

THÈSE DE DOCTORAT

de l'Université de recherche Paris Sciences et Lettres
PSL Research University

Préparée dans le cadre d'une cotutelle entre
l'Université Paris-Dauphine
et

École Doctorale de Dauphine — ED 543

Spécialité

COMPOSITION DU JURY :

Soutenue le
par

Dirigée par

**Energy economics and access to electricity :
Three essays from Benin**

« *Nessun essere non va al nulla.* »

Leonardo da Vinci.

Résumé

Les objectifs de nos travaux de recherche sont multiples. Tout d'abord, ils ba-
laient le champ de la théorie économique appliquée au secteur de l'énergie. De
façon spécifique, nous revisitons les questions de régulation, de tarification et du
bien être dans le contexte africain subsaharien où le secteur de l'énergie est en
crise. Par la suite, nos recherches ouvrent un spectre sur les défis du continent
que sont l'atteinte des objectifs du développement durable, l'économie mobile et
l'innovation grâce à l'accès pour tous à l'électricité. Enfin, cette thèse s'articule
au croisement de la recherche théorique et appliquée en se basant sur des études
de cas réels au Bénin. En conséquence, la nécessité d'enrichir la recherche en
Afrique de façon générale et au Bénin de façon spécifique constituent un éventail
des défis et opportunités à issue de ces travaux.

Mots-clé : Économie de l'énergie, Développement durable, Tarification et
réseaux, Macroéconomie, Économie mobile

Abstract

Our research objectives are multiple. First, we conduct a literature review
covering the fields of energy and economics. Specifically, we revisit regulation,
pricing and well-being theories within the sub-Saharan Africa context, where
the electricity sector has been in crisis for a while. Subsequently, our results
open a deeper reflection spectrum concerning sustainable development, mobile
banking and access for all to clean energy through innovation. Finally, this thesis
is articulated at the crossroads of theoretical and applied research based on real
study cases in Benin. Consequently, there is a strong need to expand applied
research in Africa, and in Benin specifically because it constitutes a large scope
of challenges and opportunities beyond this work.

Key-words : Energy economics, Sustainable development, Tariffs and net-
works, Macroeconomics, Mobile banking

Remerciements

Toute ma vie, j'aurai essayé de m'investir dans des causes et expériences diverses, par passion, nécessité ou principe ; sans toujours avoir le satisfecit de la réussite, mais avec le mérite d'avoir entrepris. Cette expérience doctorale en est l'une d'entre elle. Elle m'a convaincu que la solitude du travail de recherches se conjugue avec le soutien de personnes et d'institutions dont les contributions en tout genre méritent ces quelques mots de reconnaissance et de témoignage.

Je voudrais ici remercier mes directeurs de thèse, Anna CRETI et feu Fulbert AMOUSSOUGA GERO pour la confiance accordée et la croyance en mes qualités de "chercheur en herbe". Malgré leurs nombreuses occupations, ils ont toujours su se rendre disponibles pour des conseils et appuis multiples. Anna , au delà de ses qualités d'enseignement et de chercheur appliquée, m'a toujours fait bénéficier de nombreuses opportunités pour rendre idoines mes conditions de travail et d'encadrement. En ces quelques mots, je lui exprime toute ma gratitude et mon affection. Feu Fulbert a toujours été une oreille attentive, passionné, et rigoureux dans les détails. Ses valeurs de travail sont une vertu indispensable au profit de la jeunesse. De là haut, que son étoile ne cesse de luire dans mes cieux.

Mes remerciements vont ensuite à l'adresse des Gouvernements de la République du Bénin et de la République Française à travers leurs ministères des affaires étrangères et de la coopération. Leur appui financier et logistique pour la mobilité m'auront permis de travailler dans des conditions optimales. Je remercie également la Région Ile de France et la Chaire Énergie et Prospérité pour les soutiens et appuis en tout genre.

Je souhaiterais également remercier l'ensemble des instances académiques, des laboratoires de recherche et leur personnel, de l'Université d'Abomey Calavi et de l'Université Paris Dauphine pour les sollicitations et exigences académiques et administratives dont j'aurai bénéficié au cours de cette thèse en cotutelle internationale. Une sincère reconnaissance aux Professeurs Lantz, Sannin et Agbodji pour les multiples critiques, relectures et recommandations. Aux Professeurs Hounkou et Acclassato, merci pour les accompagnements des dernières heures malgré vos contraintes et obligations respectives. À M. Bratusek et Mme Fanouvi, merci pour toutes les facilitations administratives.

Je m'en voudrais de ne pas exprimer ma gratitude à l'endroit de mes aînés qui sans distinction d'âge, de diplôme et de grade, m'ont toujours prodigué de nombreux conseils tant dans le fond que la forme de mes travaux. Mikael , Eric , Georges , Daniel , Priscilla et à tous mes collègues du P157 ; merci d'être pour moi des précurseurs académiques. Merci également à Reney de la SBEE pour ces données et conseils si précieux. Une pensée particulière au Professeur Alastaire, qui dans les heures obscures, n'a ménagé aucun effort pour reprendre le travail démarré avec le Professeur Fulbert.

Ma reconnaissance est immense pour mes collègues d'ARESS et MYJOULEBOX pour ces expériences que nous partageons depuis plusieurs années. Je

ne pourrai tous vous citer tant vos qualités et valeurs ne peuvent tenir en ces quelques lignes. Un clin d'œil à Paul , frère d'armes des luttes des premières heures.

A l'endroit de ma famille et de mes proches, je voudrais en toute humilité et simplicité leur dire merci pour l'éducation et les valeurs inculquées. À ma sœur Doris, mon frère Ronald, La Pirate, Mamie Thérèse, merci pour tout le soutien durant mes séjours alternés. A Michel et Monique Le Cornec , Barthélemy KASSA., merci d'avoir toujours cru en moi en me donnant l'opportunité de faire mes preuves. À mes parents, Blandine et Brice, je me rends compte que je n'ai toujours pas fini d'en apprendre de la vie. Trouvez ici, par ces mots bons et justes, le témoignage d'un fils comblé. Une mention spéciale, à ma mère, cette amazone aux valeurs inestimables.

Le dernier, et non moins le meilleur, à ma ravissante épouse Christelle, pour la patience, les sacrifices, peines et absences supportés durant toutes ces années. A tous mes actes manqués, à l'amour et l'espoir d'une vie commune, je te suis et te serai toujours redevable.

Que toutes les personnes parties trop tôt, ainsi que toutes celles qui ont de près et de loin ont contribué à cette thèse, reçoivent ici mes sincères reconnaissances. Je vous en saurais infiniment gré.

En mémoire de l'illustre. . .

Professeur, Humaniste, Aîné, Frère,

Fulbert AMOUSSOUGA GERO†

Que cette œuvre, perfectible, soit le fruit d'un accomplissement commun dont je porte solennellement la responsabilité, les erreurs et manquements.

Table des matières

Résumé	vii
Remerciements	ix
Table des figures	xv
Liste des tableaux	xvii
1 Introduction générale	1
1.1 Motivations et intérêts de l'étude	3
1.2 Méthodologie et outils de recherche	8
1.3 Principales contributions, limites et perspectives de nos travaux	12
1.4 Organisation de la thèse	15
1.5 Annexes	16
2 Consommation d'électricité, croissance économique et investissements : Evidences du Bénin	17
2.1 Introduction	18
2.2 Revue de littérature	20
2.3 Le secteur de l'électricité au Bénin, données et méthodologie	26
2.3.1 Description du secteur de l'électricité au Bénin	26
2.4 Résultats et analyses	28
2.5 L'impact de l'investissement sur la demande d'énergie	32
2.5.1 L'approche par le modèle de variables instrumentales	32
2.5.2 Résultats	36
2.6 Conclusion	39
2.7 Annexes	41
3 Tarification et consommation d'électricité résidentielle : Cas des ménages urbains du Bénin	43
3.1 Introduction	44
3.2 Revue de littérature	46
3.3 La consommation d'énergie électrique résidentielle au Bénin	53
3.3.1 L'organisation du sous secteur de l'électricité	53
3.3.2 La consommation d'électricité résidentielle	54
3.3.3 Le système de tarification résidentielle	55
3.3.3.1 Les tranches de facturation	55
3.3.3.2 Les composantes d'une facture	56
3.4 Problématique de l'étude, méthodologie et analyse des données	57
3.4.1 Données et méthodologie	58

3.4.2	Analyse des données	62
3.4.3	L'existence d'une tranche de pénalité	62
3.4.4	Des prix de revient relativement élevés	63
3.5	L'impact des nouvelles tarifications	65
3.5.1	La tarification de Ramsey-Boiteux	66
3.5.2	La tarification de pointe	68
3.5.3	La tarification progressive à 4 tranches	69
3.6	Analyse des résultats	70
3.7	Conclusion	74
3.8	Annexes	77
4	Mobile money, pay as you go et accès à l'énergie : L'expérience du Bénin	79
4.1	Introduction	80
4.2	Revue de littérature	83
4.3	L'expérience du Bénin	88
4.4	Données méthodologie de recherche	90
4.5	Analyses et Résultats	95
4.5.1	L'effet d'apprentissage	95
4.5.2	La modélisation Box-Jenkins	97
4.5.3	L'identification	100
4.5.4	La prévision	102
4.6	La caractérisation des risques : l'approche factorielle et l'approche économétrique	103
4.6.1	L'analyse des correspondances multiples	106
4.6.2	L'approche logit multinomiale	110
4.7	Conclusion	112
4.8	Annexes	114
5	Conclusion générale	123
	Bibliographie	127

Table des figures

1.1	Carte de la situation énergétique de l'Afrique	3
1.2	Evolution croisée des mouvements d'énergie et des capacités . . .	6
1.3	Ventilation des importations d'électricité par source	16
2.1	Comparaison de l'évolution de la consommation d'électricité et du PIB dans quelques pays de l'UEMOA	26
2.2	Evolution de la dépendance en énergie électrique	27
2.3	Evolution croissante des series brutes	28
2.4	Évolution des séries différenciées	29
3.1	Courbe des charges de tarifs binômes	49
3.2	Type de facturation de l'électricité résidentielle en Afrique	51
3.3	Type de facturation par blocs et écart tarifaire par bloc	52
3.4	Evolution de la consommation d'énergie électrique résidentielle par habitant par an au Bénin	54
3.5	Classification de l'usage de l'électricité en zone urbaine au Bénin . . .	55
3.6	Classification de l'usage de l'électricité par type de besoin en zone urbaine au Bénin	56
3.7	Tarification IBT-3 en vigueur au Bénin	57
3.8	Diagramme de la décomposition d'une facture d'électricité	57
3.9	Localisation géographique des zones d'études	59
3.10	Répartition des factures par tranche	62
3.11	Fonction décroissante du prix de revient du kWh	65
3.12	Trend journalier de la consommation d'électricité	69
3.13	IBT-4	70
3.14	Simulation des 4 tarifications sur la consommation	72
3.15	Zoom sur les 30 premiers kWh	72
3.16	Comparaison des surplus selon le type de facturation	73
4.1	Evolution de la pénétration de la téléphonie mobile	84
4.2	Perpectives de l'économie mobile à l'horizon 2020 en Afrique . . .	87
4.3	Principe du fonctionnement du kit Mobisol	87
4.4	Evolution croisée de la bancarisation et de la pénétration mobile au Bénin	89
4.5	Infographie du Pay As You Go au Bénin	90
4.6	Répartition des ventes par type d'activation	91
4.7	Représentation linéaire de l'effet d'apprentissage	97
4.8	Représentation de l'évolution des ventes	98
4.9	Q-Qnorm res- SARMA	101
4.10	Evolution jointe series observée et prédite	102

4.11	Figure des projections de variables sur les 2 axes de l'ACM	108
4.12	Figure de l'analyse en correspondances multiples	109
4.13	Autocorrelation Function de la serie sales	114
4.14	Partial Autocorrelation Function de la serie sales	115
4.15	Prospectus du projet	121
4.16	Formulaire de l'entretien relatif au défaut de paiement	122

Liste des tableaux

1.1	Statistiques descriptives des variables de l'évolution croisée	16
2.1	Tests de stationnarité	29
2.2	Résultats tests cointégration	30
2.3	Relation long terme et court terme et causalité Granger	32
2.4	Statistiques descriptives des variables de l'étude	33
2.5	Regression IV - 2eme etpae	37
2.6	Resultat test d'endogénéité	37
2.7	Synthèse de littérature sur les travaux de cointégration et causalité	41
2.8	Resultat IV regression- Ist stage	42
2.9	Resultat test validité instruments	42
2.10	Resultat test validité instruments (suite)	42
3.1	Statistiques descriptives des variables de l'étude	61
3.2	Comparaison de nos résultats à ceux de l'UPDEA	64
3.3	Tableau récapitulatif des résultats des simulations	70
3.4	Stats-descriptives par tranches de consommation	78
4.1	Statistiques descriptives des volumes de transaction journaliers .	92
4.2	Tableau récapitulatif des modèles retenus	99
4.3	Critère d'informations et de décision pour la sélection du modèle	101
4.4	Résultats succincts des variables significatives du modèle	111
4.5	ADF Test - sales	114
4.6	Test de normalité des résidus du SARMA	114
4.7	Résultats du test d'autocorrelation des résidus du SARMA	115
4.8	Résultats du test d'homoscedasticité des résidus du SARMA . . .	115
4.9	Estimation results : arima	116
4.10	Estimation results : regress	116
4.11	Les variables de l'ACM et leurs modalités respectives	117
4.12	Statistiques descrpitives des variables et des modalités associées	118
4.13	Tests du Maximum de Vraisemblance issue de la régression mul- tinomiale	119
4.14	Test Général du Multiplicateur de Lagrange	119
4.15	Estimation du modèle multinomial	120

Abbreviations

ACM	: Analyse en Composante Multiple
ADF	: Augmented Dickey Fuller
APU	: Admnsitration Publique
ARE	: Autorité de Régulation de l'Electricité
ARDL	: Autoregressive Distributed Lag Model
ASS	: Afrique SubSaharienne
BAD	: Banque Afrique de Développement
BID	: Banque Islamique de Développement
CEDEAO	: Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest
DGE	: Direction Générale de l'Energie
EDF	: Electricité de France
EnR	: Energies Renouvelables
€	: Euro
FCFA	: Franc CFA
FDI	: Foreign Direct Investments
FMI	: Fonds Monétaire International
GSMA	: Association Mondiale des Telecoms
GW	: Giga Watt
IAE	: Agence Internationale de l'Energie
IBT	: Increased Bloc Tariifs
IDH	: Indicateur de Développement Humain
iid	: independent and inditically distributed
INSAE	: Institut National de Statistiques et de l'Analyse Economique
IV/VI	: Instrumental Variables
kW	: kilowatt
kWh	: kilowatt-heure
MCC	: Millenium Challenge Corporation
MoMo	: Mobile Money
MTN	: Opérateur téléphonique
MW	: Mega Watt
ODD	: Objectif Développement Durable
OLS	: Ordinary Last Squares
PAYG	: Pay As You Go
PIB	: Produit Intérieur Brut
PP	: Phillips Perron
PTA	: Plan de Travail Annuel
SBEE	: Société Béninoise d'Energie Electrique
SIE	: Système d'Information Energetique
UAE	: United Arab Emirates
UDPEA	: Union des Producteurs d'Electricité Africain

UEMOA	:	Union Economique et Monétaire Ouest Africaine
USD	:	United States Dollar
VAR	:	Vecteur Auto Regressif
VECM	:	Vector Error Correction Model
W	:	Watt
WAPP	:	West African Power Pool
WDI	:	World Bank Data Indicator
2SLS	:	Two Steps Last Square

Chapitre 1

Introduction générale

Dans cette première partie, nous retraçons les grandes lignes de nos recherches en quatre sous parties que sont : les motivations et l'intérêt de nos travaux, la méthodologie et les outils d'analyse, les principales contributions et limites, et enfin l'organisation du manuscrit.

Quelque soit sa forme, l'énergie est une ressource primaire ou secondaire qui oeuvre aussi bien à la création de richesse qu'au bien être. Elle contribue à ce titre aux changements de la société et à l'amélioration des conditions de vie des populations. Ce sont les raisons pour lesquelles l'énergie occupe de facto une place prépondérante dans les Objectifs du Développement Durable (ODD) ¹ pour éradiquer la pauvreté, protéger la planète et garantir la prospérité.

L'Afrique est le continent qui fera face dans les années futures aux enjeux énergétiques les plus importants. Malgré un accroissement de sa demande en énergie d, elle ne représente que 4% de la demande mondiale actuelle ². En comparaison à son poids démographique, l'Afrique consomme très peu d'énergie. En effet, la consommation annuelle par habitant (hors Afrique du Sud et Maghreb) est de 100 kilos d'équivalent pétrole (kep) contre 8 000 kep pour les USA et 4 000 kep pour les pays de l'OCDE ³. Plus de 70% de la population du continent n'a pas accès à une énergie propre et durable, faisant de l'Afrique le seul continent ayant le taux d'accès à l'énergie propre le plus faible. De plus, le PIB moyen par habitant de 3 513 USD ⁴ est quatre fois plus faible que la moyenne mondiale estimée à environ 15 000 USD ⁵ en parité de pouvoir d'achat. Ce PIB moyen par habitant demeure toutefois très hétérogène dans l'espace subsaharien avec une moyenne de 3801 USD pour l'Afrique de l'Ouest, 9367 USD pour l'Afrique Centrale ⁶.

Cette hétérogénéité traduit globalement des disparités culturelles, sociales et économiques ainsi qu'une faible capacité des populations à payer pour un service énergie décent et durable par rapport au reste du monde. Avec une taux de croissance de la population de 2,42% par an, l'Afrique est amené à devenir le continent le plus peuplé à l'horizon 2050. Pour ce fait, il faudra donc accompagner cette croissance démographique par une croissance économique inclusive et des infrastructures durables.

Sur le plan de l'énergie électrique, le contexte africain est tout aussi pré-occupant. L'Afrique subsaharienne hors Afrique du Sud dispose d'une capacité totale installée d'environ 80 GW, soit l'équivalent de la puissance électrique de l'Espagne. Plus de 80% de la population n'a toujours pas accès à l'électricité. Suivant les recommandations des institutions internationales (FMI et Banque Mondiale principalement), on assista dans les années 90 à la création d'agences et d'instituts spécialisés pour le développement et la promotion de l'électrification des zones péri urbaines et rurales. Mais à ce jour, la situation n'a guère

1. Les ODD sont au nombre de 17 avec un objectif spécifique à atteindre dans les 15 prochaines années. Pour que ces objectifs soient atteints, il incombe aux gouvernements, secteur privé, société civile et insitutions en tout genre d'y contribuer. L'accès pour tous à une énergie propre et durable occupe la 7^{ième} position

2. Club Afrique 2030, Rapport Energie Afrique 2050 ; ADEA

3. Energie Afrique 2050, Favennec & Al

4. WDI, 2014

5. WDI, 2014

6. <file:///Users/admin/Downloads/stec108b.pdf>

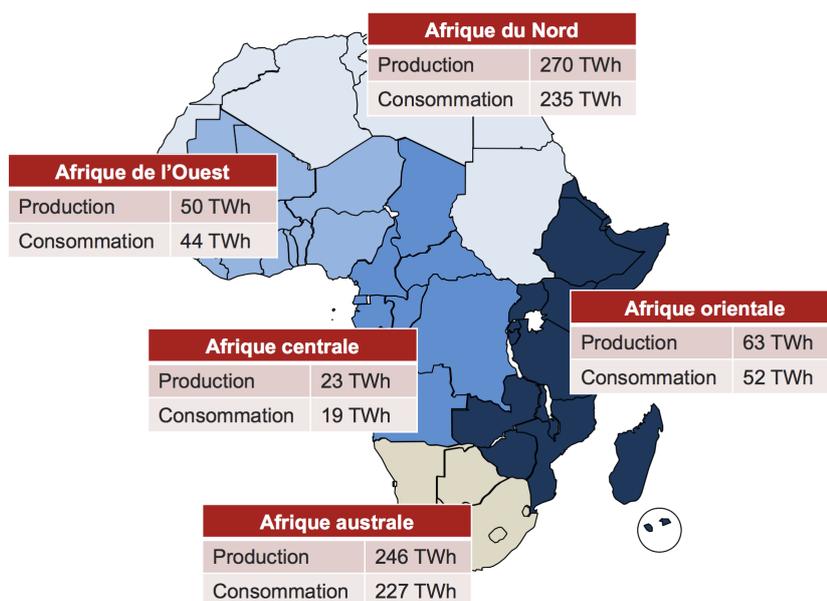


FIGURE 1.1: Carte de la situation énergétique de l'Afrique
Rapport Afrique 2050

évolué⁷. Si l'Afrique doit atteindre les ODD à l'horizon 2030-2050, d'importants investissements sont nécessaires en termes d'infrastructures de transport et de distribution de l'électricité. Rosnes & Vennemo (2012) estiment les investissements dans la production d'électricité entre 160 et 215 milliard USD au cours des dix prochaines années. Selon l'IAE (2014), il faudra 90 GW supplémentaires à l'horizon 2040 d'un coût moyen de 450 milliard USD réparties entre des systèmes centralisés pour les centres urbains et les systèmes décentralisés pour les zones rurales.

Les résultats et contributions de nos recherches que nous développerons par la suite murissent la réflexion et les enjeux des questions et défis évoqués ci dessus à l'échelle du Bénin.

1.1 Motivations et intérêts de l'étude

Le Bénin est un pays francophone d'Afrique de l'Ouest limité au Nord par le Burkina Faso et le Niger, au Sud par l'Océan atlantique, à l'Est par le Nigéria

7. Les agences et instituts de développement de l'énergie électrique en zone rurale en Afrique se sont regroupées en une association qui est basée actuellement en Côte d'Ivoire. Dénommée l'Association Africaine pour l'Electrification Rurale, précédemment CLUB-ER, il s'agit d'un réseau bilingue (anglais / français) qui regroupe une quarantaine d'Agences et structures en charge de électrification rurale répartis dans trente-deux pays du continent. Ces adhérents sont des Agences et des Fonds d'Electrification Rurale, des Agences des Energies Renouvelables, des Régulateurs, des Départements ministériels en charge de l'Electrification Rurale, des Sociétés Nationales d'Electricité et toute structure dont la mission est de promouvoir l'Electrification Rurale. D'amples informations sont disponibles à l'adresse : <http://www.club-er.org/index.php/fr/component/k2/288-qui-sommes-nous>

et à l'Ouest par le Togo. Membre de la Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) et de l'Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA), le pays est un des utilisateurs de la monnaie commune FCFA, qui est en parité fixe avec l'euro⁸. Le Bénin compte une population de onze million d'habitants avec un taux d'accroissement naturel de 2,77%. Avec une population très jeune (60% de la population a moins de 30 ans), et un IDH faible (0,485), le Bénin comme de nombreux pays d'Afrique est considéré comme une économie émergente qui fera face aux nombreux défis sur la structuration de l'économie, l'urbanisation, l'emploi des jeunes et du réchauffement climatique.

Sur le plan économique, la croissance annuelle moyenne sur les vingt dernières années a été d'environ 4%. L'économie est principalement agricole et dépend des revenus issus du Port Autonome de Cotonou qui permet d'approvisionner les pays de l'inter-land (Niger, Burkina Faso, Mali, Tchad). D'après le document de stratégie sur les orientations pour un Bénin émergent, sur la période 1995-2000, le taux de croissance de l'économie a été en moyenne de 5%. En 2001 ce taux est passé à 6,2% avant de chuter à 3,1% en 2004 et à 2,9% en 2005. Ce regain d'activités est tributaire, d'une part, de la régression de la part de la valeur ajoutée du secteur tertiaire dans la formation du PIB à la suite des restrictions commerciales imposées par le Nigeria sur les réexportations et d'autre part de la crise de la filière coton, principal produit d'exportation, de l'appréciation de l'euro par rapport au dollar des Etats-Unis ainsi que du renchérissement continu du cours du brut.

Ce manque de diversification du tissu économique est pénalisant du fait de l'importance de la croissance démographique (3,25%) dans les années 2000, classant le Bénin parmi les trente pays ayant le revenu moyen par tête d'habitants le plus faible. Selon le guide de stratégie et d'orientation, le faible développement de l'économie béninoise depuis 1960 s'explique en partie par la compétitivité insuffisante de la plupart des secteurs et par la forte vulnérabilité aux chocs extérieurs, notamment la conjoncture économique du Nigeria avec une devise très volatile.

Le niveau insuffisant du taux d'investissement s'explique, entre autres, par la faiblesse de l'épargne nationale (13% du PIB) et par le niveau modeste des Investissements Directs Etrangers (1,5% du PIB en moyenne). L'appareil productif est marqué par la prépondérance des secteurs primaire et tertiaire sur la période 1995-2005. La part moyenne de ces secteurs dans la formation du PIB béninois de 1995 à 2005, de même que la population active évoluant dans les différents secteurs.

Dans le secteur primaire, l'agriculture y est prépondérante et conserve à elle seule 24,1% du PIB. Elle reste une source importante de devises, malgré la faiblesse de la productivité, la non mécanisation, la non maîtrise de l'eau, la mauvaise organisation des filières, l'insuffisance de l'encadrement technique, le manque d'infrastructures, l'absence quasi totale de financement des activités de production et la faible diversification des cultures d'exportation.

8. 1 €=655,957 FCFA

La production industrielle est dominée par l'industrie alimentaire, l'industrie textile et la cimenterie. Les BTP et l'Energie qui constituent une base indispensable pour le développement industriel participent très peu à la formation du PIB avec respectivement 0,9% et 3,9% du PIB, sur la période 1995–2005. L'insuffisance des capacités entrepreneuriales et managériales, l'insuffisance d'investisseurs dans le secteur, le faible niveau d'exploitation et de valorisation des ressources locales, l'inadaptation de l'environnement institutionnel et réglementaire constituent les principaux problèmes qui entravent le développement industriel du pays.

