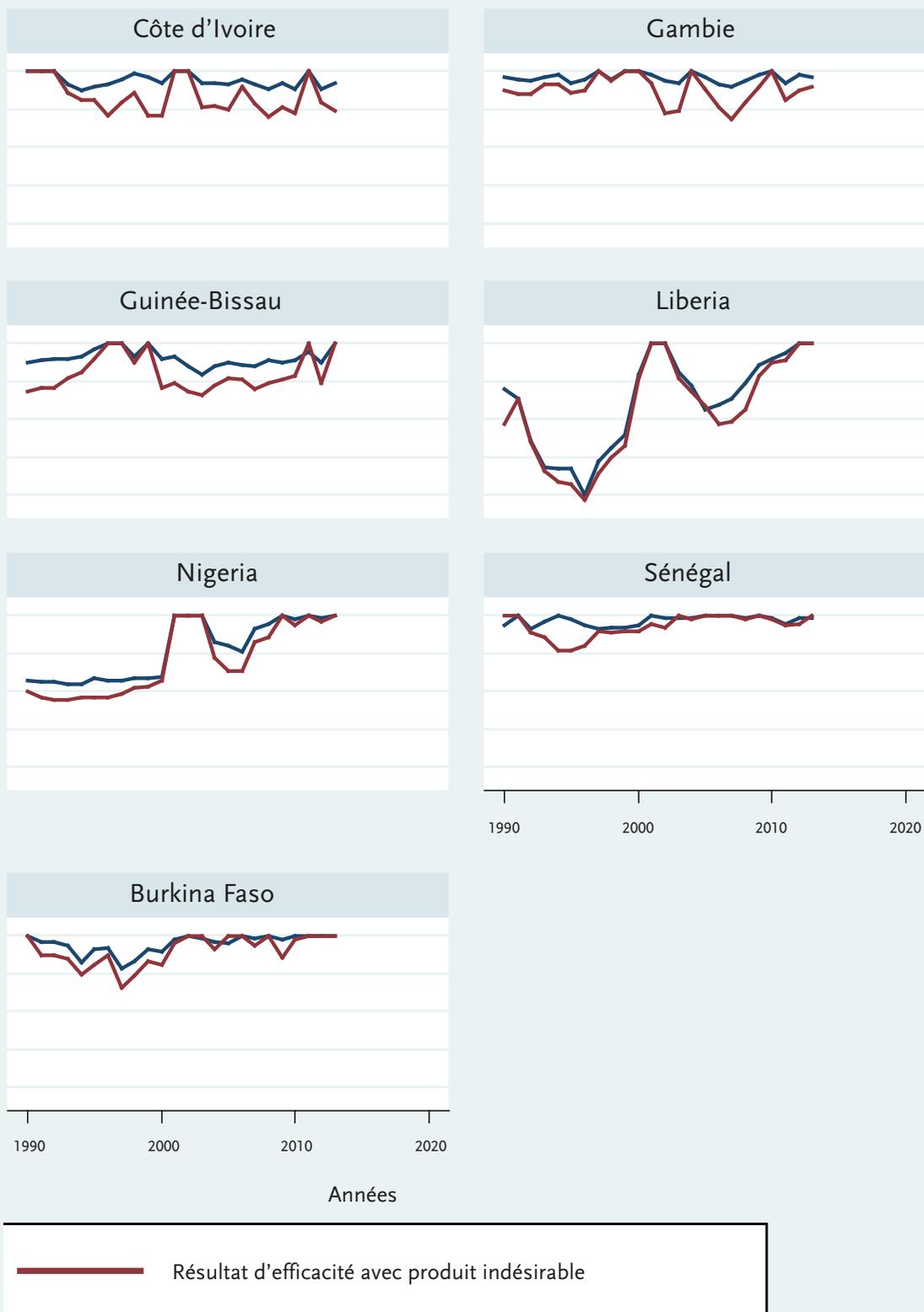


FIGURE 5: ÉVOLUTION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE AVEC ET SANS ÉMISSIONS DE CO2 DANS LES PAYS DE LA CEDEAO PENDANT LA PÉRIODE DE 1990-2013



Nous constatons que les scores de l'efficacité énergétique sans le produit indésirable sont supérieurs ou égaux aux scores de l'efficacité énergétique avec le produit indésirable dans tous les pays pendant la période de l'étude (Fig.4). En effet, les modèles standards AED (CCR et BCC) mesurent l'efficacité technique en termes de contraction radiale maximale à ses niveaux d'intrant (orientation vers l'intrant) ou le foisonnement vers ses niveaux de produits sous la faisabilité sous le fonctionnement efficace (orientation vers le produit). Contrairement aux modèles AED standards qui sont basés sur la réduction proportionnelle des intrants ou l'augmentation des produits, les modèles basés sur les écarts traitent directement des excès d'intrants et des insuffisances de produits dans la mesure du score d'efficacité (Tone, 2001). Ils fournissent une mesure pure du score de l'efficacité technique et pourraient tenir compte du produit indésirable.

Ces résultats confirment l'importance de la prise en compte de l'impact négatif de la consommation d'énergie lors de l'analyse de l'efficacité énergétique. L'efficacité énergétique ne dépend pas seulement de l'optimisation des facteurs totaux de production pour réaliser une bonne performance économique, mais aussi de la réduction importante des émissions de CO<sub>2</sub>. Ces résultats démontrent qu'une meilleure évaluation de l'efficacité énergétique ne devrait pas négliger les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'analyse afin de montrer l'efficacité environnementale dans la consommation d'énergie.

## 5.2. Efficacité des ressources

Dans cette partie, nous analysons l'efficacité des ressources en utilisant les écarts d'intrants (énergie, capital et travail) les écarts du produit indésirable (émissions de CO<sub>2</sub>) et les écarts du produit désirable (PIB). Les écarts d'intrant et du produit indésirable sont définis comme des excès (s) et les écarts du produit désirable sont définis comme l'insuffisance (s<sup>+</sup>). Nous estimons les écarts suivant trois objectifs qu'une économie doit établir compte tenu de la gestion des ressources (énergie, capital et travail) pour réaliser une bonne performance économique. Les objectifs sont définis par les scénarios suivants:

**Scénario-1:** L'économie veut utiliser moins d'énergie pour un niveau de PIB et de capital et de main-d'œuvre disponible;

**Scénario-2:** L'économie veut réaliser un niveau maximum de PIB pour une quantité donnée d'énergie, de capital et de main-d'œuvre disponible.

**Scénario-3:** L'économie veut utiliser moins d'énergie tout en maximisant le PIB et en réduisant les émissions de CO<sub>2</sub> compte tenu de la disponibilité du capital et du travail.

Les résultats présentés dans le tableau 5 montrent que les excès d'énergie, de capital et de travail et de CO<sub>2</sub> sont plus faibles dans les scénarios 1 et 2 et les insuffisances dans le PIB sont nulles. Cependant, les excès d'intrants et de CO<sub>2</sub> et l'insuffisance sont plus élevés dans le scénario 3. Ce scénario basé sur le modèle AED basé sur les écarts permet de voir la proportion des pertes générées dans l'utilisation des ressources et la performance économique qui pourrait être réalisé si les ressources étaient efficacement utilisées. Les excès dans l'utilisation de l'énergie sont plus élevés au Togo (39,9%) en Guinée (22,4%), au Bénin (15,4%), au Mali (14,9%) et au Cap-Vert (13,7%). Les pays ayant le moins d'excès dans l'utilisation de l'énergie sont le Burkina Faso (5,6%), la Côte d'Ivoire (5,6%), le Sénégal (6,6%) et le Ghana (6,9%). Les pays ayant le plus d'excès dans l'utilisation de l'énergie sont ceux ayant le plus d'excès en émission de CO<sub>2</sub> : Le Togo (58,1%), la Guinée (24,9%), le Mali (22,2%), le Cap-Vert (21,8%) et le Bénin (17,5%). Le Ghana, la Côte d'Ivoire, le Burkina Faso, le Niger et le Sénégal ont montré de faibles excès en émission de CO<sub>2</sub> avec 2,8%, 5,2%, 7,4%, 7,5% et 7,6%, respectivement. Les pays ayant le plus d'insuffisance dans le PIB sont: Le Liberia (25,6%), suivi du Mali (20,8%), du Nigeria (8,9%), de la Sierra Leone (8,7%), de la Guinée (8,7%) et du Togo (8,6%). Le Bénin, le Sénégal, la Gambie, le Ghana et la Côte d'Ivoire ont une faible proportion en termes d'insuffisance du PIB avec 0,04%, 0,06%, 0,17%, 0,40% et 0,92%, respectivement.

TABLEAU 5: ÉCARTS INTRANTS, ÉCARTS PRODUITS ET PROJECTION DE PIB

<b>Bénin</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	0,857	0,979	2,981	2,350	4,291
Scénario 1	0,031 (3,61%)	0,014 (1,37%)	0 (0%)		0 (0%)
Scénario 2	0,023 (2,74%)	0,015 (1,52%)	0 (0%)		0 (0%)
Scénario 3	0,132 (15,4%)	0,041 (4,18%)	0 (0%)	0,413 (17,57%)	0,002 (0,04%)
<b>Burkina Faso</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	0,458	1,100	5,528	1,162	4,782
Scénario 1	0,007 (1,52%)	0,001 (0,09%)	0,128 (2,31%)		0 (0%)
Scénario 2	0,008 (1,74%)	0,001 (0,09%)	0,135 (12,27%)		0 (0%)
Scénario 3	0,025 (5,67%)	0,008 (0,72%)	0,385 (6,94%)	0,086 (7,40%)	0,05 (1,10%)
<b>Cap-Vert</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	0,087	0,360	0,171	0,220	0,948
Scénario 1	0,0002 (0,23%)	0,005 (1,38%)	0,004 (2,33%)		0 (0%)
Scénario 2	0,0003 (0,34%)	0,005 (1,38%)	0,004 (2,33%)		0 (0%)
Scénario 3	0,012 (13,79%)	0,014 (3,88%)	0,008 (4,67%)	0,048 (21,81%)	0,021 (2,21%)
<b>Côte d'Ivoire</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	2,698	3,366	6,348	5,875	16,705
Scénario 1	0,071 (2,63%)	0,465 (13,81)	0,001 (0,01%)		0 (0%)
Scénario 2	0,075 (2,77%)	0,481 (14,28%)	0,001 (0,01%)		0 (0%)
Scénario 3	0,153 (5,67%)	1,209 (35,91%)	0,078 (1,22%)	0,308 (5,24%)	0,154 (0,92%)
<b>Gambie</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	0,108	0,143	0,551	0,300	0,571
Scénario 1	0 (0%)	0,012 (8,39%)	0 (0%)		0 (0%)
Scénario 2	0 (0%)	0,013 (9,09%)	0 (0%)		0 (0%)
Scénario 3	0,009 (8,33%)	0,032 (22,37%)	0,0001 (0,01%)	0,029 (9,66%)	0,001 (0,17%)

<b>Ghana</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	3,687	3,571	8,558	5,972	16,054
Scénario 1	0,033 (0,89%)	0,024 (0,67%)	0 (0%)		0 (0%)
Scénario 2	0,038 (1,03%)	0,024 (0,67%)	0 (0%)		0 (0%)
Scénario 3	0,257 (6,97%)	0,424 (11,87%)	0,062 (0,72%)	0,168 (2,81%)	0,065 (0,40%)
<b>Guinée</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	0,565	0,738	3,630	1,366	3,714
Scénario 1	0,003 (0,53%)	0 (0%)	0,001 (0,02%)		0 (0%)
Scénario 2	0,003 (0,53%)	0 (0%)	0,001 (0,02%)		0 (0%)
Scénario 3	0,127 (22,47%)	0,144 (19,51%)	0,410 (11,29%)	0,341 (24,96%)	0,325 (8,75%)
<b>Guinée-Bissau</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	0,120	0,050	0,564	0,366	0,576
Scénario 1	0,006 (5%)	0,002 (4%)	0,0005 (0,08%)		0 (0%)
Scénario 2	0,007 (5,83%)	0,002 (4%)	0,0006 (0,10%)		0 (0%)
Scénario 3	0,01 (8,33%)	0,017 (34%)	0,0008 (0,14%)	0,040 (10,92%)	0,023 (3,99%)
<b>Liberia</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	0,179	0,130	1,021	0,504	0,608
Scénario 1	0,004 (2,23%)	0,003 (2,30%)	0,013 (1,27%)		0 (0%)
Scénario 2	0,007 (3,91%)	0,004 (3,07%)	0,024 (2,35%)		0 (0%)
Scénario 3	0,015 (8,37%)	0,039 (30%)	0,043 (4,21%)	0,048 (9,52%)	0,156 (25,65%)
<b>Mali</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	0,308	1,179	3,569	0,625	6,099
Scénario 1	0,026 (8,44%)	0,081 (6,87%)	0,165 (4,62%)		0 (0%)
Scénario 2	0,036 (11,68%)	0,094 (7,97%)	0,251 (7,03%)		0 (0%)
Scénario 3	0,046 (14,93%)	0,092 (7,80%)	0,234 (6,55%)	0,139 (22,24%)	1,2689 (20,80%)

<b>Niger</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	0,421	0,727	3,948	1,029	3,170
Scénario 1	0 (0%)	0,038 (5,22%)	0,004 (0,10%)		0 (0%)
Scénario 2	0 (0%)	0,040 (5,50%)	0,005 (0,12%)		0 (0%)
Scénario 3	0,033 (7,83%)	0,046 (6,32%)	0,069 (1,74%)	0,078 (7,58%)	0,032 (1,01%)
<b>Nigeria</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	22,433	9,971	10,729	91,718	155,159
Scénario 1	0,243 (1,08%)	0,094 (0,94%)	0,020 (0,18%)		0 (0%)
Scénario 2	0,334 (1,48%)	0,096 (0,96%)	0,030 (0,28%)		0 (0%)
Scénario 3	1,875 (8,35%)	2,037 (20,42%)	1,398 (13,03%)	14,314 (15,62%)	13,925 (8,97%)
<b>Sénégal</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	1,723	1,801	3,374	4,723	7,647
Scénario 1	0,004 (0,23%)	0,178 (9,88%)	0 (0%)		0 (0%)
Scénario 2	0,004 (0,23%)	0,180 (9,99%)	0 (0%)		0 (0%)
Scénario 3	0,117 (6,67%)	0,048 (2,66%)	0,004 (0,11%)	0,362 (7,66%)	0,005 (0,06%)
<b>Sierra Leone</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	0,301	0,230	1,714	1,020	1,672
Scénario 1	0,006 (1,99%)	0,012 (5,21%)	0,005 (0,29%)		0 (0%)
Scénario 2	0,008 (2,67%)	0,014 (6,08%)	0,005 (0,29%)		0 (0%)
Scénario 3	0,029 (9,63%)	0,033 (14,34%)	0,089 (10,42%)	0,102 (10%)	0,147 (8,79%)
<b>Togo</b>					
Scénarios	Énergie s-	Capital s-	Travail s-	CO2 s-	PIB s+
Moyenne	0,581	0,359	2,291	1,048	2,081
Scénario 1	0,103 (17,72%)	0 (0%)	0 (0%)		0 (0%)
Scénario 2	0,135 (23,23%)	0 (0%)	0 (0%)		0 (0%)
Scénario 3	0,232 (39,93%)	0,141 (39,27%)	0,003 (0,13%)	0,609 (58,11%)	0,180 (8,65%)

Source: Calculs de l'auteur

## 6. Conclusion et recommandation politique

Dans cette étude, nous avons examiné les facteurs totaux d'efficacité énergétique dans les quinze économies de l'Afrique occidentale pendant la période de 1990-2013. Nous avons employé les modèles AED standards et les modèles AED basés sur les écarts pour estimer les résultats de l'efficacité énergétique respectivement avec le produit indésirable (émissions de CO<sub>2</sub>) et sans le produit indésirable. Nous considérons le capital, le travail et la consommation d'énergie primaire comme des intrants, les émissions de CO<sub>2</sub> comme le produit indésirable et le Produit intérieur brut comme le produit désirable. L'efficacité énergétique s'effectue en deux phases: dans la première phase, les résultats d'efficacité étaient estimés et dans la seconde nous avons calculé les écarts d'intrants et de produits compte tenu de l'objectif qu'une économie peut fixer concernant l'utilisation de l'énergie.

Le Bénin, la Guinée et le Sénégal, le Burkina Faso et la Gambie étaient les plus efficaces si les émissions de CO<sub>2</sub> ne sont pas prises en compte dans le modèle AED. La Sierra Leone, le Togo, le Nigeria, le Mali et le Liberia sont les moins écoénergétiques. Cependant, le classement des pays a changé lorsque les émissions de CO<sub>2</sub> sont intégrées dans le modèle AED basé sur les écarts. Le Sénégal, le Niger, le Bénin, le Burkina Faso, et le Ghana sont devenus les plus efficaces alors que le Nigeria, le Togo, le Mali et le Liberia demeuraient les moins efficaces. Pour tous les pays, l'efficacité énergétique a changé au fil du temps. Aucun des pays n'a montré une évolution constante d'efficacité énergétique complète pendant la période de l'étude. L'inefficacité énergétique et l'inconstance de l'évolution s'expliquent par des facteurs tels: les problèmes de combustible et de pétrole, le dysfonctionnement et l'obsolescence des équipements et des infrastructures énergétiques, les contraintes de capacité dans les pays voisins exportateurs d'énergie, les crises politiques et les guerres civiles. Tous ces facteurs limitaient la disponibilité continue de l'énergie nécessaire à l'appui des activités économiques. En nous basant sur les scénarios d'AED, nous avons trouvé que tous les pays génèrent des excès dans l'utilisation de l'énergie causant une insuffisance dans le PIB. Le modèle AED basé sur les écarts souligne que si les pays réduisent les excès d'utilisation d'énergie et de CO<sub>2</sub> ainsi que l'utilisation efficace du capital et du travail, ils auraient augmenté le Produit intérieur brut.

Les leçons politiques qui pourraient être tirées de cette étude seraient que les pays devraient diminuer la consommation énergétique provenant de la biomasse et des combustibles fossiles et mieux développer les énergies renouvelables afin d'améliorer l'efficacité énergétique. Les pays ont un potentiel dans l'énergie de la biomasse qui peut être utilisée pour produire de l'énergie renouvelable. Les politiques énergétiques qui encouragent la production d'une énergie secondaire provenant de la biomasse peuvent augmenter la disponibilité de l'énergie propre et favoriser une croissance durable.

## Références

- Bampatsou, C., Papadopoulos, S., Zervas, E., 2013. Technical efficiency of economic systems of EU-15 countries based on energy consumption. *Energy Policy* 55, 426-434.
- Camio, F.C., Rebelatto, D.A.D.N., Rocha, T., 2016. Energy efficiency analysis of BRICS countries: a study using Data Envelopment Analysis. *Gest. Prod., São Carlos* 23, 192-203.
- Charnes, A., Cooper W.W., Rhodes, E., 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2, 429-444.
- Charnes, A., Cooper, W.W., 1962. Programming with linear fractional functionals. *Naval Research logistics quarterly* 9(3-4), 181-186.
- Charnes, A., Cooper, W.W., 1985. Preface to topics in data envelopment analysis. *Annals of Operation Research* 2, 59-94.

- Chien, T., Hu, J.L., 2007. Renewable energy and macroeconomic efficiency of OECD and non-OECD economies. *Energy Policy* 35, 3606-3615.
- Debreu, G., 1951. The coefficient of resource utilization. *Econometrica* 19, 273-290.
- Dogan, N.O., Tugcu, C.T., 2015. Energy efficiency in electricity production: a data envelopment analysis (DEA) approach for the G-20 countries. *International Journal of Energy Economics and Policy* 5, 246-252.
- Esso, L.J., 2010. Threshold cointegration and causality relationship between energy use and growth in seven African countries. *Energy Economics* 32, 1383-1391.
- Esso, L.J., Keho, Y., 2016. Energy consumption, economic growth and carbon emissions: Cointegration and causality evidence from selected African countries. *Energy* 114, 492-497.
- Fare, F., Grosskopf, S., Tyteca, D., 1996. An activity analysis model of the environmental performance of firms – application to fossil-fuel-fired electric utilities. *Econological Economics* 18, 161-175.
- Fare, R., Grosskopf, S., Lovell, K., Pasurka, C., 1989. Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: A nonparametric approach. *The Review of Economics and Statistics* 71 (1).
- Farrell, M.J., 1957. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society* 120, 253-290.
- Honma, S., Hu, J.L., 2009. Total-factor energy productivity growth of region in Japan. *Energy Policy* 37, 3941-3950.
- Hu, J.L., Wang S.C., 2006. Total-factor energy efficiency of regions in China. *Energy Policy* 34, 3206-3217.
- IEA, International Energy Agency, online version.
- Koopmans, T. C., 1951. An analysis of production as an efficient combination of activities', in: Koopmans, T. C. (Eds), *Activity Analysis of Production and Allocation*. Proceeding of a Conference, pp.33-97, John Wiley and Sons Inc., London.
- Korhonen, P., Luptacik, M., 2004. Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research* 154, 437-446.
- Ouédraogo, I.M., 2010. Electricity consumption and economic growth in Burkina Faso: A cointegration analysis. *Energy Economics* 32, 524-531.
- Schultz, T.W., 1961. Investment in Human Capital. *The American Economic Review* 51, 1-17.
- Seiford, L.M., Zhu, J., 2002. Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research* 142, 16-20.
- Tone, K., 2001. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research* 130, 498-509.
- Tyteca, D., 1996. On the measurement of the environmental performance of firms-a literature review and a productive efficiency perspective. *Journal of Environmental Management* 46, 281-308.
- Vlahinić-Dizdarević, N., Šegota, A., 2012. Total-factor energy efficiency in the EU countries. *Zb rad Ekon fak Rij* 30, 247-265.
- World Bank, World Development Indicators, online version.
- Yang, H., Pollitt, M., 2007. Distinguish weak and strong disposability among undesirable outputs in DEA: The example of the environmental efficiency of chinese coal-fired power plants. Working Paper No. CWPE0741 and EPRG0717, Cambridge University, UK.
- Yang, H., Pollitt, M., 2009. Incorporating both undesirable outputs and uncontrollable variables into DEA: The performance of Chinese coal-fired power plants. *European Journal of Operational Research* 197, 1095-1105.
- Zhang, X.P., Cheng, X.M., Yuan, J.H., Gao, X.J., 2011. Total-factor energy efficiency in developing countries. *Energy Policy* 39, 644-650.
- Zhou, P., Ang, B.W., 2008. Linear programming models for measuring economy wide energy efficiency performance. *Energy Policy* 36, 2911-2916.



# Facteurs influant l'utilisation de la biomasse agricole non alimentaire pour la production d'énergie renouvelable : L'analyse des acteurs en Gambie, Afrique occidentale

OLAWALE FESTUS OLANIYAN<sup>a1</sup>, PULO TAAL<sup>b</sup>, AJI AWA KARA<sup>c</sup>,  
ADEWALE ADEKUNLE<sup>d</sup>, ET KEMO CEESAY<sup>e</sup>

## Résumé

Le déséquilibre entre la production et la consommation énergétique dans certains pays en développement contribue à la faiblesse de leur développement économique. Dans cet article, un nouveau modèle d'acceptation de la bioénergie comportant six constructions et 52 éléments était testé en choisissant la Gambie pour une étude de cas. Les facteurs non corrélés dans chaque construction étaient obtenus par l'Analyse en composantes principales. Ils étaient testés par rapport aux variables démographiques des répondants comme l'âge, le genre, la religion, le niveau d'éducation et l'institution en utilisant le chi carré de Pearson. Onze (11) facteurs principaux influant sur l'utilisation de la biomasse agricole non alimentaire pour la production bioénergétique étaient identifiés. Ils étaient désignés comme étant des matières premières, des facteurs technologiques, sociaux, institutionnels, déterminants, motivants, environnementaux, transversaux, comparatifs, économiques et d'induction. Plusieurs acteurs clés sont impliqués dans le secteur énergétique de la Gambie, mais certains diffèrent de par leurs rôles essentiels. Une relation importante ( $p < 0.05$ ) entre le genre des acteurs et les facteurs sociaux et aussi entre les groupes d'âge des acteurs et les facteurs comme la technologie et la relativité étaient analysés. Il n'existait pas de relation importante ( $p > 0.05$ ) entre tous les facteurs identifiés et les institutions des acteurs classées comme des secteurs étatiques et publics, des secteurs privés, des institutions universitaires et de recherche, des organisations internationales, des organisations non gouvernementales, des agriculteurs et des

---

a Centre international de trypanotolérance et Université de Gambie; ofolaniyan@hotmail.com; +2203701318

b Ministère du pétrole et de l'énergie, Gambie; ptaal12@googlemail.com; +2207555550

c Agence nationale de l'environnement, Gambie; aakaira@yahoo.com; +2203222333

d Forum mondial pour la recherche agricole, Italie; w.adekunle@gmail.com; +393510439913

Ministère du pétrole et de l'énergie, Gambie; kceesay@gmail.com; +2207990070

1 Auteur correspondant

### Remerciement

Ce projet de recherche est financé dans le cadre du programme de subventions de recherche du Centre pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (ECREEE) de la CEDEAO, dans le cadre de l'Initiative de la CEDEAO sur le développement du leadership des jeunes en énergie. Merci aux vérificateurs.

résidents ruraux. Les opinions divergent entre les acteurs concernant l'utilisation de la biomasse agricole non alimentaire pour la production d'énergie renouvelable. Les informations obtenues de cette étude sont pertinentes pour les pays en développement en termes d'élaboration de politiques et de projets basés sur les preuves relativement à la bioénergie.

**MOTS CLÉS:** MODÈLE D'ACCEPTATION DE LA BIOÉNERGIE, BIOMASSE AGRICOLE, ÉNERGIE RENOUVELABLE, GAMBIE, FACTEUR, PARTIES PRENANTES

## 1. Introduction

Le déficit énergétique existe toujours dans plusieurs pays africains en développement. Amigun et al. (2008) ont indiqué que près de 70% des pays africains s'approvisionnent en énergie grâce à l'importation. Ces insuffisances dans la production et la consommation énergétique des pays en développement contribuent à la faiblesse de leur développement économique. La réalisation des objectifs de développement social, économique et industriel des pays d'Afrique occidentale comme la Gambie est toujours entravée par le déficit énergétique, la faiblesse des cadres réglementaires pour l'exploration de sources alternatives de production d'énergie et le changement climatique (EREP, 2012; Ouedraogo, 2013). En outre, la forte dépendance sur les combustibles fossiles conventionnels pour la production d'énergie prédispose souvent les consommateurs de ces pays à des fluctuations tarifaires. Par conséquent, il y a un besoin d'actions urgentes pour réduire l'importation des combustibles en explorant des sources renouvelables alternatives (Amigun et al., 2011). Également, l'inadéquation en termes de disponibilité et d'accessibilité aux sources énergétiques fiables dans les pays africains a mené à des problèmes sanitaires et environnementaux comme la déforestation (Amigun et al., 2011; Brew-Hammond, 2010). Il est donc important pour les gouvernements d'explorer des formes alternatives de production d'énergie y compris l'utilisation de la biomasse agricole non alimentaire comme une source bioénergétique.

La biomasse agricole reste l'une des sources d'énergie renouvelable les plus prometteuses pour la cuisson et le chauffage dans les pays en développement (Field et al., 2008; Mohammed et al., 2013; Ozturk & Bascetincelik, 2006). Selon Saidur et al. (2011), la biomasse provenant des cultures et des déchets fait partie des sources d'énergie primitives. Diverses matières de la biomasse utilisables pour la production d'énergie étaient minutieusement décrites par Amigun et al. (2010), Brew-Hammond (2010) et Saidur et al. (2011). La biomasse disponible au niveau local incluant les résidus agricoles représentait plus de 75% de l'énergie utilisée dans les pays d'Afrique occidentale (Ouedraogo, 2013). Avec un puissant système de production agricole, jusqu'à 45% de l'ensemble des terres arables peuvent encore être utilisées pour la production de la biomasse (Wolf et al., 2003). La conversion de la biomasse pour renforcer la sécurité énergétique dans les zones rurales et périurbaines de l'Afrique occidentale où persiste encore l'insuffisance énergétique a déjà été enregistrée par (Amigun et al., 2012; Bensah & Brew-Hammond, 2010; Brew-Hammond, 2010; Mohammed et al., 2013). Cependant, seulement peu d'études ont examiné les facteurs affectant l'utilisation de la biomasse agricole sous l'angle des acteurs. Les acteurs, dans ce contexte, renvoient aux personnes ou groupes indépendants intéressés par l'utilisation de la biomasse agricole non alimentaire pour produire de l'énergie renouvelable. Ils incluent les secteurs gouvernementaux et publics, les secteurs privés, les institutions universitaires et de recherche, les organisations internationales de financement, les organisations d'agriculteurs et les organisations non gouvernementales.

À cause de la combinaison de plusieurs facteurs, les avantages de la biomasse agricole en tant que source potentielle d'énergie renouvelable n'ont pas encore été complètement réalisés dans les pays membres de la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) comme la Gambie. Certaines de ces raisons comprennent la mobilisation insuffisante des fonds (Brew-Hammond, 2010), l'insuffisance de politiques pour soutenir la production énergétique (Amigun et al., 2011), l'insuffisance de sensibilisation sur les énergies renouvelables alternatives (Arthur et al., 2011) et l'accès inadéquat aux services énergétiques modernes (Ouedraogo, 2013). Cette

compréhension a poussé la CEDEAO et ses partenaires à encourager les États membres à développer une politique nationale et un cadre institutionnel favorable pour la production et l'utilisation durable des énergies renouvelables (EREP, 2012). Pendant ce temps, l'énergie renouvelable basée sur la biomasse agricole fait partie des alternatives qui pourraient être explorées dans le but d'atteindre les objectifs de l'Énergie durable pour tous à l'horizon 2030. La réalisation de ces objectifs fait appel à l'engagement des acteurs dans l'identification des facteurs et des alternatives de la biomasse agricole non alimentaire qui pourrait renforcer ou encore limiter la production et l'utilisation durable de l'énergie renouvelable.

Cette étude est de nature exploratoire et elle se concentre sur la possibilité d'utiliser la biomasse agricole non alimentaire comme une source bioénergétique. La biomasse agricole non alimentaire comme les résidus agricoles d'après récolte, les produits forestiers, les cultures énergétiques, les déchets d'animaux et les engrais qui sont utilisés dans la production bioénergétique étaient ciblés. L'objectif général est d'identifier les facteurs cruciaux et les alternatives de la biomasse agricole non alimentaire qui pourraient être pris en compte lors de l'élaboration des politiques et projets pour la production énergétique en choisissant la Gambie pour une étude de cas. Le pays était choisi en fonction de l'augmentation des activités du gouvernement pour réduire la dépendance sur les combustibles fossiles importés. L'évaluation de l'état de préparation à la production d'énergie renouvelable en Gambie (IRENA, 2013) et la loi gambienne sur les énergies renouvelables (GREA, 2013) faisaient partie des politiques stratégiques clés entreprises par le pays jusqu'à ce jour.

## 2. Méthodologie

Les questions de l'enquête étaient répondues à travers une étude documentaire, l'utilisation des questionnaires et des discussions de focus groups (Figure 1). Un examen d'articles scientifiques, de rapports techniques et de documents de politique pertinents a été fait pour obtenir des informations supplémentaires sur l'objet de l'enquête. Des avis provenant des acteurs au niveau des villages étaient rassemblés à travers trois discussions de focus groups (FGD) sur la Rive Nord, en amont du fleuve et dans les régions côtières occidentales de la Gambie. Chaque FGD servait d'outil de sensibilisation sur le potentiel des énergies renouvelables dans le pays. Dans la conception du questionnaire, deux théories importantes appelées Modèle d'acceptation de la technologie (Venkatesh & Bala, 2008) et Théorie du comportement planifié (Ajzen, 2002; Lindenberg & Steg, 2007) étaient systématiquement combinées pour former un modèle composé appelé Modèle d'acceptation de la bioénergie (Figure 1). En se basant sur ce nouveau modèle dans la Figure 2, six constructions à savoir le Contrôle comportemental perçu (A), les Normes subjectives (B), l'intention (C), les Attitudes envers le comportement (D), l'utilité perçue (E) et les signaux d'action (F) étaient utilisées. Les six constructions testées apparaissent telles que décrites dans le tableau 1. En tout, les six constructions contenaient 52 éléments testant le Modèle d'acceptation de la bioénergie. Chaque élément du questionnaire était répondu sur une échelle de Likert de 5 points par un nombre minimum de 168 répondants.

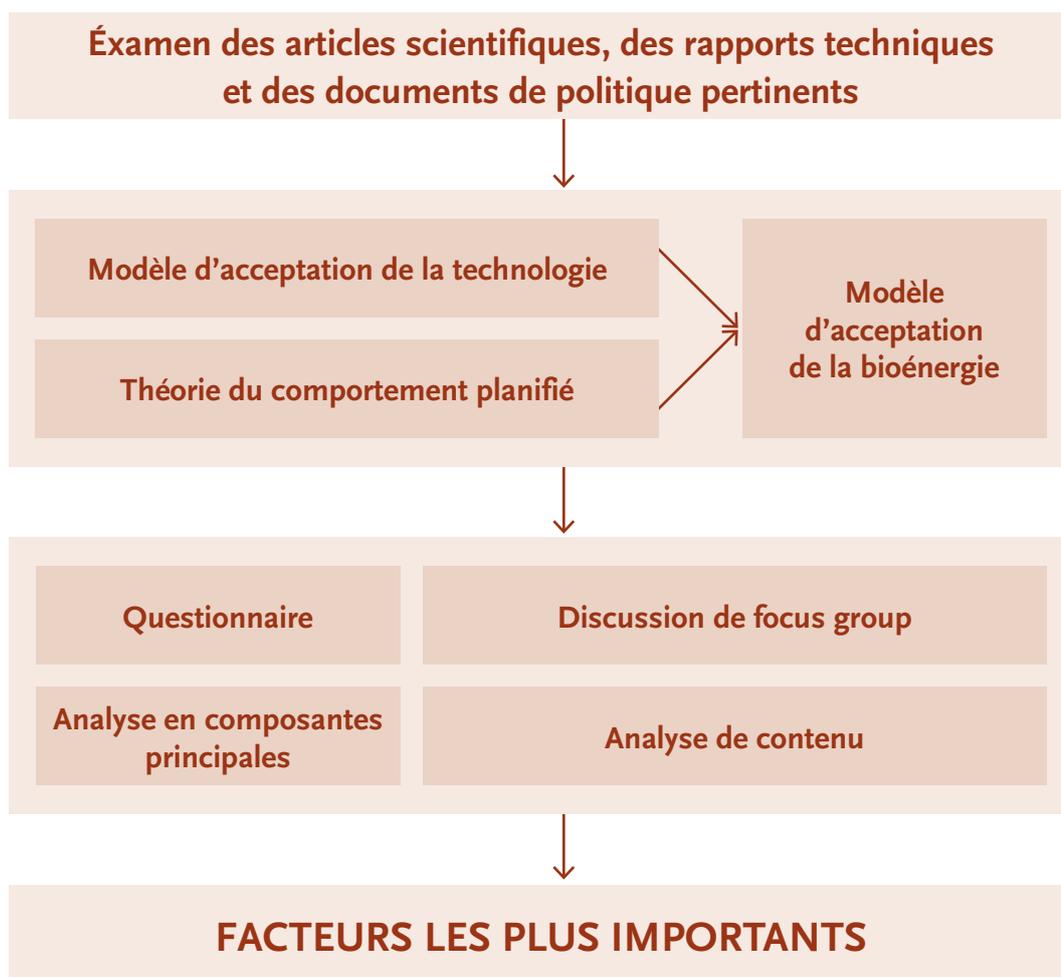


FIGURE 1: CADRE THÉORIQUE ET PRODUITS FINAUX DE L'ÉTUDE

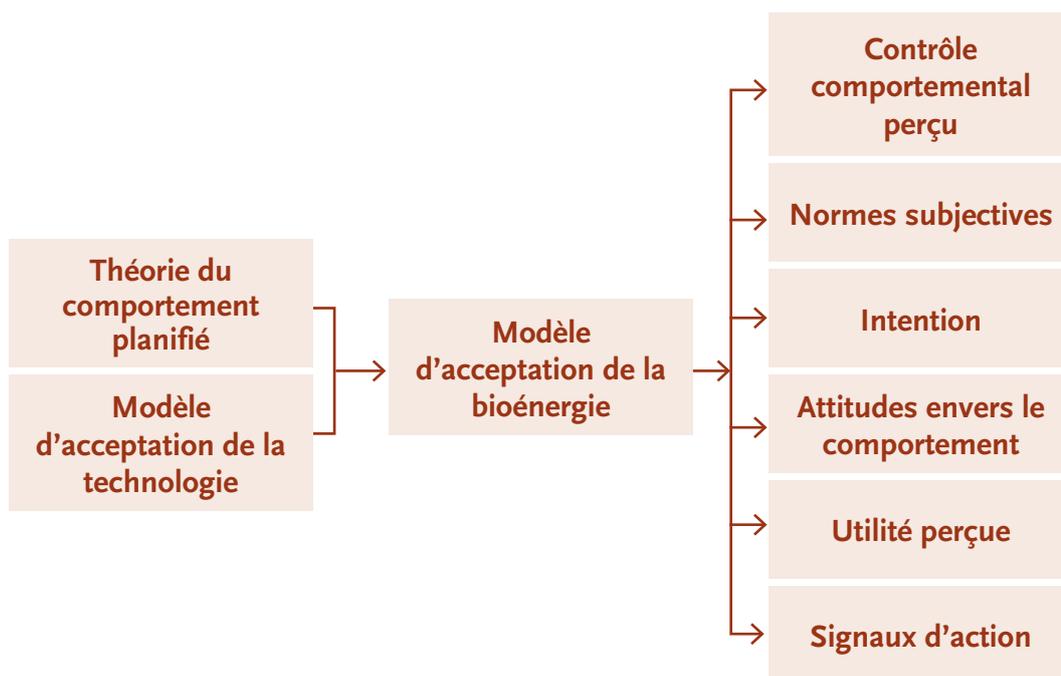


FIGURE 2: CONSTRUCTIONS DU MODÈLE D'ACCEPTATION DE LA BIOÉNERGIE

TABLEAU 1: DESCRIPTION DES CONSTRUCTIONS ÉVALUÉES CONFORMÉMENT AU MODÈLE D'ACCEPTATION DE LA BIOÉNERGIE

Constructions	Appellations	Définitions
<b>Contrôle comportemental perçu</b>	A	Facilité ou difficulté perçue par rapport à l'utilisation de la biomasse agricole pour la production d'énergie renouvelable (ER).
<b>Normes subjectives</b>	B	Influence sociale par rapport à l'utilisation de la biomasse agricole pour produire de l'ER.
<b>Intention</b>	C	Indicateurs par rapport à l'adoption ou non-adoption de la biomasse agricole pour produire de l'ER.
<b>Attitudes envers le comportement</b>	D	Indicateurs de ce qui peut motiver les consommateurs d'énergie à utiliser la biomasse agricole pour produire de l'ER.
<b>Utilité perçue</b>	E	Activités des consommateurs d'énergie qui peuvent être renforcées en utilisant la biomasse énergétique pour générer de l'ER.
<b>Signaux d'action</b>	F	Actions nécessaires menées par le gouvernement gambien et les autres acteurs pouvant promouvoir l'utilisation de la biomasse agricole pour générer de l'ER.

Les informations démographiques des répondants comme l'âge, le sexe, la religion, le niveau d'éducation, et le type d'organisation étaient évaluées à travers une analyse descriptive en utilisant les comptes de fréquence et les pourcentages. Les réponses au questionnaire sur l'échelle de Likert étaient codées en chiffres (1, 2, 3, 4 et 5) pour représenter respectivement «je refuse catégoriquement», «Je refuse», «neutre», «J'accepte» et «J'accepte totalement». L'analyse descriptive des variables démographiques des répondants (âge, sexe, religion, institution et nombre d'années de travail) était menée en utilisant l'Ensemble des programmes statistiques relatifs aux sciences sociales (EPSSS - version 22). Le coefficient alpha de Cronbach était utilisé pour déterminer la consistance et la fiabilité interne des constructions de chaque questionnaire (Figure 2).

L'approche de l'analyse en composantes principales (ACP) était utilisée pour réduire les 52 éléments retenus dans les six constructions du questionnaire (Tableau 2) à un ensemble minimal de composantes corrélées sans perdre des informations. L'adéquation de chaque construction pour l'ACP était examinée à travers le ratio de la taille de l'échantillon et les variables (au moins 6:1), au moins 2 corrélations avec des valeurs  $>0,3$  dans la matrice des corrélations des variables, la mesure de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) sur l'adéquation de l'échantillonnage ( $>0,50$ ) et le test de Barlett ( $p < 0,05$ ). Les chargements de variance dans chaque composante étaient maximisés et Oblimin avec la normalisation de Kaiser était établi comme l'alternative de rotation. Les conditions profondes latentes pour le nombre de composantes à retenir étaient basées sur le critère de la valeur propre-une (Tabachnick and Fidell, 2001). Dans chaque construction, une composante était retenue si sa valeur propre est supérieure à 1. Dans une construction, l'ampleur de la variance décrite diminue à partir de la première composante de poids à la dernière.

Chaque composante extraite était renommée en fonction de la valeur du plus important article dans cette construction. Pour compléter l'analyse des acteurs, la relation entre les composantes extraites par l'ACP et les variables démographiques comme l'âge, le sexe, la religion, le niveau d'éducation, et les institutions des répondants étaient évalués en utilisant le chi carré de Pearson. Cette approche était basée sur l'hypothèse selon laquelle chaque composante extraite était dépendante de la variable démographique des acteurs. Le niveau d'importance établi était à 5%.

### 3. Résultats

Il y a plusieurs acteurs clés dans le secteur énergétique de la Gambie. Ils étaient classés comme des institutions gouvernementales/publiques; le secteur privé; des organisations non gouvernementales; des universités et institutions de recherche, des groupes d'agriculteurs. Les catégories d'acteurs diffèrent en fonction de leurs rôles essentiels dans la production d'énergie renouvelable. Selon le contexte, certains d'entre eux jouent des rôles multiples dans la formulation, la réglementation, le financement, la production de connaissances, le plaidoyer, la recherche et le développement politiques.

En se basant sur le coefficient alpha de Cronbach dans le Tableau 2, les éléments retenus dans la construction F mesurant les «signaux d'action» étaient les plus cohérents avec une valeur totale de 87%. Cela était suivi de près par les constructions intitulées E, C, A dans l'ordre décroissant. Les deux constructions B et D ont le même coefficient alpha de Cronbach qui est de 81%. Toutes les constructions ont satisfait à la condition de la mesure de Kaiser-Meyer-Olkin sur l'adéquation de l'échantillonnage (minimum 0,50) et le test de sphéricité de Barlett ( $p < 0,05$ ). La mesure KMO pour les constructions mesurées varie entre 0,77 (Attitudes envers le comportement) et 0,84 (signaux d'action). Dans le Tableau 2, la variance du pourcentage expliquée indiquant le degré de variabilité dans les données qui a été modélisé par les composantes extraites varie entre 54% (Construction E et F) et 70% (construction D).

TABLEAU 2: ÉLÉMENTS DU QUESTIONNAIRE ET LES CHARGEMENTS DE COMPOSANTES CORRESPONDANTS

S/n	Constructions	Appellations	Nombre d'éléments	Alpha de Cronbach	KMO	Composantes extraites	% Variance expliquée
1.	Contrôle comportemental perçu	A	9	0,83	0,79	2	59
2.	Normes subjectives	B	9	0,81	0,79	2	55
3.	Intention	C	9	0,84	0,81	2	61
4.	Attitudes envers le comportement	D	9	0,81	0,77	2	70
5.	Utilité perçue	E	8	0,86	0,79	2	54
6.	Signaux d'action	F	8	0,87	0,84	1	54

Le Tableau 2 indique également les chargements de composantes des six constructions qui étaient initialement mesurées sur le questionnaire à 5 points de l'échelle de Likert. En se basant sur le critère de la valeur propre 1, deux composantes chacune (10 en tout) étaient extraites par l'ACP à partir des éléments contenus dans les constructions de A à E. Cependant, une seule composante était extraite des 8 éléments de la construction F (signaux d'action). Ces 11 composantes extraites étaient les facteurs principaux influant sur l'utilisation de la biomasse agricole pour la production d'énergie renouvelable en Gambie. En plus des facteurs extraits, la colonne intitulée composante explicative dans le Tableau 2 résume les éléments qui se chargeaient ensemble dans la même composante.

#### Évaluation des composantes (facteurs) extraites par les variables des acteurs

Les 11 composantes/facteurs extraits de l'ACP étaient renommées par rapport au plus grand élément de chargement dans une composante particulière (Tableau 2). Le résultat du chi carré de Pearson impliquant les facteurs extraits et les variables démographiques des acteurs est présenté dans la troisième partie. Les produits présentés dans le Tableau 3 indiquent qu'il y avait une relation importante ( $p < 0,05$ )

entre le genre des acteurs et les facteurs sociaux qui affectent la biomasse agricole pour la production d'énergie renouvelable en Gambie. Ces facteurs sociaux impliquent les relations aux niveaux individuel, familial et communautaire (Tableau 3). Pendant ce temps, les facteurs technologiques, institutionnels, économiques, de production et d'appui n'étaient pas liés au genre.

Une relation importante ( $p < 0,05$ ) était observée entre les groupes d'âge des acteurs et les facteurs comme la technologie et la relativité, mais cela n'était pas le cas pour les autres facteurs indiqués dans le Tableau 4. L'affiliation religieuse des répondants était seulement relative aux facteurs qualifiés de matières premières, d'effets indirects et de politique nationale spécifique. Il n'y avait pas de relation importante ( $p > 0,05$ ) entre tous les facteurs extraits et les institutions des acteurs classées comme des secteurs gouvernementaux et publics, des secteurs privés, d'institutions universitaires et de recherche, d'organisations internationales, d'organisations non gouvernementales, d'agriculteurs et de ruraux. Concernant les niveaux d'éducation, une différence importante ( $p < 0,05$ ) était seulement observée au niveau des composantes extraites qualifiées de facteurs d'appui.

Concernant les facteurs d'induction (Tableau 5), les groupes d'âge des acteurs n'étaient pas statistiquement corrélés ( $P > 0,05$ ) aux soutiens gouvernementaux et à la mise en place de petites unités de production. Le genre et la religion des acteurs étaient seulement statistiquement ( $P < 0,05$ ) corrélés respectivement aux organisations communautaires et à la politique nationale. Il n'y avait pas de rapport statistique ( $p < 0,05$ ) entre le facteur d'induction et les variables comme le niveau d'éducation des acteurs et le type d'institution dans laquelle ils travaillaient.

TABLEAU 3: DESCRIPTION DES FACTEURS EXTRAITS

Groupes	Va-riables	Plus grands éléments de chargement	Composantes/ facteurs extraits	Composantes explicatives
Contrôle comportemental perçu	A1-A3	A2 (0,85)	Matières premières	Disponibilité, collecte, stockage, productivité, facilité
	A4-A9	A6(0,79)	Technologique	Conversion, adoption, utilisation domestique
Normes subjectives	B1-B3	B3 (0,74)	Social	Implication familiale, relations sociales, participation communautaire
	B4-B9	B6(0,88)	Institutionnel	Cadre politique et réglementaire gouvernemental, partenariats des acteurs
Intention	C1-C4	C2 (0,80)	Déterminant	Disponibilité, coût et bénéfice, soutien extérieur, qualité de l'ER produite
	C5-C9	C8 (0,86)	Motivant	Capacité et besoin familiaux, accès à l'information, appui technique et financier, soutien public ou privé, fiabilité des intrants
Attitudes envers le comportement	D1-D2, D6-D9	D8 (0,77)	Environnemental	Écosystème, changement comportemental, élimination de la biomasse, compatibilité des systèmes agricoles
	D3-5	D5 (0,86)	Transversal	Sécurité alimentaire, adaptation aux changements climatiques, développement rural
Utilité perçue	E1-E5	E2 (0,86)	Comparatif	Avantage sanitaire, conditions de vie des agriculteurs, salubrité et sécurité, infrastructures communautaires, installations industrielles
	E6-E8	E8 (0,89)	Économique	Offres d'emploi, renforcement des activités agricoles, qualité de vie
Signaux d'action	F1-F8	–	Induction	Politique nationale, appui gouvernemental, formation améliorée, motivations pour les secteurs privé et public, mise en place de petites unités de production, organisations communautaires, sensibilisation, recherche et développement

TABLEAU 4: FACTEURS EXTRAITS ET VARIABLES DÉMOGRAPHIQUES DES ACTEURS

Description	Groupes d'âge	Genre	Religion	Niveau supérieur d'éducation	Institution
Matières premières	0,26	0,17	0,00**	0,12	0,74
Technologique	0,00**	0,48	0,32	0,32	0,83
Social	0,82	0,02**	0,11	0,63	0,27
Institutionnel	0,15	0,54	0,57	0,09	0,62
Production	0,05	0,29	0,25	0,90	0,62
Appui	0,47	0,65	0,02	0,01**	0,78
Environnemental	0,08	0,20	0,13	0,33	0,46
Effets indirects	0,06	0,28	0,02**	0,33	0,69
Relativité	0,00**	0,82	0,58	0,68	0,88
Économique	0,98	0,05	0,65	0,68	0,81

\*\* indique une importante différence si  $p=0,05$

TABLEAU 5: RELATION ENTRE LES FACTEURS D'INDUCTION ET LES VARIABLES DÉMOGRAPHIQUES DES ACTEURS

Description	Groupes d'âge	Genre	Religion	Niveau supérieur d'éducation	Institution
Politique nationale spécifique	0,00**	0,26	0,03**	0,41	0,87
Soutien gouvernemental	0,10	0,06	0,16	0,67	0,77
Formations des techniciens	0,00**	0,29	0,21	0,24	0,87
Motivations aux secteurs public/privé	0,00**	0,47	0,30	0,18	0,16
Petites unités de production	0,18	0,21	0,12	0,32	0,82
Organisation communautaire	0,00**	0,00**	0,36	0,54	0,40
Campagne médiatique	0,00**	0,17	0,12	0,84	0,37
Recherche et développement	0,00**	0,32	0,16	0,27	0,79

\*\* indique une différence importante si  $p=0,05$

## 4. Commentaire

Une première évaluation de cette étude de cas sur la Gambie a montré que beaucoup de personnes n'ont pas encore été sensibilisées par rapport au potentiel des énergies renouvelables. La connaissance relativement faible de l'énergie basée sur la biomasse peut relever de plusieurs opinions entre les acteurs concernant l'utilisation de la biomasse agricole pour la production d'énergie renouvelable. Il y a également des différences entre les pays concernant la disponibilité de la biomasse agricole non alimentaire. De plus, les États membres de la CEDEAO varient en fonction des situations démographiques, environnementales, sociales, et politiques. Cependant, certains signaux et données fiables de cette étude seront pertinents pour des pays similaires d'Afrique occidentale en termes d'informations qui pourraient être utilisées pour élaborer une politique des projets de l'énergie basée sur les preuves.