Les activités du tertiaire reposent essentiellement sur le commerce qui reste largement tributaire de l'état des relations avec Nigéria, première économie de la sous région et de l'Afrique. Ce secteur reste confronté à des difficultés de relance telles que l'inadéquation et/ou l'insuffisance des textes législatifs et réglementaires, le développement à un rythme inquiétant de la contrebande, le déficit de coordination des actions des différentes structures nationales impliquées dans le processus de développement des échanges.

Les autres services, notamment les services de transport sont peu performants en raison d'un environnement difficile caractérisé par l'état défectueux des infrastructures de transports.

La situation énergétique du Bénin se caractérise par une prédominance de la biomasse à travers le bois de feu, le charbon de bois et les déchets végétaux (59,4%) et des produits pétroliers (38,4%) dans le mix énergétique. L'énergie électrique n'en représente que 2,2%⁹. La demande de pointe actuelle du Bénin en électricité se situe entre 200 et 300 MW. Le secteur est régi par la Société Béninoise d'Energie Electrique (SBEE) qui est un monopole public verticalement intégré. Les activités de la SBEE se décomposent entre la production (12%) et la distribution de l'électricité (88%). Comme nous pouvons le constater, la production limitée est liée aux capacités de production très faibles du pays.

La figure 1.2 décrit l'évolution croisée de la consommation d'électricité (en MWh), la pointe de la demande d'électricité (en MW) ainsi que les sources d'approvisionnement de 1990 à 2013. Nous constatons que les capacités de production nationales ont très peu évoluées (seuls deux investissements significatifs ont été réalisés de puissance respective de 25 MW et 80 MW en 1997 et en 2007) sur la période d'observations. De 1990 à 2013, elles sont passées de 32,5 MW installées à environ 138 MW, soit une hausse de 5,95% en moyenne annuelle pendant que la demande de pointe en électricité s'est accrue à une moyenne de 8,44% par an. S'agissant de la consommation, elle est passée d'environ 200 MWh par an en 1990 à plus de 1130 MWh en 2014, soit un accroissement annuel moyen de 7,17%. L'ensemble des statistiques descriptives figurent en annexe dans le tableau 1.1.

Pour satisfaire la demande sans cesse croissante, plus de 90% de la consommation d'électricité est importée ce qui traduit une très forte dépendance du

9. SIE, 2012

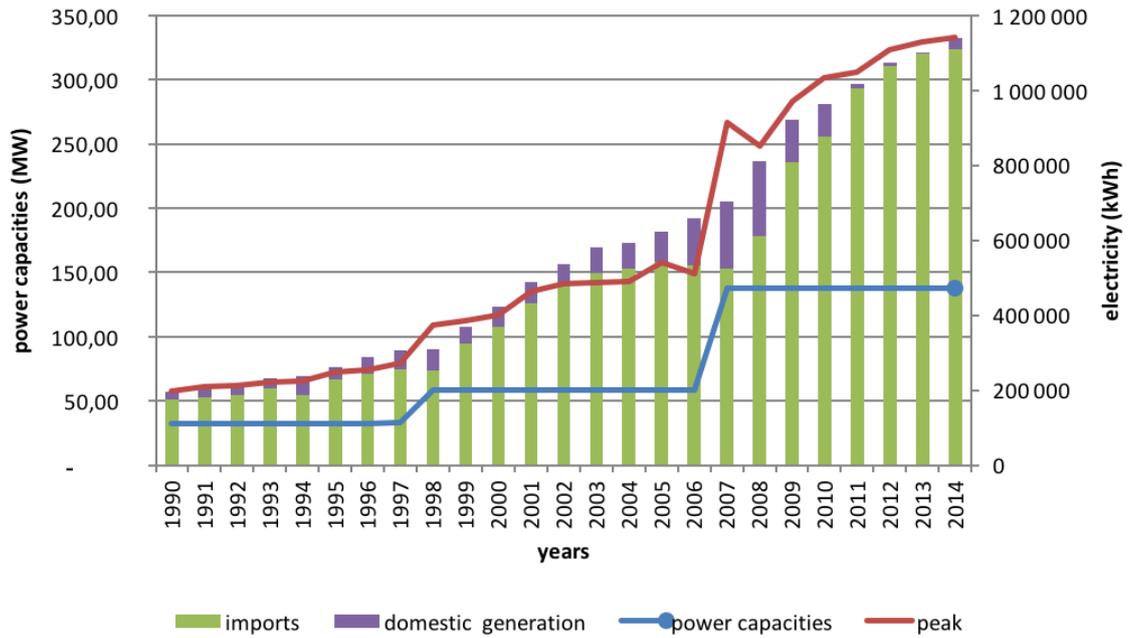


FIGURE 1.2: Evolution croisée des mouvements d'énergie et des capacités
SIE, 2010

Bénin vis à vis de l'extérieur. Cet approvisionnement extérieur est possible grâce à l'existence d'interconnexions entre les pays de la sous région¹⁰. La figure 1.3 en annexe décrit les sources d'approvisionnement et les volumes par source. Nous observons que le Ghana est historiquement, le pays qui approvisionnait le Bénin depuis les années 90. Dans les années 2000, le Nigéria est devenu le principal fournisseur, compte tenu d'une demande de plus en plus importante et aux immenses capacités de génération thermique du Nigéria.

Cette forte dépendance s'accompagne aussi de délestages récurrents qui affectent aussi l'ensemble des consommateurs. Différentes études réalisées (MCC, 2014; INSAE, 2015) ont montré que le déficit et la discontinuité de l'offre d'énergie entraînent des pertes de 3 à 5% du PIB. De façon générale, Andersen & Dalgaard (2013) ont calculé l'impact de long terme des délestages sur la croissance économique en Afrique subsaharienne de 1995 à 2007. Leurs résultats montrent qu'en moyenne, pour une augmentation de 1% des délestages, on assiste à une réduction de 2,86% du PIB par habitant sur le long terme. Pour Foster & Steinbuks (2010), les entités économiques de petites et moyennes tailles sont les plus affectées par les discontinuités de l'électricité. Dans le cas du Ghana, Braimah (2012) a estimé un recours à des sources onéreuses telles que le groupe électrogène pendant 30 à 70 heures chaque semaine pour faire face au délestage. Ces substituts peu efficaces tendent à accroître le coût de production des entités économiques, affectant de surcroît leur compétitivité. Au niveau des ménages, le coût et la qualité de l'énergie électrique sont souvent décriés.

10. En effet, le West African Power Pool est l'infrastructure de connexion des systèmes électriques de la Côte d'Ivoire, du Ghana, du Togo, du Bénin, du Nigéria, du Burkina Faso et du Niger

En effet, d'après l'étude de l'UDPEA ¹¹ en 2010, il en ressort que l'Afrique est la région où le coût du kWh est le plus élevé malgré le service énergie de la plus mauvaise qualité.

L'INSAE ¹² a réalisé une étude près les ménages urbains et ruraux du service énergie, du coût de l'énergie et du consentement à payer pour disposer d'une énergie de qualité et continue. Il en ressort que plus de 70% des ménages se déclarent desservis d'une mauvaise qualité d'énergie bien qu'ils y consacrent entre 15% et 30% de leur revenu. Dans les zones urbaines, plus de 90% des branchements sont en post paiement contre 10% en prépaiement. Le mode de paiement des factures utilisé par un ménage dépend du type de connexion auquel il a souscrit. En effet, 8 ménages directement raccordés sur 10 s'acquittent de leur frais de consommation d'électricité, sur facturation de la SBEE. La consommation prépayée (13,5%) constitue le second mode de paiement utilisé par ces ménages. A l'opposé, les ménages raccordés aux « toiles d'araignée » paient en majorité (52,7%) leur consommation d'électricité à des tiers sans aucune preuves de transactions. Rappelons les branchements en « toiles d'araignée » correspondent à des branchements illégaux. De plus, 66% des abonnés interrogés estiment être victimes d'une surfacturation par rapport au niveau réel de la consommation. La situation est d'autant plus décriée que les coûts d'accès au réseau sont très élevés. En moyenne, ils s'élèvent entre 100 000 FCFA et 120 000 FCFA ¹³. Somme toute, les ménages déclarent être prêts à payer davantage sous réserve de disposer d'une énergie fiable et continue, ou à recourir à des sources alternatives de type renouvelables.

En somme, l'ensemble des points évoqués ci dessus peuvent s'agrèger autour des grandes problématiques que sont :

- Le lien entre la consommation d'électricité et la croissance économique dans le cas du Bénin pour mieux comprendre le faible niveau d'investissements dans les capacités malgré une demande soutenue depuis des décennies.
- Compte tenu du fait que l'Afrique est considérée comme la région où l'électricité est la plus chère au monde, et au regard des multiples plaintes des abonnés, qu'en ressort il de la tarification en vigueur et quel serait l'impact de nouvelles formes de tarification ?
- Nombre d'études témoignent de l'intérêt des populations de payer plus pour garantir un accès meilleur à l'électricité. Ce consentement est donc favorable à l'émergence de nouvelles sources d'accès tels que les systèmes d'énergie renouvelable ou les systèmes décentralisés. En effet, la population rurale et péri-urbaine sont les plus concernées par les questions d'accès. Elles souffrent aussi de l'absence d'infrastructures et de bancarisation. L'expérience a montré qu'en Afrique de l'Est, le déploiement massif de ces solutions connectées et innovantes a été possible grâce à l'intégration du mobile banking. Quid de l'expérience du Bénin ?

11. il s'agit du syndicat des compagnies d'électricité en Afrique

12. il s'agit de l'Institut National de Statistiques et de l'Analyse Economique du Bénin

13. soit l'équivalent de 150 à 178 €

Les trois problématiques évoquées ci dessus sont complémentaires car elles abordent sous un angle différent des points essentiels de compréhension des contraintes et des défis de l'accès à l'énergie en Afrique subsaharienne. L'étude de cas du Bénin apporte des contributions enrichissantes car elle rend précise et fiable l'analyse à l'échelle d'un pays témoin.

1.2 Méthodologie et outils de recherche

Nos travaux de recherche déclinent des trois problématiques de la section précédente. Nous devons disposer d'une méthodologie rigoureuse de même que d'outils d'analyse fiables pour que nos résultats soient significatifs et viables sur le plan scientifique ; de même que crédibles sur le plan de l'analyse économique.

Dans la première partie, nous étudions les relations entre le PIB et la consommation d'électricité au Bénin sur la période de 1980 à 2013. Nous nous basons sur la relation de cointégration et la causalité au sens de Granger pour cette analyse bivariée. Pour ce fait, nous utilisons les 3 méthodes largement répandues dans la littérature à savoir la méthode de Engle & Granger, la méthode de Johansen et l'ARDL. Compte tenu de la taille de notre échantillon et conformément à la littérature de référence, la méthode des vecteurs autoregressifs retardés (Pesaran & Al, 2005) est la meilleure alternative pour les échantillons de petites tailles car elle est plus fiable que les tests de Granger et Johansen pour étudier la cointégration. Nous comparons donc les résultats aux méthodes de référence (Engle & Granger ; Johansen). Nos résultats témoignent bien de l'existence d'une relation de cointégration entre la consommation d'électricité et le PIB. Quant à la causalité au sens de Granger, il existe bien une relation unidirectionnelle allant de la croissance économique vers la consommation d'électricité.

Ces résultats préliminaires nous amène donc à comprendre l'impact des investissements publics sur la demande d'énergie électrique. En l'absence de données fiables sur les allocations budgétaires de l'Etat, nous utilisons comme variable les crédits perçus des bailleurs internationaux, en l'occurrence le FMI. En effet, le rôle du FMI est de soutenir les politiques macro économiques de long terme des Etats aux revenus les plus faibles. Ces politiques d'accompagnement sont mises en oeuvre à travers des investissements directs dans des secteurs clés de l'économie. Au regard du rôle qu'occupe l'énergie dans l'économie, nous supposons que le secteur l'électricité devrait être captif de ces investissements perçus. Les données nous indiquent que ces investissements se sont accrus à 2.7% en moyenne par an sur les vingt dernières années. Pour pouvoir mesurer leur impact sur la demande d'énergie, nous utilisons un modèle de régression à variables instrumentales. Compte tenu des hypothèses spécifiées propres à ces modèles, nous choisis des instruments qui doivent être corrélés avec notre variable investissement. Nos instruments sont extraits du World Bank Governance Indicators qui est une base de la Banque Mondiale qui renseigne sur des indicateurs de transparence et de bonne gouvernance. En effet, nos instruments (contrôle de la corruption et efficacité de l'action gouvernementale) sont

des marqueurs fiables pour la variable endogène investissement. Les autres variables exogènes du modèle se résument à : la population urbaine, le prix moyen de l'électricité, les capacités nationales de production, la part des énergies renouvelables ainsi que la part de l'industrie dans le PIB. Chacune de ces variables est supposée fortement interagir avec la demande d'énergie. Bien que nos instruments soient valides, nous avons trouvé que le secteur de l'énergie n'a pas été captif des investissements. La plus value de l'industrie, la pénétration des énergies renouvelables et l'accroissement de la population urbaine sous tendent à renforcer l'offre d'énergie compte tenu de la demande accrue.

Dans la seconde partie, nous investiguons sur la tarification résidentielle de l'électricité au Bénin. L'Afrique est la région du monde où les tarifs d'électricité sont des plus élevés ([Power Tariffs – WB, 2011](#)). Ces coûts dépendent souvent de la technologie déployée et de la performance du secteur. Au Bénin, les études ont révélé que plusieurs abonnés se plaignent du prix de l'énergie effectivement consommée qui serait de 1,8 fois plus chère ([INSAE, 2015](#)). La présente étude vient renforcer les rares études qui existent dans le sous secteur de l'énergie électrique au Bénin. En effet, il s'agira d'analyser un ensemble de factures d'électricité résidentielle post-payée dans les principaux centres urbains du Bénin. En déterminant les coûts de revient de l'énergie électrique, nous simulons des formes de tarification alternatives afin de mesurer l'impact sur l'indicateur prix.

La tarification résidentielle de l'électricité induit une répartition des charges entre l'abonnement, le coût d'accès et la mesure de la quantité consommée. Cette équation de tarification complexe induit de fait une segmentation des profils et des usages conformément aux grandes théories économiques. Toute variation du prix implique de fait un effet sur le niveau de la demande assujettie au cours d'une période donnée. En conséquence, les factures mensuelles des abonnés sont censées capturer toutes les charges comprenant le coûts marginaux et moyen, les taxes et autres prélèvements qui se répartissent en amont entre le monopole et l'Etat.

L'objectif de ce papier étant de nourrir la réflexion de nouvelles formes de tarification, dans un environnement où les plaintes des usagers sont de plus en plus nombreuses aussi bien par rapport au coût de l'énergie, que de la qualité de l'énergie consommée. Compte tenu du fait que le Bénin soit un importateur net d'électricité qui est plus chère que dans la plupart des pays de la sous région, l'analyse du coût de revient de l'énergie doit aller au delà des coûts de production et d'opération. Pour donc faire évoluer le système de tarification, il revient d'en analyser chacun des déterminants ainsi que l'impact des nouvelles formes de tarification qui sont susceptibles d'être appliquées.

Le secteur de l'électricité au Bénin est affecté par des crises de continuité dans l'approvisionnement de l'énergie. [Alinsato \(2011\)](#) a montré que 58% des ménages se déclarent moyennement satisfaits par la qualité de l'énergie électrique contre 37% qui déclarent que l'énergie est de très mauvaise qualité. Seuls 5% se déclarent satisfaits par la qualité de l'énergie fournie. De même, les délais de raccordement sont longs et onéreux. L'enquête déclare que le délai moyen

de raccordement est de 32 semaines sur le territoire national ; 14 semaines pour l'obtention d'un devis et de 18 semaines pour le raccordement effectif. Ces délais longs jumelés au coût de la connexion environ 119 000 FCFA¹⁴ peuvent justifier la prolifération des branchements indirects dans les zones périurbaines et rurales. En effet, l'étude révèle que la connexion indirecte dure en moyenne 16 semaines, soit deux fois moins qu'un branchement ordinaire. Ces procédures et délais sont donc très loin de la législation en vigueur qui fixe à quatre semaines maximum le raccordement à l'abonné qui a déjà effectué le paiement.

Grâce à une étude cadre du Ministère en charge de l'énergie, nous avons eu accès une base de données de relevés de consommation de clients en post-paiement. En effet, l'étude qui couvre les deux principaux centres urbains du pays recense 2880 factures d'électricité de 180 ménages urbains en régime de paiement post payés sur une période de 16 mois¹⁵, nous analysons les factures d'électricité résidentielles pour comprendre les principales questions soulevées ci dessus. Ces données présentent toutefois une principale limite : nous ne disposons pas de données socioéconomiques sur les abonnés interrogés afin de mesurer l'effet revenu du bien électricité dans le pouvoir d'achat par une approche économétrique. Nous ne pourrions donc mesurer le surplus du consommateur par la variation monétaire à la situation de tarification de référence. A la suite de l'analyse des données, nous avons trouvé que comparativement aux pays de la sous région, le prix de l'énergie électrique demeure très élevé au Bénin, et qu'il existe des biais dans le système de tarification. Soit, l'existence d'une tranche de pénalité sociale. Par la suite, nous simulons d'autres formes de tarification en vigueur (la tarification de Ramsey, la tarification de pointe ainsi que la tarification progressive à 4 blocs). Nos résultats indiquent que l'impact des tarifications dépend du volume d'énergie consommée ainsi que de l'objectif des politiques publiques en vigueur. Nous ne trouvons aucune tarification qui domine strictement les autres.

Enfin dans la troisième partie, nous traitons des questions d'économie mobile, d'accès à l'énergie et des déterminants du risque de paiement dans l'expérience du Pay As You Go¹⁶ au Bénin. En effet, dans la plupart des pays en voie de développement, les populations périurbaines et rurales vivent sans un accès immédiat à des infrastructures comme l'électricité, l'eau courante, les voies praticables et les services bancaires. L'approche classique de la bancarisation qui nécessite des infrastructures physiques et du personnel humain est un obstacle à satisfaire les millions de clients potentiels qui vivent très loin des zones desservies. Les populations rurales sont celles qui ont les revenus les faibles et qui paient néanmoins le plus cher la satisfaction de leur besoin en énergie : il s'agit de la Base de la Pyramide (Prahalad & Al, 2004 ; Hammond & Al, 2007 ; Andre, 2012). Il s'est donc développé depuis les années 90 une multitude de services énergétiques solaires connexes à ces populations au pouvoir d'achat très faible : les mini kits solaires, les stations de recharge, les centrales solaires, les centrales hybrides (Emili & Al, 2016). Tous ces systèmes ont pour point commun

14. 199 USD

15. La période de l'étude couvre aout 2011 à novembre 2012

16. PAYG par la suite

qu'elles ne nécessitent pas un raccordement immédiat au réseau et répondent à des besoins de base précis des consommateurs (éclairage, recharge de téléphone portable, radio et/ou télévision). Le déploiement de ces nouvelles formes d'énergie est un paradoxe à la vision monopolistique du secteur qui nécessite des investissements très importants. L'énergie de proximité apparaît donc une alternative à la fois rapide et fiable. Elle se heurte néanmoins aux capacités à payer des bénéficiaires dont les revenus sont bas et irréguliers.

Ce papier est une contribution de la recherche appliquée sur les questions de l'économie mobile, de l'accès à l'énergie et de l'évaluation des risques d'un portefeuille PAYG à l'échelle d'un pays. En effet, nous n'avons recensé aucun papier scientifique qui traite de façon jointe ces trois questions en Afrique. Les objectifs de nos travaux sont multiples car sous un angle empirique, ils permettent d'étudier la diffusion d'un nouveau service énergie dans un pays où le taux d'accès à l'électricité est très faible. Le projet a pour objectif d'améliorer le taux d'accès à l'énergie électrique sur le territoire béninois grâce à la diffusion massive de kits solaires capables d'assurer l'éclairage et la recharge de téléphones portables aux ménages qui sont principalement dans les localités non desservies par le réseau conventionnel. Parmi les principaux indicateurs, il est prévu la pénétration de 9 000 lampes solaires dotées de la technologie du PAYG qui soient entièrement soldées par les bénéficiaires compte tenu des facilités de paiement accordées. Le PAYG est un mécanisme qui est mis en place pour permettre aux ménages à revenus modestes et ne pouvant s'acheter au comptant leurs lampes, de s'en procurer avec la possibilité de paiement selon un échéancier. Le mécanisme de PAYG tel que conçu devra être facilité par une intégration de la technologie du Mobile Money qui est l'outil du mobile banking de l'opérateur téléphonique MTN.

Suivant une analyse univariée, nous analysons les données journalières issues des ventes par la méthode d'apprentissage et par la méthode de Box-Jenkins. La première approche permet de calculer le coefficient d'apprentissage lié à l'évolution des ventes. La méthode de Box-Jenkins nous permet de retenir 3 modèles. Nous retenons le meilleur modèle qui présente une saisonnalité hebdomadaire selon les critères de sélection AIC et BIC. Par la suite, la prévision effectuée sur deux périodes saisonnières a montré avant tout la fiabilité de notre modèle ainsi que la dynamique croissante dans les ventes. Nous pouvons donc conclure que le pay as you go contribue de façon claire à accroître le taux d'accès à l'énergie au Bénin et constitue donc une opportunité à soutenir et à développer. Nos résultats montrent des effets cycliques qui se stabilisent dans le temps. D'autre part, malgré le potentiel du pay as you go, l'un des facteurs à risque constitue le défaut de paiement au cours de la période contractuelle. Grâce à un questionnaire sur un échantillon des clients en défaut de paiement, nous investiguons à travers une analyse en correspondance multiple ainsi qu'une approche économétrique les facteurs et la probabilité caractérisant ce défaut de paiement. En effet, il n'existe pas encore une classification des risques ou un filtre en amont capable de sélectionner les bénéficiaires d'après la littérature parcourue. Sur la base du questionnaire, nous avons regroupé les réponses en un ensemble de sept variables qualitatives ayant un total de 24 modalités. L'analyse des correspondances multiples (ACM) ainsi que l'estimation logit nous permettent de

déterminer les facteurs sous-jacents capables d'expliquer le profil des individus par rapport au degré de risque : faible (défaut de paiement de moins de 7 jours), moyen (défaut de paiement entre 8 et 15 jours) et élevé (au delà de quinze jours).

1.3 Principales contributions, limites et perspectives de nos travaux

Nos travaux mettent en exergue un certain nombre de points sur le plan théorique. En effet, il s'agit principalement de contribuer à enrichir la littérature de référence en Afrique saharienne. En balayant la revue de littérature appliquée au secteur de l'énergie, nous avons identifié très peu de papiers. Chacun des axes de nos recherches s'appuie donc sur une recherche bibliographique la plus exhaustive possible. D'autre part, nos outils de recherche et notre méthodologie s'appuie sur les méthodes les plus répandues dans le domaine de l'analyse économique. Dans le chapitre 2, nous nous basons sur la cointégration et l'analyse de causalité pour comprendre les interactions entre les agrégats macroéconomiques. Par la suite, la méthode des variables instrumentales a permis de comprendre l'impact de la demande de l'énergie sur des variables endogènes. Dans le chapitre suivant, en simulant des niveaux de consommation historiques de ménages urbains, nous fondons notre analyse sur les méthodes de tarification les plus développées. L'idée sous-jacente est de murir la réflexion sur l'efficacité de la politique de tarification en vigueur afin d'en formuler des recommandations aux opérateurs de réseau. Ces travaux sont particulièrement en vogue dans une Afrique où la plupart des opérateurs du secteur d'électricité sont régis par des monopoles publics verticalement intégrés et une asymétrie de coûts entre la production et les recettes collectées. Enfin au chapitre 4, est analysée l'évolution des ventes liées au Pay As You Go au Bénin. Nous nous appuyons sur l'effet de la courbe d'apprentissage de même que sur la méthode de Box-Jenkins. Par la suite, nous souhaitons comprendre les déterminants des défauts de paiement dans les ventes. L'approche met en œuvre deux méthodes robustes : La première repose sur l'analyse en composantes multiples et faire ressortir à travers les axes dominants les proximités entre les variables susceptibles d'expliquer les raisons qui exposent les clients à différents niveaux de défaut de paiement ; pendant que la seconde est fondée sur une approche économétrique pour expliquer avec des coefficients les probabilités pour un individu de présenter un niveau de risque de défaut.

Nos travaux optent pour une approche innovante pour le secteur de l'énergie en Afrique de façon générale et au Bénin de façon particulière. Les intérêts de nos travaux sont donc multiples car il offrent un cadre d'analyse propre à chaque niveau de décision et d'acteurs.

Nous attirons l'attention du lecteur sur le fait que chacune des composantes de nos travaux repose sur des analyses logiques, compte tenu du cadre d'application. Ceci n'empêche pas toutefois que les approches théoriques et empiriques développées sont robustes au regard de la littérature de référence et des méthodes utilisées.