Bien que l'utilisation de la biomasse agricole non alimentaire à des fins de chauffage et de réchauffement ait beaucoup d'avantages, il y a cependant un problème de collecte et de stockage tel qu'il est constaté dans cette étude. En plus de la disponibilité saisonnière de la biomasse, il y a également les préoccupations des acteurs par rapport aux grandes quantités de biomasse agricole nécessaires à la production bioénergétique. Dans la modélisation de la conversion de la biomasse en énergie, Mafakheri & Nasiri (2014) et Nilsson & Hansson (2001) la saisonnalité et la variabilité décelées dans la chaîne de distribution énergétique comme certaines des difficultés auxquelles est confrontée la production énergétique. La disponibilité saisonnière des matières premières explique l'utilisation discontinue de la bioénergie dans beaucoup de circonstances.

Selon Singh et al. (2007) et Frombo et al. (2009), le problème de la quantification et de la distribution dispersée de la biomasse peut être résolu par l'utilisation du Système d'information géographique. Dans ce cas, la production énergétique peut être concentrée dans les zones ayant relativement une forte disponibilité de la biomasse afin de réduire les coûts du transport et de la main-d'œuvre. Cette décision peut être prise en se basant sur la nature de la biomasse et les options de transport disponibles (Mafakheri & Nasiri, 2014). Il y a des modèles concernant les décisions de localisation, de transport (Eksioglu et al., 2010) et de stockage (Kanzian et al., 2009; Nilsson & Hansson, 2001) de la biomasse. Le modèle d'acceptation de la bioénergie proposé dans cette étude sera pertinent pour susciter l'intérêt, le niveau de sensibilisation et d'acceptation pour l'adoption de la bioénergie relative à la technologie. Bien que cette étude soit concentrée sur l'utilisation de la biomasse agricole non alimentaire pour la production d'énergie renouvelable, le concept majeur du modèle d'acceptation de la biotechnologie peut aussi être élargi à d'autres aspects de production d'énergie pour les résidents des zones rurales et périurbaines des pays en développement.

Il y a une dimension sociale à la durabilité de l'utilisation de la biomasse agricole pour la production d'énergie renouvelable. Les problèmes sociaux majeurs identifiés dans cette étude sont la manière d'assurer la participation des individus, des membres de la famille et de la communauté aux activités génératrices de bioénergie. Selon Thornley et al. (2008), la production bioénergétique peut être corrélée à la création d'emploi sur l'ensemble de la chaîne. La même idée était aussi soutenue par Krajnc & Domac (2007) qui ont mentionné l'intégration et le développement comme des avantages sociaux supplémentaires de la production d'énergie basée sur la biomasse. En revanche, Saidur et al. (2011) ont rendu compte de conflits et d'une désintégration sociale entre certaines communautés productrices d'énergie. Cependant, avec une communication transparente et des normes d'engagement claires, certains des facteurs sociaux bloquants relatifs à l'utilisation de la biomasse agricole non alimentaire pour la production d'énergie peuvent être surmontés. Le genre des acteurs, à cause de sa relation avec les facteurs sociaux, devrait être bien intégré à toutes les étapes de production et de consommation des énergies renouvelables.

Le genre des acteurs est aussi un facteur important pour la conception et l'exécution d'un système de production efficace de bioénergie. Selon Amigun, et al. (2011), le genre devrait être pris en compte pendant la consultation et la conception des projets sur la bioénergie. Le double rôle des femmes dans la reproduction et la production mentionné par Olaniyan (2016) est également important lors

de l'évaluation de l'ensemble de la chaîne de l'offre et de la demande de la production bioénergétique. Cependant, les impacts négatifs de la production énergétique basée sur la biomasse sur la santé des femmes étaient enregistrés par Bensah & Brew-Hammond (2010). Le facteur de la relativité cité dans cette étude compare la bioénergie avec les autres formes d'énergie. Par exemple, la production bioénergétique requiert plus d'énergie et de temps de la part des femmes contrairement à l'énergie fossile. Néanmoins, le temps et les efforts supplémentaires fournis par les femmes pendant la transformation de la biomasse agricole non alimentaire en bioénergie peuvent être compensés par les avantages sanitaires qu'elles peuvent tirer de l'utilisation de cette énergie. Ces avantages relatifs sont censés motiver les femmes dans la décision de produire et d'utiliser la bioénergie à des fins culinaires particulièrement dans les zones rurales et périurbaines.

L'investissement initial et l'inactivité de l'équipement causée par le manque de matières premières convenables sont des coûts économiques liés à l'utilisation de la biomasse agricole non alimentaire pour la production bioénergétique. En même temps, les facteurs économiques identifiés dans cette étude ne dépendaient d'aucune des variables des acteurs comme les groupes d'âge, le genre, la religion et le type d'institution. Selon Amigun et al. (2012), l'économie de la production et l'utilisation du biogaz dépend plutôt de la localisation du projet. La relation entre le facteur de la matière première et la sélection de la technologie était décrite par Cameron et al. (2007). Bensah & Brew-Hammond (2010) en se focalisant sur le Ghana ont indiqué que les femmes sont les plus affectées par le coût initial élevé de l'investissement pour la bioénergie. Elles ont ainsi proposé un modèle d'affaires impliquant un partenariat public-privé pour résoudre ces problèmes au niveau des ménages. Également, la fourniture aux résidents des zones rurales et périurbaines d'un soutien financier et technique peut renforcer le taux d'adoption de la bioénergie pour les besoins de chauffage et de cuisine. D'autres facteurs d'induction identifiés dans cette étude impliquent la mise en place de petites unités de production, la recherche et le développement, et la création d'organisations communautaires. Une combinaison étudiée de certaines de ces alternatives proposées peut aider à réduire les coûts économiques de la production bioénergétique dans les pays en développement.

Il y a des facteurs institutionnels et politiques qui affectent l'utilisation de la biomasse agricole non alimentaire pour la production d'énergie renouvelable en Gambie. Bien que les technologies des énergies renouvelables ne soient pas assez nouvelles dans ce pays, le niveau de sensibilisation dans les zones rurales et périurbaines est toujours faible si l'on en juge par les FGD. Pour le Ghana, Bensah & Brew-Hammond (2010) ont proposé la mise en place d'une agence gouvernementale spécialisée qui puisse sensibiliser sur la production de biogaz. Concernant les défis relatifs aux institutions et à la politique, la CEDEAO et ses partenaires encouragent les États membres à développer une politique nationale adéquate et un cadre institutionnel favorable pour la production et l'utilisation durable des énergies renouvelables (EREP, 2012). Cependant, ces outils politiques devraient intégrer un partenariat entre les secteurs privé et public afin d'augmenter la production, l'utilisation et l'adoption de la bioénergie. Tous les facteurs qui peuvent motiver et inciter les acteurs à leurs différents niveaux institutionnels devraient être pris en compte dans les politiques bioénergétiques du gouvernement.

Pour surmonter certains des obstacles institutionnels relatifs à la production d'énergie renouvelable, l'octroi de subventions, les prêts sans intérêts et la mobilisation des fonds provenant des donateurs locaux et internationaux étaient suggérés dans la Politique nationale pour l'énergie de la Gambie (NEN, 2005). La Politique nationale pour l'énergie qui visait à maximiser le développement et l'utilisation de l'énergie disponible en quantité limitée n'était pas écartée des autres stratégies de développement comme la Vision 2020 et le Document de stratégie pour la réduction de la pauvreté. L'implication des secteurs privés dans la production, le transport et la distribution de l'énergie à travers un modèle tarifaire était recommandée. Faisant partie de la politique, la responsabilité de l'Autorité de régulation des services publics (PURA) en tant qu'agence gouvernementale devrait inclure l'accréditation et la régulation de l'investissement dans le secteur énergétique du pays (REEP 2013). En outre, les agences gouvernementales comme les Départements de l'agriculture, le Département du développement communautaire, l'Agence nationale pour l'environnement et le ministère de l'Énergie devraient être massivement impliquées dans la sensibilisation et le renforcement des capacités au niveau de la communauté et des ménages.

Le débat sur les questions de la technologie affectant la production d'énergie renouvelable provenant des sources biologiques est aussi présent dans la littérature scientifique. Pour tirer des avantages optimaux de l'utilisation de la biomasse agricole pour la production d'énergie renouvelable, il est nécessaire d'utiliser les technologies convenables concernant la production, la collecte, le stockage, le transport, la transformation et la distribution de la biomasse aux consommateurs finaux. En étudiant les chaînes d'approvisionnement de la biomasse, Mafakheri & Nasiri (2014) ont identifié l'efficacité et la productivité des ressources comme faisant partie des problèmes relatifs à la technologie. Hormis la faible connaissance technique, Saidur et al. (2011) ont indiqué qu'il y a aussi le problème de la maintenance convenable des infrastructures de production. Cependant, Amigun et al. (2012) ont mentionné que la technologie de la production énergétique pour les pays africains devrait être relativement simple et adaptée aux conditions locales.

## 5. Conclusion

En plus de la connaissance des facteurs, les alternatives réalistes de la biomasse agricole pour la production et l'utilisation de la bioénergie en Gambie permettront d'atteindre les objectifs de la politique régionale de la CEDEAO sur les énergies renouvelables. Les 11 facteurs clés identifiés dans cette étude peuvent être pertinents quant à la réalisation des objectifs de développement durable et des objectifs de l'énergie durable pour tous. Il y a des impacts transversaux de la production d'énergie renouvelable provenant de la biomasse agricole. Ces impacts font leurs effets dans la sécurité alimentaire, l'écosystème, la réduction des changements climatiques et le développement rural. Cependant, la production et l'approvisionnement en combustibles non fossiles à travers les approches durables sont des objectifs politiques de nombreux gouvernements. Avec les fluctuations tarifaires et les autres effets de la dépendance aux combustibles fossiles, l'utilisation de la biomasse agricole pour produire de l'énergie devrait figurer parmi les programmes centraux des pays en développement.

La population grandissante des pays en développement d'Afrique occidentale ne nécessitera pas seulement une augmentation dans la production alimentaire, il devrait aussi y avoir une forte demande en énergie propre et sûre provenant de la biomasse agricole non alimentaire. Étant donné que la production agricole mécanisée consomme beaucoup d'énergie, la tâche d'équilibrer la sécurité alimentaire avec la production énergétique devrait rester un défi pour beaucoup de pays en développement. Cependant, l'intégration de la production énergétique dans l'agriculture et les stratégies de développement rural, la mise en place des agences spécialisées, la sensibilisation et la formation sur les énergies renouvelables peuvent augmenter son adoption. Faire cela conformément au programme Action 21 des Nations Unies permettra de renforcer la productivité des résidents des zones rurales et périurbaines.

Le modèle d'acceptation de la bioénergie testé dans cette étude peut aussi être appliqué à d'autres formes de production d'énergie renouvelable. L'approche participative de l'étude à travers l'implication des acteurs peut améliorer la disponibilité de données de politiques pertinentes au niveau national. Du fait que les objectifs de l'étude sont en synergie avec le programme du ministère de l'Énergie de la Gambie, le produit est censé orienter la prise de décisions et les politiques relatives aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique. Pour surmonter certains des obstacles relatifs à la production d'énergie renouvelable, le gouvernement et les autres acteurs devraient se pencher sur la sensibilisation, les questions liées au genre, la fourniture de ressources financières et techniques, le partenariat privé et public, la recherche et le développement.

## Références

- Ajzen, I. (2002). Perceived Behavioral Control, Self-Efficacy, Locus of Control, and the Theory of Planned Behavior. *Journal of Applied Social Psychology*, 32(4), 665–683.  
<http://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2002.tb00236.x>
- Amigun, B., Musango, J. K., & Stafford, W. (2010). ARTICLE IN PRESS Biofuels and sustainability in Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2010.10.015>
- Amigun, B., Musango, J. K., & Stafford, W. (2011). Biofuels and sustainability in Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1360–1372. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2010.10.015>
- Amigun, B., Parawira, W., Musango, J. K., Aboyade, O. A., & Badmos, A. S. (2012). Anaerobic Biogas Generation for Rural Area Energy Provision in Africa. In *Biogas*. InTech.  
<http://doi.org/10.5772/32630>
- Amigun, B., Sigamoney, R., & von Blottnitz, H. (2008). Commercialisation of biofuel industry in Africa: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(3), 690–711.
- Arthur, R., Baidoo, M. F., & Antwi, E. (2011). Biogas as a potential renewable energy source: A Ghanaian case study. *Renewable Energy*, 36(5), 1510–1516. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2010.11.012>
- Bensah, E. C., & Brew-Hammond, A. (2010). Biogas technology dissemination in Ghana: history, current status, future prospects, and policy significance. *International Journal of Energy and Development*, 1(2), 277–294.
- Brew-Hammond, A. (2010). Energy access in Africa: Challenges ahead. *Energy Policy*, 38, 2291–2301.  
<http://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.12.016>
- Cameron, J., Kumar, A., & Flynn, P. (2007). The impact of feedstock cost on technology selection and optimum size. *Biomass and Bioenergy*, 31(2–3), 137–144.  
<http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.07.005>
- Eksioglu, S., Li, S., Zhang, S., Sokhansanj, S., & Petroliia, D. (2010). Analyzing Impact of Intermodal Facilities on Design and Management of Biofuel Supply Chain. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2191, 144–151. <http://doi.org/10.3141/2191-18>
- EREP. (2012). ECOWAS Renewable Energy Policy. Retrieved from [http://www.ecreee.org/sites/default/files/documents/basic\\_page/151012\\_ecowas\\_renewable\\_energy\\_policy\\_final.pdf](http://www.ecreee.org/sites/default/files/documents/basic_page/151012_ecowas_renewable_energy_policy_final.pdf) on November 24 2015.
- Field, C. B., Campbell, J. E., & Lobell, D. B. (2008). Biomass energy: the scale of the potential resource. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(2), 65–72. <http://doi.org/10.1016/j.tree.2007.12.001>
- Frombo, F., Minciardi, R., Robba, M., Rosso, F., & Sacile, R. (2009). Planning woody biomass logistics for energy production: A strategic decision model. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 372–383. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.09.008>
- GREa. (2013). Renewable Energy Act 2013. Retrieved from <http://faolex.fao.org/docs/pdf/gam134879.pdf> on November 27, 2015.
- IRENA. (2013). The Gambia Renewables Readiness Assessment. Retrieved from [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RRA\\_Gambia.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RRA_Gambia.pdf) on November 27, 2015.
- Kanzian, C., Holzleitner, F., Stampfer, K., Ashton Kanzian, S., & Kanzian, A. (2009). Regional Energy Wood Logistics – Optimizing Local Fuel Supply. *Silva Fennica*, 43(431), 113–128.
- Krajnc, N., & Domac, J. (2007). How to model different socio-economic and environmental aspects of biomass utilisation: Case study in selected regions in Slovenia and Croatia. *Energy Policy*, 35(12), 6010–6020. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.08.006>
- Lindenberg S. and Steg L. (2007). Normative, Gain and Hedonic Goal Frames Guiding Environmental Behavior. *Journal of Social Issues*, 63(1), 117–137.
- Mafakheri, F., & Nasiri, F. (2014a). Modeling of biomass-to-energy supply chain operations: Applications, challenges and research directions. *Energy Policy*, 67, 116–126.  
<http://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.071>
- Mafakheri, F., & Nasiri, F. (2014b). Modeling of biomass-to-energy supply chain operations: Applications, challenges and research directions. *Energy Policy*, 67, 116–126.  
<http://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.071>
- Mohammed, Y. S., Mokhtar, A. S., Bashir, N., & Saidur, R. (2013). An overview of agricultural biomass for decentralized rural energy in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 15–25. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.047>

- NEN. (2005). *National Energy Policy of The Gambia*. Banjul. Retrieved from [http://www.ecowrex.org/system/files/repository/2005\\_national\\_energy\\_policy\\_-\\_of\\_president.pdf](http://www.ecowrex.org/system/files/repository/2005_national_energy_policy_-_of_president.pdf) on 16 June 2017.
- Nilsson, D., & Hansson, P.A. (2001). Influence of various machinery combinations, fuel proportions and storage capacities on costs for co-handling of straw and reed canary grass to district heating plants. *Biomass and Bioenergy*, 20, 247–260.
- Olaniyan, O. F. (2016). Enhancing Gambian women livestock farmers' resilience to climate change. *The Point Newspaper*, pp. 5.
- Ouedraogo, N. S. (2013). Energy consumption and economic growth: Evidence from the economic community of West African States (ECOWAS). *Energy Economics*, 36, 637–647. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.11.011>
- Ozturk, H. H., & Bascetincelik, A. (2006). Energy Exploitation of Agricultural Biomass Potential in Turkey. *Energy, Exploration & Exploitation*, 24(1), 95–111. <http://doi.org/10.1260/014459806779388010>
- Saidur, R., Abdelaziz, E. A., Demirbas, A., Hossain, M. S., & Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2262–2289. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.015>
- Singh, J., Panesar, B., & Sharma, S. (2007). Energy potential through agricultural biomass using geographical information system? A case study of Punjab. *Biomass and Bioenergy*, 32(4), 301–307. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.10.003>
- Thornley, P., Rogers, J., & Huang, Y. (2008). Quantification of employment from biomass power plants. *Renewable Energy*, 33(8), 1922–1927. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2007.11.011>
- Venkatesh, Viswanath; Bala, H. (2008). Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions. *Decision Sciences*, 39(2), 273–315. <http://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x>
- Wolf, J., Bindraban, P. ., Luijten, J. ., & Vleeshouwers, L. . (2003). Exploratory study on the land area required for global food supply and the potential global production of bioenergy. *Agricultural Systems*, 76(3), 841–861. [http://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00077-X](http://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00077-X)



# Étude de faisabilité sur les systèmes solaires photovoltaïques pour l’approvisionnement en énergie des habitations résidentielles : étude de cas de la métropole de Lagos, Nigeria

SHEILA IFEAKAROCHUKWU OBI<sup>a</sup>, IDUH JONATHAN JOSEPH OTENE<sup>b</sup>, ENONGENE KEVIN ENONGENE<sup>b,c</sup> ET CHIOMA OKAFOR<sup>b,d</sup>

## Résumé

Le rapport présente une étude sur la faisabilité des systèmes solaires photovoltaïques (PV) (en tant que service autonome ou de secours au réseau électrique), la réduction potentielle des gaz à effet de serre (GES) et les retombées économiques que pourrait générer son intégration en comparaison à l’utilisation des groupes électrogènes diesel de secours dans les habitations résidentielles de la métropole de Lagos. Les données ont été collectées à partir de 5 types distincts d’habitation (duplex, bungalow unifamilial, maison traditionnelle avec cour, appartements et ‘*face-me-I-face-you*’<sup>1</sup>) dans

---

a Département d’ingénierie électrique / électronique, Akanu Ibiam Federal Polytechnic Unwana, PMB 1007, État d’Ebonyi, Nigeria. Email: shelif2020@gmail.com, Tel: +2348038869053

b Institut d’agriculture et d’environnement, Faculté des sciences, Université Massey, Palmerston North 4474, Nouvelle-Zélande. Email: jayjayotene@gmail.com, Tel: +2348059965759

c FOKABS INC., 955, voie Rotary, K1T 0L2 Ottawa ON, Canada. Email: kenongene@gmail.com, Tel: +237681952737

d Département des sciences du sol, Université du Nigeria Nsukka 410001, Nigeria. Email: okaforchiomamaryann@gmail.com, Tel: +2347066184510

### 1 Remerciement

Les auteurs tiennent à remercier le Centre pour les énergies renouvelables et l’efficacité énergétique (ECREEE) de la Communauté économique des États de l’Afrique de l’Ouest (CEDEAO) d’avoir financé cette étude. Nous apprécions les commentaires précieux et utiles de notre conseiller, le Dr Fonbeyin Henry Abanda (École de l’environnement bâti de l’Université d’Oxford Brookes) dans l’ensemble du travail de recherche. Nous aimerions également remercier Monica Maduekwe, Yuri Lima Handem et Francis Kemausuor pour avoir relu le manuscrit.

Ce type d’habitation consiste en un bloc de chambres simples ou doubles principalement construites en deux rangées avec un couloir au milieu qui mène à l’arrière de la maison où se trouvent des bâtiments tels qu’une cuisine, des toilettes et une salle de bain communes, mises à la disposition des habitants. Le terme ‘face- me –I- face -you’ est dérivé de l’architecture de l’habitation qui est construite en deux rangées de chambres situées de part et d’autre et dont les portes d’entrée se font face.

5 zones de gouvernement local (ZGL) de la métropole de Lagos. Des questionnaires structurés ont été distribués afin de recueillir des données aussi bien quantitatives que qualitatives auprès de 250 résidents (10 résidents pour chacun des 5 types d'habitation des 5 ZGL). Les données collectées portent sur les caractéristiques de l'habitation, la demande en électricité, et les politiques d'adoption/intégration des systèmes PV sur les habitations des zones ciblées par l'étude. Les personnes interrogées n'ont pas de notion sur les politiques solaires des systèmes PV. Cependant, la plupart d'entre eux croient que les politiques suivantes peuvent influencer l'adoption/l'intégration des systèmes solaires photovoltaïques sur les habitations résidentielles des endroits ciblés par l'étude: diminution des taxes sur les systèmes solaires PV; programmes de sensibilisation et de leadership public sur les systèmes solaires PV à l'initiative des gouvernements locaux.

**MOTS CLÉS:** LAGOS, NIGERIA, LCOE, SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES

# 1. Introduction

## 1.1 Contexte

Partout dans le monde, la sécurité énergétique est source de préoccupation en raison de la croissance démographique exponentielle, l'épuisement sans précédent des ressources naturelles et la hausse concomitante de la demande en énergie pour répondre aux besoins des économies nationales. La conservation de l'énergie de par l'utilisation de technologies innovantes et rentables est cruciale pour assurer l'utilisation durable des ressources naturelles (Otene et al., 2016). Par ailleurs, cette dernière est indispensable pour faire face au changement et à la variabilité climatiques ainsi qu'aux effets pervers du changement climatique sur les populations et l'environnement. L'environnement bâti est pris en considération du fait de son utilisation élevée de l'électricité. L'inefficacité énergétique dans les habitations peut être due à l'utilisation de matériaux de construction de mauvaise qualité dont la consommation énergétique est élevée et à l'utilisation traditionnelle de combustibles associés aux émissions de gaz à effet de serre (GES) qui participent au changement climatique.

L'utilisation énergétique dans les habitations représente une grande part de la demande énergétique aux niveaux mondial et régional (Ürge-Vorsatz, 2015), elle est ainsi à l'origine de la plupart des enjeux environnementaux planétaires (Ürge-Vorsatz, 2013). Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a rapporté qu'en 2010, le secteur mondial des habitations représentait environ 32% de l'utilisation totale d'énergie et 19% des émissions GES dues aux énergies (9.18 GtCO<sub>2</sub> eq émissions GES) (Pachauri et al., 2014). La demande énergétique de ce secteur devrait doubler d'ici 2050 de même que les impacts sur l'environnement et les implications sur le secteur énergétique. Le deuxième rapport national du Nigeria rédigé en accord avec la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) a indiqué que les activités liées à l'énergie représentaient la plus grande part des émissions totales de gaz à effet de serre (155.34 MtCO<sub>2e</sub>), soit 70,4% des émissions totales du pays (214.21 MtCO<sub>2</sub> eq) en 2000 (Ministère fédéral de l'Environnement, Abuja-Nigeria, 2014).

Le Nigeria s'est engagé à prendre des mesures d'adaptation et d'atténuation face au changement et à la variabilité climatiques. En 1994, le pays devient partie à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Il a ensuite ratifié le protocole de Kyoto en 2004 et a soumis son premier et deuxième rapport national respectivement en 2003 et 2014. La Contribution prévue déterminée au niveau national (INDC) du pays lors du Sommet de Paris sur le climat (COP) en décembre 2015, illustre un autre engagement du Gouvernement (Gouvernement fédéral du Nigeria - GFN, 2015). Les politiques et mesures énoncées dans l'INDC du Nigeria visent également à promouvoir le développement économique durable en plus de promouvoir une économie sobre en carbone afin de bâtir une société résiliente au changement climatique. Ainsi que mentionné dans l'INDC, le Nigeria produira à peu près 900 millions de tonnes d'émissions de GES (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>),

soit 3,4 tonnes par personne, en 2030 dans le cadre des activités quotidiennes (BAU) (en partant du principe que la croissance économique sera de 5% par an, la croissance démographique de 2.5 %, et que tous les Nigériens bénéficieront de l'accès à l'électricité grâce au raccordement ou par un autre moyen). L'objectif est de réduire les émissions de gaz dans le cadre des activités quotidiennes de 20% d'ici 2030 (contribution non conditionnée en conformité avec les tendances actuelles de développement et les priorités politiques du gouvernement) et de 45% (contribution conditionnée à l'aide internationale par exemple, le renforcement des capacités, la finance et l'investissement, et la technologie). L'INDC souligne également la réduction potentielle des émissions de GES de 31,26%, soit 179 millions de tonnes d'émissions par an en 2030 grâce à des mesures d'atténuation clés telles que les énergies renouvelables, la réduction des pertes de transport et l'efficacité énergétique dans tous les secteurs de l'économie.

La vision 20:2020 du Gouvernement nigérian est d'augmenter la croissance économique du pays afin que de la 31<sup>ème</sup> position (classement 2010 du FMI des pays du monde par PIB en parité de pouvoir d'achat - PPA) qu'il puisse figurer parmi les 20 pays les plus développés du monde en 2020 selon le classement du PIB (GFN, 2010, Commission de l'énergie du Nigeria - CEN, 2014). Cela nécessite une augmentation de la croissance économique actuelle de l'ordre de 6% par an à 13,8%, ce qui implique une augmentation du PIB du pays à environ 900 milliards USD et un revenu par habitant de 4 000 USD. La réalisation de l'objectif de Vision 20:2020 du Gouvernement nigérian ne peut se faire sans l'accès à une production d'électricité durable (Aliyu et al., 2013; CEN, 2014). L'objectif énergétique pour Vision 20:2020 consiste en la restructuration et en l'extension de la capacité électrique installée du pays de 4 000 MW en 2007 à 35 000 MW et de la capacité de raffinage du pétrole de 445 000 b/j à 750 000 b/j en 2015 et 1 500 000 b/j à l'horizon 2020 (CEN, 2014). Les stratégies élaborées en vue de concilier la capacité présentement installée à l'objectif fixé portent sur la remise en état des unités de production d'électricité actuelles, l'investissement dans de nouvelles centrales hydroélectriques et la construction de centrales électriques thermiques (Sonibare, 2010, Ejiogu, 2013). Les producteurs d'électricité indépendants (IPP) devraient jouer un rôle important (Ibitoye et Adenikinju, 2007; Ejiogu, 2013). La faible motivation des gouvernements, le manque d'incitations économiques, les impositions multiples, l'inexistence d'une loi favorable aux conditions douanières et aux droits d'accises pour promouvoir les technologies des énergies renouvelables, sont autant d'obstacles à la mise en œuvre des politiques de développement durable de l'énergie de la vision 20:2020 du Gouvernement fédéral du Nigeria, qui visent à promouvoir les technologies d'énergie renouvelable (Ajayi & Ajayi, 2013). La capacité du gouvernement à stimuler et à réguler un futur système d'électricité durable et qui prend en compte des impératifs environnementaux et sociaux constitue également un obstacle (Gujba et al. 2011). Le Nigeria est le pays le plus peuplé d'Afrique, il compte pour un cinquième de la population de l'Afrique subsaharienne et a la plus grande économie de l'Afrique subsaharienne en 2014, avec un PIB par habitant d'environ 2 950 USD (GFN, 2015). La commission de l'énergie du Nigeria (CEN, 2014) a rapporté ce qui suit comme étant les ressources énergétiques du Nigeria: Pétrole brut = 36,2 milliards de barils, gaz naturel = 187 trillions de pieds cubes standard, charbon et lignite = 2,7 milliards de tonnes, sables bitumineux = 31 milliards de barils équivalent pétrole, vent = 2 à 4 m/s (moyenne annuelle) à 10 m en hauteur, rayonnement solaire = 3,5 à 7,0 kWh/m<sup>2</sup>/jour avec une moyenne annuelle d'ensoleillement quotidien de 4 à 9 heures/jour, biomasse (bois de chauffage = 11 millions d'hectares de forêt et de bois, déchets d'origine animale = 245 millions d'animaux, cultures énergétiques et résidus agricoles = 72 millions d'hectares de terres agricoles et toutes les terres incultes, et hydroélectricité (grande échelle = 11 250 MW, petite échelle = 3 500 MW). Le pays est donc doté de ressources énergétiques importantes et diverses. Cependant, un écart considérable régit la relation entre l'offre et la demande énergétiques, de sorte que l'approvisionnement ne satisfait pas la demande dans le pays. La production d'électricité thermique principalement à partir du gaz représente 64% de la production d'électricité au Nigeria, tandis que l'hydroélectricité fournit 36% (CEN, 2012). Le pays dispose d'une capacité installée de 8 425 mégawatts (MW), d'une capacité opérationnelle de 4 125 MW, ce qui représente 50% de la capacité installée (Adenikinju, 2003, Nnaji, 2012). La demande de charge maximale estimée est comprise entre 22 000 MW et 25 000 MW (Udeme, 2012).

L'accès à un approvisionnement fiable et propre en énergie est un défi majeur pour les citadins et les ruraux au Nigeria en raison de la faiblesse et de l'inadéquation de la capacité de production et de

distribution (Adaramola, Oyewola & Paul, 2012). Vu que la capacité opérationnelle ne peut satisfaire la demande énergétique croissante, l'approvisionnement des ménages, des secteurs d'affaires et industriels par le secteur privé se fait à partir de la distribution de groupes électrogènes au diesel ou au pétrole et de la biomasse traditionnelle (Ajayi & Ajayi, 2013; Ejiogu, 2013). Des études antérieures (Obadote, 2009, Okafor & Joe, 2010) ont montré que seuls 40% de la population du Nigeria sont raccordés au réseau électrique national qui connaît des délestages fréquents (Obadote, 2009; Okafor & Joe, 2010). La majorité des habitants des zones rurales (environ 60%) et des citoyens pauvres dépendent des combustibles traditionnels qui représentent 55% de la consommation totale d'énergie dans le pays (CEN, 2014).

Parmi les défis croissants du secteur énergétique de l'État de Lagos et du Nigeria figurent la faiblesse du réseau de transport et de distribution d'électricité, le coût élevé et l'accès limité des communautés pauvres à l'énergie, un cadre juridique et réglementaire défavorable aux investissements dans les réseaux électriques, la faiblesse des infrastructures énergétiques qui sont la cause de l'absence sur le marché intérieur des options énergétiques à faible émission de carbone et une forte dépendance aux combustibles fossiles à bas prix pour la production d'électricité, ce qui rend ces combustibles vulnérables aux impacts du changement climatique (Renforcement de la réponse du Nigeria face au changement climatique - BNRCC, 2012, GFN, 2015; Organisation de coopération et de développement économiques - OCDE, 2015). De même, Ejiogu (2013) a souligné que le manque d'investissement durant une longue période consécutive et la négligence du secteur sont des facteurs clés qui contribuent aux crises énergétiques dans le pays.

L'incapacité de la société nationale de production d'électricité à produire suffisamment d'électricité pour répondre à la demande a un impact significatif sur le développement technologique et socioéconomique du pays (Obadote, 2009; Sambo et al., 2010). Otene et al. (2016) attribue la crise énergétique du pays au manque de diversification et d'utilisation des ressources énergétiques renouvelables. La diversification des ressources énergétiques est un facteur économique indispensable au développement durable avec les réalités de la croissance démographique, l'urbanisation et l'industrialisation (Droege, 2004). D'autres initiatives politiques dans le secteur de l'électricité devraient inclure l'introduction de plus d'énergies renouvelables pour une production hybride de l'électricité étant donné qu'elles ont le pouvoir de réduire considérablement les impacts liés au cycle de vie environnemental (Gujba et al. 2011).

## 1.2 Objectifs du rapport

L'augmentation prévue de la population du Nigeria devrait être se faire en parallèle à l'expansion du secteur de l'immobilier dans le pays afin que la croissance démographique puisse être accompagnée de manière convenable. L'augmentation des logements causera une pression sur l'infrastructure énergétique du pays qui actuellement ne parvient pas à satisfaire la demande en électricité du pays. Le déploiement et l'intégration de technologies d'énergie renouvelable dans les habitations et l'infrastructure énergétique actuelle peuvent atténuer les effets néfastes du changement climatique et réduire les émissions de GES. Le Nigeria a un potentiel de production d'électricité à partir de l'énergie solaire photovoltaïque grâce à une bonne ressource solaire allant de 3,5 à 7 kWh /m<sup>2</sup>/ jour (CEN, 2005). Jusqu'à présent, les efforts visant à évaluer le potentiel d'énergie renouvelable solaire photovoltaïque au Nigeria ont été plus axés sur les applications connectées au réseau et seules quelques études limitées ont été menées sur la faisabilité de cette technologie au niveau des habitations ou des logements. L'objectif de la recherche est donc de fournir des informations sur l'application de la technologie solaire photovoltaïque dans les habitations au Nigeria à partir d'une étude de cas de la métropole de Lagos. Le choix de Lagos pour l'étude de cas se justifie, car Lagos est la ville la plus peuplée du pays et d'Afrique. Le but de cette étude est de déterminer la faisabilité technique, environnementale et économique des systèmes PV dans les habitations résidentielles de l'État de Lagos, au Nigeria. Cette étude répond aux questions de recherche suivantes:

- a) Quelle est la faisabilité technique de l'utilisation des systèmes solaires photovoltaïques pour répondre à la demande en énergie (en tant que service autonome ou de secours au réseau électrique) des habitations résidentielles à Lagos?
- b) Quel est l'avantage économique de l'intégration d'un PV solaire dans les habitations à Lagos par rapport à l'utilisation de groupes électrogènes de secours?
- c) Quels sont les impacts possibles des politiques gouvernementales sur l'adoption/l'intégration du système photovoltaïque dans les habitations?
- d) Dans quelle mesure l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque dans les habitations va-t-elle réduire les émissions de gaz à effet de serre au Nigeria?

L'étude définit entre autres comme objectifs:

- a) la détermination de la faisabilité technique de l'utilisation d'un PV solaire comme source d'énergie pour les habitations de l'État de Lagos (en tant que service autonome ou de secours au réseau électrique).
- b) La conduite d'une analyse économique pour l'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque dans les habitations de l'État de Lagos.
- c) L'évaluation des impacts possibles des politiques gouvernementales (analyse de sensibilité) sur l'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque dans les habitations.
- d) La conduite d'une analyse environnementale pour déterminer la réduction des émissions d'habitations de la zone ciblée par l'étude.

## 2. Énergie Solaire au Nigeria

### 2.1 Énergie solaire au Nigeria

Les ressources énergétiques, la population, l'économie et la politique du Nigeria, le placent dans une position très vitale en Afrique subsaharienne (Diemuodeke et al. 2017). Malgré son profil singulier en Afrique subsaharienne, le pays n'a pas su développer de manière performante le secteur de l'énergie. Les abondantes ressources en énergie renouvelable dont regorge le pays ne font pas encore l'objet d'un approvisionnement énergétique durable, fiable et abordable. En se basant sur l'énergie solaire, on peut dire que le Nigeria dispose de bonnes ressources solaires allant de 3,5 kWh/m<sup>2</sup>/ jour dans la région côtière à 7 kWh/m<sup>2</sup>/ jour tout au nord du pays (CEN, 2005). Sur la base d'un rayonnement solaire moyen de 5,3 kWh/m<sup>2</sup>/ jour en une année, le pays peut bénéficier d'une énergie solaire d'environ 1770 mille TWh/an sur l'ensemble de sa superficie qui est de 923 768 km<sup>2</sup> (CEN, 2003, 2005; Ohunakin et al. 2014). L'énergie solaire peut être une source d'énergie durable pour atténuer la crise énergétique et contribuer également au développement socio-économique durable au Nigeria. L'abondance de cette source d'énergie dans le pays offre des possibilités d'applications de l'énergie solaire sous forme d'unités autonomes, de systèmes décentralisés hors réseau et d'applications à grande échelle connectées au réseau (Ohunakin et al. 2015; Anjorin, 2014; Njoku, 2014 et Chineke et al., 2009). Sambo (2009) a rapporté que sur la base de 5,3 kWh/m<sup>2</sup>/jour dans une année avec des générateurs solaires-électriques commerciaux efficaces, environ 1850 x 10<sup>3</sup> GWh d'électricité solaire par an peuvent être générés à partir de 923 768 km<sup>2</sup> de superficie totale (1%) avec des capteurs solaires ou des modules. Habib et al. (2012), Okafor et Joe-Uzuegbu (2010) ont souligné qu'un rayonnement solaire moyen de 5,35 kWh/m<sup>2</sup>/jour sur la superficie totale du Nigeria peut générer 1,804 x 10<sup>15</sup> kWh d'énergie solaire incidente chaque année. Habib et al. (2012) ont également affirmé que cette valeur annuelle d'insolation de l'énergie solaire est environ 27 fois plus élevée que les ressources énergétiques traditionnelles du pays et supérieure jusqu'à 117 000 fois à la production d'électricité dans le pays. En outre, Habib et al (2012) se référant à Okafor et Joe-Uzuegbu (2010) ont souligné que seuls environ 3,7% de la superficie totale du Nigeria suffisent à produire de l'énergie solaire équivalente à la réserve d'énergie traditionnelle du pays.

Habib et al. (2012) ont signalé que le PV solaire de 1% de la surface de 20 États sélectionnés au Nigeria a un potentiel total d'environ 1189321,65 MWh. Néanmoins, les installations solaires photovoltaïques au Nigeria sont encore limitées surtout dans les communautés rurales (Akorede et al. 2017). Bien qu'une augmentation graduelle de 1 MW au Nigeria ait été rapportée (Sambo 2010), la majorité (soit 80%) des installations photovoltaïques appartiennent aux agences gouvernementales, servant pour le pompage de l'eau, l'éclairage public, les réfrigérateurs à vaccins et l'éclairage communautaire alors que l'installation dans les habitations n'a toujours pas été réalisée. (Akorede et al. 2017). Celle-ci est toutefois entravée par de nombreux facteurs impliquant, mais sans s'y limiter, des politiques et des incitations gouvernementales défavorables et dissuasives; manque de sensibilisation en termes de types, d'avantages et de savoir-faire technique du système PV solaire; système de réseau de mauvaise qualité incapable de répondre aux technologies traditionnelles de production d'électricité; conception et/ou mauvais dimensionnement du système d'énergie solaire; coûts d'exploitation et de maintenance élevés; litiges fonciers, vulnérabilité au vol; et la nature diurne et spécifique au site de la ressource d'énergie solaire, qui au Nigeria, varie d'une partie du pays à l'autre (Dike et al.). 2017; Akorede et al. 2017; Giwa et al. 2017).

## 2.2 Facteurs économiques liés à la production d'énergie solaire au Nigeria

Un approvisionnement énergétique durable, fiable et abordable est le levier du développement économique de tout pays (Mohammed et al. 2017). Un accès important à l'énergie moderne peut aider à favoriser le développement économique et à réduire la pauvreté (Mohammed et al. 2017). Une application efficace de l'économie énergétique décentralisée, qui repose sur des sources d'énergie propres disponibles localement, stimule le développement durable dans toute économie progressiste (Mohammed et al. 2017). La production hybride d'électricité au Nigeria n'est pas suffisamment diversifiée malgré l'abondance des sources d'énergie renouvelable et non renouvelable (Mohammed et al. 2017). Les facteurs qui stimulent les développements de l'énergie solaire au Nigeria comprennent: (a) des avantages environnementaux tels que le potentiel de réduction de CO<sub>2</sub>; (b) la demande croissante d'électricité; (c) la possibilité d'atteindre les communautés rurales qui n'ont pas été raccordées au système de réseau national pendant longtemps; d) une source illimitée d'énergie solaire facilement disponible; et; e) les possibilités de création d'emplois (Giwa et al. 2017). Parmi les facteurs qui limitent l'adoption de l'énergie solaire photovoltaïque au Nigeria figure la compétitivité entre l'électricité solaire à coût élevé et les produits pétroliers importés subventionnés (Giwa et al. 2017). Les défis économiques actuels avec les combustibles fossiles ainsi que la volatilité du cours mondial du pétrole (Siddig et al. 2014) suggèrent que la production d'énergie solaire peut être viable dans le pays. Adurodija et al. (1998), l'examen de la viabilité du marché du photovoltaïque au Nigeria a montré des perspectives positives pour le marché du photovoltaïque au Nigeria. En outre, les auteurs ont recommandé des approches qui accéléreront l'adoption massive de la technologie PV au Nigeria et qui consistent à: a) élaborer un plan financier approprié et des incitations par le gouvernement; (b) ajuster le système financier pour servir les clients ruraux; (c) mettre en place la production locale d'un système PV pour soutenir l'accessibilité; d) recourir à des organisations à faible profit pour l'installation des systèmes PV; f) octroyer des subventions qui pourraient être progressivement supprimées à mesure que le prix du système PV diminue; et (g) promouvoir les institutions de recherche et de développement dans le pays.

## 2.3 Politiques et incitations pour l'énergie solaire au Nigeria

Les politiques gouvernementales qui pourraient encourager l'utilisation de l'énergie solaire au Nigeria diffèrent grandement entre elles. Aucune politique ou programme spécifique comportant des objectifs précis n'a été conçu pour le développement de l'énergie solaire photovoltaïque au Nigeria (Oparaku, 2002). Les programmes et les politiques actuels ont été davantage axés sur des objectifs généraux de développement des énergies renouvelables, sans qu'une mention spécifique ne soit faite sur la contribution souhaitée des systèmes PV (Oparaku, 2002). Les politiques existantes sont

orientées vers la conservation de l'environnement; l'efficacité énergétique, la création d'emplois et le développement de l'expertise technique; l'éclairage public et la création d'une base de données de ressources; l'établissement de capacités réglementaires et institutionnelles pour le suivi des politiques; la promotion du secteur privé et la création d'incitations (Oparaku, 2002). Les politiques suivantes ont été proposées dans de précédentes études (Ohunakin et al., 2014, Okoro et Madueme, 2004) en vue de promouvoir l'adoption de l'énergie solaire au Nigéria: a) la mise à disposition d'incitations économiques telles que des exonérations et des subventions tarifaires; (b) la création de politiques favorables à long terme aux activités solaires afin de réduire la crainte des investisseurs potentiels provoquée par l'instabilité; c) une campagne de sensibilisation sur les applications solaires; d) des indemnités pour les citoyens dont les terres peuvent être utilisées pour des projets solaires; e) une utilisation des normes de qualité de l'équipement d'énergie solaire; f) un financement adéquat d'une recherche de pointe pour assurer la fiabilité des données météorologiques; g) la formation et le perfectionnement du personnel de technologie solaire et un financement suffisant pour la recherche sur les dispositifs d'application solaire; h) la normalisation de la pratique et de l'exécution des projets liés à l'énergie; et (i) un suivi cohérent des progrès des centres énergétiques.

## 3. Systèmes Solaires Photovoltaïques

### 3.1 Types de systèmes PV

Différents types de PV ont été identifiés selon leurs caractéristiques. À partir de la configuration du système, Zeman (2012) a distingué trois types de systèmes PV de base, à savoir: le système connecté au réseau, le système autonome et le système hybride. Le système PV autonome fonctionne uniquement grâce à l'énergie solaire et il peut être connecté directement à une charge ou peut inclure des batteries pour le stockage de l'énergie produite pendant la journée. Cette énergie stockée sera utilisée la nuit ou pendant les moments de mauvaises conditions météorologiques. En ce qui concerne les systèmes connectés au réseau, ils ont un fonctionnement similaire à celui des centrales électriques, car la puissance générée est envoyée au réseau via des onduleurs compatibles connectés au réseau et aucune batterie n'est requise pour le stockage. Les systèmes hybrides sont composés d'un panneau photovoltaïque et d'autres moyens de production d'électricité comprenant, mais sans s'y limiter, un générateur au gaz, éolien ou au diesel et nécessitent souvent un système de contrôle de charge plus sophistiqué en comparaison aux systèmes PV autonomes.

#### 3.1.1 Systèmes PV autonomes

Dans un tel système, l'énergie excédentaire produite durant des périodes où la demande de charge est faible ou nulle, est stockée dans la batterie pour une utilisation ultérieure pendant les périodes de faible ensoleillement. En raison de la nature variable de l'énergie solaire, on peut dire que l'aspect important et à la fois coûteux des systèmes photovoltaïques autonomes réside en leur autonomie, nécessaire pour fournir un approvisionnement fiable afin de répondre à la charge lorsque les conditions météorologiques ne s'y prêtent pas: période de faible ensoleillement, mauvaises conditions météorologiques (Sick & Erge, 1996). La figure 3.1 illustre les composants d'un système PV autonome

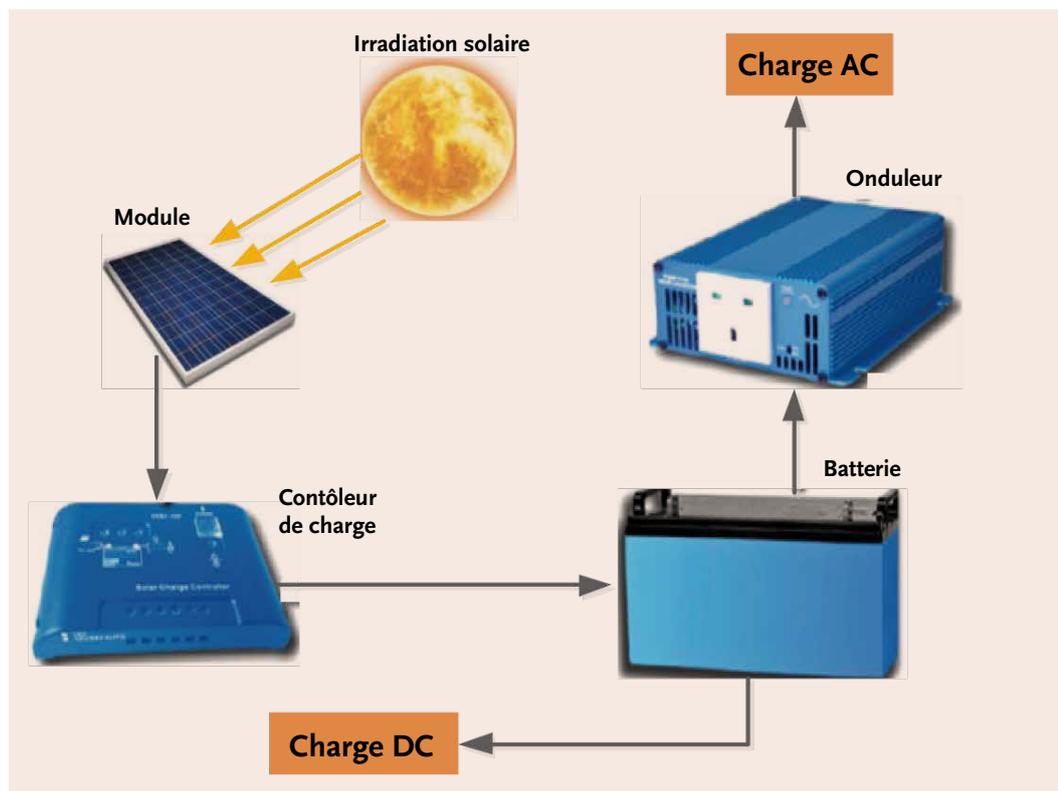


FIGURE 3.1: COMPOSANTS D'UN SYSTÈME PV AUTONOME

Source: d'après Abdul & Anjum, 2015

### 3.1.2 Systèmes connectés à un réseau

Il s'agit de systèmes PV directement connectés au réseau public. De tels systèmes sont rentables lorsque la charge du réseau public est bien adaptée au profil des ressources solaires de la localisation (Sick et Erge, 1996). Par exemple, un système connecté au réseau fonctionnera bien dans un endroit où les pics de charge d'air conditionné coïncident avec les heures d'ensoleillement maximal d'une journée d'été.

### 3.1.3 Systèmes PV hybrides

Dans le cas d'un système hybride, l'énergie électrique est générée à partir de deux systèmes voire plus. Selon Domenech et al. (2015), la combinaison de systèmes individuels s'est avérée adéquate pour la production d'énergie. Le système hybride est avantageux en ce sens que les deux technologies employées dans la production d'énergie sont complémentaires et renforcent la fiabilité du système.

## 3.2 Avantages économiques et environnementaux des systèmes PV

### 3.2.1 Avantages économiques

Une analyse économique est souvent réalisée afin de déterminer le potentiel économique des systèmes PV. Différentes méthodes d'analyse économique ont été employées dans le cadre de recherches pour déterminer le potentiel économique des systèmes PV: Darras et al. (2015) et Bernal-Agustin et Dufo-Lopez (2006) ont utilisé le modèle d'analyse économique de la valeur actuelle nette (VAN); Abanda et al. (2016) ont utilisé l'analyse des coûts du cycle de vie; Koberle et al. (2015), le coût stabilisé de l'électricité (LCOE) pour démontrer le potentiel économique des systèmes PV; Ghosh

et al. (2015), (2015), Ayompe et Duffy (2014), Ma et al. (2015) et Mbaka et al. (2010) ont utilisé le logiciel HOMER afin de déterminer le LCOE des systèmes PV; tandis que Lang et al. (2016) eux, ont utilisé un modèle économique qui implique une dynamique de flux de trésorerie pour déterminer la performance économique d'un système PV.

### 3.2.2. Avantages environnementaux

L'analyse du cycle de vie (ACV) est l'outil souvent utilisé pour déterminer l'impact d'un produit sur l'environnement. L'ACV est une méthodologie utilisée pour quantifier les charges et les impacts environnementaux liés au cycle de vie d'un produit ou d'un service (Treyer & Bauer, 2015). Elle permet d'identifier des points chauds de l'environnement et de faire une comparaison non biaisée des produits ou services qui répondent aux mêmes besoins que la comparaison des impacts environnementaux d'une production d'électricité à kWh à partir de différentes sources. Les opinions des chercheurs sur les avantages environnementaux des technologies d'énergie renouvelable varient; alors que certains chercheurs considèrent ces technologies non émettrices de carbone, d'autres ne partagent pas ce point de vue. Nugent et Sovacool (2014) ont réalisé une évaluation des GES du cycle de vie de certaines technologies d'énergie renouvelable; L'énergie éolienne et l'énergie solaire photovoltaïque (PV) et leur évaluation ont révélé que les technologies d'énergie renouvelable ne génèrent pas d'importantes émissions puisque l'énergie éolienne et l'énergie solaire produisaient respectivement en moyenne 34,11 gCO<sub>2</sub>-éq / kWh et de 49,81 gCO<sub>2</sub>-éq / kWh. Cependant, leurs émissions sont faibles par rapport au diesel (778 gCO<sub>2</sub> éq / kWh) et au charbon (960 gCO<sub>2</sub> éq / kWh). L'utilisation de l'électricité produite à partir de ressources renouvelables a donc un impact positif sur l'environnement en termes de réduction des émissions de GES (Sapkota et al. 2014) car durant la production d'électricité, leurs émissions en carbone sont plus faibles par rapport à celles des combustibles traditionnels. Le processus de fabrication du photovoltaïque est associé à une utilisation élevée de métaux tels que le minerai de fer, le nickel, le cuivre et l'argent (Treyer et Bauer, 2015). La production d'électricité à partir de systèmes PV est associée à la libération de substances toxiques dans l'environnement au cours du processus d'extraction des métaux. L'émission en cycle de vie du système PV dépend du matériau de la cellule solaire étant donné que les besoins en énergie pour la fabrication varient selon les matériaux. Sherwani et al. (2010) ont estimé que les émissions du cycle de vie des systèmes PV solaires amorphes, monocristallins et polycristallins variaient respectivement entre 15,6 et 50 gCO<sub>2</sub>eq / kWh, 44 et 280 gCO<sub>2</sub>eq / kWh et entre 9,4 et 104 gCO<sub>2</sub>eq / kWh.