De façon spécifique, il s'agit pour nous d'étudier le sous secteur de l'énergie électrique sous trois différents angles à savoir :

- un point de vue macroéconomique en étudiant les relations de long terme entre la consommation d'électricité et la croissance économique ; de même que l'impact de l'investissement sur la demande d'énergie. Nous utilisons pour cela des méthodes économétriques basées sur la cointégration, les causalités au sens de Granger et les régressions de variables instrumentales. Pour les décideurs publics, il s'agit de comprendre l'intérêt de renforcer les investissements dans le secteur de l'énergie et d'améliorer le cadre de gouvernance et la lutte contre la corruption. Nos résultats ont montré dans un premier temps qu'il existe une relation de cointégration entre la consommation d'électricité et la croissance économique ; et que c'était bien la croissance économique qui causait la consommation d'électricité au sens de Granger. Par la suite, l'analyse des variables instrumentales a montré que le secteur de l'énergie n'a pas été captif des investissements directs de l'étranger, expliquant le déficit dans l'offre d'énergie qui causait une forte vulnérabilité vis à vis de l'importation ;
- un point de vue microéconomique en étudiant des factures d'électricité d'abonnés résidentiels en vue d'analyser le système de tarification en vigueur et de formuler des recommandations. Nous analysons le coût de revient de l'électricité près les ménages en simulant de nouvelles formes de tarification pour mesurer les distorsions par rapport au scénario de référence. Pour les compagnies d'électricité, il s'agit donc d'apprécier d'un point de vue scientifique l'analyse des factures d'électricité des abonnés et de comparer de nouvelles formes de tarification. L'intérêt étant de restaurer la confiance et d'améliorer le bien être collectif. Il en ressort qu'en moyenne, le prix du kWh au Bénin est nettement plus élevé que dans les pays de la sous région. Aussi, il existe plusieurs biais dans la facturation de l'électricité qui justifient les plaintes et mécontentements des abonnés. Les nouvelles formes de tarification simulées ont montré des effets différents en fonction du type de consommateur (lié à son volume de consommation). Il n'y a donc pas une tarification qui domine strictement sur les autres et la mise en place d'une tarification viable revêt avant tout de décisions politiques, sociales et économiques.
- Enfin, une perspective de développement des énergies renouvelables à travers le mobile banking et la technologie du pay as you go. En effet, dans la plupart des pays en voie de développement, les populations périurbaines et rurales vivent sans un accès immédiat à des infrastructures comme l'électricité, l'eau courante, les voies praticables et les services bancaires. L'approche classique de la bancarisation qui nécessite des infrastructures physiques et du personnel humain est un obstacle à satisfaire les millions de clients potentiels qui vivent très loin des zones urbaines. Souvent qualifiée de "Base Of Pyramid", cette frange de la population est une clientèle considérable pour les marchés où l'argent mobile qui est un portefeuille monétaire grâce au support des téléphones mobiles s'impose de plus en plus. En calculant le coefficient d'apprentissage et par l'analyse des séries

temporelles, nous avons étudié l'évolution des ventes sur la période d'observations. Nous avons déterminé l'existence d'une saisonnalité cyclique. Par la suite, l'analyse des défauts de paiement a mis en exergue un certain nombre de facteurs socio économique (avoir un boulot fixe ou non, le niveau d'éducation, avoir un emploi ou non susceptibles d'exposer un individu à un risque de défaut long.

Néanmoins, nos travaux présentent plusieurs limites dont les perspectives d'évolution sont multiples.

La principale limite de nos travaux résulte de la taille de l'échantillon qui couvre la période 1980-2013 pour la première partie de l'étude et 1990-2013 pour la seconde partie. Cette limitation est spécifique à bon nombre de pays d'Afrique où les séries de données longues ne sont pas toujours disponibles ou actualisées. Cette limitation ne remet pas toutefois en cause les résultats de nos travaux car plusieurs études ont été réalisées avec des données similaires dans la sous région : Au Burkina Faso avec une série de 36 données, (Ouedraogo, 2010), au Nigéria avec une série de 27 données, (Akinlo, 2009), au Bénin avec une série de 34 données (Alinsato, 2011), En Côte d'Ivoire avec une série de 38 données (Kouakou, 2011).

L'intérêt de notre papier revêt d'une importance capitale pour le secteur de l'électricité au Bénin car il permet d'analyser les interactions entre la consommation d'électricité et la croissance économique d'un point de vue macroéconomique. D'autre part, il nous permet aussi de comprendre les déficits de capacités dans l'offre d'énergie, malgré que le pays bénéficie davantage des investissements internationaux.

Nos conclusions démontrent que le secteur de l'énergie n'a pas été captif de ces investissements malgré une demande de plus en plus soutenue. L'intérêt de notre papier est double : dans un premier temps, il s'agira donc d'étudier les relations de long terme qui existent entre la consommation d'électricité et le PIB. Il existe en effet une multitude de papiers de recherche qui ont étudié la question de la cointégration et de la causalité entre la consommation d'électricité et le PIB. Notre étude diffère des précédentes car tout d'abord, nous nous focalisons sur la consommation d'énergie électrique et non la consommation d'énergie qui est bien plus large. D'autre part, nous disposons des données historiques de la SBEE qui sont donc plus fiables.

S'agissant des travaux sur la tarification résidentielle, l'absence de données sur le niveau de revenus ainsi que la catégorie socio-économique des agents ne nous permet pas d'analyser l'impact réel d'un effet prix sur leur niveau de consommation d'électricité. De même, dans les modèles de simulation, il aurait été intéressant de mesurer pour différents prix de la tranche sociale, l'impact sur le volume de consommation. Toutefois, l'ensemble de ces points constituent des opportunités de faire évoluer nos travaux.

Les différentes problématiques et réponses académiques apportées par nos travaux ouvrent donc un ensemble de pistes à explorer.

1.4 Organisation de la thèse

Nos travaux de recherche se subdivisent en trois grands chapitres dont chacun se résumerait comme ci-après :

Dans le chapitre 1, nous étudions les relations entre le PIB et la consommation d'électricité au Bénin sur la période de 1980 à 2013. Après une revue de littérature sur les modèles économétriques et les relations entre la consommation d'énergie électrique, ainsi que de l'impact des investissements dans le secteur de l'électricité, nous étudions la relation de cointégration et la causalité au sens de Granger pour cette analyse bivariée. Pour ce fait, nous nous basons sur les 3 méthodes largement répandues dans la littérature à savoir la méthode de Engle & Granger, la méthode de Johansen et l'ARDL. Nos résultats témoignent de l'existence d'une relation de cointégration entre la consommation d'électricité et le PIB ainsi qu'une relation de causalité unidirectionnelle allant de la consommation d'électricité vers le PIB. Cette relation nous amène donc à comprendre l'impact de l'investissement sur la demande d'énergie électrique. Pour ce fait, nous utilisons un modèle de régression à variables instrumentales en considérant les investissements comme la variable endogène. Nos conclusions démontrent que le secteur de l'énergie n'a pas été captif des investissements du pays malgré une demande de plus en plus soutenue.

Dans le chapitre 2, il est question de la tarification de l'électricité résidentielle où prévaut la tarification progressive en trois tranches. La revue de littérature parcourt les différentes formes de tarification développées durant les dernières années ; puis analyse dans le cadre de l'Afrique les tarifications en vigueur et leur limite. Nous discutons par la suite de la consommation résidentielle d'électricité au Bénin, suivie de la problématique de notre étude et de la méthodologie de recherche. Les résultats observés nous permettent de simuler et de commenter d'autres formes de tarification que sont la tarification de Ramsey, la tarification de pointe et la tarification progressive en 4 tranches (IBT4). Nous en déduisons qu'une révision du système de tarification s'impose dans le cas du Bénin ainsi qu'un certains nombres de défis en terme de technologie et d'infrastructure.

Enfin, le chapitre 3 traite du mobile banking et du pay as you go au Bénin. Après une revue de littérature sur l'économie mobile et les services énergie en Afrique, nous discutons de cette première expérience au Bénin. Nous analysons donc la série univariée de l'évolution des ventes afin de déterminer les tendances à moyen terme. Selon la modélisation de Box-Jenkins, le modèle présentant une saisonnalité de type multiplication a été retenue. L'évolution des ventes présente bien des effets cycliques qui tendent à se stabiliser dans le temps. Malgré le potentiel du mobile banking et du pay as you go, l'un des facteurs à risque constitue le défaut de paiement au cours de la période contractuelle. Grâce à un questionnaire sur cent individus en défaut de paiement, l'analyse en correspondance multiple effectuée nous a permis de déterminer un socring du risque en fonction du profil des individus.

1.5 Annexes

	conso (kWh)	national cap (MW)	peak (MW)
<i>Min</i>	195,244.00	32.50	25.20
<i>Max</i>	1,139,095.00	138.00	195.00
<i>Med</i>	535,501.00	58.00	83.42
<i>Mean</i>	570,261.24	75.46	509,384.72
<i>annual % rate</i>	7.17%	5.95%	8.44%

TABLE 1.1: Statistiques descriptives des variables de l'évolution croisée
SIE, 2010

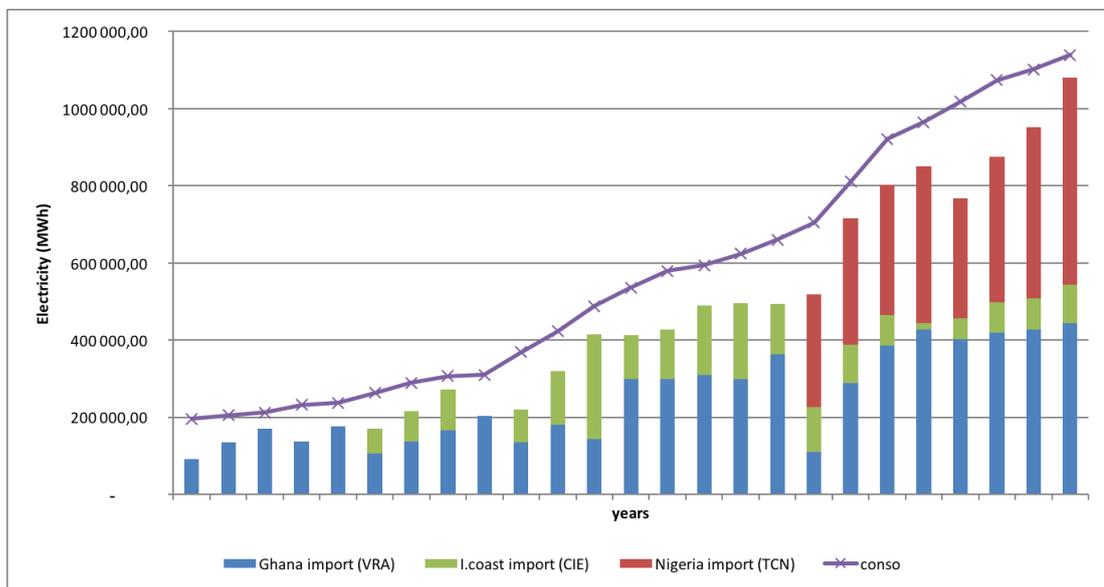


FIGURE 1.3: Ventilation des importations d'électricité par source
SIE, 2010

Chapitre 2

Consommation d'électricité, croissance économique et investissements : Evidences du Bénin

2.1 Introduction

Le Bénin est un pays d'Afrique de l'Ouest d'environ onze million d'habitants dont 38% de la population a accès à l'énergie électrique. Ce taux est toutefois très hétérogène car il est de 58% dans les centres urbains et chute à moins de 10% en zone rurale. Au cours des dernières décennies, la croissance économique s'est accélérée à un taux annuel moyen de 4,13%, face à une consommation d'électricité en hausse moyenne de 7,5% par an. En conséquence, la consommation d'électricité annuelle au Bénin est passée de 200 MWh en 1990 à 1 100 GWh en 2013 et se justifie principalement par les raccordements résidentiels qui représentent 60% de la demande totale.

Face à cette perspective de la demande accrue, très peu d'investissements publics ont été réalisés dans les infrastructures de production d'électricité. Au cours des vingt dernières années, ces investissements se résument à une centrale thermique de 25 MW en 1997 suivie d'une centrale duale de 80 MW en 2007 totalisant une capacité installée cumulée d'environ 200 MW malgré la pointe qui oscille entre 250 et 300 MW. De plus, ces centrales sont pour la plupart inopérantes faute de maintenances régulières et d'approvisionnement récurrent des combustibles, réduisant de facto leur disponibilité¹. Cette faiblesse dans l'offre d'énergie rend le pays vulnérable sur le plan énergétique. En effet, le Bénin dépend à plus de 90% des pays de la sous région (Ghana, Nigeria, Côte d'Ivoire) pour son approvisionnement en énergie électrique grâce à l'existence du West African Power Pool (WAPP)².

L'intérêt de notre papier est double : dans un premier temps, il s'agira donc d'étudier les relations de long terme qui existent entre la consommation d'électricité et le PIB. Il existe en effet une multitude de papiers de recherche qui ont étudié la question de la cointégration et de la causalité entre la consommation d'électricité et le PIB. Notre étude diffère des précédentes car tout d'abord, nous nous focalisons sur la consommation d'énergie électrique et non la consommation d'énergie qui est bien plus large. D'autre part, nous disposons des données historiques de l'opérateur national, la Société Béninoise d'Énergie Électrique (par la suite SBEE) qui sont donc plus fiables.

Compte tenu de la taille de notre échantillon et conformément à la littérature de référence, la méthode des vecteurs autoregressifs retardés (Pesaran & AI, 2005) est la meilleure alternative pour les échantillons de petites tailles car elle est plus fiable que les tests de Granger et Johansen pour étudier la cointégration. Nous comparons donc les résultats aux méthodes de référence (Engle & Granger et Johansen). Nos résultats témoignent bien de l'existence d'une relation de cointégration entre la consommation d'électricité et le PIB. Quant

1. Rappelons en effet que ces centrales sont duales, c'est à dire fonctionnent aux combustibles fossiles liquides (fuel lourd, diesel et/ou jet-A1) et au gaz naturel. Compte tenu de l'indisponibilité de gaz naturel, seul les combustibles fossiles liquides sont appelés. Mais ils sont souvent déclassés au regard du merit order lié au coût prohibitif du KWh produit

2. le WAPP est la coopération entre toutes les compagnies d'électricité de l'Afrique de l'Ouest. Il est subdivisé en deux grands réseaux A et B. Le Bénin est ses fournisseurs appartiennent au WAPP-B. Créé en 2000, l'objectif à terme du WAPP est de construire un marché commun de l'électricité

à la causalité au sens de Granger, il existe bien une relation unidirectionnelle allant du PIB vers la consommation d'électricité. Comme pour plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest, c'est bien la consommation d'électricité qui cause le PIB et donc la croissance économique. Ce résultat n'est toutefois pas consensuel et est tributaire de la qualité des données et de la méthodologie utilisée comme nous le démontrerons plus tard.

Dans un second temps, nous avons cherché à comprendre le déficit d'investissements publics dans le secteur de l'énergie. En l'absence de données fiables sur les allocations budgétaires de l'État dans le secteur, nous utilisons comme variables les crédits perçus des bailleurs internationaux, en l'occurrence le FMI ici présent. En effet, le rôle du FMI est de soutenir les politiques macro économiques de long terme des Etats aux revenus les plus faibles. Ces politiques d'accompagnement sont mises en oeuvre à travers des investissements directs dans des secteurs clés de l'économie. Au regard du rôle qu'occupe l'énergie dans l'économie, nous supposons que le secteur l'électricité soit captif de ces investissements perçus. Les données historiques nous indiquent que ces investissements se sont accrus à 2.7% en moyenne par an sur les vingt dernières années. Pour pouvoir mesurer leur impact sur la demande d'énergie, nous utilisons un modèle de régression à variables instrumentales. Compte tenu des hypothèses spécifiés pour ces modèles, nos instruments doivent être corrélés avec notre variable investissement. Nos instruments sont extraits du WorldBank Governance Indicators qui est une base de la Banque Mondiale sur les indicateurs composite de transparence et de bonne gouvernance. En effet, les variables que nous choisissons comme instruments (contrôle de la corruption et efficacité de l'action gouvernementale) sont des marqueurs fiables pour la variable endogène investissement. Les autres variables exogènes du modèle se résument à : la population urbaine, le prix moyen de l'électricité, les capacités nationales de production, la part des énergies renouvelables ainsi que la part de l'industrie dans le PIB. Chacune de ces variables est supposée fortement interagir avec la demande d'énergie. Bien que nos instruments soient valides, nous avons trouvé que le secteur de l'énergie n'a pas été captif des investissements. La plus value de l'industrie, la pénétration des énergies renouvelables et l'accroissement de la population urbaine sous tendent à renforcer l'offre d'énergie compte tenu de la demande exponentielle.

La principale limite de nos travaux résulte de la taille de l'échantillon qui couvre la période 1980-2013 pour la première partie de l'étude et 1990-2013 pour la seconde partie. Cette limitation est spécifique à certains pays du continent africain où les séries longues ne sont pas toujours disponibles et actualisées. Cette limitation ne remet pas toutefois en cause les résultats de nos travaux car plusieurs études ont été réalisées avec des données similaires dans la sous région : Au Burkina avec une série de 36 données, ([Ouedraogo, 2010](#)), au Nigéria avec une série de 27 données, ([Akinlo, 2009](#)), au Bénin avec une série de 34 données ([Alinsato, 2011](#)), En Côte d'Ivoire avec une série de 38 données ([Kouakou, 2011](#)).

L'intérêt de notre papier revêt d'une importance capitale pour le secteur de

l'électricité au Bénin car il permet d'analyser les interactions entre la consommation d'électricité et la croissance économique d'un point de vue macroéconomique. D'autre part, il nous permet aussi de comprendre la nécessité d'investir face aux déficits de capacités dans l'offre d'énergie, compte tenu du fait que le pays bénéficie davantage des investissements internationaux pour impacter sa croissance économique.

Les travaux s'organisent donc comme ci-après : Dans la section I, nous faisons une revue de littérature sur les modèles économétriques et les relations entre la consommation d'énergie électrique, la croissance économique ainsi que de l'impact des investissements dans le secteur de l'électricité. Dans la section II, nous expliquons le cadre qui régit le secteur de l'électricité au Bénin, les données d'étude ainsi que la méthodologie de recherche. La section III présente les résultats et compare aux papiers de référence traitant du Bénin ainsi qu'aux résultats des pays de la sous région. Dans la section IV, nous discutons de l'impact de l'investissement sur le secteur de l'énergie ainsi que des déterminants de la demande d'électricité. Enfin, la section V conclue les travaux et ouvre sur les recommandations et perspectives.

2.2 Revue de littérature

De nombreux papiers traitent de la relation qui existe entre la croissance économique et la consommation d'énergie. Cette abondance de la littérature témoigne de l'intérêt aussi bien pour les chercheurs que pour les décideurs politiques de comprendre la corrélation et la causalité entre ces deux variables. L'existence d'une relation entre ces deux variables est un critère d'information déterminant pour les décideurs politiques. Si la consommation d'énergie et la croissance économique sont liées, tout choc ou toute décision sur l'une de ces variables se répercuterait dans le temps sur l'autre. La théorie économique s'est donc très vite développée autour des relations de long terme entre énergie, électricité et économie. [Engle & Newbold \(1974\)](#) se sont donc penchés sur l'analyse de la cointégration, qui est la propriété statistique des séries temporelles qui sont liées dans le temps. Ces travaux ont été largement repris par [Engle & Granger \(1983, 1987\)](#) comme une nouvelle approche de l'analyse économétrique.

De ce fait, il s'agit pour nous de déterminer la relation d'un point de vue économétrique entre des variables aléatoires et indépendantes (*iid*) supposées être liées sur le long terme. Nous développerons par la suite les principales méthodologies étudiées ainsi que des exemples empiriques de leurs applications.

Supposons deux variables X_t et Y_t qui soient *iid*. On dit qu'il existe une relation de cointégration entre X_t et Y_t s'il existe une variable $Z_t = X_t - \alpha Y_t$ qui en soit la combinaison linéaire. Cependant, plusieurs hypothèses sont à vérifier sur les variables X_t et Y_t . Tout d'abord, il faut que X_t et Y_t soient intégrées de même ordre, le degré d'intégration étant le niveau de différenciation à appliquer pour rendre stationnaires X_t et Y_t ; avec Z_t stationnaire et $I(0)$. La définition de [Engle and Granger \(1987\)](#) implique que toutes les variables soient intégrées de même ordre. Le plus souvent, les variables macroéconomiques sont d'ordre

1, c'est-à-dire non stationnaires en niveau mais stationnaires après une différenciation de premier ordre. L'analyse de la cointégration permet d'identifier clairement la relation véritable entre deux variables en recherchant l'existence d'un vecteur de cointégration et en éliminant son effet, le cas échéant. Il existe deux méthodes de test des relations de cointégration : la procédure d'Engle & Granger décrite ci dessus ainsi que la procédure de Johansen.

Dans la méthode d'Engle & Granger, le test de cointégration s'effectue en trois étapes : Tout d'abord, on détermine le niveau d'intégration des variables. Ensuite ; on régresse les variables à travers un modèle OLS dont on récupère les résidus. Si les résidus sont stationnaires, alors on déduit que les variables sont cointégrées. On utilise la table de Mackinnon pour déterminer les seuils critiques de décision. Une fois la relation de cointégration identifiée, on détermine le modèle à correction d'erreur (ECM) qui est une régression entre les variables stationnaires.

Quant à la méthode de Johansen, elle repose sur une estimation par le maximum de vraisemblance reposant sur la normalité des résidus. On calcule la trace de la matrice des paramètres estimés. La matrice fait ressortir k vecteurs cointégrés dont les traces sont comparés au seuil de décision. On retient donc le rang k^3 pour lequel la trace est significative, k représentant de degré de cointégration des variables. Comme pour le test de Engle & Granger, on détermine ensuite le vecteur à correction d'erreur qui décrit la relation de cointégration entre les variables ainsi que le terme de correction d'erreur estimé. Dans le cas où les variables ne sont pas cointégrés, on utilise la méthode du vecteur autoregressif (VAR) sur les variables stationnaires.

Ces deux modèles de tests font ressortir un certain nombre de contraintes dans leur application. Tout d'abord, dans le cas où les variables ne sont pas intégrées du même ordre, il n'est pas possible d'appliquer le test de d'Engle & Granger. De même, le test de Johansen étant d'ordre asymptotique, il pose un problème de viabilité pour les échantillons de petites tailles. [Peseran & Al \(2001\)](#) ont développé une approche alertnative sur la base de modèles autoregressifs des retards (ARDL). En effet, l'ARDL permet d'estimer des relations de cointégration entre des variables d'ordre d'intégration différente. Le modèle ARDL(p,q) se représente par l'ensemble des équations :

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \beta' x_t + \sum_{i=0}^{q-1} \beta_i^* \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2.1)$$

et

$$\Delta x_t = P_1 \Delta x_{t-1} + P_2 \Delta x_{t-2} + \dots + P_s \Delta x_{t-s} + \varepsilon_t \quad (2.2)$$

tel que x_t représente la k -ième dimension des variables d'ordre I(1) qui ne sont pas cointégrées, P_i le coefficient de la matrice autoregressive du processus

3. pour $k=0$, on considère qu'il n'existe pas de relation de cointégration entre les variables

stable et ε_t le bruit blanc. En 3 étapes, la méthode ARDL permet de détecter le rang de cointégration entre les variables, puis estime les relations de court terme et de long terme. La règle de décision repose sur l'analyse de la F-stat et des valeurs critiques calculées par [Peseran & Al \(2001\)](#) puis [Narayan \(2005\)](#). Ainsi, lorsque la F-stat est inférieure aux seuils critiques, on ne rejette pas l'hypothèse nulle d'absence de relation de long terme entre les variables. Si la F-stat est par contre supérieure aux valeurs de seuil critique, on rejette l'hypothèse nulle d'absence de relation de long termes entre les variables, soit les variables sont cointégrées. Enfin, si la F-stats n'est pas comprise entre les valeurs de seuils critiques, on ne peut se prononcer valablement sur la relation de long terme entre les variables.

L'existence d'une relation de cointégration entre les variables ne renseigne toutefois par sur le sens de leur relation de causalité. En effet, le sens de la causalité est déterminant aussi bien pour des décideurs publics dans les choix d'investissement que pour les chercheurs dans le cadre des recommandations formulées. La causalité est déterminée par le test de Granger. Ainsi, si une variable X_t cause au sens de Granger une variable Y_t , ceci signifie que les perturbations sur X_t entraînent, avec un certain retard, des perturbations sur Y_t dont l'ampleur dépendrait du coefficient associé. La réciproque n'étant vrai, il y a donc un intérêt à identifier le sens de la causalité.

L'ensemble des méthodes décrites ci dessus ont permis aux économistes durant les trois dernières décennies de publier une multitude de travaux. La méthodologie repose sur cinq grandes méthodes à savoir : l'analyse bivariée, l'analyse multivariée avec correction d'erreurs, l'analyse multivariée de données en panels avec correction d'erreurs, l'ARDL et l'analyse de causalité. Le choix de la méthode dépend des données disponibles et de l'intérêt de l'étude. Dans l'analyse bivariée, il s'agit donc d'étudier spécifiquement si les deux variables sont liées dans le temps et quel est le sens de la causalité. Dans le cadre de l'analyse en panels, l'objectif est d'identifier si les pays ont des spécificités homogènes en fonction de la relation de long terme susceptible d'exister entre la croissance économique et la consommation d'énergie du sens de la causalité que les lient. [Tang \(2008\)](#) indique bien que la littérature regorge de nombreux résultats controversés.

Dans la cadre des USA, [Kraft & Kraft \(1978\)](#) ont déterminé sur la période 1947-1974 une cointégration entre la croissance économique et la consommation d'énergie, avec une causalité dans le sens de la croissance économique vers la consommation d'énergie. [Yu & Hwang \(1984\)](#) toujours dans le cadre des USA ont conclu qu'il n'existait aucune relation de causalité entre la croissance économique et la consommation d'énergie sur la période de 1947 à 1979. Dans les années 2000, [Stern \(2000\)](#) grâce à la méthode des VECM trouve une relation de causalité de la consommation d'énergie vers la croissance économique. Ces 3 résultats montrent la divergence des résultats à l'échelle d'un pays, en fonction des données utilisées et de la méthode.

Au delà des USA, [Glasure \(2002\)](#) grâce au modèle VAR ne trouve aucune relation de causalité pour la Corée du Sud de 1961 à 1990. [Zhang & Al \(2017\)](#)

ont appliqué les 04 méthodes (ARDL, VAR, VEC, LSR) pour la Chine de 1978 à 2016. Ils trouvent des résultats divergent en fonction de chacune des méthodes appliquées malgré l'existence d'une relation de long terme entre les deux variables. [Soni & Al \(2013\)](#) ont trouvé une relation de causalité allant de la croissance économique vers la consommation d'énergie pour l'Inde de 1981 à 2011. Concernant les données de panels, [Narayan & Smith \(2008\)](#) se sont penchés sur les pays du G7⁴ de 1972 à 2002 en utilisant la méthode du VECM. Les résultats indiquent que la consommation d'énergie et le capital causent la croissance économique. Soit, l'utilisation intensive d'énergie et du capital sont les principales causes de la croissance économique dans les pays les plus industrialisés de la planète. [Lee, Chang & Al \(2008\)](#) ont appliqué la même méthode pour les 22 pays de l'OCDE en trouvant une causalité bidirectionnelle entre la capital, la croissance économique et la consommation d'énergie. Le tableau 2.7 en annexe récapitule davantage de résultats de papiers étudiés, en spécifiant les auteurs, la période d'étude, la méthode utilisée ainsi les résultats trouvés.