## 3.3 Analyse d'une étude de cas des projets solaires PV dans les pays de l'Afrique de l'Ouest

Un certain nombre de projets solaires photovoltaïques en cours et proposés existent en Afrique de l'Ouest dont le projet envisagé de Nzema au Ghana pour construire la plus grande centrale photovoltaïque d'Afrique (Blue Energy, 2015). La centrale de Nzema augmentera de 6% la capacité de production actuelle du Ghana. Le coût du projet est estimé à 350 millions de dollars USD et la centrale devrait être pleinement opérationnelle en 2017 avec une durée de vie opérationnelle de 20 ans. Le tableau 3.1 présente la liste des 20 plus grands projets de photovoltaïque solaire en Afrique de l'Ouest.

TABLEAU 3.1: 20 PLUS GRANDS PROJETS SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES EN AFRIQUE DE L'OUEST

N°	Intitulé du projet	Capacité actuelle	Lieu	Maître d'œuvre:	État
1	Nzema Solar PV Park	155 MW	Awaso, Ghana	Blue Energy	Projet
2	Tenergie Sénégal projets PV	50 MW	Taif, Darou Mousty et Merina Dakhar, Sénégal	Tenergie Senegal	Projet
3	Côte d'Ivoire Scatec Solar Parc PV	45 MW	Région Nord de la Côte d'Ivoire	Scatec Solar	Soumissionnaires privilégiés
4	Akuo Energy Projets solaires Mali	41 MW	Kita, Kangaba, Mali	Akuo Energy	Projet
5	Mali Scatec Solar Parc PV	33 MW	Région Sud du Mali	Scatec Solar	Contractant
6	Centrale de Zatgouli	22 MW	Ouagadougou, Burkina Faso	À déterminer	Projet
7	Cameroun Projet «51 villages»	21 MW	Konye, Cameroon	«Groupe d'organisations»	Premiers coups de pelle
8	Département de Kona, centrale solaire PV	20 MW	Département de Kona, Burkina Faso	Helios Énergie	financièrement à l'arrêt
9	Burkina Scatec Solar Parc PV	20 MW	Centre du Burkina	Scatec Solar	Soumissionnaires privilégiés
10	Sénégal Scatec Solar Parc PV	20 MW	Région côtière du Sénégal	Scatec Solar	Projet
11	Scatec solar Projet PV Ghana	20 MW	Région côtière du Ghana	Scatec Solar	En cours de développement
12	Gambie Projet solaire PV	20 MW	Birkama, Gambie	CAMAC	financièrement à l'arrêt
13	Sheikh Zayed Centrale solaire	15 MW	Nouakchott, Mauritania	Masdar	Mis en service
14	Prosolia Projets solaire PV	13 MW	Ndiare Wakhy, Coki et Barale, Sénégal	Prosolia Energie Solaire	Projet
15	Centrale solaire du Bénin 1	6 MW	Kandi, Bénin	Helios Energie	Mis en service
16	Projet PV Solaire Mulk	6 MW	Freetown, Sierra Leone	Masdar	Financièrement à l'arrêt
17	Projet PV Solaire Mulk	5 MW	Djogou, Bénin	CEB	Projet
18	Mali Projet «30 villages»	3 MW	Mali	À déterminer	Projet
19	Zouerate 3 MW Projets PV	3 MW	Zouerate, Mauritanie	Power Electronics	Mis en service
20	Kolda Projet Solaire PV	1,5 MW	Kolda, Sénégal	Isofoton	Premiers coups de pelle

Source: Solutions pour l'énergie solaire compétitive en Afrique de l'Ouest, (n.d)

## 4. Méthodes de Recherche

### 4.1 Description du lieu ciblé par l'étude

L'État du Lagos, situé au sud-ouest du Nigeria (Latitude 6°27'14"N et Longitude: 3°23'40"E), couvre une superficie totale de 3 577 km<sup>2</sup>. Son climat tropical est humide et sec (précipitations annuelles moyennes de 1 693 mm et température moyenne de 27°C). Il y a deux saisons de pluies (saison de fortes pluies: avril à juillet, saison de faibles pluies: septembre à décembre). Les plus fortes précipitations sont enregistrées en juin (moyenne de 386 mm) et les plus faibles en décembre (environ 21 mm), les températures les plus élevées sont enregistrées en mars (moyenne de 28,6° C), et celles plus faibles en août (moyenne de 25,2°C) (voir <https://en.climate-data.org/location/552/>). Lagos compte cinq divisions administratives (Lagos, Epe, Badagry, Ikorodu et Ikeja) qui sont chacune subdivisées en 20 Zones de Gouvernement Local (ZGL) et 37 centres locaux de zones de développement (LCDA). La «ville métropolitaine de Lagos» également connue sous le nom de métropole de Lagos compte 85% de la population de l'État du Lagos dont la population des zones semi-rurales. Nous avons opté pour une technique d'échantillonnage dirigé afin de sélectionner les 5 plus grandes ZGL (Alimosho, Ajeromi-Ifelodun, Kosofe, Mushin et Oshodi-Isolo)<sup>2</sup> parmi les 16 que compte la métropole de Lagos (Figure 4.1).

Le PIB de l'État de Lagos, 12,991 milliards N (80,61 milliards USD), a contribué à hauteur de 35,6% au PIB national de 33 985 milliards N (226,5 milliards USD) en 2010 (Bureau des statistiques de Lagos - LBS, 2012). Environ 70% des industries et des services financiers du Nigeria, y compris le siège social de la plupart des entreprises et 90% des flux du commerce extérieur, sont concentrés à Lagos en raison de l'économie diversifiée et florissante de l'État (Gouvernement de l'État du Lagos, 2012). Sur la base de l'attractivité des environnements d'affaires, la ville de Lagos est classée 108e sur 178 économies dans le monde (Banque mondiale, 2008). L'environnement économique diversifié et prospère a un impact sur la consommation d'énergie - la part de l'État de Lagos sur la consommation d'énergie au Nigeria est de 60% (gouvernement de l'État de Lagos, 2012). La croissance économique et le développement de l'État de Lagos peuvent être louables avec l'augmentation de la population, cependant, il reste encore à faire pour ce qui est des efforts de développement visant à promouvoir la durabilité environnementale. Les défis environnementaux dans l'État de Lagos incluent la pollution atmosphérique et sonore du secteur des transports, la mauvaise gestion de l'assainissement et des déchets, en particulier pour les citoyens pauvres, la pollution des eaux de surface et souterraines, la perte des écosystèmes et de la biodiversité, les inondations, (BNRCC, 2012; Change & Cities, 2013; Owolabi, 2016); l'approvisionnement en énergie pour les habitations, les activités commerciales et industrielles provient principalement de la combustion de combustibles fossiles entraînant des émissions élevées de GES (Olugbenga & Adekemi, 2013, Ezema et al., 2016); politiques fragmentées et insuffisantes en matière de réduction des risques, d'adaptation et d'atténuation face au changement et à la variabilité climatiques (Ajibade et al., 2016).

### 4.2 Collecte et analyse de données

Une approche multidisciplinaire structurée autour de principes issus des disciplines de l'ingénierie, de l'économie et de l'environnement a été utilisée dans cette étude. Les 5 types d'habitation à savoir, le duplex, le bungalow unifamilial, la maison traditionnelle avec cour, l'appartement et le 'face-me-I-face-you' au Nigeria ainsi que mentionné dans une précédente étude, (Jiboye, 2014) ont été considérées pour cette étude. Dix de chacun des types d'habitation listés ci-dessus ont été sélectionnés parmi les 5 ZGL choisies pour l'étude (Tableau 4.1). Le nombre de gouvernements locaux et d'habitations sélectionnés a été fixé en fonction des ressources financières disponibles pour la collecte de données. Des outils quantitatifs et qualitatifs ont été utilisés pour la collecte de données. Il s'agit d'outils de collecte de données transversaux tels que des questionnaires (annexe A), des observations sur le terrain et un examen de la documentation.

2 Données provenant du recensement de la population en 2006 (Commission nationale de la population, Nigeria, 2010)

TABLEAU 4.1: CHOIX DU NOMBRE D'HABITATIONS DANS LES ZONES DE GOUVERNEMENT LOCAL

Type d'habitation	ZGL1	ZGL2	ZGL3	ZGL4	ZGL5	Total
Duplex	10	10	10	10	10	50
Bungalow unifamilial	10	10	10	10	10	50
Maison traditionnelle avec cour	10	10	10	10	10	50
Appartement	10	10	10	10	10	50
'Face-me-I-face-you'	10	10	10	10	10	50
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>250</b>

ZGL: Zone de gouvernement local

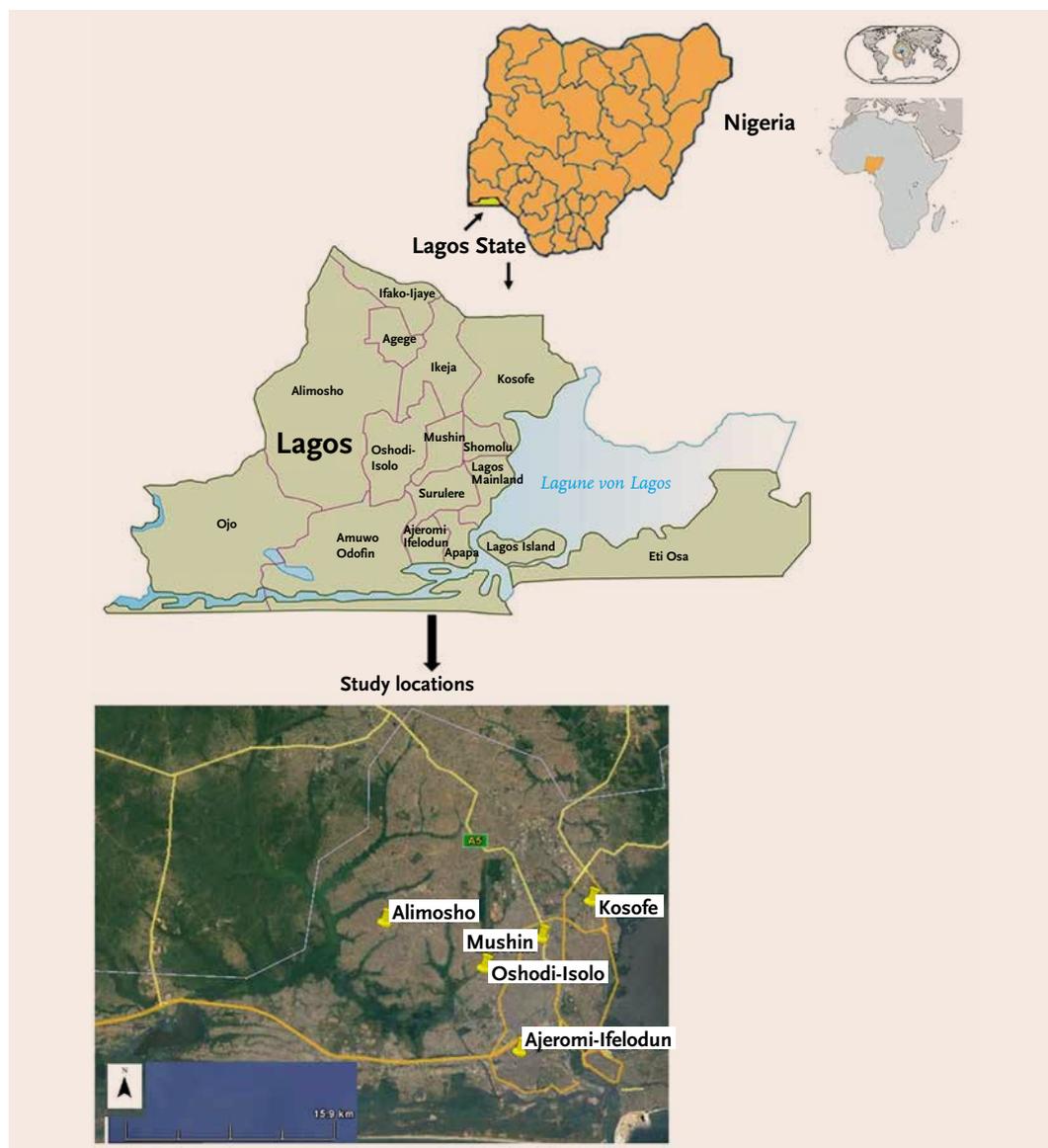


FIGURE 4.1: LIEUX CIBLÉS PAR L'ÉTUDE

Source: Les cartes du Globe, de l'Afrique, du Nigeria et de l'État de Lagos ont été adaptées d'après le Groupe B - Projet collaboratif d'adaptation au climat: [https://fluswikien.hfwu.de/index.php?title=Group\\_B\\_Collaborative\\_Climate\\_Adaption\\_Project](https://fluswikien.hfwu.de/index.php?title=Group_B_Collaborative_Climate_Adaption_Project); Study locations- Google Earth Image - 29 juin 2017.

#### 4.2.1 Modèle des questionnaires et taux de réponse

Les questionnaires ont été élaborés suivant les informations que l'on souhaitait recueillir. La première version des questionnaires a été mise au point et révisée par tous les membres de l'équipe de recherche. Sur la base des commentaires reçus, les questionnaires ont été ajustés et une deuxième version a été obtenue. Celle-ci a été distribuée aux membres de l'équipe de recherche pour un nouvel examen et à ce stade, peu de commentaires ont été reçus. Les commentaires ont été intégrés à la troisième version qui a été partagée par voie électronique à l'équipe des assistants de recherche (pour un pré-test) qui devaient utiliser le questionnaire pour collecter les données requises. À ce stade, aucun commentaire négatif n'a été reçu et par conséquent, la troisième version du questionnaire a été adoptée par l'équipe de recherche comme étant le questionnaire définitif à utiliser dans le processus de collecte de données (Annexe A).

Les questionnaires ont été structurés de sorte à recueillir des informations sur les charges électriques de tous les appareils électroménagers des ménages. Ils comprennent quatre sections distinctes: La première section du questionnaire visait à recueillir des données socioéconomiques sur le ménage enquêté, tandis que la deuxième section visait à obtenir des données sur les caractéristiques des habitations ciblées par l'étude. La troisième section du questionnaire visait à recueillir des informations sur les appareils électroménagers utilisés dans les habitations. Cette section a permis de recueillir des informations sur le type d'appareils, leur nombre et leur puissance pour chaque habitation ciblée. Les puissances nominales des différents appareils ont été lues directement à partir des appareils. La dernière section du questionnaire a été conçue comme un journal hebdomadaire de temps d'utilisation pour recueillir des informations sur la durée quotidienne d'utilisation des différents appareils dans l'habitation enquêtée durant une semaine (du lundi au dimanche) à l'issue de laquelle les questionnaires ont été récupérés auprès des répondants. Les questionnaires ont été distribués en décembre 2016. En tout, 246 questionnaires ont été remplis par les répondants et ont été récupérés sur les 250 qui ont été administrés (taux de réponse à l'enquête = 98,4%). Le taux élevé de réponse au questionnaire pourrait être attribué à l'approche utilisée par les chercheurs - les assistants de recherche ont pris rendez-vous avec les résidents et se sont rendus chez eux. Ils ont remis des questionnaires à ceux qui pouvaient répondre et ont aidé ceux qui ne le pouvaient pas en cochant les réponses pour eux.

#### 4.2.2 Analyse des données à partir du SPSS

Les données quantitatives obtenues ont été analysées en utilisant des outils de statistique descriptive simple du Progiciel de statistiques pour les sciences sociales (SPSS, Version-22, SPSS Inc. New York, NY, USA).

#### 4.2.3 Logiciel HOMER et analyse

L'acronyme HOMER désigne le modèle d'optimisation hybride pour l'énergie multi-sources. Il a été développé en 1993 par le Dr. Peter Lilienthal dans le Laboratoire national sur les énergies renouvelables (NREL) aux États-Unis. HOMER est l'un des outils les plus utilisés dans la simulation, l'optimisation et la performance de l'analyse de sensibilité des systèmes d'énergie renouvelable connectés au réseau et hors réseau (Baghdadi et al. 2015). Lors du processus de simulation, HOMER modélise le comportement de la configuration du système à chaque heure de l'année pour déterminer sa faisabilité technique et le coût de son cycle de vie (Lambert et al. 2006). Les optimisations consistent en la simulation de nombreuses configurations système différentes par le logiciel afin de rechercher celle qui satisfait les contraintes techniques au coût du cycle de vie le plus bas. En ce qui concerne l'analyse de sensibilité, le logiciel HOMER effectue plusieurs optimisations en utilisant une série d'hypothèses d'entrée pour déterminer les effets de l'incertitude ou des changements dans l'entrée du modèle. La figure 4.2 présente la relation qui existe entre la simulation, l'optimisation et l'analyse de sensibilité.

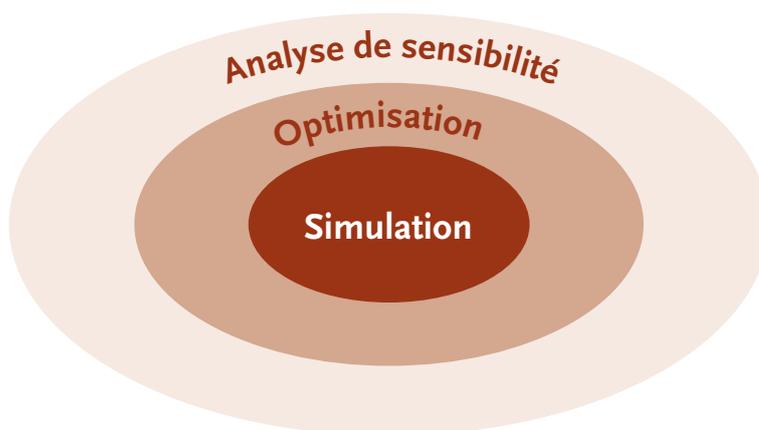


FIGURE 4.2: RELATION CONCEPTUELLE ENTRE SIMULATION, OPTIMISATION ET ANALYSE DE SENSIBILITÉ DANS HOMER PRO.

Source: Lambert et al. (2006)

HOMER legacy est la version originale du logiciel HOMER qui a été créée au NREL. Le logiciel HOMER Pro est la norme mondiale utilisée pour l'optimisation de la conception de micro-réseaux dans tous les secteurs. Il a été développé au NREL mais a été amélioré et distribué par HOMER energy.

#### 4.2.3.1 Calcul du profil de charge

Le profil de charge énergétique des appareils pour toutes les habitations étudiées a été calculé à l'aide d'une feuille de calcul Excel. La charge d'énergie horaire (en watts) pour chaque bâtiment a été obtenue en additionnant la puissance nominale de tous les appareils utilisés durant chacune des 24 heures de la journée. Le profil de charge journalière de chaque habitation a été défini en tant que moyenne du profil de charge pour les sept jours de la semaine. Le profil de charge journalière calculé pour les différentes habitations est présenté à l'annexe F. Il comprend les caractéristiques des appareils dans certaines habitations sélectionnées (y compris les cas très rares des habitations ayant des charges très élevées).

#### 4.2.3.2 Modélisation des systèmes PV

##### Design du système

Le système PV autonome a été conçu pour répondre au profil de charge minimum et maximum de chaque type d'habitation par ZGL (Tableau 4.1). Au total, 50 systèmes PV ont donc été conçus. Le schéma du système PV est présenté à la figure 4.3.

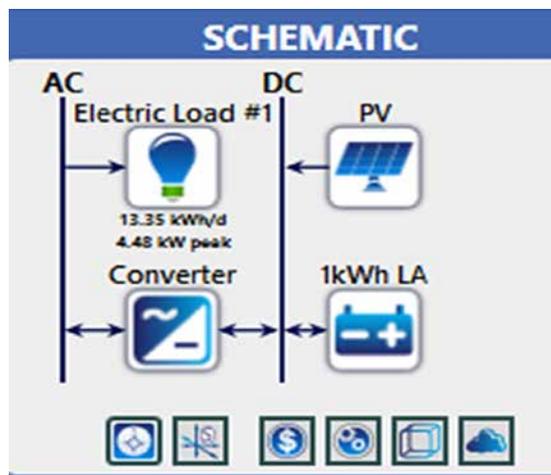


FIGURE 4.3: SCHÉMA DU SYSTÈME PV CONÇU

##### Étape 1: Spécification du site

La spécification du site représente un point important dans la conception de systèmes d'énergie renouvelable qui se fait avec le logiciel HOMER Pro. À la page d'accueil du logiciel figure une carte du monde et un champ de recherche (Figure 4.4). Pour commencer, les détails du projet tels que le nom et l'auteur ont été fournis sur la page d'accueil et l'emplacement de la zone d'étude a été recherché. Le nom de chacune des cinq ZGL à partir desquelles des informations sur les données de charge ont été obtenues a été saisi dans la boîte de recherche et recherchée. Chaque fois que le nom d'un emplacement était saisi dans la zone de recherche, le logiciel cherchait l'emplacement spécifié sur la carte et affichait ses coordonnées géographiques.

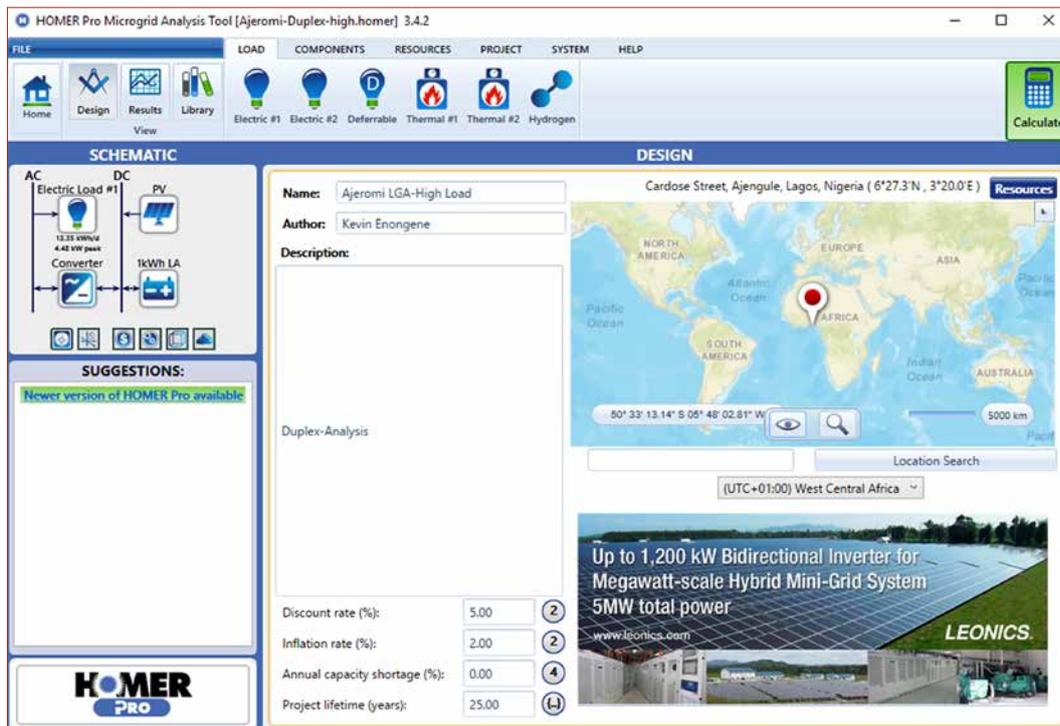


FIGURE 4.4: PAGE D'ACCUEIL DU LOGICIEL HOMER PRO

### Étape 2: Spécification du profil de charge et des composants du système

Les profils de charge électrique minimale et maximale pour chaque type d'habitation des ZGL sélectionnées (voir annexe F) ont été introduits dans le logiciel HOMER Pro sous l'onglet des charges (Figure 4.5).