S'agissant du continent africain, [Rufael \(2006\)](#) a effectué une analyse bivariable en panels de 17 pays pour comprendre la relation entre la consommation d'électricité et la croissance économique de 1971 à 2001 en utilisant la méthode ARDL compte tenu de la taille restreinte de l'échantillon. Il utilise les données de capital par habitant et consommation d'énergie par habitant. Le Gabon, la Côte d'Ivoire, le Nigeria et le Soudan ont une relation de cointégration lorsque le capital par tête est utilisé comme la variable dépendante. L'Algérie, la RDC, l'Egypte et le Ghana ont le même résultat lorsque la consommation d'énergie par tête est utilisée comme la variable dépendante. Pour les 11 autres pays de l'étude, aucune de relation de long terme dans l'analyse bivariable n'est obtenue justifiant l'absence de cointégration. S'agissant des relations de causalité, quatre catégories de résultats sont obtenus : l'Algérie, la RDC, l'Egypte, le Ghana et la Cote d'Ivoire ont une causalité dans le sens du capital par tête vers la consommation d'énergie par tête ; le Cameroun, le Maroc, le Nigeria ont une causalité unidirectionnelle de la consommation d'énergie par tête vers le capital par tête ; la Zambie et le Gabon présentent une causalité bidirectionnelle et enfin le Benin, le Kenya, le Sénégal, l'Afrique du Sud, le Togo, le Soudan, la Tunisie, le Zimbabwe et le Congo n'ont pas de causalité au sens de Granger. Ces travaux ont été revisités ([Rufael, 2009](#)) par une analyse multivariée en considérant ici le capital par tête, la consommation d'énergie par tête, et la formation de capital par tête. Les résultats sont antagonistes à l'étude de 2006 car 9 pays (La République du Congo, le Gabon, le Nigeria, l'Afrique du Sud, le Zimbabwe, le Benin, le Cameroun, le Maroc et la Zambie)⁵ ont une relation de long terme entre la consommation d'électricité et la croissance économique, dont ont une relation de causalité du PIB par habitant vers vers la consommation d'électricité par habitant, 3 ont une causalité entre la consommation d'électricité par habitant

4. il s'agit de l'Allemagne, les USA, la France, le Royaume Uni, l'Italie, le Japon, et le Canada

5. Pour les 5 premiers pays, l'auteur a utilisé le PIB par habitant comme la variable dépendante et pour les autres, la consommation d'électricité par habitant est utilisée comme variable dépendante

le PIB par habitant (le Bénin, le Congo Démocratique, la Tunisie), 3 pays ont une causalité bidirectionnelle entre les deux variables (l’Egypte, le Gabon et le Maroc) et 05 pays n’ont aucune relation de causalité entre la consommation d’électricité par habitant et le PIB par habitant (Algerie, le Congo, le Kenya, l’Afrique du Sud et le Soudan).

Ouedraogo (2013) s’est donc penchée de façon spécifique sur la relation entre la croissance économique et la consommation d’énergie dans l’espace sous régionale d’Afrique de l’Ouest de 1980 à 2008. L’avantage de cette approche est qu’elle semble plus fiable car les pays ont des structures homogènes compte tenu de leur proximité géographique. L’auteur trouve que les variables sont cointégrées ce que justifie l’existence de la relation de long terme entre la consommation d’énergie et la croissance économique. A court terme, l’étude trouve une causalité unidirectionnelle allant de la croissance économique vers la consommation d’électricité. Cette relation est inversée sur le long terme.

Esso & Keho (2016) ont aussi étudié en données de panel la relation entre la consommation d’énergie, la croissance économique et les émissions de CO_2 de 1970 à 2010 pour 12 pays d’Afrique subsaharienne. Pour l’ensemble des pays, on constate les variables sont cointégrées d’ordre 1. Les résultats du test de Granger indiquent cependant que la croissance économique cause les émissions du CO_2 au Bénin, en RDC, au Ghana et au Nigeria. Une causalité inverse est détectée pour le Nigeria, le Gabon, et le Togo. Il en ressort donc une causalité bidirectionnelle pour le Nigeria. Ces résultats sont toutefois mitigées dans la mesure où le Bénin ne produit quasiment pas d’énergie et est donc un importateur net d’énergie.

S’agissant du Bénin, la littérature est malheureusement très précaire. Seul **Alinsato (2011)** a étudié la relation existant entre ces variables. Son étude est une critique de celles de **Rufael (2006, 2009)** compte tenu de la qualité des données utilisées, et de la méthode employée. Dans son analyse, **Alinsato** trouve que lorsque l’électricité est utilisée comme variable dépendante, l’hypothèse nulle de cointégration est rejetée de 1973 à 2006. Le test de causalité effectué indique qu’à court terme, il n’existe aucune causalité entre la consommation d’électricité et la croissance économique. Par contre, la croissance économique cause la consommation d’électricité. Les résultats indiquent bien qu’une croissance à long terme de 1% de la consommation d’électricité entraînerait un accroissement de 1,80% de la consommation d’électricité.

Nous proposons donc d’analyser la relation entre la croissance économique et la consommation d’électricité dans quelques pays de la sous région. Nous portons nos choix sur le Nigeria et la Côte d’Ivoire qui sont historiquement des pays qui approvisionnent le Bénin sur le plan de l’énergie électrique. S’agissant du Togo, il s’agit du pays qui partage les infrastructures de production et de transport avec le Bénin. Nous estimons donc que la compréhension des relations entre la croissance économique et la consommation d’énergie de ces pays nous permettront de murir la réflexion et l’analyse sur le cas du Bénin.

La figure 2.1 décrit pour trois pays de la sous région l’évolution conjointe entre le PIB et la consommation d’électricité. Les données ont été transformées

en logarithme pour la souplesse d'analyse. Les séries en mauve avec les points en triangle représentent l'évolution du PIB (respectivement ceux du Nigeria, du Togo et de la Côte d'Ivoire). Quant aux séries en bleue, elle représentent l'évolution de la consommation d'électricité. Les données sont extraites du WDI-Database en sa série 2015. De façon générale, nous constatons que les séries courtes ne nous permettent pas de faire une analyse de la mémoire longue de l'interaction de nos deux variables dans le temps. En effet, en prenant le cas du Nigeria, bien que nous constatons une évolution croissante en moyenne dans le temps, les ruptures de tendance sont bien nombreuses. La première intervient vers 1994 s'agissant du PIB, avec un impact bien moindre pour la consommation d'électricité. La seconde intervient autour de 1999, suivie de deux autres ruptures vers 2003 et 2011. Il est donc difficile d'affirmer l'existence d'une relation de cointégration entre nos séries.

Au Togo, les courbes descriptives de l'évolution de la consommation d'électricité et du PIB semblent mieux s'emboîter au regard de l'analyse visuelle. En effet, les variations d'une variable s'observent quasiment sans retard sur la seconde. C'est bien le cas pour les années 1994, 1999 et 2003 comme pour le Nigeria. Cette juxtaposition des deux courbes laisse sous tendre l'hypothèse de l'existence d'une relation de cointégration.

Enfin, pour la Côte d'Ivoire, nous observons un décalage plus prononcé entre l'évolution de la PIB et la consommation d'électricité. En effet, la consommation d'électricité subit des variables plus importantes que le choc de 1994 sur l'économie ivoirienne. De même, on observe en 1996 une rupture de tendance de l'évolution de la consommation d'électricité qui ne se répercute pas sur le PIB. Enfin, en 2003 et 2011, les chocs semblent se répercuter de façon jointe sur la consommation d'électricité et le PIB de la Côte d'Ivoire. Il s'agit en effet des périodes d'instabilité politique pour la nation ivoirienne.

En somme, l'analyse des séries du graphique 2.1 montre bien que dans la sous région ouest africaine, il est bien difficile de justifier l'existence de relation de cointégration entre la consommation d'électricité et la croissance économique tant les périodes d'analyse semblent courtes, même s'il existe des chocs et récession communes à l'échelle de la région ; à l'instar de 1994 qui correspond à la dévaluation du FCFA.

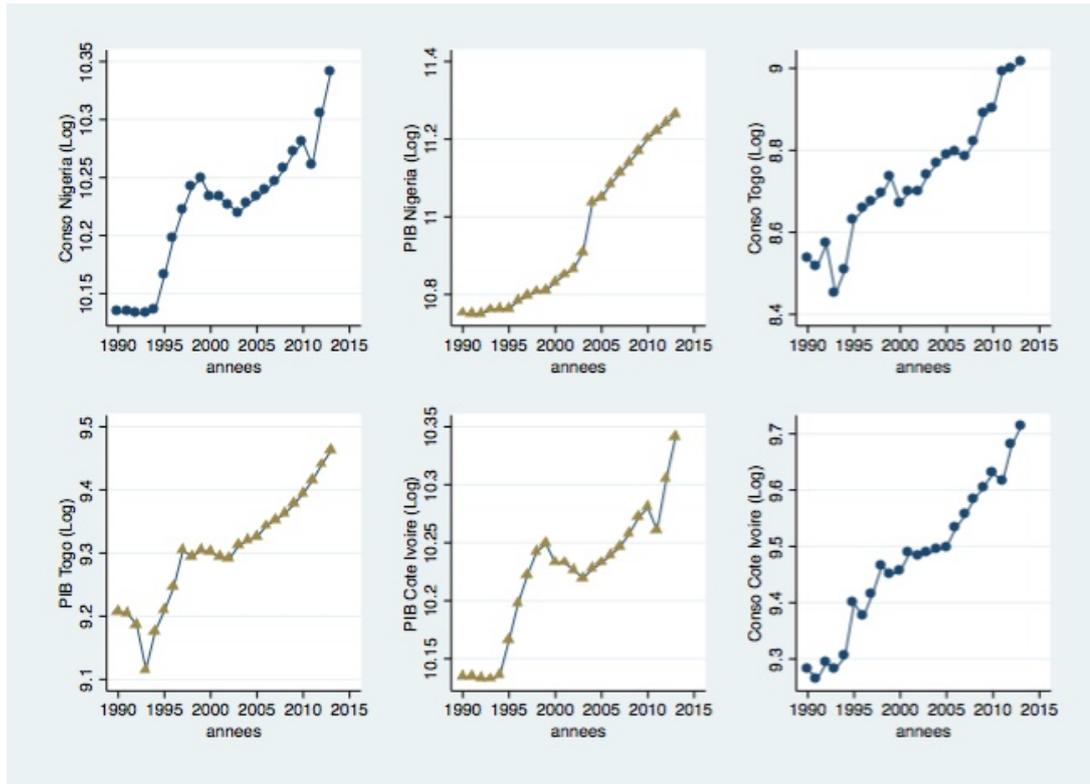


FIGURE 2.1: Comparaison de l'évolution de la consommation d'électricité et du PIB dans quelques pays de l'UEMOA
WDI, WB-2015

Somme toute, l'abondance des travaux de recherche et l'ensemble des résultats controversés démontrent bien qu'il n'existe aucun consensus entre la consommation d'électricité et la croissance économique. Il est donc indispensable d'avoir une analyse fine du cadre et de l'environnement avant d'étudier les relations qui existeraient entre ces variables. Aussi, dans notre étude, nous traiterons plutôt de la consommation d'électricité et non pas de la consommation d'énergie qui est beaucoup plus vaste (produit pétroliers, etc.). De plus, nous travaillons avec des données macroéconomiques et non pas par tête d'habitants

2.3 Le secteur de l'électricité au Bénin, données et méthodologie

2.3.1 Description du secteur de l'électricité au Bénin

Le secteur de l'énergie au Bénin est largement dominé par les énergies fossiles et le bois énergie. L'électricité ne représente pas plus de 5% dans le mix énergétique du pays. Le secteur de l'énergie électrique au Bénin est un monopole régulé par l'Etat à travers la Société Béninoise d'Énergie Électrique (SBEE). Les activités de la société se décomposent entre la production et la distribution qui représentent respectivement 12% et 88%. Cette faible part de la production se justifie par l'absence de capacités de production significatives largement

discuté ci dessus. En effet, le Bénin est un importateur net d'énergie électrique grâce à l'existence du WAPP⁶ qui est l'infrastructure communautaire du réseau électrique ouest africain.

La figure 2.2 traduit l'évolution de la dépendance en approvisionnement extérieur du Bénin de 1990 à 2013. Cet indicateur est calculé sur la base du rapport entre la part de l'importation en électricité sur la demande à satisfaire. Si l'indicateur est proche de 1 (ou 100%), alors le Bénin est très dépendant de l'extérieur et donc vulnérable aux chocs exogènes car il n'a pas de capacités de réserves pour faire face aux aléas. A contrario, un indicateur proche de 0 traduit des capacités propres disponibles pour faire face à la demande. L'approvisionnement extérieur constitue donc un atout dans la diversification de l'offre et réduit de surcroît la vulnérabilité du pays sur le plan énergétique. L'analyse de cette figure révèle que le Bénin est à la fois un importateur net d'énergie et aussi un pays très vulnérable dans la fourniture de l'électricité. En effet, depuis 1990, Entre 75% et 99% de son offre d'électricité est importée. Cette dépendance s'est accélérée sur la période 2007 - 2013, expliquant une demande exponentielle et des capacités nationales disponibles non significatives.

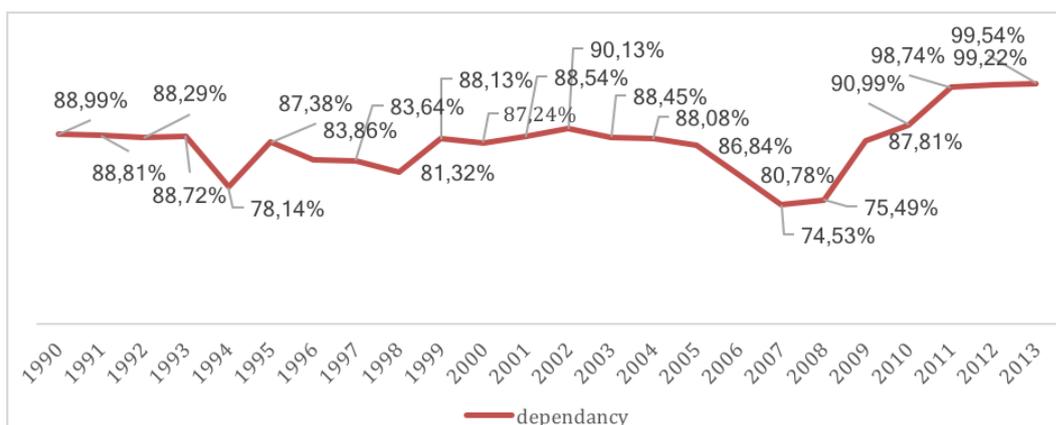


FIGURE 2.2: Evolution de la dépendance en énergie électrique
Source : Direction Générale de l'Énergie, Bénin

Les données de l'étude sont donc croisées sur la figure 2.3 qui décrit l'évolution de la consommation totale d'électricité au Bénin ainsi que le PIB de 1980 à 2013. Globalement, les deux variables ont un taux de croissance positif au fil des années. Aussi, nous constatons une corrélation au regard de leur tendance commune. Cette corrélation présuppose l'existence d'une relation de cointégration. Pour ce fait, nous allons tester la relation de cointégration entre les variables et estimer les relations de long terme. Nous utiliserons chacune des trois méthodes cités ci dessus pour tester la relation de cointégration. S'agissant de la méthode de Engle & Granger, nous estimerons une régression OLS entre nos variables dont nous récupérerons les résidus. Nous appliquerons ensuite un test de stationnarité sur ces derniers pour décider ou non de leur stationnarité. Le résultat de ce test nous permettra de conclure s'il existe ou non une relation de cointégration entre la consommation d'électricité et le PIB dans le cas

6. West African Power Pool

du Bénin. La méthode de Johansen nous conduit à déterminer la matrice et la trace qui nous permettront de définir le degré de cointégration de nos variables. Nous prendrons les résultats de ce test avec beaucoup de réserve dans la mesure où il s'agit d'un test asymptotique, c'est à dire sur des échantillons de grand nombre. Enfin, s'agissant de la méthode ARDL, nous estimons un modèle avec les équations de court terme et de long terme en considérant chacune des variables comme la variable dépendante. L'avantage de cette méthode, jugée plus robuste pour les échantillons de petits nombre nous permet d'estimer le terme de correction d'erreur.

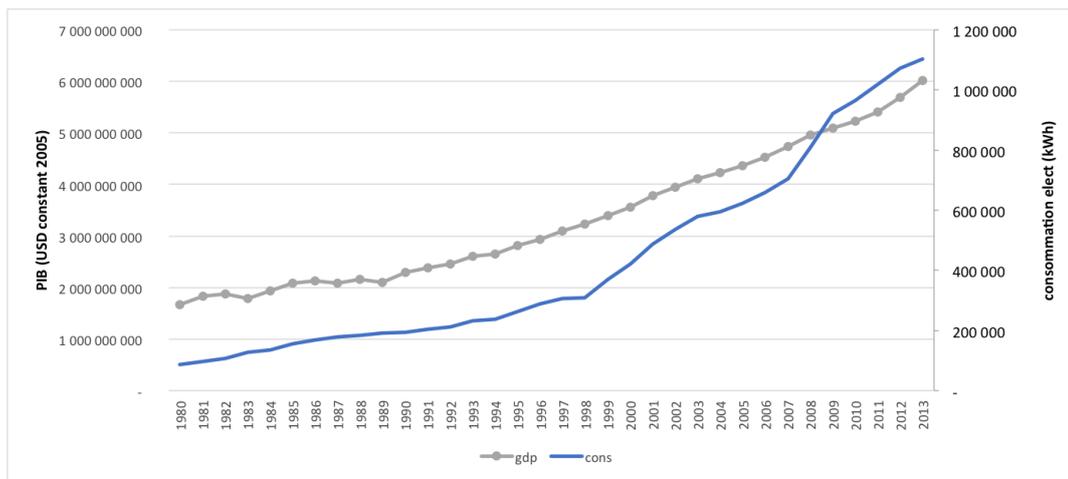


FIGURE 2.3: Evolution croissante des series brutes
Source : Direction Générale de l'Énergie, Bénin

À l'issue de ces trois méthodes, nous comparerons les résultats obtenus afin d'apprécier la relation entre la consommation d'électricité et le PIB. Dans le cas où nous trouverons une relation de cointégration, nous estimerons la causalité au sens de Granger à travers le modèle à correction d'erreurs. Autrement, nous utiliserons la méthode VAR qui repose sur les variables stationnaires.

Selon les procédures de test, nous étudierons d'abord la stationnarité des variables. On suppose qu'elles ne sont pas stationnaires au sens faible dans la mesure où la moyenne n'est pas constante dans le temps. De plus, l'allure croissante observée justifie la présence d'un trend. Pour la suite de l'étude, nous travaillerons avec des variables en unités logarithmiques qui présentent l'avantage de réduire l'amplitude de nos données.

2.4 Résultats et analyses

Pour déterminer l'ordre d'intégration de nos variables, nous devons d'abord effectuer des tests de stationnarité pour tester ou non la présence de racine unitaire. L'allure décroissante des corrélogrammes des séries en niveau indique la présence d'une racine unitaire. Le tableau 2.1 récapitule les résultats de stationnarité ADF et PP réalisés. Pour les variables en niveau, les statistiques de tests et les p-value conduisent à ne pas rejeter l'hypothèse nulle de présence de racine

unitaire. Nous confirmons donc que les variables la consommation d'électricité et le PIB en niveau sont non stationnaires. Nous calculons donc les séries en différence première qui représentent les taux de croissance en générant les séries DLcons et DLgdp respectivement pour les différences premières des logs de la consommation d'électricité et du PIB.

Variables	niveau		Diff-1	
<i>Test ADF</i>				
	Z(t)	Seuil à 5%	Z(t)	Seuil à 5%
lcons	-2.242	-2.980	-4.098**	-2.980
lgdp	1,025	-2.980	-6.659**	-2.980
<i>Test P-perron</i>				
	p-value (5%)		p-value (5%)	
lcons	0.4953		0.0010**	
lgdp	0.5292		0.000**	

TABLE 2.1: Tests de stationnarité

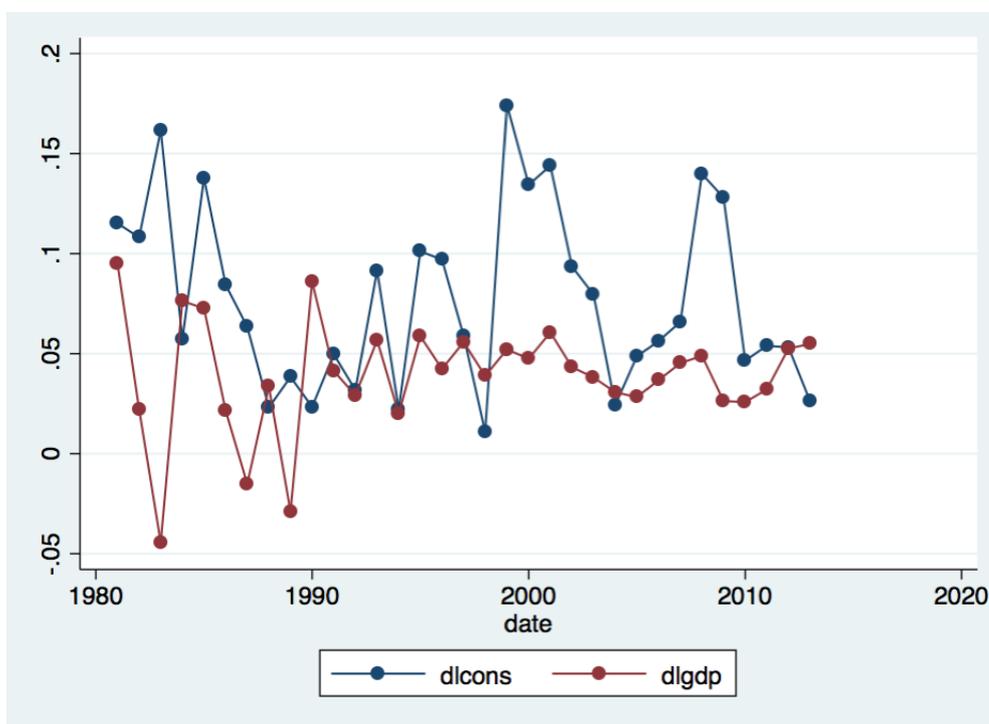


FIGURE 2.4: Évolution des séries différenciées
Source : Données de l'étude

Les résultats de tests de stationnarité ainsi que la figure 2.4 des variables différenciées confirment bien la stationnarité des variables transformées. L'analyse bivariée nous permet de conclure que la consommation d'électricité et la

croissance économique sont $I(1)$, c'est à dire intégrées d'ordre 1. En effet, sur la figure 2.4, nous observons que les deux variables évoluent selon les mêmes cycles aussi bien à la baisse qu'à la hausse.

Nous testons l'hypothèse de cointégration en appliquant chacun des tests cités ci dessus. Les résultats sont reportés dans le tableau 2.2

En appliquant la méthode de Engle & Granger, nous analysons la stationnarité des résidus de la régressions OLS entre les variables. Nous obtenons une statistique de test de -3.827. Avec un seuil critique de 5% à -2.98 et une p-value à 0.0155 , nous rejetons donc l'hypothèse nulle de présence de racine unitaire. Les résidus sont donc stationnaires donc $I(0)$. Nous pouvons conclure qu'il existe bel et bien une relation de long terme au Bénin entre l'évolution de la consommation d'énergie électrique et le taux de croissance du PIB.

Le test de Johansen nous permet de calculer la trace de la matrice et de déterminer le rang de cointégration. D'après les résultats obtenus, l'hypothèse nulle d'absence de cointégration est retenue car la trace du rang nul est significatif. Nous supposons donc qu'il n'y a pas de relation de long terme entre la croissance économique et le taux d'évolution de la consommation d'électricité. Ce résultat vient donc contredire le précédent mais se justifie par la limite d'application du test, au regard des propriétés asymptotiques du modèle et de la taille de notre échantillon.

Enfin, s'agissant du test ARDL, nous estimons 2 équations en considérant chacune des variables comme la variable indépendante. Lorsque le taux de croissance du PIB est considéré comme la variable dépendante, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle d'absence de cointégration au regard de la F-Stats calculée. Par contre, lorsque le taux de croissance de la consommation d'électricité est considérée comme la variable dépendante, nous pouvons rejeter l'hypothèse nulle d'absence de cointégration. Nous en concluons que la consommation d'électricité et la croissance du PIB ont bien une relation de long terme.

	F-stats	Seuils critiques	
Modèle ARDL		5%	
Fm(lgdp/lcons)	0,256	LCB : 4,04	
Fm(lcons/lgdp)	7,549**	UCB :4,663	
Engle-Granger test	t-stat	5%	1%
(Analyse stationnarité résidus)	-3,283**	-2,98	-3,702
Johansen cointegration	Trace stat	5%	1%
None	14.7683*	15.41	
At most 1	0.7842	3.76	
At most 2	-	-	

TABLE 2.2: Résultats tests cointégration

Somme toute, nous pouvons bien conclure qu'il existe une relation de cointégration entre la consommation d'électricité et la croissance économique au Bénin de 1980 à 2010. Les divergences observées selon la méthode utilisée semblent caractériser les différentes hypothèses de chaque méthodologie ainsi que la taille restreinte de notre base de données. L'existence d'une relation de cointégration n'indique pas le sens de la causalité entre ces variables. L'avantage de la méthode de Peseran & Al consiste en l'estimation des relations de court terme et de long terme, qui nous permettront de définir la relation de causalité au sens de Granger sur la base d'un terme à correction d'erreur retardé⁷. En effet, Engle & Granger (1987) démontrent que lorsque les séries sont I(1) et cointégrées, l'estimation d'un VAR sur les séries stationnaires est une erreur qui biaise l'estimation. Nous utiliserons donc la méthode du VECM dont les résultats sont reportés dans le tableau 2.3.

Les résultats du tableau 2.3 confirment les conclusions sur de la cointégration. Le coefficient de correction du terme d'erreur n'est pas stable lorsque la croissance économique est considérée comme la variable dépendante. Le modèle n'est donc pas stable et ne peut être retenu pour l'analyse. A contrario, lorsque la consommation d'électricité est consommation comme la variable dépendante, il y a une double relation de causalité aussi sur le court terme et sur le long terme car les coefficients des paramètres sont significatifs au seuil de 5%. Ces résultats nous montrent que dans le cas du Bénin, c'est bien la croissance économique qui cause la consommation d'électricité. En effet, le Bénin étant un pays très peu industrialisé, l'économie est dominée par le secteur agricole et les services pour lesquels l'électricité est un input. L'économie est donc peu intensive en énergie électrique au regard des statistiques d'accès. Comme dans beaucoup de pays d'Afrique subsaharienne, il n'est plus à démontrer l'importance et le rôle de l'électricité dans la croissance économique. Nos résultats semblent donc cohérent avec la nature de l'économie du pays et de l'état du secteur de l'énergie électrique où seulement 38% de la population a accès à l'énergie électrique.

Nos résultats sont conformes à ceux d'Alinsato (2010) qui trouve que c'est la croissance économique qui cause la consommation d'électricité au sens de Granger ; et contraire à Rufael (2006) qui n'obtient pas de relation de cointégration entre la consommation d'électricité et le PIB, mais par contre trouve une relation de causalité allant de la consommation d'électricité vers le PIB.

Globalement dans la sous région, les résultats controversés démontrent l'absence de consensus (Tang, 2008), car en prenant le cas du Burkina Faso, Ouedraogo (2010) a trouvé une causalité bidirectionnelle entre la croissance économique et la consommation d'électricité ; au Nigeria, Akinlo (2009) a trouvé une causalité allant de la consommation d'électricité vers la croissance économique. En Côte d'Ivoire, Kouakou (2011) a aussi trouvé une causalité unidirectionnelle de la consommation d'électricité vers la croissance économique. Nous pouvons donc conclure qu'à l'échelle sous régionale, nous observons une prédominance de la causalité unidirectionnelle de la consommation d'électricité vers la croissance économique, sans toutefois en faire un consensus. Ces résultats pourront être affinés en comparant l'intensité énergétique des pays.

7. nous considérons ici un retard d'une période

variable dépendante	court terme			long terme	
	ECT_{t-1}	$\Delta lncons$	$\Delta lngdp$	$lncons$	$lngdp$
lncons	-0,33**	-	0,61**	-	1,87**
lngdp	-0,11	-	-	0,54**	-

TABLE 2.3: Relation long terme et court terme et causalité Granger

2.5 L'impact de l'investissement sur la demande d'énergie

2.5.1 L'approche par le modèle de variables instrumentales

Dans la section précédente, nous avons trouvé qu'il existait bien une relation de cointégration entre la consommation d'électricité et le PIB pour le cas du Bénin ; et que au sens de Granger, c'est la croissance économique qui cause la consommation d'électricité. Ces résultats mettent en exergue la nécessité pour le Bénin de renforcer ses capacités de production d'énergie de ne pas perturber la croissance économique. [Rosnes & Vennemo \(2012\)](#) estiment les capacités nécessaires du continent entre 100 et 200 GW pour faire face à la demande et à son développement, soit un investissement de plus de 160 milliards USD à l'horizon 2020. Compte tenu des budgets limités des Etats, en particulier du Bénin, les investissements et crédits budgétaires alloués par les institutions internationales sont une opportunité d'investissement pour le secteur de l'énergie en particulier. [Omri & Kahouli \(2014\)](#) ont trouvé une causalité bidirectionnelle entre la croissance économique et les investissements , ainsi qu'une causalité unidirectionnelle entre les investissements et la consommation d'énergie ; ceci pour les pays aux revenus faibles. [Onyeji & Al \(2012\)](#) ont étudié l'influence de la gouvernance et du cadre légal dans les pays d'Afrique subsaharienne. Les résultats de leur modèle montrent que la gouvernance est très liée au niveau d'accès à l'énergie (y compris pour le Bénin). Dans le cadre du Bénin, les FDI ont connu une croissance annuelle moyenne de 2.9% de 1990 à 2013. Nous supposons donc qu'ils doivent impacter le secteur de l'énergie car les FDI sont principalement alloués aux secteurs de l'économie à impact économique et social important. En effet, le total d'investissement perçu par le pays est passé de 18 million USD en 1990 à plus de 145 million USD en 2010 d'après le WDI de la Banque Mondiale. D'après le modèle de [Rosnes & Vennemo \(2012\)](#) , nous la demande en électricité s'explique principalement la population, les capacités de production électriques, le produit intérieur brut et l'investissement. Chacune de ces variables influence la demande en énergie électrique conformément à la littérature de référence. Dans la mesure où très peu d'investissements ont été réalisés au Bénin dans le secteur de l'énergie, nous essayons de comprendre l'impact des crédits extérieurs alloués à l'investissement, à défaut de disposer du Budget de l'Etat sur le niveaux des dépenses engagées pour le compte du secteur de l'électricité. Il s'agit donc d'étudier d'un point de vue économétrique l'influence et l'impact de

l'investissement sur un secteur stratégique comme celui de l'énergie électrique.

Dans notre modèle, nous proposons une extension de l'équation réduite de Rosnes & Vennemo avec les variables ci après : le taux d'urbanisation (qui est la frange de la population la plus exposée à l'électricité)⁸, le niveau moyen des prix de l'électricité, la part de la l'industrie dans le PIB car il s'agit du secteur le plus intensif en consommation d'énergie électrique, la part des énergies renouvelables qui représente une source alternative capable d'influencer la demande en énergie et enfin le niveau moyen des capacités de production nationale d'électricité (MW).

stats	ldemand	urban	dprice	indust~d	renewa~e	lfdi	lcap
<i>mean</i>	5.78	.21	1.875	13.53	1.29	7.84	4.78
<i>sd</i>	.27	.11	4.01	.83	1.19	.33	.25
<i>min</i>	5.39	.08	0	11.98	0	7.23	4.51
<i>max</i>	6.22	.57	15	14.81	3.39	8.35	5.14

TABLE 2.4: Statistiques descriptives des variables de l'étude

Nous proposons donc le modèle développé ci-après :

$$\begin{aligned} demande_t = & \alpha_0 + \alpha_1 urban_t + \alpha_2 price_t + \alpha_3 industryvaladd_t \\ & + \alpha_4 renewableshare_t + \alpha_5 fdi_t + \alpha_6 statcap_t + \varepsilon_t \end{aligned}$$

Les données que nous utilisons couvrent la période de 1990 à 2013. Ces données émanent de trois principales sources. Le taux d'urbanisation, la valeur ajoutée de l'industrie, la part des énergies renouvelables, les investissements sont tirées du World Bank Data Indicators (WDI) en son édition 2015⁹. Le prix moyen de l'électricité et les capacités de production nationales sont extraites de rapports d'activité conjoint de la SBEE, de la Direction Générale de l'Energie (DGE), et du Ministère des OMD-ODD¹⁰.

Le tableau 2.4 résume les principales statistiques descriptives de nos variables.

S'agissant de la demande d'électricité, on constate que son accroissement varie entre 5.39% et 6.22% durant la période d'études. Cette croissance élevée témoigne de l'intérêt et de l'enjeu de la disponibilité de l'électricité pour satisfaire aux besoins multiples. Avec une moyenne de 21,4%, le taux d'urbanisation s'est accru entre 8% et 57% sur la période d'études. A l'instar de nombreux pays émergents, ce taux élevé caractérise la forte pression démographique ainsi que l'exode rural.

8. il s'agit donc pour nous de mesure l'impact de l'évolution de la population urbaine sur la demande en énergie

9. Ces données correspondent respectivement aux séries SP.URB.TOTL.IN.ZS, NV.IND.TOTL.KD, EG.ELC.RNEW.KH, DT.DOD.DIMF.CD pour le Bénin

10. Les rapports de la SBEE et la DGE sont extraites du Système d'Information de l'Energie qui est une revue de publication annuelle

Le prix dans notre modèle mesure le niveau de prix moyen du kWh d'électricité. Bien qu'il existe plusieurs tranches de tarification qui sont fonction du type de consommateur (résidentiel, industrie), il s'agit pour nous d'apprécier l'évolution relative du niveau de prix de l'électricité. Comme nous pouvons le constater, les prix moyen de l'électricité ont plus que doublé durant la période d'observation. Dans la mesure où le prix de l'électricité est historiquement une variable inélastique à la demande, l'impact de la variation du prix est faible dans la mesure où il existe peu de biens de substitution à l'énergie électrique.

La valeur ajoutée de l'industrie est une variable essentielle qui présente un double intérêt. Tout d'abord, elle nous permet de comprendre l'évolution du secteur industriel qui est le plus consommateur en énergie électrique. Les infrastructures industriels étant très énergivores, la valeur ajoutée de l'industrie permet à la fois de suivre quel est l'impact de l'industrie sur l'économie du Bénin. D'autre part, dans la mesure où l'utilisation du PIB risque de poser un problème de colinéarité avec l'industrie. De ce fait, la mesure de la valeur de l'industrie dans le PIB est un indicateur robuste et fiable. Comme nous pouvons le constater, l'industrie représente entre 12 et 15% dans l'économie du pays. Bien que souvent cité comme un obstacle à l'industrialisation, la demande en énergie semble donc fortement impactée par le niveau d'industrie.

La part des énergies renouvelables est extraite du WDI. Elle mesure la contribution des énergies renouvelables dans le mix énergétique du pays. Rappelons ici que la variable inclue aussi bien l'énergie hydraulique que le solaire et l'éolien. Comme on peut le constater, la pénétration des énergies renouvelable est relativement faible au Bénin, n'excédant pas les 3,4% sur la période observée. Cette faible pénétration des énergies renouvelables traduit à la fois la faible disponibilité de l'énergie, de même que l'accès réduit à ces nouvelles formes d'énergie. En effet, la part des énergies renouvelables est nuancée par l'essor de solutions décentralisées et autonomes qui sont directement déployées près les ménages. Les statistiques assujetties ne sont donc pas disponibles.

Le niveau des investissements représente ici la contribution perçue du FMI par le Bénin. Comme indiqué plus haut, le rôle du FMI est d'appuyer les secteurs stratégiques pour le développement et la croissance économique et inclusive. Comme nous pouvons l'observer, les crédits consommés par le Bénin se sont accrus à un rythme soutenu d'environ 7,8%. Ceci représente un intérêt majeur du pays de recourir aux financements internationaux pour accompagner l'émergence.

Enfin, la dernière variable est la capacité du parc de production de l'énergie électrique. Elle est censée influencer la demande en énergie car des capacités importantes sont synonymes d'une demande à satisfaire. Pourtant les statistiques montrent que le parc électrique a faiblement évolué durant les dernières années, avec une moyenne de 4,8% face à une demande qui croit à plus de 7% par an.

Dans le modèle, nous considérons que la variable investissement est endogène car le niveau de décaissement des crédits alloués dépend de plusieurs paramètres

à savoir la performance de l'Etat sur les Plans de Travaux Annuels (PTA)¹¹. Il n'existe aucune donnée publique disponible pour suivre de façon continue aussi bien le niveau des décaissements budgétaires que les imputations sectorielles. Ne disposant donc pas des informations du budget de l'État, nous ne pouvons mesurer l'impact net de l'investissement sur le secteur de l'énergie et donc sur la demande de l'énergie. En conséquence, nous risquons donc de biaiser notre modèle car le terreur d'erreur est susceptible d'être corrélé avec la variable investissement, ce qui induirait une régression fallacieuse.

De ce fait, nous utilisons la méthode des variables instrumentales (I.V) qui est une alternative fiable. La méthode des (I.V) permet d'éviter les problèmes d'endogénéité et de biais dans la régression en introduisant dans l'estimation des variables dites instrumentales. Ces variables instrumentales sont *iid* corrélées avec la variable endogène, et non corrélé avec le terme d'erreurs. La régression instrumentale se fait en deux étapes (2SLS). Dans la première étape, il s'agit d'estimer par une régression OLS toutes les variables du modèles ainsi que les instruments sur la variable endogène. La première étape permet d'apprécier la qualité des instruments sélectionnés. La seconde étape est l'estimation structurelle du modèle entre la variable dépendante, la variable endogène et les variables exogènes. Le choix des instruments a été influencé par la littérature des données et surtout la disponibilité des données. Il faut en effet choisir des variables capable de bien expliquer l'influence des FDI sans que celles ci ne soient corrélées avec le terme d'erreur de la régression par défaut.

Nous choisissons donc trois instruments tirés du Worldwide Governance Indicators qui est un rapport de la Banque Mondiale qui reporte six indicateurs sur les niveaux de gouvernance entre les pays. Pour notre étude, nous choisissons les trois variables que sont le contrôle de la corruption (*corrcontrol*), le niveau de gouvernance (*goveff*), et la qualité de la régulation (*regquality*) qui nous semblent être les variables les mieux corrélées avec les investissements. En effet, le contrôle de la corruption quantifie le niveau de corruption dans le pays. Si le niveau de corruption est élevé, alors la probabilité d'une mauvaise allocation des investissements institutionnels est élevée. Nous re-codons la variable *corrcontrol* en calculant sa différence par rapport à un. En effet, le contrôle de la corruption est censée mesuré la perception de la corruption dans les administrations . Plus il est proche de l'unité, et plus le degré de perception est élevé. En recentrant sur zéro, il s'agit donc pour nous d'observer l'écart de la perception de la corruption. Nous appelons la nouvelle variable (*corrstd*. De même, l'efficacité de la gouvernance permet d'observer le niveau de gouvernance et donc de démocratie. Rappelons le Bénin est un pays très stable. Quant à la qualité de la régulation, la variable mesure l'influence des dispositions prises pour s'assurer de l'existence d'organes de contrôle et de régulation au sein des pays. Notons que l'Autorité de Régulation dans le secteur de l'énergie au Bénin n'a été crée qu'en 2014, soit au delà de nos observations. Compte tenu du fait que les mandats sont quinquennales, l'efficacité des gouvernement nous permet

11. En effet, chaque année, le PTA est voté par la Direction du Budget de l'État en coordination avec le Ministère de tutelle. En fonction des montants alloués, des lignes budgétaires sont définies au regard des crédits octroyés.

indirectement de mesurer l'action gouvernementale. Ainsi, dans le cas où il n'y aurait pas de relation entre les investissements et la demande en énergie, nous recommanderons que durant les 20 dernières années, le secteur de l'énergie n'a pas été une priorité pour les gouvernements malgré la croissance élevée de la consommation d'électricité.

2.5.2 Résultats

Les résultats de l'étape I de la régression instrumentales sont reportés en annexe dans le tableau 2.8. Le modèle a un pouvoir explicatif satisfaisant ($R^2 = 75,37\%$) avec une erreur de prévision moyenne de l'ordre de 20,38%. Les instruments de contrôle de la corruption ainsi que de l'efficacité de la gouvernance sont les seuls significatifs au seuil de 5%. Le coefficient de la qualité de la régulation n'est pas significatif et peut s'expliquer en effet dans notre modèle comme l'absence d'une agence ou d'une institution de régulation dans le secteur de l'énergie au cours de la période d'étude. La qualité de la régulation est donc considéré comme un instrument faible. Nous procédons par itération en retirant l'instrument *regquality* du modèle. Dans le nouveau modèle ayant un pouvoir d'explication légèrement plus faible ($R^2 = 74,19\%$), les coefficients des deux instruments sont toujours significatifs et de signe positifs. En effet, le signe du coefficient de l'écart de la corruption est positif. Ceci implique un écart croissant de la perception de la corruption au fil des années. Soit, plus l'effet de la corruption est important, moins l'impact de l'investissement sera efficace. Ceci nous montre bien qu'au cours des dernières années, le niveau du contrôle de la corruption s'est accru, ce qui est susceptible d'impacter négativement les flux d'investissement. S'agissant de l'efficacité de la gouvernance, elle est positivement corrélée à l'investissement traduisant une amélioration de la qualité de la gouvernance au Bénin

En somme, nos deux instruments, expliquent bien la situation qui prévaut au Bénin par rapport aux investissements crédités du FMI, et qui se caractérise par une amélioration de la gouvernance malgré une écart grandissant de la perception de la corruption.

Nous passons donc à la seconde étape de la régression qui est le modèle de régression instrumentale dont les résultats sont reportés dans le tableau 2.5.

L'estimation du modèle final indique tout d'abord un niveau coefficient de détermination très satisfaisant ($R^2 = 98,04\%$). Les résultats obtenus sont très intéressants et méritent une attention particulière. Mais avant, nous effectuons quelques tests pour confirmer les hypothèses de bonne spécification du modèle. Il s'agit principalement de faire un test d'endogénéité de la variable investissement pour nous assurer qu'elle est bien endogène, ce qui justifie l'utilisation du modèle de variables instrumentales ; ainsi qu'un test de validités des instruments.

Pour vérifier l'endogénéité de la variable investissement, nous appliquons un test de Durbin avec l'hypothèse nulle de l'exogénéité de la variable étudiée. La statistique de test est comparée à une table de Wu-Hausman à (1,17) degrés de libertés. Au regard de la p-value obtenue, nous rejetons donc l'hypothèse nulle ce qui nous permet de conclure que notre variable endogène est bien spécifiée.

Instrumental variables 2SLS regression (2nd Stage)						
				Number of obs	=	24
				Wald Chi2(6)	=	581.81
				Prob >Chi2	=	0.0000
				R-squared	=	0.9604
				R-squared	=	.05311
<i>ldemand</i>	Coeff	Std. Err.	t	P> t	[95%.]	Inter.]
<i>lfdi</i>	-.017	.053	-0.32	0.75	-.119	.086
<i>urban</i>	.93	.21	4.47	0.000*	.52	1.33
<i>price</i>	-.003	.003	-1.02	0.31	-.009	.003
<i>industryvaladd</i>	.085	.023	3.79	0.000*	.041	.13
<i>renewableshare</i>	.019	.01	1.92	0.055*	-.0004	.038
<i>lcap</i>	.45	.091	4.91	0.000*	.27	.62
<i>_cons</i>	2.40	.583	4.13	0.000	1.26	3.55
<i>Instrumented : lfdi</i>						
<i>Instruments : urban price industryvaladd renewableshare lcap</i>						

TABLE 2.5: Regression IV - 2eme etpae

Ensuite, nous testons la validité des instruments. Les résultats sont reportés dans les tables 2.9 et 2.10 en annexe. Le 1^{er} test est un test de significativité jointe dont nous comparons les seuils un table de Fisher à (2,16) degrés de libertés. La p-value et la F-stats (12.53) nous permettent de rejeter l'hypothèse de nullité jointe des coefficients des deux instruments. Nous en déduisons donc le contrôle de la corruption et l'efficacité de la gouvernance permettent d'expliquer l'impact de l'investissement sur le secteur de l'énergie dans notre modèle.

Tests of endogeneity
Ho : variables are exogenous

Durbin (score) chi2(1) = 11.7466 (p = 0.0006)
Wu-Hausman F(1,17) = 17.7451 (p = 0.0006)

TABLE 2.6: Resultat test d'endogénéité

A l'issue de ces tests, nous pouvons conclure que notre modèle est bien spécifié et donc interpréter l'ensemble des résultats obtenus.

Les résultats de notre observation montrent que le coefficient de l'investissement est de signe négatif et non significatif. Nous en déduisons dès lors que l'investissement n'a pas été captif du secteur de l'énergie au Bénin, au regard du très faible niveau d'investissement observé ci dessus. L'interaction négative entre l'investissement et la demande en énergie peut se justifie par l'écart croissant du contrôle de la corruption obtenu dans la première étape de la régression, ceci malgré une amélioration de la gouvernance. Malgré deux investissements

réalisés en 1997 et 2007¹², le taux de dépendance en approvisionnement n'a cessé d'accroître face à la pression de la demande soutenue. En supposant donc que l'investissement le plus captif dans les réseaux consiste à renforcer les capacités et la qualité de l'énergie, les résultats de la régression témoignent de la non significativité de l'impact de ces investissements sur la demande d'énergie et donc sur le sous secteur de l'électricité.

S'agissant de la population urbaine, son impact sur la demande de l'énergie est très significatif au regard de la p-value obtenue. Ce résultat est tout à fait logique car plus de 58% de la population urbaine du Bénin est connectée. Étant donné que de plus de 60% de la demande d'énergie est absorbée par le secteur résidentiel, il est justifié qu'une variation de 1% de la population urbaine entraîne une hausse de plus de 92% de la demande d'énergie. Ceci témoigne aussi de l'urgence du renforcement des capacités afin de faire face à cette demande exponentielle qui cause positivement la croissance économique dans le long terme.

Le prix de l'énergie est non significatif et de signe négatif. En moyenne, le prix d'un bien tel que l'énergie électrique est très inélastique car l'électricité est peu substituable. Néanmoins, la relation négative obtenue peut se justifier par une légère réduction de la demande en énergie face à une hausse des prix¹³. Rappelons toutefois que le prix ici est une moyenne agrégée au niveau macroéconomique qui ne caractérise pas de façon spécifique le comportement des différents agents économiques¹⁴ dont les comportements sont très hétérogènes. En effet, les grands industriels ou administrations ou souvent des capacités d'auto production pour pallier aux troubles du réseau. La consommation de non présence sur le réseau ne peut être donc comptabilisée.

La part de l'industrie quant à elle est une variable clé de la demande d'énergie tout comme population urbaine. En effet, le coefficient de la variable est significatif et positif ce qui témoigne d'un intérêt élevé pour les gouvernements de renforcer l'industrialisation du pays tout en rendant l'électricité disponible pour leur activité. D'après les résultats de notre modèle, nous constatons d'une variation de 1% de la part de l'industrie dans le PIB induit une croissance de 8% de la demande en énergie. Ceci sous tend que le Bénin fera face à une économie intensive en énergie si l'énergie est disponible et abordable pour le secteur industriel.

Bien que significative, une croissance de 1% de la part des énergies renouvelables est susceptible d'entraîner une variation de 1% de la demande d'énergie. Dans le contexte d'un pays comme le Bénin, il nous revient toutefois de nuancer ce résultat car la part des énergies renouvelables se mesure ici à travers des capacités nationales enregistrées. Or dans la plupart des pays en développement, la pénétration des EnR est beaucoup plus importante au niveau désagrégé des agents économiques, principalement l'énergie solaire.

12. ces deux investissements correspondent à deux capacités respectives de 25 MW et 80 MW

13. nous obtenons dans le modèle une variation de 0,6% à la baisse de la demande face à une hausse de 1% du prix moyen de l'énergie

14. il s'agit principalement des industries, des résidentiels, des APU et de l'éclairage public

Enfin, la dernière variable est celle qui apprécie davantage l'importance des capacités et de la demande de l'énergie. Le résultat obtenu démontre d'emblée l'étroite corrélation entre les capacités de production et la demande en énergie. Le coefficient de la capacité est à la fois significatif et positif et montre qu'une variation de 1% de la capacité de production affecte à plus de 45% la demande d'énergie. Ce résultat final témoigne à la fois de l'intérêt et de la nécessité pour le Bénin de se doter de capacités de production aussi bien pour faire à sa demande en énergie que pour améliorer sa croissance économique.

2.6 Conclusion

L'Afrique est le continent où les questions d'accès à l'énergie et d'économie seront les plus soutenues dans les années à venir compte tenu de l'accroissement de la population et du taux relativement faible de l'accès à l'énergie. Ce papier examine d'un point de vue empirique la relation qui existe entre la croissance économique et la consommation d'électricité pour le Bénin. Grâce aux outils économétriques largement développés dans la revue de littérature, nous avons bien trouvé qu'il existe une relation de cointégration dans notre analyse bivariable. De plus, nous avons trouvé qu'il existe au sens de Granger une causalité unidirectionnelle entre la croissance économique et la consommation d'électricité.

Ceci implique que davantage l'énergie sera disponible, mieux l'économie du pays connaîtra une croissance soutenue. Globalement, il n'existe pas en Afrique de l'Ouest comme dans le monde un consensus sur le sens de la causalité entre la consommation d'électricité et la croissance économique. La viabilité des résultats repose davantage sur la qualité des données disponibles car dans bon nombre de pays africains, le défi majeur concerne la disponibilité de séries disponibles et fiables.

Nous avons par la suite étudié l'impact de l'investissement sur la demande d'énergie à travers un modèle de variables instrumentales. Nous mesurons ici l'investissement par les crédits alloués par le FMI qui finance les programmes macroéconomiques des secteurs clés sur le long terme. Les résultats ont montré que la perception de la corruption est à un impact négatif sur les investissements, ceci malgré une amélioration de la gouvernance. Ceci explique le fait que le secteur de l'énergie électrique n'a pas été captif des investissements.

Compte tenu de la demande d'électricité exponentielle, il devient une urgence pour le Bénin de renforcer ses capacités de production d'énergie électrique pour réduire sa vulnérabilité due à l'approvisionnement extérieur. Les énergies renouvelables constituent une belle opportunité compte tenu de leur coût qui ne cesse de décroître d'années en années.

Somme toute, nos résultats apportent une contribution significative au regard du nombre de travaux limités en Afrique subsaharienne. En effet, plus de 200 GW de puissances nécessaires sont prévus pour les années à venir. Il revêt donc d'une importance capitale de comprendre les facteurs susceptibles

d'influencer à la fois la demande d'énergie électrique, l'allocation des investissements et surtout la bonne gouvernance.