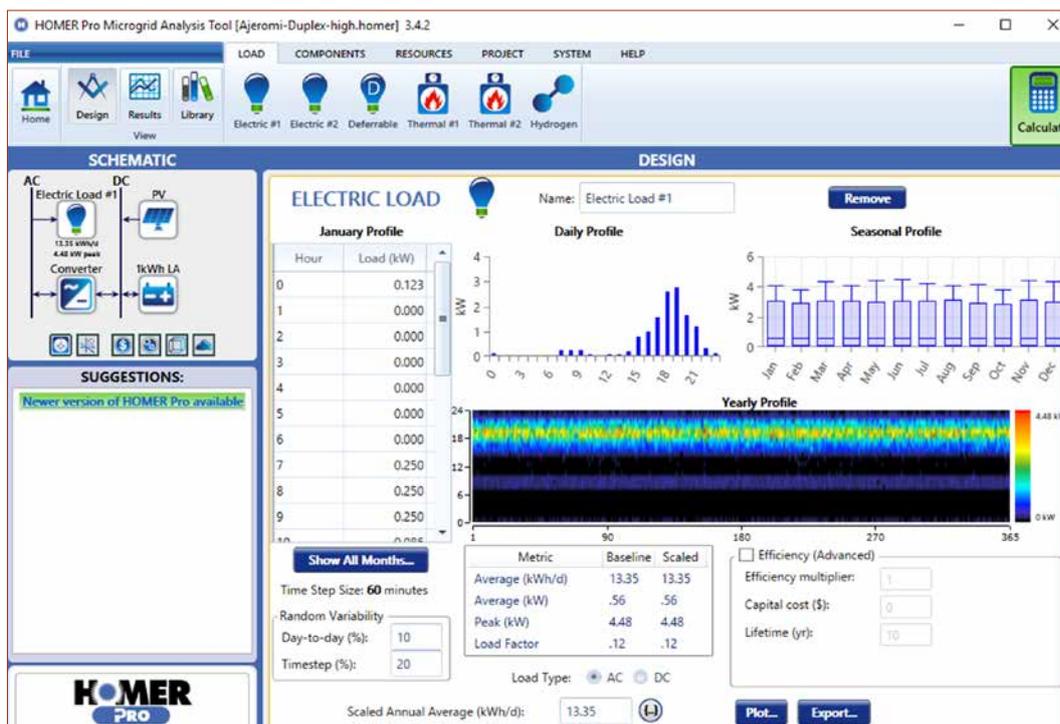


FIGURE 4.5: ONGLET DES CHARGES DU LOGICIEL HOMER PRO

Les différents composants du système PV (batterie, panneau photovoltaïque et transformateur) ont été spécifiés sous l’onglet des composants du logiciel. Les données sur les ressources solaires (Irradiation globale horizontale -IGH) pour les sites ciblés par d’étude (ZGL) ont été importées directement dans le logiciel sous l’onglet des ressources de l’Administration nationale de l’aéronautique et de l’espace (NASA) Langley Centre de recherche de Langley, centre de données scientifiques sur l’atmosphère. Le rayonnement solaire quotidien en moyenne par mois pour l’une des ZGL obtenu à partir du logiciel HOMER Pro est présenté à la figure 4.6.

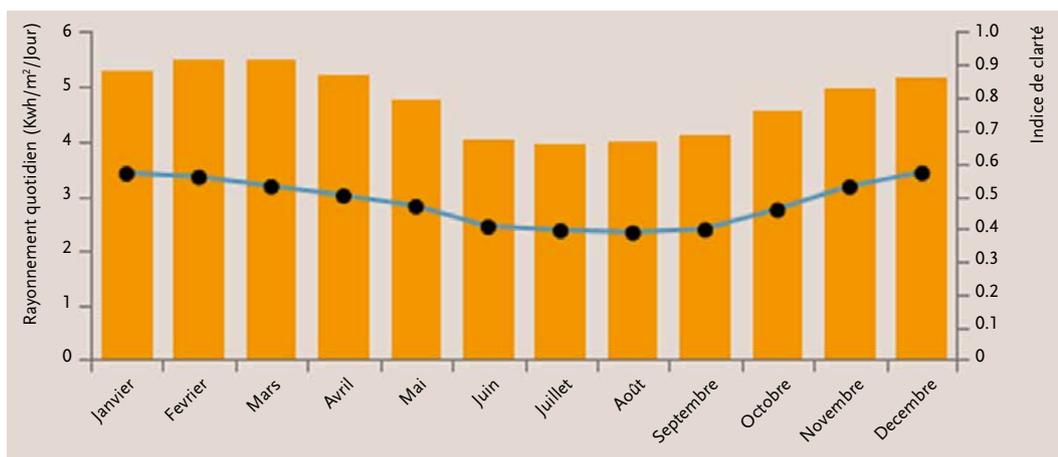


FIGURE 4.6: RAYONNEMENT SOLAIRE QUOTIDIEN EN MOYENNE POUR LA ZGL DE KOSOFE OBTENU À PARTIR DU LOGICIEL HOMER PRO

### Étape 3: Calcul

HOMER Pro a été utilisé afin d’effectuer le processus de simulation en modélisant le comportement de la configuration du système à chaque heure de l’année afin de déterminer la faisabilité technique du système et le coût du cycle de vie. Cela consiste en l’optimisation du système grâce à une simulation de différentes configurations de système dans le but de rechercher le système qui satisfait aux contraintes techniques au coût du cycle de vie le plus bas. Le calcul du scénario de base a été effectué en fonction de ce qui suit; un état de charge minimale de la batterie (SOC) de 40%, une possibilité annuelle maximale de pénurie de 0%, un taux d’actualisation de 5%, un taux d’inflation de 2% et une durée de vie PV de 25 ans.

### Modélisation du système PV

HOMER Pro a été utilisé pour effectuer une analyse de sensibilité basée sur cinq variables différentes: possibilité annuelle maximale de pénurie, durée de vie PV, état de charge minimale de la batterie, inflation et taux d’actualisation afin de déterminer leur effet sur le LCOE du système. Le tableau 4.2 présente les paramètres de sensibilité utilisés.

TABLEAU 4.2: PARAMÈTRES DE SENSIBILITÉ UTILISÉS DANS LA MODÉLISATION DU SYSTÈME.

Variable de sensibilité	Scénario de base	Analyse de sensibilité
Possibilité annuelle maximale de pénurie	0%	5%, 10% et 15%
Taux d’actualisation	5%	10%
durée de vie du système PV	25 ans	20 ans et 30 ans
Taux d’inflation	2%	5%
État de charge minimale de la batterie	40%	30%

### Calcul de la superficie du panneau du système PV

La taille (surface) du panneau PV pour les différentes habitations a été calculée à l'aide de l'équation 1 ainsi que présentée par Birajdar et al. (2013).

$$A_{PV} = \frac{L_{el}}{H_{avg} \times \eta_{pv} \times \eta_b \times \eta_i \times T_{FC}} \quad (1)$$

$A_{PV}$  représente la surface requise du panneau PV en  $m^2$ ,  $L_{el}$  est la charge électrique journalière requise de l'habitation en kWh/jour,  $H_{avg}$  est l'irradiation journalière moyenne de la localisation en  $kWhm^{-2}d^{-1}$ ,  $\eta_{pv}$  représente l'efficacité du panneau PV %,  $\eta_b$  est l'efficacité de l'onduleur en % et  $T_{FC}$  représente le facteur de correction de température. L'efficacité de la batterie et celle de l'onduleur ont été adoptées par Abdul et Anjum (2015) respectivement à 85% et 90%, et le  $T_{FC}$  a été adopté par Caisheng et Nehrir () à 80%. Il est important que la surface PV soit ajustée pour tenir compte de la variation de la sortie du système PV au cours de sa durée de vie en raison de la dégradation. Cet ajustement est effectué en divisant la surface PV par le facteur de déclassement du module, qui représente la réduction de la production PV due à l'accumulation de poussière et à la dégradation dans le temps. Un facteur de déclassement de module de 0,9 a été adopté par Sandia National Laboratories (1995). Voir le Tableau 5.3 pour la superficie requise pour le panneau PV (en  $m^2$ ) calculée pour les différentes habitations.

#### 4.2.3.3 Analyse économique des systèmes PV

En utilisant HOMER Pro, nous avons réalisé l'analyse économique avec les données disponibles (Tableau 4.3). Nous avons déterminé le coût actuel net (NPC) et le coût actualisé de l'électricité produite par le système en utilisant un taux d'inflation de 2% et un taux d'actualisation de 5%. Le coût d'exploitation et de maintenance a été estimé à 2% du coût initial du module photovoltaïque et le coût d'installation du système a été estimé à 10% du coût initial du module PV.

TABLEAU 4.3: COÛT DES COMPOSANTS D'UN SYSTÈME SOLAIRE PV (OBTENU AUPRÈS D'UN FOURNISSEUR LOCAL)

Composants du système	Coût (USD) <sup>3</sup>
Module (100W monocristallin)	158
Contrôleur de charge (60 AMP)	190
Batterie (plomb-acide, 83,3Ah)	160
Onduleur (1 kW)	158
<b>Total</b>	<b>666</b>

#### 4.2.3.4. Analyse environnementale des systèmes PV

Afin d'estimer les avantages ou les potentiels environnementaux des systèmes PV utilisés dans cette étude, il est nécessaire de disposer des données de l'ACV pour l'électricité produite par les systèmes PV au Nigeria. Vu que ces informations sont rares, les données de l'ACV sur une production moyenne d'électricité de 162  $gCO_2eq/kWh$ , à partir de modules monocristallins, obtenues par Sherwani et al. (2010) ont été adoptées. D'après Brander et al. (2011), l'émission associée à un kWh d'électricité du réseau s'élève à 440  $gCO_2eq$ . Les économies d'émissions (ES) associées à l'utilisation d'un kWh d'électricité produite par les systèmes photovoltaïques utilisés dans cette étude ont été calculées en utilisant la même approche qu'Abanda et al. (2016):

$$Es = EG - EPV = 440 \text{ gCO}_2\text{eq} - 162 \text{ gCO}_2\text{eq} = 278 \text{ gCO}_2\text{eq}$$

EG représente les émissions associées à un kWh d'électricité du réseau et EPV représente les émissions d'un kWh d'électricité produite par un système PV. L'économie d'émissions de 278

3 Conversion de Naira en USD sur la base d'un taux de change de 1USD = 315 Naira (taux de change du 20 juin 2017)

gCO<sub>2</sub>eq constitue une réduction des émissions à hauteur de 63,2% par rapport au scénario des activités quotidiennes (utilisation de l'électricité du réseau). L'économie quotidienne d'émissions qui résulterait de l'utilisation de l'électricité des systèmes PV par les habitations a été calculée en multipliant simplement la charge quotidienne des habitations en kWh par 278 gCO<sub>2</sub>eq.

## 5 Résultats

### 5.1 Informations générales sur les personnes interrogées et caractéristiques des habitations

#### 5.1.1 Taille du ménage, profession des chefs de ménage et matériaux de construction de l'habitation

La majorité (53,71%) des maisons dans les lieux ciblés par l'étude comptent 4 à 6 personnes (annexe B). La plupart (60%) des chefs de ménage sont des hommes et des femmes d'affaires. Les habitations des sites d'étude sont principalement construites en briques et en béton (74,8%), suivies de celles construites uniquement en béton et celles construites en briques uniquement (7,2% et 6,8% respectivement).

#### 5.1.2 Nombre de pièces des différents types d'habitation

Le nombre de pièces (nombre de chambres à coucher, cuisines, salles à manger, salon et toilettes) des types d'habitations considérés dans l'étude est présenté à l'annexe C. Nombre de chambres à coucher pour Duplex = 4, Bungalow unifamilial = 3, Habitation plate = 2 ou 3, cour traditionnelle et 'Face-me-I-face-you' = 1. Tous les types d'habitation contiennent principalement 1 cuisine, 1 salle à manger, 1 salon. En dehors du duplex et de la maison traditionnelle avec cour qui ont respectivement 4 et 1 toilette (s), les autres types d'habitation ont 2 toilettes.

### 5.2 Sources d'énergie et consommation de combustibles

La principale source d'énergie pour tous les types d'habitation des endroits ciblés par l'étude consiste en des groupes électrogènes et les lanternes rechargeables - chargées soit par les groupes électrogènes ou l'alimentation électrique du réseau, lorsqu'elles sont disponibles, représentent 48,4% de l'énergie totale disponible dans la zone (Annexe D). En fonction de la fréquence d'utilisation des sources d'énergie disponibles, les groupes électrogènes sont utilisés dans les duplex, les groupes électrogènes et les lanternes rechargeables sont utilisés dans les appartements, les lanternes rechargeables sont utilisées dans les bungalows unifamiliaux, les maisons traditionnelles avec cour, et les 'Face-me-I-face-you'. En outre, les lanternes rechargeables sont principalement utilisées dans les lieux ciblés par l'étude en cas de coupure d'électricité.

Le chauffage, l'éclairage, les loisirs et la climatisation représentent la consommation d'énergie la plus élevée (24,8%) dans les sites d'étude. La consommation hebdomadaire moyenne de diesel, de kérosène et de bougies dans les lieux ciblés par l'étude est d'environ 28 litres et 1 litre respectivement et de 7 bougies<sup>4</sup> (Annexe D). Dans certains cas, la consommation diffère selon les types d'habitation et l'utilité. La consommation hebdomadaire moyenne en diesel pour les maisons traditionnelles avec cour = 12 litres, Duplex et 'Face-me-I-face-you' = 14 litres, les bungalows unifamiliaux et les appartements = 28 litres. Il a été observé que les maisons traditionnelles avec cour utilisent plus de

4 Les répondants ont fourni la quantité moyenne de chaque type de carburant consommé par semaine et les valeurs déclarées représentent la consommation hebdomadaire moyenne à la fréquence la plus élevée.

kérosène (moyenne de 7 litres par semaine) suivies des duplex (moyenne de 5 litres par semaine) contre 1 litre utilisé dans les bungalows unifamiliaux et les appartements. Les appartements utilisent le plus grand nombre de bougies (moyenne de 20 par semaine). La consommation d'énergie dans les lieux ciblés par l'étude est considérablement augmentée pendant les saisons sèches et les périodes de fête. Dans une très large mesure (44,8%), les répondants reconnaissent que la saison sèche affecte leur niveau de consommation d'énergie. De même, les saisons festives comme Noël, le Ramadan (périodes de jeûne) et le Nouvel An ont un effet sur la consommation d'énergie dans une très large mesure (33,6%, 37,6% et 34,4% respectivement) dans les lieux ciblés par l'étude.

## 5.3 Politiques

### 5.3.1 Connaissance des politiques

Les résultats de l'analyse sur la connaissance des politiques (annexe E) ont révélé que les répondants ne connaissent pas les politiques sur:

- les incitations à la promotion de l'installation de systèmes PV solaires (52,8%)
- l'utilisation de la fiscalité, la réduction des taxes sur les systèmes photovoltaïques (54%)
- les subventions du gouvernement local pour la réduction des coûts des systèmes solaires PV (54%)
- les campagnes de sensibilisation et d'information sur les systèmes photovoltaïques (45,6%) et
- les programmes de leadership public par les gouvernements locaux démontrant les systèmes solaires PV (61,6%)

### 5.3.2 Conséquences des politiques

Bien que les personnes interrogées n'aient pas connaissance des politiques considérées dans cette étude, elles perçoivent que les politiques suivantes peuvent, dans une très large mesure, influencer l'adoption/l'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque sur les habitations des lieux choisis par l'étude:

- Politiques sur l'utilisation de la fiscalité, la réduction des taxes sur les systèmes PV solaires (31,2% des répondants)
- Politiques sur les subventions des gouvernements locaux pour la réduction du coût des systèmes solaires PV (36,4% des répondants)
- Politiques de sensibilisation et campagnes d'information sur les systèmes PV solaires (38% des répondants) et
- Politiques sur les programmes de leadership public à l'initiative des gouvernements locaux sur les systèmes solaires PV (34,8% des répondants).

## 5.4 Conception des systèmes PV

### 5.4.1 Spécifications techniques pour les composants du système

Les résultats des simulations HOMER réalisées dans le cadre du processus de conception de systèmes PV solaires pour répondre aux charges minimales et maximales (annexe E) de chaque type d'habitations par ZGL sont présentés dans le tableau 5.1. Les spécifications techniques présentées dans le Tableau 5.1 sont pour le scénario de base: 0% possibilité de pénurie, 40% de charge minimale de batterie, 25 ans de durée de vie PV, 5% de taux d'actualisation et 2% de taux d'inflation.

#### Conception des systèmes PV pour une charge maximale des habitations

La plus grande taille de panneau photovoltaïque (215 kW) sera requise pour le type d'habitation Duplex à la ZGL de Mushin avec une batterie au plomb de 380 kWh, un transformateur de 16,8 kW et une puissance PV maximale de 300 577 kWh/an. D'autre part, les maisons traditionnelles avec cour de la ZGL de Kosofe nécessiteront la plus petite taille de panneau photovoltaïque (0,6 kW) avec batterie au plomb de 4 kWh et le plus faible transformateur et la plus faible puissance de sortie

du système PV (0,6 kW et 839 kWh/an respectivement). Il convient de souligner que les types de bungalow unifamilial et duplex à Mushin nécessiteront la plus grande batterie au plomb et le plus grand transformateur (440 kWh et 16,8 kW respectivement).

**Conception des systèmes PV pour une charge minimale des habitations**

La plus grande taille de panneau photovoltaïque, de batterie au plomb, de transformateur et la puissance de sortie PV la plus élevée (46 kW, 195 kWh, 5,6 kW et 64 310 kWh/an) sera requise pour les Duplex dans la ZGL de Mushin. À l'inverse, les «Face-me-I-face-you» à Kosofe nécessiteront la plus petite taille de panneau photovoltaïque, de batterie au plomb, de transformateur et la plus faible puissance PV (respectivement, 0,2 kW, 2 kWh, 0,1 kW et 280 kWh/ année).

Les conclusions sur la conception des systèmes PV pour la charge maximale et minimale des habitations dans les lieux ciblés par l'étude peuvent être liées au nombre de chambres dans les types d'habitation considérées. Nombre habituel de chambres pour Duplex = 4, bungalow unifamilial = 3, appartement = 2 ou 3, maison traditionnelle avec cour et 'Face-me-I-face-you' = 1. Par conséquent, il est prévu que les Duplex avec 4 chambres aient besoin d'un panneau photovoltaïque, d'une batterie acide et d'un transformateur en taille plus grande, tandis que les «Face-me-I-face-you» auront besoin d'une taille plus petite de ces composantes. Le type d'appareils utilisés dans les lieux ciblés par l'étude est tout aussi important, par exemple la plus grande batterie au plomb et le plus grand transformateur, ainsi que la puissance de sortie PV la plus élevée pour la ZGL de Mushin peuvent être attribués à l'utilisation d'appareils électroménagers à faible consommation d'énergie qui peuvent être pratiques selon la localisation.

TABLEAU 5.1: SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES DES COMPOSANTS DU SYSTÈME

Type d'habitation	ZGL	Panneau PV (kW)	1 kWh Batterie plomb acide	Transformateur	Puissance électrique du système PV (kWh/ans)
<b>CONCEPTION DES SYSTÈMES PV POUR UNE CHARGE MAXIMALE DES HABITATIONS</b>					
<b>Bungalow unifamilial</b>	Mushin	120	440	16	167 764
	Kosofe	3	30	1,6	4194
	Oshodi	24	125	6,4	33 552
	Alimosho	15	108	7,5	20972
	Ajeromi	22	98	5	30751
<b>Duplex</b>	Mushin	215	380	16,8	300 577
	Kosofe	6	32	2	8 389
	Oshodi	30	130	7,2	41940
	Alimosho	40	132	9	55 929
	Ajeromi	15	40	4,8	20 966
<b>'Face-me-I-face-you'w</b>	Mushin	36	94	6	50 329
	Kosofe	1,6	16	1,6	2 237
	Oshodi	6	36	5,8	8 388
	Alimosho	78	176	20	109 055
	Ajeromi	20	66	5,8	27 955
<b>Maison traditionnelle avec cour</b>	Mushin	28	112	2,8	39 145
	Kosofe	0,6	4	0,6	839
	Oshodi	6	30	2,8	8388
	Alimosho	16	68	3,4	22 370
	Ajeromi	13	48	4,6	18 171

Type d'habitation	ZGL	Panneau PV (kW)	1 kWh Batterie plomb acide	Transformateur	Puissance électrique du système PV (kWh/ans)
Appartement	Mushin	52	134	5,2	72 698
	Kosofe	3	18	2,8	4194
	Oshodi	16	88	6,8	22 368
	Alimosho	42	76	13,2	58 772
	Ajeromi	24	38	7	33 546
<b>CONCEPTION DE SYSTÈME PV POUR UNE CHARGE MINIMALE DES HABITATIONS</b>					
Bungalow unifamilial	Mushin	24	128	3,6	33553
	Kosofe	0,6	3	0,4	839
	Oshodi	4,5	19	1,2	6 291
	Alimosho	7	28	2,5	9 787
	Ajeromi	0,8	7	0,4	1 118
Duplex	Mushin	46	195	5,6	64 310
	Kosofe	0,8	9	0,6	1 118
	Oshodi	3	12	2,6	4194
	Alimosho	22	80	4,6	30 795
	Ajeromi	1	10	0,8	1 398
'Face -me -l face -you'	Mushin	2,8	15	0,6	3 914
	Kosofe	0,2	2	0,1	280
	Oshodi	2,5	22	0,7	3 495
	Alimosho	7	42	5,4	9 787
	Ajeromi	0,4	3	0,3	559
Maison traditionnelle avec cour	Mushin	0,8	7	0,6	1 118
	Kosofe	0,3	2	0,4	419
	Oshodi	0,6	4	0,6	839
	Alimosho	1	8	0,4	1 398
	Ajeromi	0,5	4	0,4	699
Appartement	Mushin	14	42	2,4	19 572
	Kosofe	0,7	3	0,6	979
	Oshodi	0,7	6	0,4	979
	Alimosho	5	22	1,4	6 991
	Ajeromi	2	12	0,6	2 796

#### Analyse de sensibilité sur les spécifications techniques pour les composants du système

Une analyse de sensibilité a été effectuée sur la possibilité annuelle de pénurie (5%, 10% et 15%) et l'état de charge minimale de la batterie (30%) en tenant compte des spécifications techniques des composants du système (tableau 5.2). Les résultats présentés au tableau 5.2 illustrent l'effet de la variation de la possibilité annuelle de pénurie et de l'état de charge minimale de la batterie sur les spécifications techniques des systèmes conçus pour les charges minimales des bungalows unifamiliaux. Voir l'annexe G pour les autres types d'habitation.

Une vue d'ensemble des résultats de l'analyse de sensibilité montre qu'une augmentation de la possibilité annuelle maximale de pénurie (de 0 à 15%) entraînera une diminution de la taille des panneaux photovoltaïques, de la batterie au plomb et de la puissance de sortie PV. Cependant, le scénario est différent pour ce qui est de la batterie au plomb à Alimosho (augmentation entre 5 et 10% et diminution subséquente à 15%) et Ajeromi (augmentation entre 10 et 15%).

Pour l'état de charge minimale de la batterie (à une valeur de sensibilité de 30%), les résultats révèlent que Mushin nécessitera la plus grande taille de panneau PV, batterie au plomb et de puissance de sortie PV (20 kW, 128 kWh et 27 961 kWh/an respectivement). En revanche, Kosofe nécessitera la plus petite taille de panneau PV (0,5 kW), de batterie au plomb (3 kWh) et de puissance de sortie PV (699 kWh / an).

TABLEAU 5.2: CONSÉQUENCES DE L'ÉTAT DE CHARGE MINIMALE DE LA BATTERIE ET DE LA POSSIBILITÉ DE PÉNURIE SUR LES COMPOSANTS DU SYSTÈME (POUR LES CHARGES MINIMALES DES BUNGALOWS UNIFAMILIAUX)

ZGL	Valeur de sensibilité (%)	Panneau PV (kW)	Batterie plomb acide 1 kWh	Puissance électrique du système PV (kWh/ans)
<b>VARIABLE DE SENSIBILITÉ; POSSIBILITÉ ANNUELLE MAXIMALE DE PÉNURIE</b>				
Mushin	0	24	128	33553
	5	12	108	16 776
	10	10	112	13 980
	15	10	68	13 980
Kosofe	0	0,6	3	839
	5	0,3	3	419
	10	0,3	2	419
	15	0,3	2	419
Oshodi	0	4,5	19	6 291
	5	2,5	12	3 495
	10	2	12	2 796
	15	2	8	2 796
Alimosho	0	7	28	9 787
	5	4	20	5 593
	10	3	22	4 194
	15	3	14	4 194
Ajeromi	0	0,8	7	1 118
	5	0,6	4	839
	10	0,6	3	839
	15	0,4	4	559
<b>VARIABLE DE SENSIBILITÉ: ÉTAT DE CHARGE MINIMALE DE LA BATTERIE</b>				
Mushin	30%	20	128	27961
Kosofe	30%	0,5	3	699
Oshodi	30%	4	19	5 592
Alimosho	30%	7	24	9787
Ajeromi	30%	0,8	6	1 118

**Superficie des panneaux PV (kW)**

Le calcul de la superficie requise des panneaux PV est présenté dans le tableau 5.3 D'après certaines recherches (Eruola et al. 2010; Fagbemi, 2011), la surface du toit des habitations typiques dans le sud-ouest du Nigeria sont les suivantes: bungalow unifamilial (332.12 m²); duplex (218.3 m²); *Face-me-I-face-you'* (156.78 m²); maison traditionnelle avec cour (282.24 m²); et appartement (280.72 m²).

TABLEAU 5.3: SUPERFICIE DE PANNEAU PV REQUISE POUR LES DIFFÉRENTS TYPES D'HABITATION

Type d'habitation	ZGL	Superficie du panneau PV (en m <sup>2</sup> )-charges faibles	Superficie du panneau PV (en m <sup>2</sup> )-charges élevées	Superficie du toit (m <sup>2</sup> ) de l'habitation
<b>Bungalow unifamilial</b>	Mushin	73,97	330,93	332,12
	Kosofe	1,69	12,44	
	Oshodi	13,30	76,15	
	Alimosho	20,71	50,38	
	Ajeromi	2,96	52,88	
<b>Duplex</b>	Mushin	132,50	437,54**	218,3
	Kosofe	3,32	17,57	
	Oshodi	8,73	98,87	
	Alimosho	53,24	93,69	
	Ajeromi	4,21	34,09	
<b>'Face-me-I-face-you'</b>	Mushin	8,35	67,41	156,78
	Kosofe	0,79	6,41	
	Oshodi	9,63	16,85	
	Alimosho	26,35	187,63	
	Ajeromi	1,35	59,27	
<b>Maison traditionnelle avec cour</b>	Mushin	3,45	79,08	282,24
	Kosofe	0,89	1,94	
	Oshodi	2,37	18,84	
	Alimosho	4,37	46,19	
	Ajeromi	1,81	34,24	
<b>Appartement</b>	Mushin	31,79	119,58	280,72
	Kosofe	2,12	9,32	
	Oshodi	2,50	47,50	
	Alimosho	14,78	65,83	
	Ajeromi	5,85	40,86	

\*\* représente une habitation dont la taille requise du panneau PV est plus grande que la superficie disponible du toit

## 5.4.2 Avantages économiques

Les résultats de l'analyse économique des systèmes PV en fonction du LCOE et de la valeur actuelle nette (pour le scénario de base) sont présentés dans le Tableau 5.4.

TABLEAU 5.4: ANALYSE ÉCONOMIQUE DES SYSTÈMES PV

ZGL	Capital initial (USD)	LCOE (USD/kWh)	NPC (USD)	ZGL	Capital initial (USD)	LCOE (USD/kWh)	NPC (USD)
Pour les charges maximales				Pour les charges minimales			
<b>TYPE D'HABITATION DUPLEX</b>							
Mushin	437 554	0,496	542 774	Mushin	112 125	0,447	148 359
Kosofe	15 876	0,497	21 872	Kosofe	2 927	0,552	4 598
Oshodi	74 138	0,398	98 546	Oshodi	7 614	0,459	10 051
Alimosho	92,142	0,411	137 557	Alimosho	51 807	0,502	66 915
Ajeromi	33 258	0,509	43 462	Ajeromi	3 466	0,505	5 335
<b>TYPE D'HABITATION: BUNGALOW UNIFAMILIAL</b>							
Mushin	281 728	0,439	364 085	Mushin	33 553	0,467	86 457
Kosofe	10 273	0,508	15 818	Kosofe	1 587	0,529	2 215
Oshodi	62 771	0,452	86 098	Oshodi	11 060	0,439	14 641
Alimosho	44 565	0,513	64 750	Alimosho	17 055	0,432	22 396
Ajeromi	54 750	0,589	78 016	Ajeromi	2 575	0,523	3 873
<b>TYPE D'HABITATION: 'FACE -ME -I -FACE -YOU'</b>							
Mushin	78,628	0.645	108,928	Mushin	7 367	0,486	10 160
Kosofe	5 597	0,538	8 612	Kosofe	683	0,531	1 053
Oshodi	17 116	0,571	24 119	Oshodi	7 981	0,498	12 017
Alimosho	167 040	0,429	201 658	Alimosho	19 753	0,422	27 818
Ajeromi	46 276	0,397	58 933	Ajeromi	1 223	0,533	1 791
<b>TYPE D'HABITATION: MAISON TRADITIONNELLE AVEC COUR</b>							
Mushin	67,082	0.444	87,895	Mushin	2 607	0,455	3 920
Kosofe	1 779	0,54	2 615	Kosofe	905	0,575	1 301
Oshodi	15 682	0,453	21 383	Oshodi	1,779	0,43	2 552
Alimosho	39,257	0,45	52 003	Alimosho	3,083	0,417	4 564
Ajeromi	31,027	0,484	41 507	Ajeromi	1 573	0,515	2 332
<b>TYPE D'HABITATION: APPARTEMENT</b>							
Mushin	112 805	0,48	143 672	Mushin	24 360	0,533	42 394
Kosofe	5 220	0,547	12 674	Kosofe	1 218	0,449	2 390
Oshodi	42 994	0,501	59 574	Oshodi	2 241	0,533	3 359
Alimosho	87 326	0,743	122 521	Alimosho	12 441	0,488	16 584
Ajeromi	41 760	0,62	63 413	Ajeromi	5 495	0,527	7 727

L'effet du taux d'inflation et du taux d'actualisation sur le LCOE est présenté à la Figure 5.1 (Type d'habitation: Duplex). L'augmentation de la possibilité maximale annuelle de pénurie du système implique une réduction de la proportion de la charge de l'habitation à laquelle le système doit répondre. Si le taux de possibilité de pénurie se situe à 0%, la charge du bâtiment serait satisfaite par le système à 100% et lorsque le taux de possibilité de pénurie est de 5%, la charge du bâtiment serait satisfaite par le système de 95%. Une augmentation du taux d'actualisation de 5 à 10% augmente le LCOE tandis qu'une augmentation du taux d'inflation le réduit de 2 à 5%. En prenant l'exemple du Duplex (charge maximale) pour la ZGL de Mushin, on constate qu'une augmentation du taux d'inflation de 5 à 10% entraîne une augmentation du LCOE de 0,496 USD/kWh à 0,712 USD/kWh. Il en est de même pour les autres types d'habitation pour les différentes ZGL (Annexe H).

L'augmentation de la possibilité annuelle maximale de pénurie diminue le LCOE des systèmes. Le LCOE pour l'appartement (charge maximale) dans la ZGL de Mushin est passé de 0,48 USD/kWh (0% de possibilité de pénurie) à 0,28 USD/kWh (15% de possibilité de pénurie), comme le montre la Figure 5.2. L'effet de la possibilité de pénurie pour les autres types d'habitation pour les différentes ZGL est présenté à l'annexe G. On observe qu'il existe une différence marquée entre le LCOE à 0% de possibilité de pénurie et à 5% de possibilité de pénurie. En utilisant Mushin comme exemple (Figure 5.2), le LCOE (USD / kWh) pour une possibilité de pénurie de 0% et de 5% est respectivement de 0,48 et 0,322, soit une différence de 0,158. Cette différence est grande comparée à la celle de LCOE entre 5% et 15% de possibilité de pénurie (0,322 - 0,28 = 0,042). L'augmentation de la pénurie annuelle maximale de 5% à 15% n'a pas entraîné de modification du LCOE du système, comme c'est le cas avec Ajeromi, où le LCOE pour une possibilité de pénurie de 5%, 10% et 15% est de 0,4.

En ce qui concerne l'effet de la durée de vie du PV sur le LCOE, la durée de vie du PV est inversement proportionnelle au LCOE du système. Une augmentation de la durée de vie du PV de 25 à 30 ans réduit le LCOE des systèmes photovoltaïques, tandis que l'inverse s'applique pour une diminution de la durée de vie du PV de 25 à 20 ans comme le montre la Figure 5.1 (Palais de justice traditionnel). Les précisions pour les autres types d'habitation sont disponibles à l'annexe H.

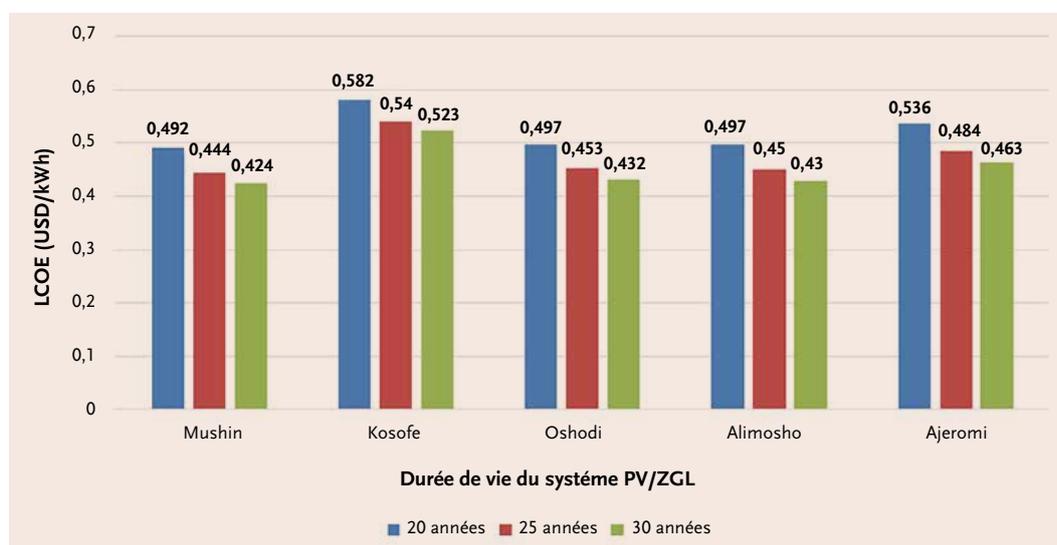


FIGURE 5.1: IMPACT DE LA DURÉE DE VIE PV SUR LE LCOE POUR LE SYSTÈME CONÇU POUR LA CHARGE MAXIMALE POUR LE TYPE D'HABITATION DE COUR TRADITIONNELLE

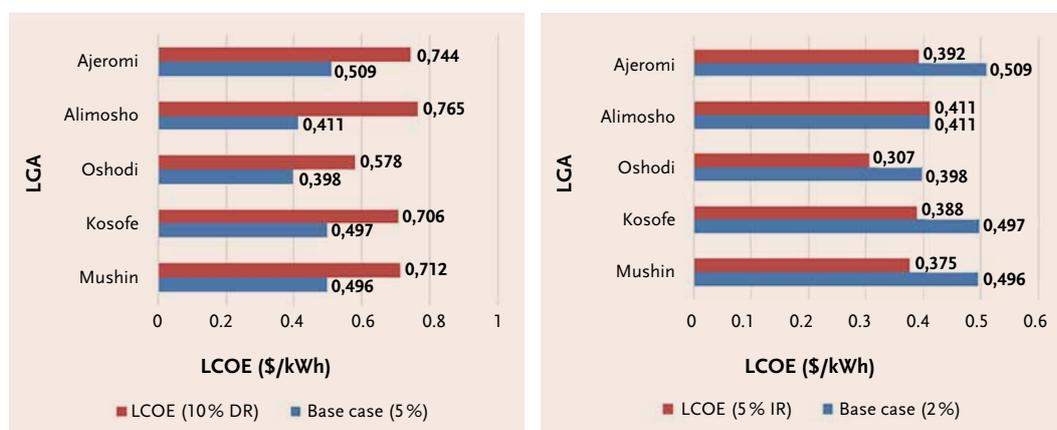


FIGURE 5.2: IMPACT DU TAUX D'ACTUALISATION (À GAUCHE) ET DU TAUX D'INFLATION (À DROITE) SUR LE LCOE POUR LE SYSTÈME CONÇU POUR LA CHARGE MAXIMALE POUR UN DUPLEX.

Remarque: \$ = USD

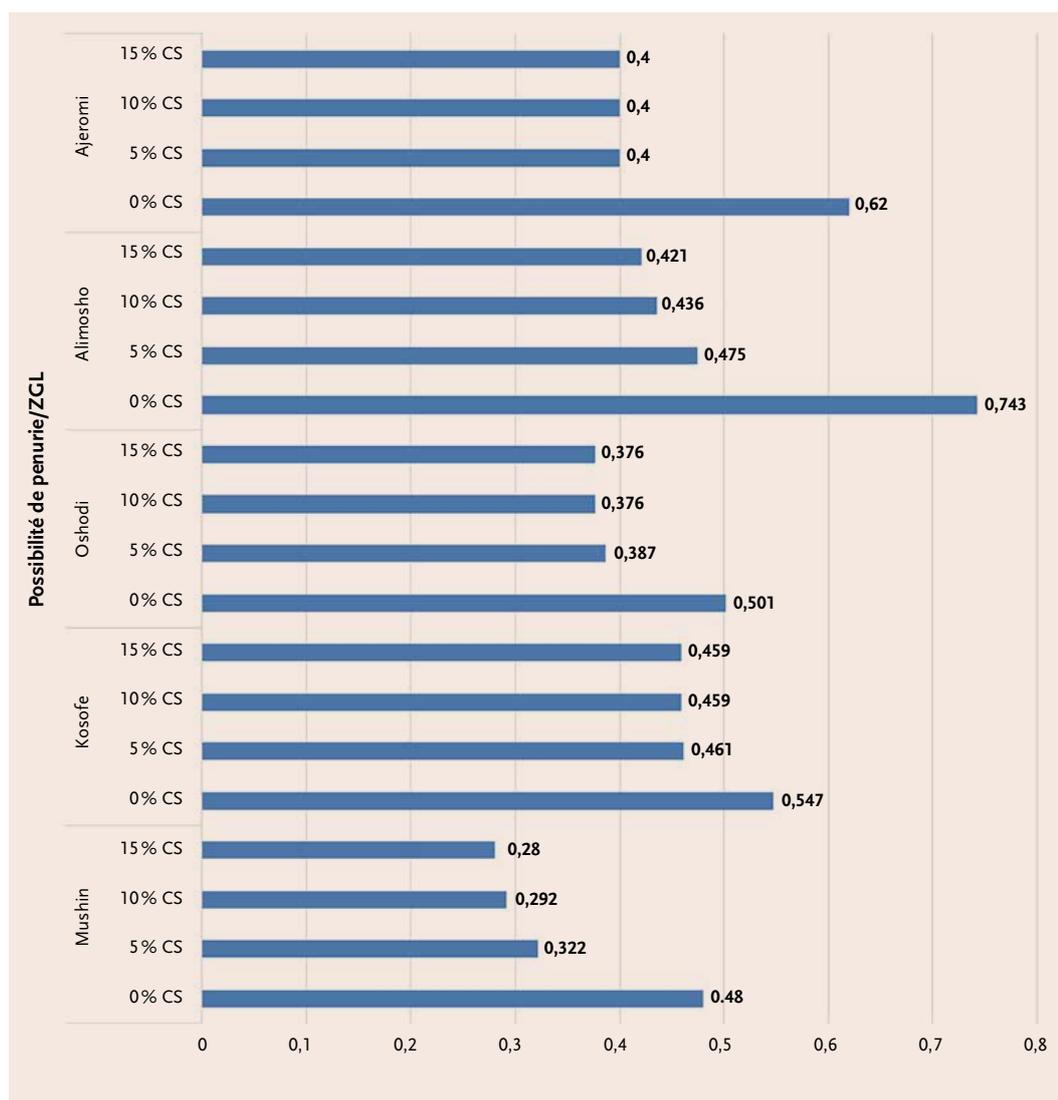


FIGURE 5.3: IMPACTS DE LA POSSIBILITÉ DE PÉNURIE SUR LE LCOE POUR LA CHARGE MAXIMALE D'APPARTEMENTS POUR LES DIFFÉRENTES ZGL.

Remarque: \$ = USD

### 5.4.3 Analyse environnementale

L'analyse environnementale relative à l'utilisation de l'électricité générée par les panneaux solaires afin de répondre à la charge globale des bâtiments (0% de délestage) est présentée dans le tableau 5.5. La réduction des émissions relative à l'utilisation de l'énergie provenant du système PV varie d'un bâtiment à un autre. Pour les charges élevées, la réduction annuelle des émissions varie entre 76,90 (Cour traditionnelle, Kosofe) et 17387 kgCO<sub>2</sub>eq (Duplex, Mushin) alors que pour les charges faibles, la réduction des émissions varie entre 35,95 (Cour traditionnelle, Kosofe) et 2985,44 kgCO<sub>2</sub>eq (Bungalow unifamilial, Mushin). Cette variation est causée par l'existence des différences dans les charges quotidiennes des bâtiments. En somme, l'utilisation de l'énergie générée par le système PV dans chaque bâtiment réduit les émissions annuelles de 63,2% par rapport à un scénario de statu quo selon lequel les bâtiments dépendraient seulement du réseau pour satisfaire leur besoin énergétique respectif.

TABLEAU 5.5: RÉDUCTIONS ANNUELLES DES ÉMISSIONS (KGCO<sub>2</sub>EQ) RELATIVES À L'UTILISATION DE L'ÉLECTRICITÉ PROVENANT DU SYSTÈME PV DANS LES BÂTIMENTS

Types de bâtiment	Mushin	Kosofe	Oshodi	Alimosho	Ajeromi
<b>CHARGES ÉLEVÉES</b>					
Bungalow unifamilial	13 150,95	493,56	3025,76	2001,86	2122,16
Appartement	4795,54	370,58	1887,20	2615,87	1623,66
«Face- me –I- face –you»	2678,30	254,56	3673,65	7456,44	2457,27
Duplex	17 387,00	697,97	3930,15	3723,08	1377,49
Cour traditionnelle	3132,18	76,90	748,85	1830,43	1360,13
<b>CHARGES FAIBLES</b>					
Bungalow unifamilial	2985,44	66,46	528,95	822,69	127,52
Appartement	1263,82	84,29	99,95	587,58	233,00
«Face- me –I- face –you»	331,89	31,24	382,61	1394,63	53,27
Duplex	5265,64	132,49	347,39	2115,95	167,43
Cour traditionnelle	136,98	35,95	71,32	173,88	71,67

## 6 Commentaires

### 6.1 Systèmes solaires photovoltaïques de pointe au Nigeria

L'utilisation de l'énergie solaire varie entre l'énergie thermique utilisée pour le séchage des produits et matières agricoles dans l'industrie et la production de l'énergie électrique qui peut être utilisée dans les habitations résidentielles et les bâtiments publics/commerciaux. Cependant, au Nigeria, l'utilisation productive de l'énergie solaire est limitée (voir la revue d'Ohunakin et al. (2014) pour les applications et le développement de l'énergie solaire au Nigeria). Des études (ex.: Oji et al. 2012; Ohijeagbon & Ajayi; 2015; Okoye, 2016) ont présenté les avantages économiques et environnementaux qui peuvent être dérivés de l'utilisation de l'énergie solaire générée et distribuée (systèmes solaires PV) dans les villes stratégiques nigérianes. Oji et al. (2012) ont conclu que l'installation et l'utilisation du système solaire PV dans les appartements résidentiels ont un avantage économique sur le long terme contrairement aux Groupes électrogènes diesel. Dans 40 sites météorologiques nigériens, l'évaluation de Ohijeagbon et Ajayi (2015) sur la faisabilité potentielle et économique des systèmes solaires PV autonomes pour une production intégrée en relation avec les petites communautés rurales hors réseaux est prometteuse. Les résultats ont révélé que les investisseurs potentiels peuvent gagner de 0,01 dollar US/kWh à 0,17 dollar US/kWh dans 29 lieux en dehors des 40 retenus pour l'étude. Les résultats d'Okoye et al. (2016) ont montré que le coût unitaire de l'électricité provenant des systèmes PV autonomes dans l'étude est plus faible par rapport à celui des principaux Groupes électrogènes diesel utilisés dans le pays (les études de cas se faisaient à Onitsha, Kano et Lagos).

### 6.1.1 Stratégies politiques pour l'adoption des systèmes PV au Nigeria

Malgré les projections relatives aux énergies solaires pour fournir une énergie propre, fiable et rentable dans le pays, plusieurs facteurs entravent son adoption ainsi que sa durabilité. Les politiques répondant aux endroits de l'étude pouvant influencer l'adoption/intégration de l'énergie photovoltaïque dans les habitations résidentielles sont la réduction des taxes sur les systèmes solaires PV, l'octroi de subventions et d'allocations par les gouvernements locaux démontrant les systèmes solaires PV. De même, ces politiques et facteurs ont été présentés dans la littérature (Uzoma et al. 2011; Newman, 2012; Oji et al. 2012; Ohunakin et al. 2014; Dike et al. 2017) des études menées au Nigéria. Il s'agit (a) des facteurs économiques: coût initial élevé et installation; (b) des facteurs techniques: faible qualité/conception des produits, des problèmes de mauvaise installation causés par l'accès limité aux techniciens professionnels; (c) des facteurs politiques et sociaux: sensibilisation/connaissance limitée des systèmes solaires PV, acceptation sociale et politiques inadéquates pour renforcer les systèmes solaires PV aux niveaux national, étatique et local. Des exemples de politiques gouvernementales pouvant soutenir les systèmes solaires PV sont la réduction des droits de douane à l'importation, les mesures effectives du contrôle qualité sur les matériels/équipements, l'amélioration du partenariat public-privé, l'offre de motivations comme les plans de paiement partiel pour les consommateurs qui souhaitent intégrer le réseau national sous optimal avec les systèmes solaires PV, le soutien au développement de la main-d'œuvre locale/développement socioéconomique sur la technologie (formation à des niveaux variés de l'installation et la maintenance et le développement d'infrastructures pour la participation communautaire dans les projets d'énergie solaire).

## 6.2 Le potentiel des systèmes solaires photovoltaïques au Nigéria

### 6.2.1 Aspects techniques

Les spécifications techniques des composants pour les différents systèmes PV conçus varient et cela n'est pas surprenant du moment où il y a une variation dans la charge. Alors que les systèmes PV sont capables de satisfaire la charge de bâtiments, certaines ZGL ont des bâtiments ayant des charges très élevées qui nécessitent une grande capacité du réseau PV et un banc de batteries pour la réserve d'énergie. En utilisant les ZGL de Mushin par exemple, la satisfaction de la charge globale (maximum) du bâtiment de type duplex requiert 215 kW du réseau PV et un banc de batteries de 380 kWh de batterie au plomb. Cela pourrait être problématique puisque le toit du bâtiment est plus petit et ne pourra pas contenir les modules PV et il pourrait aussi y avoir des problèmes relatifs au manque d'espace pour le banc de batteries. Une augmentation du déficit de la capacité annuelle maximale diminue la taille du réseau PV et/ou du banc de batteries des systèmes. Cela s'explique par le résultat suivant: l'augmentation du déficit de la capacité augmente la quantité acceptable de la charge qui peut être insatisfaite par le système impliquant que moins d'énergie est requise du système pour répondre à la charge. Par contre, une diminution du niveau minimal de charge de la batterie réduit la taille du réseau PV et/ou de la batterie. Cet effet de la diminution minimale du niveau de charge de la batterie sur les composants du système peut s'expliquer par le fait que plus d'énergie provenant du banc de batterie est rendue accessible pour l'utilisation au fur et à mesure que le niveau minimal de charge de la batterie diminue. La surface du toit adoptée pour les différentes catégories de bâtiments dans cette étude est suffisante pour accueillir le réseau PV à l'exception d'un bâtiment (Duplex-Mushin) ayant une charge électrique élevée exceptionnelle qui se traduit par une capacité élevée du réseau PV et une grande surface. Pour ce bâtiment, la satisfaction de la charge globale du bâtiment avec l'énergie générée par les systèmes PV n'est pas techniquement réalisable puisque la surface du toit du bâtiment est plus petite que celle nécessaire pour le réseau PV. Un système PV hybride serait l'option la plus réalisable pour un tel bâtiment où l'électricité provenant du système PV est complétée par l'électricité provenant du réseau.

### 6.2.2 Aspects économiques

Le LCOE d'électricité des systèmes conçus (50 systèmes) pour le scénario de base varie entre 0,397 dollar US/kWh (Ajeromi, charge maximale pour un bâtiment de type «Face-me –I- face –you») et 0,743 dollar US/kWh (Alimosho, charge maximale pour un appartement). Cette grande variation dans le LCOE pourrait être causée par l'existence de différence dans la nature des charges des bâtiments. Il y a des bâtiments avec une charge très élevée qui se produit après les heures d'éclairage solaire et de tels bâtiments nécessitent une puissante chaîne de batterie pour la réserve d'énergie afin de satisfaire les charges élevées nocturnes et cela aboutit à un LCOE plus élevé. Les valeurs de LCOE obtenues dans cette étude sont plus élevées par rapport au coût de l'électricité de 0,098/kWh (N30,93/kWh basé sur le taux de change de 1 dollar US= 315 nairas) provenant du système électrique du réseau dans certains endroits au Nigéria. La variation obtenue de cette étude est supérieure par rapport à celle (0,206 dollar US/kWh) obtenue par Okoye et al. (2016) pour les villes choisies (Onitsha, Kano et Lagos) au Nigeria. Les études menées par Ohijeagbon & Ajayi (2014) estimaient le coût unitaire de l'énergie générée par les Groupes électrogènes diesel au Nigéria à 0,62 dollar US/kWh. Seulement deux des cinquante systèmes conçus ont un coût unitaire d'électricité supérieur à 0,62 dollar US/kWh. Par conséquent, les systèmes PV sont économiquement plus viables à l'utilisation que les systèmes autonomes contrairement aux Groupes électrogènes diesel. Le coût unitaire de l'électricité provenant des systèmes PV obtenu de cette étude pourrait être amoindri si le gouvernement nigérian assure une condition favorable qui stimulera l'adoption de cette technologie.

### 6.2.3 Aspects environnementaux

La réduction annuelle des émissions de GES relative à l'intégration et l'utilisation des systèmes PV dans les foyers étudiés varient entre 35,95 et 17387 kgCO<sub>2</sub> eq. La réduction des émissions est relative au fait que la production d'énergie provenant des systèmes solaires PV ne produise aucune émission de GES pendant la phase d'opération du système contrairement aux modes de production électrique conventionnels.