2.7 Annexes

Auteurs	Periode	Pays/Zones	Methodes	Resultat (LT)
<i>Europe & Amerique</i>				
Kraft and Kraft (1978)	1990	U.S.A	Granger	PIB → EC
Yu and Hwang (1984)		U.S.A	Granger	Neutral
Stern (2000)		U.S.A	VAR	EC ↔ PIB
Soytas and Sari (2003)		Italie	VECM	PIB → EC
		France, Allem, Turquie	VECM	EC → PIB
Lee (2006)		France - Italie	Toda-Yamamoto	EC → PIB
<i>Amerique du Sud</i>				
Cheng (2007)		Bresil	Granger	EC → PIB
		Mexique, Venezuela	Granger	Neutral
Soytas and Sari		Argentine	VECM	PIB → EC
Aspergis and Payne (2009)		Costa Rica, Salvador, Guatemala, Honduras, Panama, Nicaragua	Panel Panel	EC → PIB
<i>Afrique</i>				
Rufael (2009)	1971-2001 1971-2001	Benin, Congo DR, Egypte, Gabon, Maroc Tunisie	Granger et Toda-Yamamoto	EC → PIB
		Cameroun, Ghana, Nigeria, Senegal, Zambie Zimbabwe		PIB → EC
				EC ↔ PIB
		Afrique Sud, Soudan, Congo Rep		Neutral
Akinlo (2009)	1980-2006	Nigeria	Hodrick-Prescott	EC → PIB
Ouedraogo (2010)		Burkina Faso	ARDL	EC ↔ PIB
Kouakou	1971-2008	Cote Ivoire	Granger	EC ↔ PIB
Ouedraogo (2013)	1980-2008	ECOWAS	Panel	PIB → EC
<i>Asie</i>				
Chandral and Al (2010)	1971-2003	Malaisie	ARDL	EC → PIB
Soni and Al (2013)	1981-2011	Inde	ECM	EC → PIB
Zhang and Al (2017)	1990-2013	Chine	VAR/VECM	multiples res.
		Indonesie		EC → PIB
		Coree		EC ↔ PIB
		Taiwan, Thailand		Neutral

TABLE 2.7: Synthèse de littérature sur les travaux de cointégration et causalité

Instrumental variables 2SLS regression (First Stage)						
				Nb. of obs	=	24
				F(8, 15)	=	5.74
				Prob >F	=	0.02
				R-sqd	=	0.75
				Adj R-sqd	=	0.62
				Root MSE	=	0.20
<i>lfdi</i>	Coeff	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf.	Int.]
<i>urban</i>	1.61	.79	2.04	0.059	-.071	3.29
<i>dprice</i>	.006	.013	0.50	0.623	-.022	.035
<i>industryvaladd</i>	.29	.12	2.38	0.031	.031	.55
<i>renewableshare</i>	.025	.061	0.41	0.69	-.106	.16
<i>lcap</i>	.302	.46	0.66	0.52	-.67	1.28
<i>corrdsd</i>	.038	.012	3.33	0.004*	.014	.06
<i>goveff</i>	.089	.021	4.34	0.001*	.045	.13
<i>regquality</i>	.01	.01	0.85	0.41	-.012	.03
<i>_cons</i>	-.79	2.36	-0.33	0.74	-5.83	4.25

TABLE 2.8: Resultat IV regression- Ist stage

First-stage regression summary statistics					
<i>variable</i>	<i>R-Sq</i>	<i>Adjusted R-Sq</i>	<i>Partial R-Sq</i>	<i>F(2,16)</i>	<i>Prob >F</i>
<i>lfdi</i>	0.7419	0.6290	0.6105	12.5377	0.0005

TABLE 2.9: Resultat test validité instruments

Minimum eigenvalue statistic = 12.5377						
Critical Values # of endogenous regressors :						1
Ho : Instruments are weak # of excluded instruments :						2
2SLS relative bias		5%	10%	15%	20%	30%
			<i>(not available)</i>			
2SLS Size of nominal 5% Wald test			19.93	11.59	8.75	7.25
LIML Size of nominal 5% Wald test			8.68	5.33	4.42	3.92

TABLE 2.10: Resultat test validité instruments (suite)

Chapitre 3

Tarification et consommation d'électricité résidentielle : Cas des ménages urbains du Bénin

3.1 Introduction

L'Afrique est la région du monde où le taux d'accès à l'énergie électrique est le plus faible. Sur une population estimée à un milliard d'habitants, plus de 700 millions de personnes n'ont pas accès à l'énergie électrique dont plus de 90% sont situées en Afrique subsaharienne hors Afrique du Sud¹. De plus, l'accès à l'énergie électrique ne garantit pas non plus une fiabilité et une continuité du service. Les pays d'Afrique subsaharienne sont pour la plupart déficitaires dans l'offre d'énergie ce qui entraîne de fréquents délestages et des recours à des sources polluantes et onéreuses telles que les groupes électrogènes, les bougies ou le pétrole lampant². Tout ceci fait du continent africain la région du monde où l'énergie électrique est très rare et onéreuse.

Le Bénin est un pays francophone d'Afrique de l'Ouest situé dans le Golfe de Guinée avec une population de dix millions d'habitants³. D'une superficie de 113 763 km², il est limité par le Burkina Faso et le Niger au Nord, à l'Ouest par le Togo, à l'Est par le Nigéria et au Sud par l'océan atlantique. Plus de 60% vivent en milieu rural, le revenu par tête d'habitant est de 805 USD (WDI, 2013) faisant du Bénin un des pays les plus pauvres de la planète. L'économie qui très peu industrialisée est fortement dépendante des recettes portuaires et l'agriculture.

La SBEE est la société publique en charge de l'énergie électrique au Bénin. Elle jouit d'un monopole historique et est verticalement intégrée. Son activité se répartit entre production (12%) et distribution (88%) . La situation énergétique du Bénin est caractérisée par : une consommation d'énergie par habitant relativement faible (0,392 tep/habitant en 2010) avec une consommation spécifique annuelle d'électricité de 101,9 kWh/ habitant en 2010 ; une facture d'énergie électrique qui est passée de 15 986 milliards FCFA en 2005 à 25,310 milliards FCFA en 2010, représentant 2,14% du PIB en 2010 ; une prédominance des usages traditionnels de la biomasse-énergie (bois de feu, charbon de bois et déchets végétaux)⁴. Le taux d'accès à l'énergie électrique au Bénin est d'environ 38% dont 57% en zone urbaine et moins de 7% en zone rurale. Le Bénin dépend à plus de 90% de l'approvisionnement extérieur en énergie électrique grâce à l'existence d'un réseau interconnecté entre les pays : le West African Power Pool. L'ensemble de ces données explique pourquoi l'énergie électrique ne représente que 2% de la consommation finale d'énergie⁵.

Plusieurs études caractérisent la gestion du sous secteur de l'électricité à savoir les délais de raccordement très longs, la mauvaise qualité de l'énergie distribuée, les problèmes de facturation entraînant un manque de confiance des abonnés de la société ([Girod & Percebois, 1999](#) ; [MCA, 2013](#) ; [INSAE, 2015](#)). La SBEE utilise un système de facturation basé sur deux modes de comptage de la consommation que sont : le système de facturation en post paiement par le

1. Africa Energy Outlook, 2014

2. Paying price for unreliable power supplies, AICD, 2008

3. INSAE-RGPH, 2013

4. Millenium Challenge Account, Unité de la Coordination et de la Formulation, 2013

5. Système d'Information Energetique, 2010

biais de compteurs électromécaniques (84% des abonnés) et le système de facturation en prépaiement par le biais de compteurs à carte (16% des abonnés). Une étude cadre de l'Institut de Statistiques (INSAE, 2015) révèle les difficultés de la société électrique vis à vis de ces clients à savoir : le trop grand nombre de factures erronées, la non concordance des relevés de compteur avec les indexes inscrits sur les factures, les longs délais de présentation des factures, les erreurs dans les suspensions de l'abonnement des clients pour non paiement de factures, les plaintes relatives à la non transparence du système de facturation, des variations brusques et répétées de tension qui endommagent les appareils électroménagers des clients, les difficultés de communication entre la SBEE et ses abonnés, le manque de sérieux et la corruption des agents releveurs qui font du chantage aux clients peu informés.

A l'instar de plusieurs pays dans le monde, la SBEE a opté pour un régime de facturation résidentielle en tranches progressives à savoir la tranche sociale (pour les consommations inférieures à 20kWh par mois), la tranche 1 (pour les consommations comprises entre 21 et 250 kWh) et la tranche 2 (pour les consommations supérieures à 251 kWh mensuelles) qui sont respectivement facturées aux prix de 78, 109 et 115 FCFA⁶. Les prix de l'électricité constituent un enjeu majeur, d'une part, pour les entreprises et leur compétitivité, en particulier pour les industries électro-intensives ; et, d'autre part, pour les ménages, pour lesquels ces prix influencent le pouvoir d'achat. En l'absence d'une distinction des revenus, ces prix moyens par tranche de consommation peuvent masquer une hétérogénéité importante des types de consommateurs. De plus, dans les pays en voie de développement, on constate souvent que les tarifications par blocs ont des effets inverses sur les populations les moins riches et sur les petits consommateurs, (Whittington, Boland, and Foster, 2002). L'impact de la politique de tarification est alors controversé car elle ne bénéficie pas aux ménages les plus précaires comme anticipée et ne contribue pas à la promotion d'une utilisation rationnelle de l'énergie de façon générale (Wanko, 2014).

Grâce à une étude cadre du Ministère en charge de l'énergie, nous avons eu accès une base de données de relevés de consommation de clients en postpaiement. En effet, l'étude qui couvre les deux principaux centres urbains du pays recense 2880 factures d'électricité de 180 ménages urbains en régime de paiement post payés sur une période de 16 mois⁷, nous analysons les factures d'électricité résidentielles afin de comprendre les principales questions soulevées ci dessus. Ces données présentent toutefois une principale limite : nous ne disposons pas de données socioéconomiques sur les abonnés interrogés afin de mesurer l'effet revenu du bien électricité dans le pouvoir d'achat par une approche économétrique. Nous ne pourrions donc mesurer le surplus du consommateur par la variation monétaire à la situation de tarification de référence. A la suite de l'analyse des données, nous avons trouvé que comparativement aux pays de la sous région, le prix de l'énergie électrique demeure très élevé au Bénin, et qu'il existe des biais dans le système de tarification. Soit, l'existence d'une tranche

6. 1€ = 655,957 FCFA soit respectivement 13cts, 16,61cts et 17,53cts €

7. La période de l'étude couvre aout 2011 à novembre 2012

de pénalité sociale. Par la suite, nous simulons d'autres formes de tarification en vigueur (la tarification de Ramsey, la tarification de pointe ainsi que la tarification progressive à 4 blocs). Nos résultats indiquent que l'impact des tarifications dépend du volume d'énergie consommée. Nous ne trouvons aucune tarification qui domine strictement les autres.

La tarification résidentielle de l'électricité induit une répartition des charges entre l'abonnement, le coût d'accès et la mesure de la quantité consommée. Cette équation de tarification complexe induit de fait une segmentation des profils et des usages conformément aux grandes théories économiques. Toute variation du prix implique de fait un effet sur le niveau de la demande assujettie au cours d'une période donnée. En conséquence, les factures mensuelles des abonnés sont censées capturer toutes les charges comprenant le coûts marginaux et moyen, les taxes et autres prélèvements qui se répartissent en amont entre le monopole et l'Etat.

L'objectif de ce papier est de nourrir la réflexion de nouvelles formes de tarification dans un environnement où les plaintes des usagers sont de plus en plus nombreuses aussi bien par rapport au coût de l'énergie, que de la qualité de l'énergie consommée. De plus, compte tenu du fait que le Bénin soit un importateur net d'électricité qui est plus chère que dans la plupart des pays de la sous région, l'analyse du coût de revient de l'énergie doit aller au delà des coûts de production et d'opération. Pour donc faire évoluer le système de tarification, il revient d'en analyser chacun des déterminants ainsi que l'impact des nouvelles formes de tarification qui sont susceptibles d'être appliquées.

Le papier s'organise donc comme ci-après : En section I, nous parcourons la littérature sur les différentes formes de tarification de l'électricité, ainsi que sur les études cadres de l'électricité résidentielle en Afrique de façon générale et au Bénin de façon spécifique. En section II, nous abordons la question de la consommation d'électricité résidentielle au Bénin, la tarification en vigueur, les tranches et les prix assujettis. En section III, nous développons la problématique de l'étude, la méthodologie ainsi que l'analyse des données. La section IV concerne les simulations des différentes formes de tarification proposées. En section V, nous en dressons les résultats et analysons les impacts. Enfin, la section VI conclut l'étude et formule les recommandations.

3.2 Revue de littérature

Dans la revue de littérature, nous recensons les principaux travaux sur la tarification de l'énergie électrique résidentielle dans le monde. Ensuite, nous analysons les différentes formes de tarification en vigueur en Afrique de façon spécifique.

L'électricité est un bien dont la consommation est saisonnière et non stockable. Sa tarification est donc liée à un ensemble de contraintes très fortes dans la mesure où l'ajustement des courbes d'offre et de demande est un défi permanent aux gestionnaires de réseaux. Partout dans le monde, la tarification

de l'énergie électrique suscite de nombreux débats. En effet, le secteur de l'électricité est une industrie intensive en capital. La production, le transport et la distribution de l'électricité sont liés aux industries de réseaux (Hansen & Percebois, 2010). Les coûts d'infrastructures très élevés ainsi que les longues périodes d'exploitation en ont fait des industries de monopoles naturels historiques et verticalement intégrés. Ramsey (1927), Pigou (1928), Samuelson (1951), Boiteux (1956) se sont donc penchés très tôt sur les formes de régulation des monopoles naturels. L'idée de fond étant de trouver les solutions optimales.

Bornbright (1961, 1988) rappelle les 5 principes pour l'évaluation d'une tarification :

- l'efficacité économique de la tarification en terme de production et de consommation
- l'équité entre les consommateurs
- la stabilité des revenus pour les compagnies d'électricité
- la stabilité de la facturation
- la satisfaction du consommateur

Bien que fondamental, il est très difficile de respecter à la fois à ces cinq principes.

L'objectif de toute politique tarifaire est de proposer un prix garantissant une couverture des coûts et une utilisation rationnelle et efficiente.

Deux formes de tarification du monopole naturel se sont imposées dans le monde : la tarification linéaire (First Best) et la tarification du Second Best.

Dans la tarification First Best, on suppose l'absence de toutes contraintes. Le monopole maximise son profit à la Condition de Premier Ordre (CPO). La tarification est donc au coût marginal. MasCollé & Al (1997) , Alinsato (2010) ont montré que le first best est socialement inacceptable dans la mesure où le monopole capte tout le surplus du consommateur (en cas de discrimination du 3^{ème} degré. Cette appropriation du surplus du consommateur est dû au fait que le monopole exerce tout son pouvoir de marché pour maximiser ses profits, compte tenu de la demande qui est inélastique au prix. Aussi, dans le cas où le monopole fait face à des coûts fixes importants à amortir dans le temps (comme dans les industries de réseau), le coût marginal devient inférieur au coût moyen. En effet, le monopole naturel se définirait comme une situation où une entreprise chercherait à maximiser son profit par l'incitation d'un prix de vente supérieur à son coût marginal, tout en limitant au maximant l'offre du bien.

La tarification du Second Best est la plus répandue. Elle vise la couverture des coûts de production tout en garantissant une meilleure répartition du surplus total. Boyer & Al (2003) indiquent qu'il faut collecter suffisamment de recettes pour couvrir les couts, ou du moins une partie d'entre eux tout en maximisant le bien être des abonnés.

La tarification de Ramsey-Boiteux est considérée comme la référence du monopole régulé en Second Best. Son objectif est de proposer une tarification réduisant les distorsions par rapport aux consommateurs compte tenu de leur sensibilité au prix. La solution tarifaire de Ramsey-Boiteux stipule que la déviation entre le prix et coût marginal (écart destiné à couvrir les coûts fixes) doit

être inversement proportionnel à l'élasticité de la demande (plus la demande est sensible au prix, plus l'écart devra être faible). Ainsi, les consommateurs dont la demande est moins élastique seront les moins sensibles aux variations de prix comparés à ceux dont la demande est plus élastique. De ce fait, le consentement à payer des ménages les moins sensibles n'implique pas de fortes variations de la consommation en cas d'inflation. Le monopole pourra donc les faire payer un prix supérieur au coût marginal. A contrario, les ménages ayant l'élasticité la plus grande paieront un prix plus proche du coût marginal.

Cette solution qualifiée de Second Best Pricing permet d'éviter des pertes tout en minimisant celles en surplus des consommateurs. [Riechmann \(2000\)](#) , [Berry \(2002\)](#) , [Raineri & Giacioni \(2005\)](#), [Lin & Liu \(2011\)](#) , [Reneses & Al \(2014\)](#) et [Bigerna & Bollino \(2016\)](#) ont étudié la tarification de Ramsey respectivement dans le cas de la Grande Bretagne, l'Ecosse, les USA, la Chine, le Chili et l'Italie. Quand bien même, il est unanime de constater que la tarification de Ramsey Boiteux améliore le surplus du consommateur, elle est difficile d'implémentation dans la mesure où le monopole ne dispose pas toujours de toutes les informations sur l'usage et les préférences des consommateurs. [Boyer & Al \(2003\)](#) montrent que la tarification de Ramsey-Boiteux ne satisfait pas au principe d'absence d'envie. En l'absence de contrainte d'auto-sélection, les gros consommateurs ont intérêt à se faire passer pour des petits consommateurs afin de bénéficier des prix préférentiels.

De nos jours, la tarification du Second Best se construit sur le principe de tarification polynôme.

La tarification polynôme est une tarification définie par un ensemble de combinaison de prix, de quantité et d'autres paramètres s'appliquant à différentes caractéristiques de la demande. La tarification binôme est la plus répandue. Elle se définit d'un couple (A, p) où A est une charge fixe (coûts d'abonnement, charge fixe, redevance, etc. . .) par période, et une charge variable p qui s'impute à l'utilisation du bien (fonction du niveau de consommation). Dans le secteur de l'électricité, la part fixe permet ainsi de recouvrir les coûts fixes du monopole (investissement de transport, distribution) tandis que la part variable permet de faire face aux couts d'exploitation et de génération ([Brown & Faruqui, 2014](#)). Comme l'indiquent [Boyer & Al \(2003\)](#) , il existe une suite de tarifs binômes (f_i, p_i) telle que :

$$\begin{cases} p_1 < p_2 < \dots < p_k \\ f_1 > f_2 > \dots > f_k \end{cases} \quad (3.1)$$

Cette suite détermine l'ensemble des suites de tarification possible. En supposant que chaque consommateur consomme une quantité optimale, c'est à dire minimisant leurs dépenses, on obtient la courbe illustrée sur la figure 4.1.

Nous observons sur cette courbe l'ensemble des recettes totales issues de l'utilisation du bien. Chaque paire (f_i, p_i) définit une droite d'ordonnée f_i et de pente p_i . L'angle p_i représentant le niveau relatif des prix en considérant le prix constant des autres biens par rapport à celui de l'électricité.

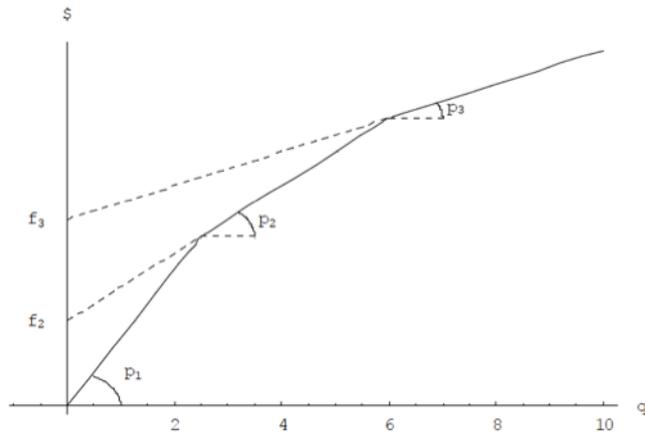


FIGURE 3.1: Courbe des charges de tarifs binômes
Boyer & Al, 2003

Le tarif binôme peut donc se décomposer en une multitude de composantes. Dans le cadre de l'électricité, on en distingue trois principales catégories à savoir la tarification de pointe, la tarification par blocs et la Fully Distributed Cost⁸. Les tarifications de pointe et par blocs progressifs sont les plus répandues s'agissant de la consommation résidentielle.

La tarification en pointe est abordée pour la première fois par Boiteux (1951) puis Steiner (1957). Dans une tarification de pointe, on suppose que la demande n'est pas uniforme dans le temps. En effet, aux heures de pointe, elle est très forte et inélastique contrairement aux heures creuses. D'emblée, les coûts sont plus élevés durant la période de pointe. Le monopole fait donc face à une contrainte de capacités (Kim & Al (2016)). Il facturera donc plus cher la consommation aux heures de pointe car il recourt aux sources dont le coût marginal est le plus élevé. Économiquement, l'optimum revient à déterminer le prix et les quantités pour chaque période pour lesquels les recettes marginales égalisent les coûts marginaux. Du point de vue du consommateur, il s'agit donc de réduire au maximum sa présence en heures de pointes. Ye & Al(2016) ont traité de l'impact de la tarification de pointe en Chine⁹ dans le cadre d'un modèle de demande d'électricité sur la base du temps d'utilisation¹⁰. Ils constatent que la tarification par période ne permet pas de réduire pour autant la consommation d'énergie électrique des ménages urbains. L'impact de cette tarification sur les consommateurs résidentiels est très limité dans la mesure où la consommation d'électricité est saisonnière. Les soirs d'hiver, les ménages ont tendance à se chauffer. Dans le cas de la diffusion du chauffage électrique, les ménages

8. Nous n'abordons pas ici la FDC car il s'agit d'une méthode abandonnée depuis plusieurs années. En effet, elle concerne la fixation d'un prix sur la base d'une clé de répartition de toutes les composantes liées à la détermination de ce prix. Elle est très complexe à mettre en place car il est difficile d'évaluer certaines fois l'influence d'un paramètre (à l'exemple des charges administratives). Pour plus de détails : Braeutigam (1979); Kopsakangas (2004)

9. dans la région de Anhui

10. couramment appelé Time Of Use

les plus pauvres payeront donc plus chers leur consommation car ils ont par défaut des logements aux rendements thermiques très poreux (Wanko, 2014). La tarification de pointe expose donc davantage les ménages en précarité énergétique. Pour Alinsato (2011), une faiblesse de ce type de tarification est la non transférabilité de la demande.

Notre étude se fonde principalement sur la tarification en tranches qui est largement répandue dans le monde. La facturation en tranches progressives repose sur les hypothèses fortes d'équité, de conservation des ressources et d'équilibre social (Monteiro & Palma, 2010). La tarification résidentielle des biens de consommation comme l'eau et l'électricité est souvent indexée à des volumes de quantité consommée. Nous avons recensé plusieurs études qui traitent de la tarification progressive par blocs dans le monde : Bernard & Laplante (1995); World Bank (2011); Lian & Jiang (2012); Crampes & Lauzachmeur (2012, 2014); Ma & Al (2014); Brown & Faruqui (2014); Wanko (2014); Chian (2014); Du & Al (2015); Gong & Al (2016); He & Reiner (2016). Fondés sur les multiples travaux de Ramsey-Boiteux, la tarification progressive a été longtemps perçue comme le système le plus efficace pour promouvoir l'efficacité énergétique ainsi que la répartition équitable des ressources Crampes & Lauzachmeur (2014).

On suppose que le bien énergie ait deux niveaux de prix dont le premier soit très faible et le second élevé. Le niveau de consommation plancher est défini comme un seuil de consommation vital. Ce régime de tarification permet donc aux ménages ayant les revenus les plus modestes de consommer une quantité limitée sans y consacrer un revenu très important. Pour les ménages les plus aisés, le prix plus élevé est censé être un signal pour consommer de façon modérée et efficace. Si le surplus prélevé sur les plus grosses consommations permet de financer en partie la consommation des plus pauvres, on parle dès lors de solidarité nationale (Crampes & Lauzachmeur, 2012). La dominance de la tarification progressive tient de la nécessité pour les compagnies d'électricité d'indexer les prix les plus élevés aux grands consommateurs. Ceci pour faire face aux coûts marginaux les plus élevés, et à recouvrir de façon optimale les coûts d'exploitation (Lin & Jiang, 2012). L'optimisation d'un système de tarification en tranche progressive repose sur le dimensionnement des tranches. Ce dimensionnement est souvent lié à un effet revenu dans la mesure où la première tranche est désignée comme celle de première nécessité. Au delà de cette tranche, on suppose que le consentement de l'abonné à payer pour l'énergie consommée s'accroît (Xe & Reniner, 2016). Du point de vue du consommateur, il s'agit d'être le plus sensible au signal prix lorsque l'information est disponible car l'utilisateur ajustera sa consommation en fonction du signal prix.

Néanmoins, plusieurs études relativisent l'effet de la facturation par tranche progressive car il y subsiste souvent une asymétrie d'informations du point de vue du consommateur. Aussi, la précarité énergétique induit que les ménages les plus pauvres sont susceptibles de consommer le plus d'énergie (Wanko, 2014; Crampes & Lauzachmeur, 2012; Borenstein, 2012). En effet, Dahan & Nissan (2007) indiquent que les prix à payer par les ménages les plus pauvres sont en moyenne supérieurs aux prix à payer des ménages les plus riches compte tenu des effets revenu et taille du ménage. De plus, dans le cas où les subventions

sont directement appliquées au prix de production, [Lin, Jiang & Al \(2009\)](#) ont montré que les ménages les plus riches sont susceptibles de tirer profit davantage de la subvention que les ménages les plus défavorisés. [Faruqui & Georges \(2006\)](#) montrent que le signal prix permet à plusieurs ménages de bénéficier des prix subventionnés dans la mesure où ils auraient tendance à s'aligner sur les tranches basses de consommation. Ces différentes études concluent toutes que les tarifications par tranches progressives ne permettent pas de lutter contre la précarité énergétique et simultanément de réduire la consommation d'énergie électrique. C'est pour cela que [Whittington \(1992\)](#) recommande que le dimensionnement des tranches soit corrélé aux écarts de revenus entre les abonnés. Plus les écarts de revenus sont importants, plus il doit y avoir de tranches : c'est l'effet d'accumulation aux seuils.

En Afrique, la tarification par tranche progressive est très répandue comme le montre l'Étude de la [Banque Mondiale \(2011\)](#). D'après la figure 4.2, on constate que plus de 66% des pays appliquent la tarification en bloc progressifs (Benin, Burkina Faso, Cameroun, Tchad, Congo, Cote d'Ivoire, Ghana, Nigeria, etc.).

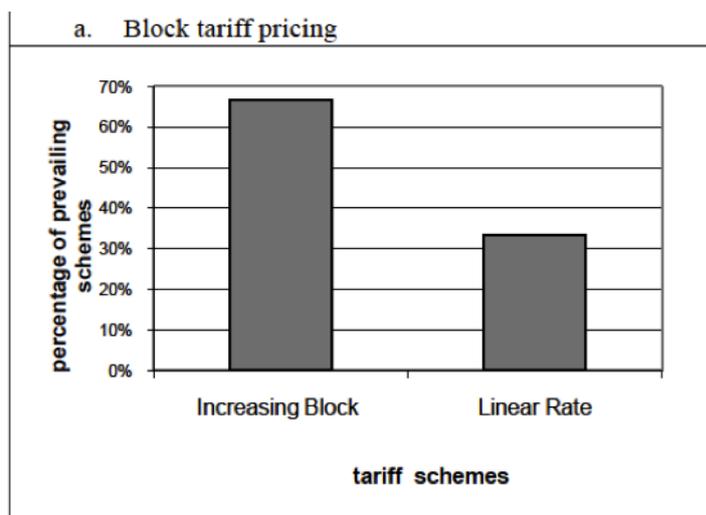


FIGURE 3.2: Type de facturation de l'électricité résidentielle en Afrique

Power Tariffs, WB-2011

La tarification par blocs est très prisée dans la mesure où elle permet de réserver une première tranche aux petits consommateurs. Cette tranche est communément appelée la consommation sociale dans la mesure où elle permet de garantir une consommation minimale à la population dont le pouvoir d'achat est très faible. Notons toutefois l'hétérogénéité de la première tranche selon les pays : Elle est de 20kWh/mois au Bénin, 40 kWh/mois en Côte d'Ivoire, 50 kWh/mois au Burkina Faso, Kenya et Ethiopie, 100 kWh en République Démocratique du Congo, 200 kWh au Mali et 300kWh en Zambie et au Ghana.

L'hétérogénéité des blocs entraînent de surcroît des coûts de revient de l'électricité aux consommateurs qui divergent. L'UPDEA qui est le syndicat africain des sociétés d'énergie électrique a réalisé en 2009 une étude comparative des tarifs d'électricité. L'étude qui est basée sur 24 sociétés d'électricité offre un

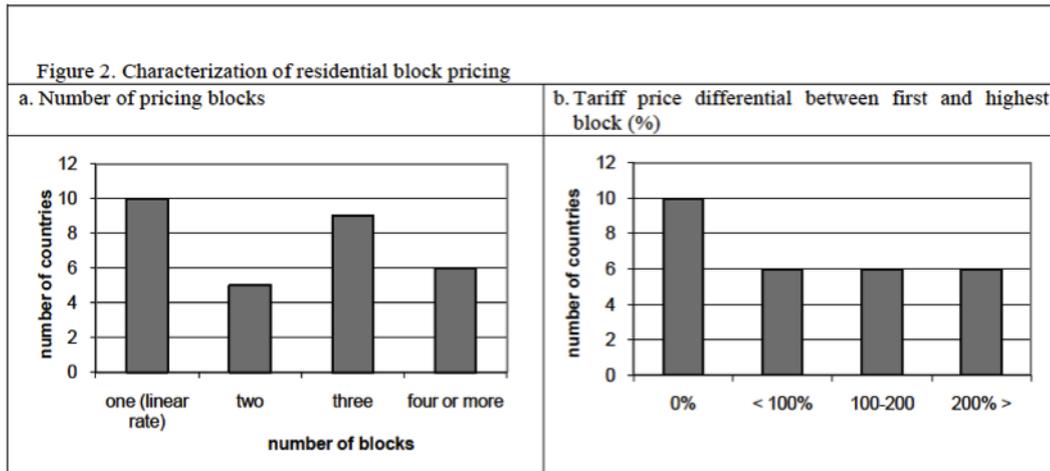


FIGURE 3.3: Type de facturation par blocs et écart tarifaire par bloc
Power Tariffs, WB-2011

benchmarking en six catégories de consommateurs : La Basse Tension (BT) sociale qui a une consommation inférieure à 100kWh/mois, la BT domestique monophasée qui a une consommation inférieure à 200kWh, la BT domestique triphasée qui a une consommation inférieure à 600 kWh/mois. En Afrique de l'Ouest, l'énergie est dans un ordre croissant la moins chère au Nigéria, au Ghana, en Côte d'Ivoire, au Togo et au Bénin¹¹. La figure 4.3 nous indique que la plupart des pays ayant de multiples blocs ont des politiques de prix divergentes entre les blocs. En effet, nous observons que 6 pays ont un prix qui ne double pas entre les tranches, et 12 autres pays ont des prix qui doublent au minimum entre deux tranches de consommation.

Toutefois, nombre d'études démontrent qu'il existe la plupart du temps un double système de facturation dans les pays en développement : Une facturation liée à un abonnement direct au réseau, et une facturation liée à un abonnement dit illégal lié à des extensions de lignes frauduleuses¹². Mimmi & Ecer (2010) ont réalisé une étude dans les favelas au Brésil sur le problème de branchement illégal. L'étude montre que les branchements illégaux sont une caractéristique des milieux sociaux les plus défavorisés. Cette étude confirme les conclusions de l'étude sur les compagnies d'électricité qui montre que l'électricité représente en moyenne 6% des dépenses des ménages. Ceci entraîne le plus souvent des difficultés aux ménages à régler leurs factures d'électricité pour jouir du service. Il se développe donc un système de fraude à l'accès et à la consommation (40%

11. pour une consommation de moins de 100kWh mensuel, le prix en cts USD est respectivement de 1.05, 6.51, 8.07, 13.50 et 14.40. Pour une consommation de 200kWh mensuel, le prix en cts USD s'élève respectivement à 3.12, 18.80, 7.80, 13.55 et 14.93 dans les pays cités ci dessus

12. Ce phénomène est très répandu au Bénin. Pour des raisons de coûts d'accès et de délais, plusieurs ménages n'arrivent à pas se faire brancher directement. Il se développe donc un système de branchement illégal qu'Alinsato (2010) qualifie de branchement collectifs. Plusieurs abonnés sont sur un même compteur principal entraînant au minimum une hausse de la consommation liée aux facteurs de charge et aux pertes en ligne

des personnes connectées ne payent pas régulièrement leur facture d'électricité). Une récente enquête (2015) de l'Institut de Statistique du Bénin révèle que les ménages qui disposent d'une connexion directe au réseau payent environ 17 USD¹³ contre 10 USD¹⁴ pour les ménages qui disposent de branchements illégaux. L'étude démontre aussi que la transparence dans le système de facturation est un élément déterminant dans le paiement des factures. En effet, malgré qu'il existe un dispositif d'information sur le mode de calcul des factures d'électricité, 2/3 des ménages affirment que l'énergie consommée leur est surfacturée.

Somme toute, il subsiste un défi pour les pays africains de continuer à promouvoir l'accès à l'énergie pour tous, en garantissant des tarifs socialement équitables et compétitifs au regard des coûts d'opération auxquels ils font face.

3.3 La consommation d'énergie électrique résidentielle au Bénin

3.3.1 L'organisation du sous secteur de l'électricité

Le secteur de l'électricité au Bénin est régi par la Société Béninoise d'Energie Electrique (SBEE) qui est un monopole verticalement intégré détenu par l'Etat. Son activité se décompose principalement entre la production (12%) et la distribution (88%). La faible part de la production s'explique par la création de la Communauté Electrique du Bénin (CEB), une institution bi étatique entre le Bénin et le Togo créée dans les années 1960 pour fédérer les capacités de production réduites des deux pays. Le Bénin est donc un importateur net d'énergie. En effet, la CEB qui est en charge de la production s'approvisionne dans les pays limitrophes (Ghana, Côte d'Ivoire, Nigeria) qui ont des capacités de production accrues. Cette coopération électrique sous régionale à été rendue possible grâce à l'existence du West African Power Pool (WAPP) créée sous l'impulsion de la Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) dans les années 2000.

Au niveau local, le secteur de l'électricité dépend du Ministère de l'Energie, de l'Eau et des Mines qui pilote la SBEE ainsi que :

- La Direction Générale de l'Energie (DGE) qui est en charge d'élaborer la politique et la stratégie du secteur ;
- L'Agence Béninoise de l'Electrification Rurale et de la Maitrise de l'Energie (ABERME) en charge d'exécuter la politique de l'Etat en matière d'extension du réseau dans les localités non desservies ;
- L'Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de la Maitrise de l'Energie (ANADER) en charge d'exécuter la politique de l'Etat pour la promotion des énergies nouvelles sur l'ensemble du territoire national ;

13. En considérant 1 USD=500 FCFA, soit 8 500 FCFA

14. soit 5 000 FCFA

- CONTRELEC qui est l'Agence en charge de la vérification des branchements électriques ;
- L'Autorité de Régulation (ARE) nouvellement créée qui a pour rôle de veiller aux problèmes tarifaires, de qualité des prestations et au respect des accords contractuels entre les opérateurs qui interviennent dans le secteur de l'électricité

3.3.2 La consommation d'électricité résidentielle

Au Bénin, seulement 38% de la population a accès à l'énergie électrique avec une moyenne de 53% en zone urbaine et 7% en zone rurale. La faible pénétration de l'électricité traduit une prépondérance des énergies fossiles et traditionnelles à savoir le bois énergie (78%), le pétrole lampant (20%) et le gaz (0,5%). La consommation d'énergie électrique au Bénin demeure très faible dans la consommation finale d'énergie, soit environ 2% dans la consommation totale d'énergie. Néanmoins, la consommation par tête d'habitant n'a cessé de croître au cours des vingt dernières années en passant de 35 kWh/hab à plus de 105 kWh/hab en 2013¹⁵. Elle a triplé en deux décennies. En conséquence, la consommation résidentielle représente plus de 50% de la consommation totale d'électricité ce qui témoigne de l'intérêt grandissant des ménages d'avoir accès aux services énergétiques modernes. La figure 4.4 décrit l'évolution de la consommation d'électricité par tête d'habitant de 1990 à 2015. L'allure croissante de la courbe décrit un intérêt majeur de la consommation d'électricité par habitant.

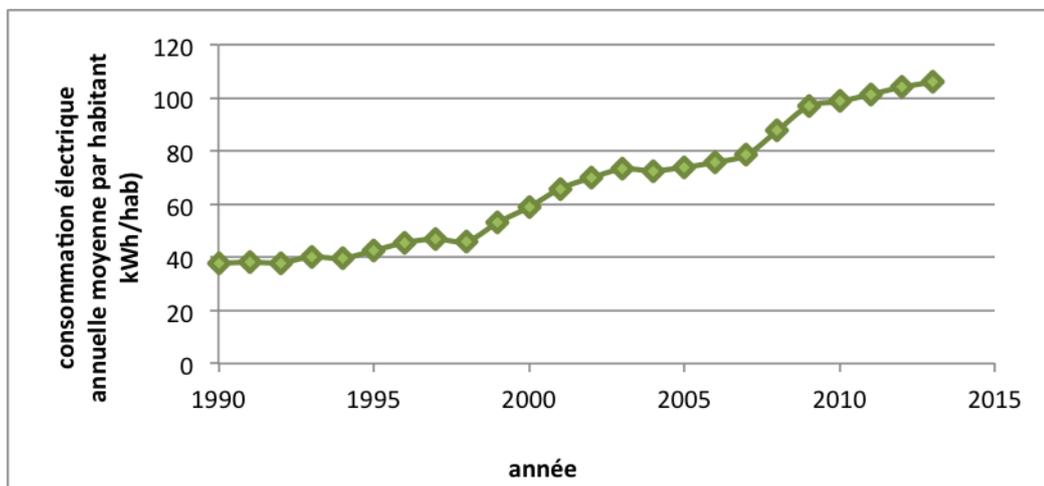


FIGURE 3.4: Evolution de la consommation d'énergie électrique résidentielle par habitant par an au Bénin
Ministère de l'Énergie, S.I.E, 2010

15. SIE,2010

Alinsato (2010) a montré qu'en zone urbaine au Bénin, plus de 90% des ménages utilisent l'énergie électrique pour les besoins d'éclairage ; la télévision, la radio et le ventilateur, entre 40% et 60% des ménages utilisent l'électricité pour le fer à repasser ; le réfrigérateur et le décodeur-TV et enfin moins de 20% d'entre eux utilisent l'électricité pour la climatisation et l'électroménager lourd.

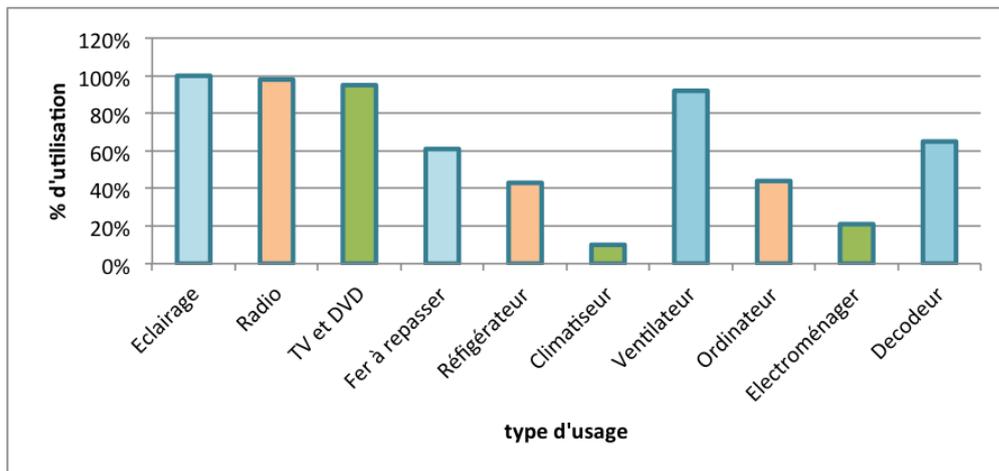


FIGURE 3.5: Classification de l'usage de l'électricité en zone urbaine au Bénin
C.A.E, 2011

Les figures 4.5 et 4.6 extraites de l'étude d'Alinsato nous permettent de classer les besoins en électricité résidentielle urbaine au Bénin en trois grandes catégories à savoir :

- les besoins de base : il s'agit de l'éclairage, de la télévision et de la radio
- les besoins de confort : il s'agit du fer à repasser, du réfrigérateur et du ventilateur
- les besoins de luxe : il s'agit de la climatisation et des appareils électroménagers.

Cette classification est conforme à l'étude de Lin & Sun (2013). Comme nous l'observons sur la figure 4.6, la consommation d'électricité est une fonction décroissante du type de besoin. Lin & Jiang (2012) ont montré qu'il y a une corrélation positive entre le niveau de revenu et la consommation d'électricité car les appareils énergivores (ceux qui répondent au besoin 3) sont utilisés par les classes de revenus élevés.

Actuellement, la plupart des clients résidentiels ont un système de facturation post payé. 89% des abonnés résidentiels de la SBEE sont facturés en post paiement contre 11% pour les prépaiements (INSAE, 2015).

3.3.3 Le système de tarification résidentielle

3.3.3.1 Les tranches de facturation

Comme indiqué précédemment, la tarification progressive à trois blocs est en vigueur au Bénin comme dans bon nombre de pays d'Afrique. Le prix du kWh est une fonction croissante du niveau de la consommation.

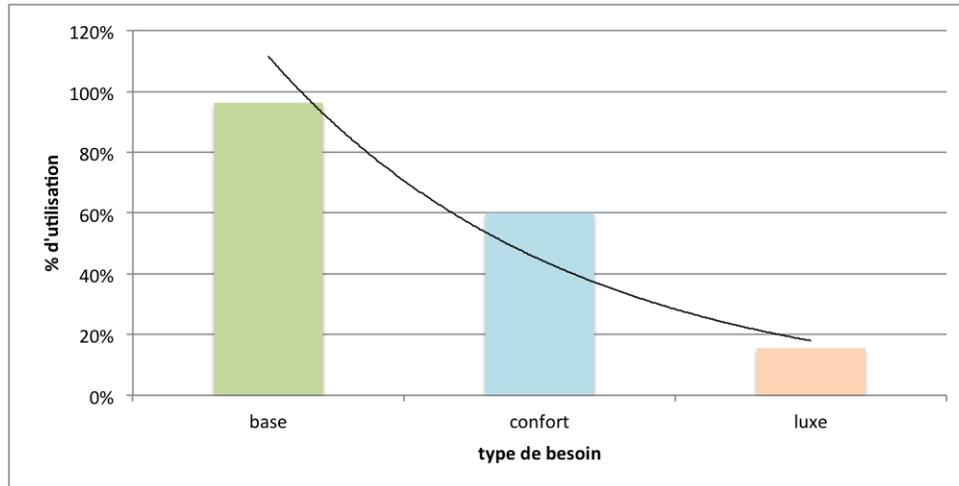


FIGURE 3.6: Classification de l'usage de l'électricité par type de besoin en zone urbaine au Bénin
C.A.E, 2011

D'après la figure 4.8, nous pouvons constater que :

- la tranche sociale couvre les consommations mensuelles inférieures à 20kWh (q_1). Cette tranche est subventionnée car les consommations ne sont pas assujetties à la TVA. Le kWh est facturé à 78 FCFA (p_1)¹⁶,
- la tranche 1 couvre les consommations mensuelles inférieures à 250kWh (q_2). Le kWh est facturé à 109 FCFA (p_2)¹⁷.
- La tranche 2 concerne les consommations mensuelles supérieures à 250 kWh. Ainsi, les 250 premiers kWh sont facturés à 109 FCFA (p_2) et le restant est facturé à 115 FCFA (p_3)¹⁸.

On remarque donc une augmentation de 47% entre les prix de la tranche sociale et de la tranche 1, et de 5% entre la tranche 1 et la tranche 2.

3.3.3.2 Les composantes d'une facture

Il est fourni au verso de chaque facture d'électricité les différentes informations pour comprendre la facturation assujettie. Ces éléments se décomposent comme ci-après :

- *le montant hors taxe de la consommation* : Il s'agit du produit du volume d'électricité consommé par le prix de la tranche correspondante.
- *la location et l'entretien du compteur* : Il s'agit d'une charge fixe qui dépend de la puissance du courant souscrit. Elle varie entre 500 FCFA (0.83cts USD) et 15 000 FCFA (25 USD) par mois.
- *la taxe sur l'électricité* : Elle est de 2% du montant hors taxe de la consommation

16. 13cts USD

17. 20cts USD

18. 21cts USD

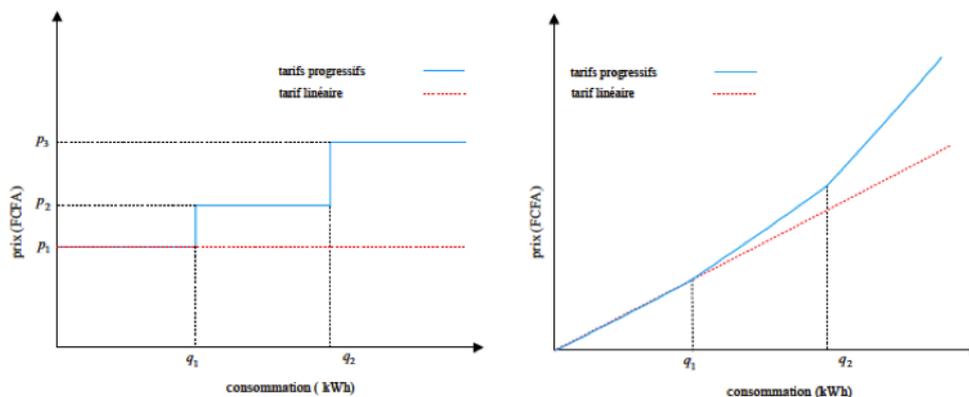


FIGURE 3.7: Tarification IBT-3 en vigueur au Bénin
notre étude

- *la taxe pour l'électrification rurale* : Elle est de 3% du montant hors taxe de la consommation. Elle alimente le fonds d'électrification rurale.
- *la taxe sur la valeur ajoutée* : Elle est de 18% de la facturation totale.

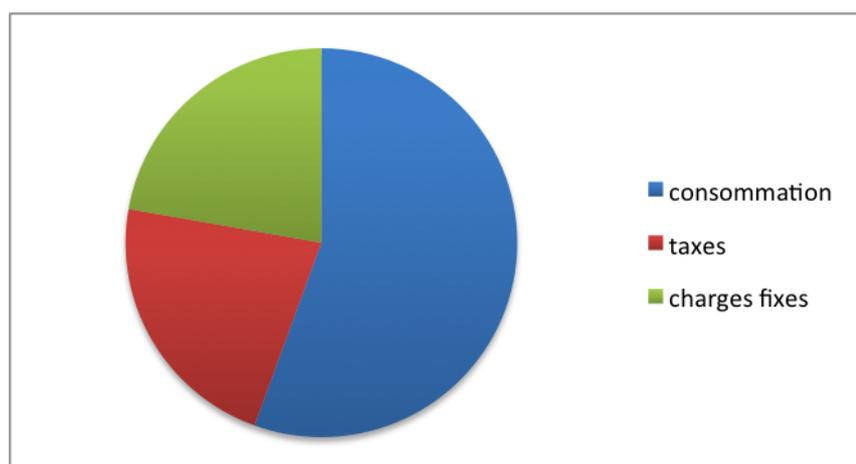


FIGURE 3.8: Diagramme de la décomposition d'une facture d'électricité
notre étude

La figure 4.9 représente le diagramme agrégé de ces différents postes qui se résument en trois catégories à savoir : les charges fixes, les taxes et la consommation ¹⁹

3.4 Problématique de l'étude, méthodologie et analyse des données

Le secteur de l'électricité au Bénin est affecté par des crises de continuité dans l'approvisionnement de l'énergie. [Alinsato \(2011\)](#) a montré que 58% des

19. Par la suite, nous fusionnerons les deux taxes en une seule variable

ménages se déclarent moyennement satisfaits par la qualité de l'énergie électrique contre 37% qui déclarent que l'énergie est de très mauvaise qualité. Seuls 5% se déclarent satisfaits par la qualité de l'énergie fournie. De même, les délais de raccordement sont longs et onéreux. L'enquête montre que le délai moyen de raccordement est de 32 semaines sur le territoire national ; 14 semaines pour l'obtention d'un devis et de 18 semaines pour le raccordement effectif. Ces délais longs jumelés au coût de la connexion environ 119 000 FCFA²⁰ peuvent justifier la prolifération des branchements indirects dans les zones périurbaines et rurales. En effet, l'étude révèle que la connexion indirecte dure en moyenne 16 semaines, soit deux fois moins qu'un branchement ordinaire. Ces procédures et délais sont donc très loin de la législation en vigueur qui fixe à quatre semaines maximum le raccordement à l'abonné qui a déjà effectué le paiement.

L'Afrique est la région du monde où les tarifs d'électricité sont des plus élevés (*Power Tariffs – WB, 2011*). Ces coûts dépendent souvent de la technologie déployée et de la performance du secteur. Au Bénin, les études ont révélé que plusieurs abonnés se plaignent du coût de l'énergie effectivement consommée qui serait de 1,8 fois plus chère (*INSAE, 2015*).

Ces travaux reposent donc sur une problématique qui vise à murir plusieurs réflexions. Tout d'abord, il s'agit de comprendre le principe de tarification résidentielle qui représente la part la plus importante de la demande en énergie. Pour cela nous avons défini des indicateurs que nous avons analysé par factures. Ensuite, nos travaux visent à analyser les biais et asymétries d'informations liées au système de tarification dans la mesure où plusieurs plaintes sont reportées aussi bien par les consommateurs que par le rapport de l'INSAE cité ci dessus. Enfin, il s'agit pour nous de proposer des alternatives de tarification sur la base des modèles les plus répandus dans le monde.

Le présent papier vient donc renforcer les rares études qui existent dans le sous secteur de l'énergie électrique au Bénin. En effet, il s'agira d'analyser un ensemble de factures d'électricité résidentielle post-payée dans les principaux centres urbains du Bénin. En déterminant les coûts de revient de l'énergie électrique, nous simulons des formes de tarification alternatives afin de mesurer l'impact sur l'indicateur prix.

3.4.1 Données et méthodologie

Les données de notre étude sont extraites d'une enquête réalisée par le Ministère de l'Energie²¹. Elles concernent une enquête auprès de ménages et d'utilisateurs professionnels d'abonnés électriques en zone urbaines qui sont connectés en tarifs basse tension²² post-paiement²³ auprès de la SBEE. Les données

20. 199 USD

21. Tarification des compteurs post payés de la SBEE en zone urbaine, Sinsin & Al - DPP/MERPMEDER (2012)

22. la Basse Tension concerne les compteurs monophasés et triphasés de 220V à 380V

23. Le post paiement fait référence à une tarification mensuelle issue d'un relevé du compteur mécanique chez l'abonné

couvrent la période d'août 2011 à novembre 2012. Nous nous focaliserons uniquement sur les clients résidentiels dans le cadre de notre étude dans la mesure où l'intérêt de notre étude ne concerne que les abonnés de type ménages.

Les données résidentielles recueillies et disponibles concernent les 2 communes les plus densément peuplées du Bénin : Cotonou²⁴ et Abomey-Calavi²⁵ qu'on peut observer sur la figure 4.10. Selon l'INSAE, le taux d'accès à l'énergie électrique est supérieur à 70% dans chacune de ces localités. Elles sont donc représentatives des zones les plus connectées du pays.

Notre panel d'études se compose de 180 ménages répartis comme ci-après : 91 ménages (50,55%) pour Cotonou et 89 (49,45%) pour Calavi. Tous les abonnés possèdent un compteur conventionnel et ont reçu continuellement leur facture d'électricité sur la période.