# 7 Conclusions, Limites et Recommandations

## 7.1 Conclusions

Les renseignements provenant de notre étude confirment davantage les résultats obtenus des études précédentes soutenant que l'énergie solaire peut être une source d'énergie durable pour atténuer la crise énergétique et aussi contribuer au développement socioéconomique durable du Nigéria. Nous avons pu fournir:

- a. La faisabilité technique pour l'utilisation des systèmes solaires PV afin de satisfaire la demande en énergie (comme une autonomisation ou une restauration du réseau électrique) des habitations résidentielles dans la métropole de Lagos. Alors que les systèmes PV sont en mesure de satisfaire les charges des bâtiments, certaines ZGL ont des bâtiments à charge très élevée qui nécessitent une grande capacité du réseau PV et du banc de batteries pour la réserve d'énergie. En utilisant la ZGL de Mushin comme exemple, la satisfaction de la charge globale (maximum) du bâtiment de type duplex nécessite un réseau PV de 215 kWh et un banc de batterie de 3801 kWh de batterie en plomb. Cela pourrait être problématique puisque le toit du bâtiment est plus petit et ne pourra pas contenir les modules PV et il pourrait aussi y avoir des problèmes relativement au manque d'espace pour le banc de batteries.
- b. L'avantage économique de l'intégration de l'énergie PV dans les bâtiments à Lagos est plus grand contrairement à l'utilisation des Groupes électrogènes diesel de secours. Le coût unitaire de 0,397 dollar US/kWh d'électricité provenant des systèmes PV (systèmes autonomes) dans certains des lieux de l'étude est économiquement viable quant à l'utilisation par rapport à l'usage des groupes électrogènes diesel au Nigéria avec un coût unitaire de 0,62 dollar US/kWh enregistré dans les études précédentes (Ohijeagbon & Ajayi, 2014). Pour les bâtiments au LCOE aussi élevé que 0,743 dollar US/kWh, l'utilisation de l'électricité générée par les systèmes PV pourrait aussi être rentable par rapport aux Groupes électrogènes diesel pourvu que certaines de leurs charges élevées qui se produisent la nuit soient différées puisque ces charges constituent les facteurs causant la hausse du LCOE des systèmes. En dehors de l'économie des systèmes, l'utilisation des systèmes PV dans les bâtiments n'est pas associée à la perturbation relative au bruit contrairement aux Groupes électrogènes diesel qui produisent du bruit et de la fumée qui dérangent les membres du foyer. Il est important de souligner que les valeurs du LCOE obtenues dans cette étude sont plus élevées par rapport au coût d'électricité de 0,098 dollar US/kWh provenant du réseau électrique. Le coût unitaire de l'électricité provenant des systèmes PV obtenu de cette étude pourrait être amoindri si le gouvernement nigérian assure une condition favorable qui stimulera l'adoption de cette technologie.
- c. Les avantages environnementaux (potentiel de réduction des émissions de GES) des systèmes solaires PV dans les bâtiments contrairement à l'utilisation des Groupes électrogènes diesel dans les lieux d'étude. La réduction annuelle des émissions de GES relative à l'intégration et l'utilisation des systèmes PV dans les foyers étudiés varie entre 35,95 et 17 387 kgCO<sub>2</sub>eq. La réduction des émissions est associée au fait que la génération d'énergie provenant des systèmes solaires PV ne produise aucune émission de GES pendant la phase d'opération du système contrairement aux modes de génération électrique conventionnels.
- d. L'éventuel impact des politiques gouvernementales sur l'adoption/intégration de l'énergie photovoltaïque dans les bâtiments. Malgré le manque de connaissance des répondants sur les politiques relatives aux systèmes solaires PV, ils perçoivent en très grande partie que les politiques suivantes peuvent influencer l'adoption/intégration de l'énergie photovoltaïque dans les habitations résidentielles dans les endroits de l'étude: réduction des taxes sur les systèmes solaires PV; subventions et des allocations provenant du gouvernement local pour rabaisser le

coût des systèmes solaires PV; programmes de sensibilisation et de leadership public menés par les gouvernements locaux sur les systèmes solaires PV.

## 7.2 Limites de l'étude

Les limites de cette étude comprennent:

- a. *L'insuffisance de ressources:* Bien qu'une subvention fixe soit octroyée pour cette étude, la conception et l'échantillonnage ont été faits avec des ressources insuffisantes. Le Nigéria était au cœur d'une inflation lors de la collecte de données (novembre 2015 et mai 2016) pour la présente étude. L'insuffisance des ressources se traduisait par l'insuffisance temporelle accordée au travail de terrain et à la méthode employée dans la collecte de données. Par conséquent, l'échantillonnage raisonné était utilisé pour choisir les cinq plus grandes ZGL dans les 16 ZGL de la métropole de Lagos. Alors que l'utilisation des compteurs électriques pourrait fournir des données de charge horaire exactes, les contraintes financières l'ont encore rendue impossible et c'est pour cette raison que l'étude reposait sur l'utilisation d'un journal du temps d'utilisation pour la collecte des données de charge. Des données hebdomadaires étaient utilisées pour le calcul du profil de la charge électrique (le calcul du profil de la charge électrique des appareils de chaque type de foyer était obtenu comme une moyenne du profil de charge pour sept jours). Cela peut ne pas être suffisant pour représenter les variations mensuelles ou saisonnières qui peuvent exister dans la charge.
- b. *Les défis sécuritaires:* Pendant la collecte de données, l'équipe a rencontré beaucoup de refus de la part des résidents soucieux de la sécurité. Dans certaines situations, les résidents étaient totalement récalcitrants à cause de la crainte d'être arnaqués par des étrangers.

## 7.3 Recommandations

Les recommandations suivantes sont faites en fonction des limites rencontrées pendant l'étude:

- a. Du temps suffisant est recommandé pour les études futures. Plus de perspectives peuvent être générées par une future étude en collectant les données sur le profil de charge énergétique en des périodes et/ou saisons différentes de l'année. Cela permettra aussi aux résidents de comprendre l'objet de l'étude et donner un feedback plus fiable.
- b. Pour des études similaires à l'avenir, une collaboration avec le personnel d'approvisionnement en énergie publique pour la collecte de données est recommandée. Cela peut, en effet, aider à dissiper les craintes des résidents.
- c. La recherche future devrait étudier les moments de la journée où se produisent les délestages et en fonction de cette information, explorer les possibilités de concevoir un système hybride connecté au réseau solaire PV pour les habitations résidentielles.
- d. Il est important que des études similaires dans le futur puissent augmenter la population de l'étude pour couvrir les 16 ZGL de la métropole de Lagos afin de refléter le profil/utilisation énergétique dynamique pouvant exister dans les différentes ZGL.
- e. Cette étude a mis l'accent sur la fourniture d'électricité générée par l'énergie solaire PV aux bâtiments à partir d'un système autonome. Les informations provenant des zones où le réseau est disponible plus de 50% du temps et les moments de la journée où se produisent les délestages sont rares et cela constitue un aspect important pour la conception d'un système solaire PV connecté au réseau. Cependant, notre étude a mené une analyse de sensibilité sur l'insuffisance de capacité du système, permettant au système de laisser une partie de la charge du bâtiment insatisfaite et cette charge insatisfaite pourrait être comblée par l'électricité provenant du réseau.

Un domaine intéressant qui peut constituer une recherche future est l'option du système solaire PV sans batterie particulièrement dans les zones où le réseau est disponible pour au moins plus de 50% du temps.

- f. L'équipe propose que les ressources pour les études futures soient rendues assez flexibles afin de s'adapter aux changements qui proviendront des circonstances particulières relatives à la zone d'étude.

## Références

- Abanda, F., Manjia, M., Enongene, K., Tah, J., & Pettang, C. (2016). A feasibility study of a residential photovoltaic system in Cameroon. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 17, 38-49.
- Adaramola, M.S., Oyewola, O.M. & Paul, S.S. (2012). Technical and economic assessment of hybrid energy systems in South-West Nigeria. *Energy Exploration and Exploitation*, 30 (4) (2012), 533–552
- Adenikinju, A.F. (2003). Electric infrastructure failures in Nigeria: a survey-based analysis of the costs and adjustment responses, *Energy Policy* 31, 1519-1530.
- Adurodija, F., Asia, I., & Chendo, M.A. (1998). The market potential of photovoltaic systems in Nigeria. *Solar Energy*, 64, 133-139.
- Ajayi, O. O., & Ajayi, O. O. (2013). Nigeria's energy policy: Inferences, analysis and legal ethics toward RE development. *Energy Policy*, 60, 61–67. doi:10.1016/j.enpol.2013.05.095
- Aliyu, A. S., Ramli, A. T., & Saleh, M. A. (2013). Nigeria electricity crisis: Power generation capacity expansion and environmental ramifications. *Energy*, 61, 354–367. doi:10.1016/j.energy.2013.09.011
- Ayompe, L. M. and Duffy, A. (2014). An assessment of the energy generation potential of photovoltaic systems in Cameroon using satellite-derived solar radiation datasets. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 7, 257-264.
- Abdul, G. & Anjum, M. (2015). Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 496-502.
- Ajibade, I., Pelling, M., Agboola, J., & Garschagen, M. (2016). Sustainability Transitions: Exploring Risk Management and the Future of Adaptation in the Megacity of Lagos. *Journal of Extreme Events*, 3(03), 1650009.
- Akorede, M.F., Ibrahim, O., Amuda, S.A., Otuoze, A.O., & Olufeagba, B.J. (2017). Current status and outlook of renewable energy development in Nigeria. *Nigerian Journal of Technology*, 36(1), 196-212.
- Anjorin, A. O. (2014). Feasibility of making solar energy available in the northern region of Nigeria. Colorado Technical University.
- Bernal-Aguistin, J. L., & Dufo-López, R. (2006). Economical and environmental analysis of grid connected photovoltaic systems in Spain. *Renewable Energy*, 31(8), 1107-1128. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2005.06.004>
- Building Nigeria's Response to Climate Change (BNRCC, 2012). Towards a Lagos State Climate Change Adaptation Strategy (LAS-CCAS). Prepared for the Commissioner for Environment, Lagos State. Retrieved from <http://csdevnet.org/wp-content/uploads/Towards-aLagos-Adaptation-Strategy.pdf>
- Baghdadi, F., Mohammedi, K., Diaf, S., & Behar, O. (2015). Feasibility study and energy conversion analysis of stand-alone hybrid renewable energy system. *Energy Conversion and Management*, 105, 471-479. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.07.051>
- Birajdar P., Bammani S., Shete A., Bhandari R. and Metan S. (2013) Assessing the technical and economic feasibility of a stand-alone PV-system for rural electrification: A case study. *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 3(4), 2525-2529
- Brander, M., Sood, A., Wylie, C., Houghton, A. & Lovell, J. (2011). Technical Paper | Electricity-specific emission factors for grid electricity. Retrieved from: <https://ecometrica.com/assets/Electricity-specific-emission-factors-for-grid-electricity.pdf>
- Competitive Solar Solutions West Africa. (n.d). Top 20-largest solar PV projects West Africa. Retrieved from: <http://www.solarsolutionswestafrica.com/top20-solar-pv-projects-west-africa/#cameroon>
- Caisheng, W. and Nehrir, M. H. (2008). Power management of a stand-alone wind/photo voltaic/fuel cell energy system. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 23(3), 957- 967.
- Change, C., & Cities, C. I. W. A. (2013). Findings from Lagos, Nigeria, and Accra, Ghana. African and Latin American Resilience to Climate Change (ARCC). Pp.19. Retrieved from [https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/.../FESS\\_Policy\\_Brief\\_CITIES.pdf](https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/.../FESS_Policy_Brief_CITIES.pdf)
- Chineke, C., Nwofor, O., & Okoro, O. (2009). Decentralized renewable energy: an adaptive strategy for climate change and limiting restiveness in the Niger Delta region of southern Nigeria. *Earth and Environmental Science*, 6 (19)

- Diemuodeke, E.O., Addo, A., DAbipi-kalio, I., Oko, C.O.C., & Mulugetta, Y. (2017). Domestic energy demand assessment of coastline rural communities with solar electrification. *Energy and Policy Research*, 4(1), 1-9. <http://dx.doi.org/10.1080/23815639.2017.1280431>
- Dike, V.N., Opara-Nestor, C.A., Amaechi, J.N. Dike, D.O., & Chineke, T.C. (2017). Solar PV systems utilization in Nigeria: failures and possible solutions. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 18(1), 51-61.
- Droege, P. (2004, June). Energy conscious architecture: our post-fossil habitat, cited in Words into Action (Proceedings of International Conference for Renewable Energies, Bonn (Germany): 157-159.
- Darras, C., Bastien, G., Muselli, M., Poggi, P., Champel, B., & Serre-Combe, P. (2015). Techno-economic analysis of PV/H<sub>2</sub> systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(30), 9049-9060. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.05.112>
- Domenech, B., Ferrer-Martí, L., & Pastor, R. (2015). Including management and security of supply constraints for designing stand-alone electrification systems in developing countries. *Renewable Energy*, 80, 359-369. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.02.033>
- Dike, V. N., Opara-Nestor, C. A., Amaechi, J. N., Dike, D. O., & Chineke, T. C. Solar PV System Utilization in Nigeria: Failures and Possible Solutions. *The pacific Journal of Science and Technology*, 18 (1), 51-61.
- Eruola, A. O., Ufoegbune, G. C., Awomeso, J. A., Adeofun, C. O., Idowu, O. A., & Sowunmi, A. (2010). Qualitative and Quantitative Assessment of Rainwater Harvesting from Rooftop Catchments: Case Study of Oke-Lantoro Community in Abeokuta, Southwest Nigeria. *Journal of Agricultural Science and Environment*, 10(2), 45-58.
- Ejiogu, A. R. (2013). A nuclear Nigeria: How feasible is it? *Energy Strategy Reviews*, 1(4), 261-265. doi:10.1016/j.esr.2012.12.007
- Energy Commission of Nigeria (2003). National Energy Policy. Retrieved from <http://osgf.gov.ng/payload?id=ff0bfcf6-2376-4a37-9fe6-51b73e550fbc>
- Energy Commission of Nigeria (ECN, 2005). Renewable Energy Master Plan Final Draft Report 1-227 Retrieved from <http://www.energy.gov.ng/index.php>
- Energy Commission of Nigeria (ECN, 2012). Nuclear Power Development in Nigeria. Retrieved from <http://www.energy.gov.ng/index.php>
- Energy Commission of Nigeria (ECN, 2014). Energy Implications for Vision 2020 and Beyond. Report No: ECN/EPA/2014/01. Pp 1-97. Retrieved from [http://www.energy.gov.ng/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=39&Itemid=49&limitstart=45](http://www.energy.gov.ng/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=39&Itemid=49&limitstart=45)
- Ezema, I. C., Olotuah, A. O., & Fagbenle, O. I. (2016). Evaluation of Energy Use in Public Housing in Lagos, Nigeria: Prospects for Renewable Energy Sources. *International Journal of Renewable Energy Development*, 5(1), 15.
- Federal Government of Nigeria (FGN, 2010). Vision 20:2020 Blueprint. Retrieved from <http://en.wikipedia.org/wiki/HumanDevelopmentIndex>
- Fagbemi, K.B. (2011). Recommended Roof Slopes for Residential Buildings in Akure. Technical Report ARC/05/5607. P13. Federal University of Technology Akure, Ondo State, Nigeria.
- Federal Ministry of Environment Abuja-Nigeria (2014). Nigeria's Second National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Federal Republic of Nigeria. 1-135. Retrieved from <http://unfccc.int/resource/docs/natc/nganc2.pdf>
- Federal Government of Nigeria (FGN, 2015). Nigeria's intended nationally determined contribution. Retrieved from [http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Nigeria/1/Approved%20Nigeria%27s%20INDC\\_271115.pdf](http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/Nigeria/1/Approved%20Nigeria%27s%20INDC_271115.pdf)
- Gujba, H., Mulugetta, Y., & Azapagic, A. (2011). Power generation scenarios for Nigeria: An environmental and cost assessment. *Energy Policy*, 39(2), 968-980. doi:10.1016/j.enpol.2010.11.024
- Ghosh, S., Nair, A., & Krishnan, S. S. (2015). Techno-economic review of rooftop photovoltaic systems: Case studies of industrial, residential and off-grid rooftops in Bangalore, Karnataka. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1132-1142. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.094>
- Giwa, A., Alabi, A., Yusuf, A., & Tuza, O. (2017). A comprehensive review on biomass and solar energy for sustainable energy generation in Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 620-641.

- Habib, S., Idris, N., Ladan, M., & Mohammad, A. (2012). Unlocking Nigeria's Solar PV and CSP Potentials for Sustainable Electricity Development. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(5), 1-8.
- Ibitoye, F.I. & Adenikinju, A. (2007). Future demand for electricity in Nigeria. *Applied Energy* 84, 492-504.
- Jiboye, A. D. (2014). Significance of house-type as a determinant of residential quality in Osogbo, Southwest Nigeria. *Frontiers of Architectural Research*, 3(1), 20-27.
- Köberle, A. C., Gernaat, D. E., & van Vuuren, D. P. (2015). Assessing current and future techno-economic potential of concentrated solar power and photovoltaic electricity generation. *Energy*, 89, 739-756.
- Lambert, T., Gilman, P. & Lilienthal (2006). Micropower system modeling with HOMER. In A. F. Farret, & G. Simoes (Eds.), *Integration of Alternative Sources of Energy* (pp 379-418) John Wiley & Sons, Inc.
- Lagos Bureau of Statistics (LBS) (2012). Lagos State Gross Domestic Product Survey: 2010; Ministry of Economic Planning and Budget: Alausa, Ikeja, Nigeria, 2012. pp. 1-51. Retrieved from <http://lagosbudget.org/>
- Lagos State Government (2012). Lagos State Investor Handbook: A Guide to Business and Investment in Lagos State. Retrieved from [www.lagosstate.gov.ng](http://www.lagosstate.gov.ng)
- Lang, T., Ammann, D., & Girod, B. (2016). Profitability in absence of subsidies: A techno-economic analysis of rooftop photovoltaic self-consumption in residential and commercial buildings. *Renewable Energy*, 87, Part 1, 77-87. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.059>
- Mbaka, N. E., Mucho, N. J., & Godpromesse, K. (2010). Economic evaluation of small-scale photovoltaic hybrid systems for mini-grid applications in far north Cameroon. *Renewable Energy*, 35(10), 2391-2398. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.005>
- Ma, T., Yang, H., Lu, L., & Peng, J. (2015). Pumped storage-based standalone photovoltaic power generation system: Modeling and techno-economic optimization. *Applied Energy*, 137, 649-659. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.005>
- Mohammed, Y.S., Mustafa33, M.W., Bashir, M., & Ibrahim, I.S. (2017). Existing and recommended renewable and sustainable energy development in Nigeria based on autonomous energy and microgrid technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 820-838.
- National Population commission Nigeria (2010). 2006 *Population and Housing Census*. Pp 64. Retrieved from [catalog.ihnsn.org/index.php/catalog/3340/download/48521](http://catalog.ihnsn.org/index.php/catalog/3340/download/48521)
- Nnaji, B. (2012, July). Investment opportunities in the Nigerian power sector, in: Presentation at the Nigeria Business and Investment Summit, London.
- Newman, C. (2012). Renewable energy potential in Nigeria. The Sungas Project. Retrieved from <http://pubs.iied.org/pdfs/G03512.pdf>
- Njoku, H.O. (2014). Solar photovoltaic potential in Nigeria. *Journal of Energy and Engineering*, 140.
- Nugent, D., & Sovacool, B. K. (2014). Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey. *Energy Policy*, 65(0), 229-244. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.048>
- Obadote, D.J. (2009). Power sector prayer conference: energy crises in Nigeria: Technical issues and solutions. Paper Presented at the power sector prayers conference.
- Okafor, E.N.C., Joe-uzuegbu, C.K.A. (2010). Challenges to the development of renewable energy in for electric power sector in Nigeria. *International journal of academic research*, 2(2).
- Okoro, O., & Madueme, T. (2004). Solar energy investments in a developing economy. *Renewable Energy*, 29, 1599 -1610
- Oji, J. O., Idusuyi, N., Aliu, T. O., Petinrin, M. O., Odejebi, O. A., & Adetunji, A. R. (2012). Utilization of solar energy for power generation in Nigeria. *International Journal of Energy Engineering*, 2(2), 54-59.
- Olugbenga, E., & Adekemi, O. (2013). Challenges of housing delivery in metropolitan Lagos. *Research on Humanities and Social Science*, 3(20), 1-8.
- Ohijeagbon, O. D. & Ajayi, O. O. (2014). Potential and economic viability of standalone hybrid systems for a rural community of Sokoto, North-west Nigeria. *Frontiers in Energy*, 8: 145. doi:10.1007/S11708-014-0304-z
- Ohunakin, O. S., Adaramola, M. S., Oyewola, O. M., & Fagbenle, R. O. (2014). Solar energy applications and development in Nigeria: drivers and barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 294-301.

- Ohunakin, O. S., Adaramola, M. S., Oyewola, O. M., & Fagbenle, R. O. (2015). Solar radiation variability in Nigeria based on multiyear RegCM3 simulations. *Renewable Energy*, 74, 195-207.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD, 2015). *Investment Policy Reviews OECD Investment Policy Reviews: Nigeria 2015*. Pp 312. Retrieved from [https://books.google.co.za/books?id=A\\_BzCQAAQBAJ&dq=Lagos+state+climate+change+policy+2012-14&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.co.za/books?id=A_BzCQAAQBAJ&dq=Lagos+state+climate+change+policy+2012-14&source=gbs_navlinks_s)
- Okoye, C. O., Taylan, O. & Baker, D. K. (2016). Solar energy potentials for strategically located cities in Nigeria: Review, resource assessment and PV system design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 550-566.
- Oparaku, O. U. (2002). Photovoltaic systems for distributed power supply in Nigeria. *Renewable Energy*, 25, 31-40.
- Otene, I. J.J., Murray, P., & Enongene, K. E. (2016). The Potential Reduction of Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Emissions from Gas Flaring in Nigeria's Oil and Gas Industry through Alternative Productive Use. *Environments*, 3(4), 31.
- Owolabi, A. (2017). Increasing population, urbanization and climatic factors in Lagos State, Nigeria: The nexus and implications on water demand and supply. *Journal of Global Initiatives: Policy, Pedagogy, Perspective*, 11(2), 6.
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., & Dubash, N. K. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 151). IPCC.
- Sick, F., & Erge, T. (1996). *Photovoltaics in buildings: a design handbook for architects and engineers*: Earthscan.
- Sambo, A. S. (2009). Strategic developments in renewable energy in Nigeria. *International Association for Energy Economics*, 16(3), 15-19.
- Sambo, A.S. (2010). *Renewable energy development in Nigeria, Presented at the World future Council |strategy Workshop on Renewable Energy, Accra, Ghana*.
- Sambo, A.A, Garba, B., Magaji M.M. (2010). Electricity generation and the present challenges in the Nigerian power sector. Paper 70 presented at the 2010 world energy Congress of the world energy Council, Montreal, Canada.
- Sandia National Laboratories (1995). *Stand-alone Photovoltaic Systems—A Handbook of Recommended Design Practices*. Photovoltaic Design Assistance Centre, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.
- Sherwani, A. F., Usmani, J. A., & Varun. (2010). Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 540-544. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2009.08.003>
- Siddig, K., Aguiar, A., Grethe, H., Minor, P., & Walmsley, T. (2014). Impacts of removing fuel import subsidies in Nigeria on poverty. *Energy Policy*, 69, 165-178
- Sonibare, J. A. (2010). Air pollution implications of Nigeria's present strategy on improved electricity generation. *Energy Policy*, 38(10), 5783-5789. doi:10.1016/j.enpol.2010.05.029
- Sapkota, A., Lu, Z., Yang, H., & Wang, J. (2014). Role of renewable energy technologies in rural communities' adaptation to climate change in Nepal. *Renewable Energy*, 68(0), 793-800. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.003>
- Treyer, k. & Bauer, C. (2015). The environmental footprint of UAE's electricity sector: Combining life cycle assessment and scenario modeling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, In press.
- Uzoma, C. C., Nnaji, C. E., Ibeto, C. N., Okpara, C. G., Nwoke, O. O., Obi, I. O., ... & Oparaku, O. U. (2011). Renewable energy penetration in Nigeria: a study of the South-East zone. *Continental J. Environmental Sciences*, 5(1), 1-5.
- Udeme, C. (2012). Paying more for darkness: how the hike in electricity tariff affects you, The Vanguard 10 June 2012 US Energy Information Administration (2013). Top oil producers 2012. Retrieved from <http://www.eia.gov/countries/>
- Ürge-Vorsatz, D., Petrichenko K., Staniec, M. & Eom J. (2013). Energy use in buildings in a long-term perspective. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(2), 141-151
- Ürge-Vorsatz, D., Cabezas, L. F., Serranob, S., Barrenecheb, C. & Petrichenkoa, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 85-98.

World Bank (2008). Nigeria at a Glance. The World Bank: Washington, DC, USA. Retrieved from [http://devdata.worldbank.org/AAG/nga\\_aag.pdf](http://devdata.worldbank.org/AAG/nga_aag.pdf)

Zeman, M. (2012). Photovoltaic systems. *Solar Cells*, 1-9. Retrieved from: [http://ocw.tudelft.nl/fileadmin/ocw/courses/SolarCells/res00029/CH9\\_Photovoltaic\\_systems.pdf](http://ocw.tudelft.nl/fileadmin/ocw/courses/SolarCells/res00029/CH9_Photovoltaic_systems.pdf)

### **Siéger au Comité d'examen par les pairs de la revue des énergies durables de la CEDEAO**

Les experts en énergie qui souhaitent examiner des manuscrits soumis à la revue des énergies durables de la CEDEAO sont conviés à envoyer une lettre de motivation formulant une demande d'adhésion au Comité d'examen par les pairs ainsi que leurs CV.

L'ESEJ reçoit des soumissions portant sur une grande variété de sujets liés à l'énergie (ex.: le genre et l'énergie, les technologies énergétiques, le financement de l'énergie, l'économie de l'énergie, les politiques énergétiques, l'énergie et l'environnement/changement climatique, l'énergie et le développement, la législation sur l'énergie, etc.). Il est donc conseillé aux examinateurs de préciser dans leur lettre de motivation leur domaine d'expertise et/ou de préférence.

Les lettres et les CV doivent être envoyés par email à [ESEJ@ecreee.org](mailto:ESEJ@ecreee.org).





**ECREEE**  
TOWARDS SUSTAINABLE ENERGY

**ECOWAS Centre for Renewable Energy and Energy Efficiency**  
Achada Santo Antonio, C.P. 288, Praia, Cape Verde  
Tel: +238 2604630  
Email: [info@ecreee.org](mailto:info@ecreee.org)  
ECREEE web: [www.ecreee.org](http://www.ecreee.org)