FIGURE 3.9: Localisation géographique des zones d'études
Google Maps, notre étude

Le tableau 3.1 décrit l'ensemble des variables descriptives de l'étude. Nous constatons sur notre échantillon que la consommation d'énergie électrique varie de 0 kWh à 1653 kWh par mois sur la période. Avec une moyenne de 76,56 kWh par mois, nous sommes largement au dessus de la consommation électrique moyenne par habitant par an (110 kWh) ce qui se traduit par l'exclusivité des profils urbains de l'étude²⁶ Cet écart traduit le poids significatif des populations non desservies par l'énergie électrique. Avec une médiane à 43 kWh, 50% des petits consommateurs sont très éloignés du seuil de la tranche sociale qui est de 20 kWh. Toutefois, l'écart type important souligne à quel point la dispersion est élevée. Cette dispersion traduit l'hétérogénéité des profils de consommation que nous avons étudié ci dessus. En effet, environ 90% des consommateurs

24. il s'agit de la capitale économique du Bénin

25. la zone périurbaine

26. L'étude de l'INSAE (2015) souligne qu'en moyenne les ménages consomment en 84 kWh par mois. La moyenne de notre échantillon est d'environ 9% inférieure à celle de l'étude de l'INSAE. Cette consommation moyenne de 84 kWh varie de 87 kWh en zone urbaine à 76 kWh en zone rurale. En moyenne, la consommation urbaine est donc 12,64% supérieure à la consommation rurale au Bénin.

d'électricité ont un usage dédié à l'éclairage, la télévision et la radio, 40% à 60% utilisent de la domotique telle que le réfrigérateur voire le fer à repasser en complément et moins de 20% ont des services énergivores et luxueux tels que la climatisation ou le confort (machine à laver, etc.)

S'agissant des charges fixes, elles varient entre 500 FCFA ²⁷ et 15 000 FCFA ²⁸. Rappelons que la charge fixe est fonction de la puissance du compteur souscrit. Pour le plus petit besoin, un compteur monophasé de 5A est fourni à un prix de 500 FCFA. Le prix maximum de 15 000 FCFA concerne un consommateur de type triphasé pour faire face aux besoins énergivores (de type 2 et 3 cité plus haut). La moyenne est de 931 FCFA de charges fixes. Dans notre échantillon, plus de 70% des abonnés ont des compteurs de 5 A installés.

Les taxes représentent le cumul de la taxe d'électrification rurale (3%) et de taxe sur l'électricité (2%), soit 5% du montant de la consommation hors taxes. La taxe est donc proportionnelle au niveau de la consommation. Sur notre échantillon, elle varie de 0 FCFA (prélèvement nul) à 34 127 FCFA. Avec une moyenne de 1607,28 FCFA prélevé, elle est doublement supérieure aux frais fixes. Concernant la TVA qui est de 18%, nous ne l'avons pas associé aux taxes dans la mesure où son abbatement est spécifique. En effet, elle n'est pas assujettie à la consommation de la tranche sociale (inférieure à 20 kWh). Mais elle est néanmoins assujettie aux frais fixes de ces mêmes consommateurs. Ceci explique qu'à minima, tous les consommateurs payeront un montant minimum incompressible de TVA de 590 FCFA.

Enfin, s'agissant du montant réellement payé par l'abonné (montant TTC), l'électricité consommée mensuellement coûte entre 590 FCFA et 233 152 FCFA sur notre échantillon. La moyenne des factures est de 11 110 FCFA. Elle est quasiment équivalente aux résultats de l'INSAE(2015) ²⁹ qui trouve une moyenne de 10 912 FCFA payée par les ménages urbains. Selon le WDI(2015) , le revenu annuel par habitant avoisine 770 USD (462 000 FCFA) au Bénin, soit environ 38 500 FCFA par mois. On constate donc qu'en moyenne, les ménages béninois dépensent environ 28,9% de leurs revenus pour faire face à leur dépenses d'énergie électrique. Selon les hypothèses de Hills (2012) , Moore (2012) , Wanko (2014) , on peut donc conclure que la plupart des ménages du Bénin sont en situation de précarité énergétique dans la mesure où ils dépensent plus de 10% de leur revenus pour les dépenses d'énergie ³⁰.

De tout ce qui précède, nous en déduisons que :

$$q(t) = \begin{cases} p_0 * q & \text{si } q \leq 20 \\ p_1 * q & \text{si } 20 < q \leq 250 \\ 250 * p_1 + (q - 250) * p_2 & \text{si } q > 250 \end{cases}$$

27. soit environ 75cts USD

28. soit environ 25 USD

29. Dans le cas de cette même étude, la moyenne nationale est de 9 997 FCFA avec 10 912 FCFA payé par les ménages urbains contre 8 134 FCFA payé par les ménages ruraux

30. La précarité énergétique est un concept développé dans les années 90 à la suite du EHCS Energy Report et qui décrit comme critique le seuil de 10% des revenus des ménages alloués aux dépenses de l'énergie. Bien entendu cette définition a beaucoup évolué dans le temps

	conso	p.HT	charge fixe	taxes	TVA	p. TTC
<i>unités</i>	<i>kWh</i>	<i>FCFA</i>	<i>FCFA</i>	<i>FCFA</i>	<i>FCFA</i>	<i>FCFA</i>
obs	2880	2880	2880	2880	2880	2880
max	1653	188 595	15 000	4 714,88	34 127,10	233 151,85
min	0	0	500	0	590	590
moy	76,56	8 356,89	931,08	208,93	1 607,32	11 110,49
med	43	4 687	500	117,18	953,28	6 489,08
sd-type	111,12	12 437,97	1 389,14	310,95	2 363,01	16 013,27

TABLE 3.1: Statistiques descriptives des variables de l'étude

tel que p_0 est le prix de la première tranche, soit (78 FCFA³¹) pour toutes les consommations inférieures ou égales à 20 kWh par mois, p_1 est le prix de la tranche 1 (109 FCFA³²) pour toutes les consommations comprises entre 21 kWh et 250 kWh par mois; et enfin p_2 le prix de la tranche 2 pour toutes les consommations au-delà de 250 kWh par mois.

Partant du postulat que la facture payée par les ménages n'est aucunement liée à une anticipation de ces derniers sur un arbitrage coût/consommation, nous supposons donc que la facturation en post paiement révèle les véritables usages des consommateurs. Il nous revient donc de mettre en place des indicateurs de mesure fiables pour en étudier le prix moyen de revient de l'énergie électrique aussi bien par rapport au niveau de facturation que par rapport à la quantité d'énergie consommée. Notre indicateur prix de revient de l'électricité est donc une moyenne pondérée entre le montant de la facture payée (HT et TTC)³³

Dans la suite de l'analyse, nous excluons toutes les factures appartenant à la tranche de pénalité pour ne pas biaiser les résultats. De ce fait, nous ne simulerons que des niveaux de consommation différents de zéro. Nous proposons trois formes de tarification les plus répandus que sont la tarification de Ramsey qui est fonction du coût marginal et de l'élasticité de la demande au prix. Nos hypothèses sur le prix et l'élasticité sur les relevés historiques de tarifs en vigueur. S'agissant de la tarification de pointe, il s'agit de définir des niveaux de prix peak et hors peak. Pour cela, nous nous basons sur les études existantes qui sont suffisamment détaillées pour nous permettre de définir les volumes de consommations assujettis à chaque période. Enfin, pour la tarification progressive en quatre blocs, nous nous basons sur les quartiles des niveaux de consommation de l'étude référence. Chaque bloc correspond donc à un nouveau volume de tarification à simuler.

31. soit environ 13cts€

32. soit environ 17cts €

33. Les données ont été traitées grâce aux logiciels Excel, Stata et Matlab.

3.4.2 Analyse des données

Sur les 2880 factures analysées, on compte respectivement 838 factures appartenant à la première tranche (inférieure ou égale à 20kWh par mois), 1866 factures appartenant à la seconde tranche (entre 21 et 250 kWh) et 176 factures appartenant à la troisième tranche. Soit une répartition de 28,4%, 64,8% et 6,8% par tranche croissante. La densité la plus élevée couvre les besoins intermédiaires.

Lian & Jiang (2012) montrent que les tranches de consommation reflètent le niveau de revenu des ménages. Seulement 5% des individus ont des consommations supérieures à 250kWh. Ces résultats concordent avec ceux d'Alinsato qui indiquent que les besoins 1 concernent principalement les besoins d'éclairage et de télévision (tranche sociale), les besoins 2 couvrent les besoins 1 dans des proportions plus grandes ainsi que l'utilisation d'électro ménagers et enfin les besoins 3 concernent l'utilisation d'équipements énergivores tels que les climatiseurs, les machines à laver, etc. . . .

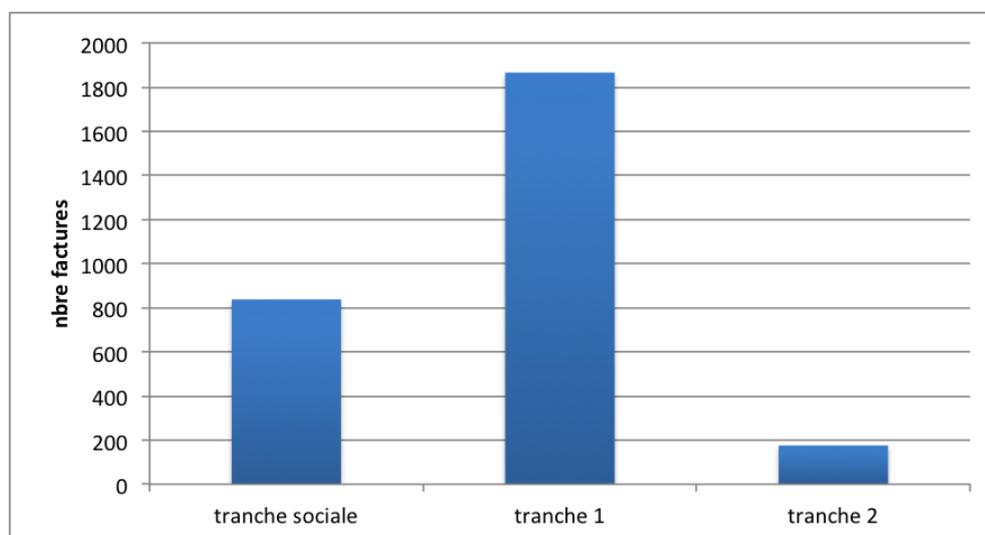


FIGURE 3.10: Répartition des factures par tranche
Notre étude

3.4.3 L'existence d'une tranche de pénalité

Dans les 838 factures représentant la tranche sociale, on constate que 456 factures d'électricité relevées sont nulles. Ceci représente une proportion d'environ 16% de l'échantillon et 54% de la tranche sociale. Cette proportion élevée des factures nulles des utilisateurs met en exergue plusieurs problèmes. Dans le cadre d'un système de paiement post payé, la facturation nulle de l'utilisateur est souvent synonyme d'un défaut dans le processus de relevé de compteurs. En effet, la non disponibilité de l'abonné, ou les erreurs de relevé conduisent le plus souvent la société d'électricité à transmettre des factures dites d'entretien. Ce processus biaise donc le principe de facturation par tranche. De plus, la facture de consommation nulle est assujettie à des charges fixes et taxes importantes pour les petits consommateurs. En effet, l'abonné supporte néanmoins

les charges fixes ainsi que la taxe sur la valeur ajoutée assujettie. De tout ce qui précède, nous considérons cette quatrième tranche significative comme une tranche de pénalité. Dans la mesure où cette facturation est similaire à une facturation incompressible à l'abonné. Si elle a le mérite pour le monopole de générer des recettes pour recouvrir des coûts d'exploitation dans le temps, elle dégrade néanmoins le surplus des usagers car biaise le principe même d'une tarification proportionnelle à la consommation.

3.4.4 Des prix de revient relativement élevés

Nous avons créé un indicateur de prix de revient pour comparer le coût de l'énergie réellement supporté par l'abonné. L'écart entre cet indicateur et les prix affichés permet de mesurer l'efficacité de la tarification ainsi que la part des charges fixes et taxes dans la composition du prix. Le tableau 3.4 fournit l'ensemble des statistiques descriptives de l'analyse.

Sur l'ensemble de l'échantillon, nous obtenons un prix moyen hors taxes de 104 FCFA contre 155 FCFA au prix toutes taxes comprises. L'écart entre les deux indicateurs représente la part des charges et taxes dans le prix final. En moyenne et la plupart du temps, les taxes et charges fixes représentent 49% du prix final de l'énergie.

Toutefois, l'écart type qui s'élève à 63,49 témoigne de la dispersion élevée du fait de l'hétérogénéité du coût de revient selon la tranche indexée. Par la suite, nous calculerons ces indicateurs en fonction de la tranche de consommation.

S'agissant de la tranche sociale, les prix de revient de l'électricité varient entre 111 FCFA et 1261 FCFA. La moyenne est de 191 FCFA. Le maximum observé de 1261 FCFA peut être considéré comme un point aberrant car il ne concerne qu'une seule facture sur tout l'échantillon. Pour les abonnés qui appartiennent à la tranche sociale, on constate un poids des charges fixes important sur le montant total payé. En effet, avec un prix hors taxes affiché de 78 FCFA, le prix moyen du kWh payé par l'abonné est doublement plus élevé.

Bien que la consommation de la tranche sociale ne soit pas assujettie à la TVA (18%), les charges fixes y afférant le sont ce qui entraîne une pénalité sociale. Les charges fixes représentent donc 22% à 85% de la facture finale de l'utilisateur. Lewis (1941) a démontré que les petits consommateurs sont souvent discriminés en étant assujettis à un niveau de charges fixes similaires aux gros consommateurs. Il propose l'exemption des charges des charges fixes aux petits consommateurs en leur proposant un prix légèrement supérieur pour y pallier.

S'agissant de la tranche 1 dont la consommation est comprise entre 21 et 250kWh par mois, nous avons trouvé que le prix de kWh varie entre 136 FCFA et 409 FCFA avec une moyenne de 149 FCFA. Contrairement à la tranche sociale, la distribution de la fonction du prix de revient est plus centrée. En effet, la tranche 1 concentre plus de 65% des factures analysées et est représentative de la majorité des abonnés. Dans cette tranche, l'écart avec le prix moyen se réduit

à 37%. La volatilité est moins importante que pour la tranche sociale dans la mesure où le poids des charges fixes est moins significatif.

Enfin, avec des consommations variant de 251 kWh à 1653kWh, la tranche 2 concentre les consommations les plus élevées. Nous trouvons un coût de revient du kWh compris entre 136 FCFA et 180 FCFA avec une moyenne de 142 FCFA. Ce coût de revient est bien inférieur à celui des deux autres tranches dans la mesure où le poids des charges fixes sur le volume de consommation est marginal. Soit un écart de 23% avec le prix de référence.

Le tableau 3.2 permet de comparer nos résultats à ceux de l'UPDEA. Nous constatons globalement que le prix de l'énergie déterminé au Bénin est largement supérieur à celui de l'étude de référence. De même l'énergie électrique au Bénin est globalement plus onéreuse quelque soit la tranche de consommation que dans les pays de la sous région.

En moyenne et la plupart du temps, moins on consomme de l'électricité et plus l'énergie payée est plus chère. La figure 3.11 nous montre que le prix du kWh au Bénin est une relation décroissante du niveau de consommation. [Whittington, Boland, and Foster, \(2002\)](#) montrent que les tarifications par blocs ont des effets inverses sur les populations les moins riches et sur les petits consommateurs. L'hypothèse controversée de la politique de tarification progressive est donc pleinement justifiée.

Dans la suite de l'étude, nous nous proposons donc de simuler des formes alternatives de tarification pour mesurer l'impact sur le prix de revient de l'énergie électrique. Chacune des tarifications alternatives simulées est une tarification plébiscitée dans la sous région ou dans le monde. Nous faisons donc de la situation par défaut (IBT-3) notre scénario référence afin de mesurer l'impact sur le prix de revient de l'énergie de même que sur la quantité d'énergie disponible au regard des nouveaux tarifs.

	Rapport UPDEA					(Notre étude)
	<i>Nigeria</i>	<i>Benin</i>	<i>Togo</i>	<i>Côte Ivoire</i>	<i>Ghana</i>	<i>Benin</i>
<i>Tarif social</i>	1,05	14,4	13,5	6,51	8,07	31,9
<i>100-200kWh</i>	3,12	14,93	13,55	18,8	7,8	24,85
<i>>200kWh</i>	3,12	14,93	14	20,6	10,32	23,79
<i>Tous les prix sont en cts USD avec l'hypothèse de 1 USD=600 FCFA</i>						

TABLE 3.2: Comparaison de nos résultats à ceux de l'UPDEA

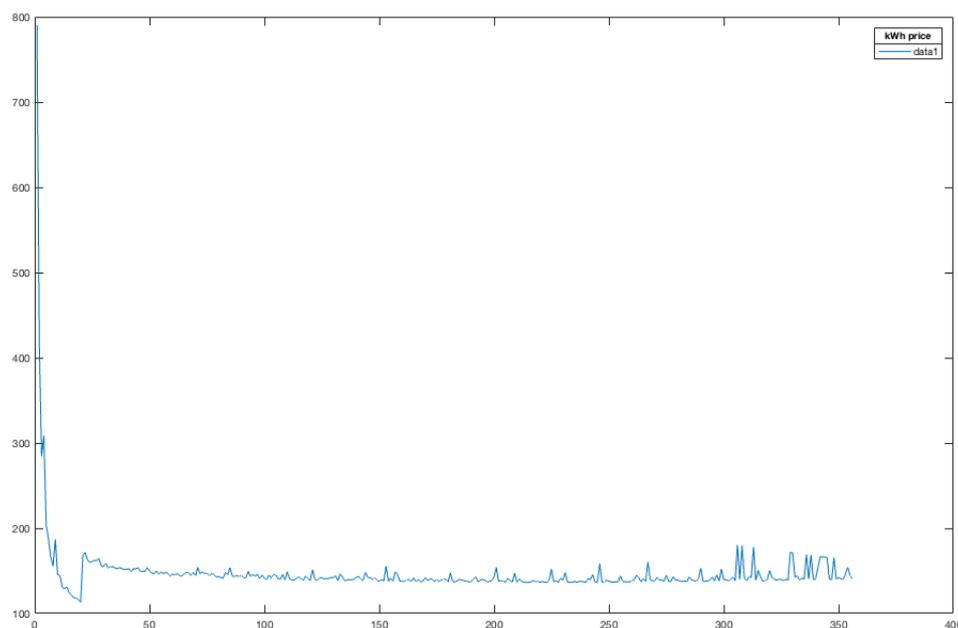


FIGURE 3.11: Fonction décroissante du prix de revient du kWh
Notre étude

3.5 L'impact des nouvelles tarifications

En l'absence d'un critère de distinction des revenus, l'agrégation des catégories sociales au sein de blocs où les règles de tarification sont identiques ne peuvent que provoquer des distorsions pour les ménages. En effet, le rapport de l'INSAE (2015) indique que plus de 66% des abonnés se plaignent de la surfacturation appliquée par rapport à leur niveau de consommation. En Afrique du Sud (Garmendia, 2011) et en Chine (Lin & Jiang, 2012), la tarification par tranches progressives est une fonction des revenus, de la région et de la saisonnalité. En conséquence, cette segmentation vise à renforcer l'efficacité de la politique de tarification dans la mesure où les tranches sont assujetties au regard du volume consommé et du revenu des ménages tout en tenant compte des coûts de production et des sources de production³⁴.

De plus, en l'absence de compteurs intelligents, il est impossible pour les consommateurs de se positionner efficacement dans les tranches ciblées. Les erreurs de facturation et de relevé décrites ci dessus biaisent le signal du prix transmis. Dans le cas de notre étude, on remarque l'existence de la tranche de pénalité contribue à réduire l'efficacité de la tarification croissante par blocs. L'analyse des prix de revient et des profils de consommation ci dessus montrent que les tranches de consommation, telles que profilées au Bénin ne sont pas efficaces en terme de discrimination par les prix dans la mesure où les abonnés n'ont pas la possibilité d'ajuster efficacement leur consommation. Ces résultats ne sont pas typiques au Bénin. Wanko (2014) explique l'effet de seuil comme une

34. ceci grâce à la saisonnalité des prix de l'énergie

limite du système de tarification en bloc croissant qui se justifie par la disparité de la population cible. [Crampes & Lauzachmeur \(2012\)](#) trouvent aussi que la tarification linéaire par bloc crée des discontinuités aux seuils de changement de prix. Ainsi, lorsque ces seuils sont trop bas, on exclut de facto la part des consommateurs dont la disposition à payer est différente de la tranche sociale. Il y a donc un risque de subvention croisée car ils bénéficient du tarif social. Autrement, si le seuil est trop élevé, le système ne peut s'équilibrer car la part des gros consommateurs est réduite. Les auteurs suggèrent donc d'augmenter le nombre de tranches et donc de seuils pour pouvoir réduire ces effets de seuil. [Ito \(2014\)](#) a démontré que les consommateurs réagissent aux prix moyens plutôt qu'au prix marginal.

Nous allons donc simuler par la suite différentes tarifications pour apprécier l'effet sur le prix moyen de l'énergie électrique facturé. Ceci nous permettra de comprendre l'impact sur le consommateur.

3.5.1 La tarification de Ramsey-Boiteux

Conformément aux hypothèses du Ramsey pricing sur la tarification de second rang, il est question ici de déterminer le prix optimal pour lequel l'écart entre le prix et le coût marginal est inversement proportionnel à l'élasticité de la demande. Dans notre cas, pour simplifier l'analyse, nous supposons ici que tous les consommateurs ont la même élasticité compte tenu du fait que le monopole ne dispose pas du tout des informations sur les revenus des ménages. Nous formulons donc l'hypothèse, que l'effet d'une modification des tarifs sur le niveau de consommation est homogène quelque soit l'abonné.

Cette tarification de second rang permet donc aux monopoles de réduire son déficit tout en maximisant le surplus collectif. D'après la littérature de référence, nous savons que la solution optimale aboutit à l'équation (3.2).

Les équations (3.3) à (3.8) permettent de déterminer le prix optimal issu d'une tarification de Ramsey Boiteux. Ce prix est fonction du coût marginal, de l'élasticité et de la constante du Lagrangien. Dans notre cas, nous calculons l'élasticité sur la base des données collectées par le WDI et le Ministère de l'Énergie. En effet, nous considérons l'élasticité sur la base de la consommation moyenne par tête d'habitant ainsi que du niveau moyen des prix observés³⁵. Il s'agit de justifier ceteris paribus la variation du niveau de consommation moyen de l'électricité par habitant par la variation relative du niveau moyen de prix ([Boyer & Al, 2003](#)). Nous trouvons donc que $\xi = -0,25$ sur les vingt dernières années. Économiquement, une variation de 1% du prix moyen entraîne une réduction moyenne de 25% de la consommation d'énergie par habitant. Le faible niveau d'élasticité confirme le fait que l'énergie électrique soit un bien peu substituable au niveau des ménages.

35. la série WDI est un tableur mondiale des données de la Banque Mondiale qui renseigne sur de nombreux agrégats macroéconomiques. Dans notre cas, nous avons exploité la variable codée **PA.NUS.PPPC.RF** pour le niveau moyen des prix. S'agissant de la consommation par tête d'habitants, nous avons utilisé la série de la Direction Générale de l'Énergie sur la consommation totale d'électricité (*MWh*1000*) que nous avons divisé par la population codée **SP.POP.TOTL** dans le WDI

Le multiplicateur de Lagrange, est une constante. Nous savons que plus il tend vers l'infini, plus on converge vers une rémunération du monopole privé. Inversement, plus il est proche de 0 et plus la tarification se rapproche de la tarification au coût marginal (monopole public) (Raineri & Giaconi, 2005 ; Matsukawa, 2006). Nous considérons donc dans notre analyse que $\lambda=0,1$ (très proche de zéro justifiant le monopole public).

Enfin, nous considérons que le coût marginal est égal à 78 FCFA, soit le prix de la tranche sociale. Cette hypothèse respecte le principe du droit d'accès minimum à l'électricité en respectant que le monopole facture l'énergie consommée à son coût marginal. De plus, le prix social, dans la tarification de référence n'est pas assujettie à la taxe sur la valeur ajoutée ce qui justifie qu'à ce prix, les recettes marginales égalisent le coût marginal.

La résolution numérique nous permet d'obtenir un prix optimal de la tarification de Ramsey-Boiteux de 142,7 FCFA. Nous arrondissons donc à 143 FCFA.

Resolution du prix de Ramsey

$$\frac{p - C_m}{p} = \frac{\lambda}{\lambda + 1} \left(\frac{1}{\xi} \right) \quad (3.2)$$

$$\frac{p - C_m}{p} = \frac{\lambda}{(\lambda + 1) * \xi} \quad (3.3)$$

$$\xi * (p - C_m)(1 + \lambda) = p * \lambda \quad (3.4)$$

$$p = \frac{\xi * (p - C_m)(1 + \lambda)}{\lambda} \quad (3.5)$$

$$\xi * p(1 + \lambda) - \xi(C_m)(1 + \lambda) = p * \lambda \quad (3.6)$$

$$p * (\xi(1 + \lambda) - \lambda) = \xi(C_m)(1 + \lambda) \quad (3.7)$$

$$p^* = \frac{\xi(C_m)(1 + \lambda)}{\xi(1 + \lambda) - \lambda} \quad (3.8)$$

ssi $\xi = |\xi|$ & $\xi^*(1 + \lambda) \neq \lambda$

L'écart de 65 FCFA entre le coût marginal de référence et le prix de Ramsey calculé représente donc les coûts et charges supportés par le monopole pour faire face à son fonctionnement. A ce niveau de prix, le monopole est sûr de ne pas faire de pertes tout en récupérant ses coûts d'opération. Car compte tenu du niveau d'inélasticité du prix fixé, les abonnés ne risquent pas d'agir sur leur niveau de consommation.

3.5.2 La tarification de pointe

Dans la tarification de pointe, nous supposons que le monopole est sous une contrainte de disponibilité de ses capacités de production. Le prix est fonction de la période de consommation³⁶ qui dépend du coût de la capacité disponible. Nous segmentons donc la journée en deux périodes qui représentent les périodes de consommation : la période hors pointe où l'électricité est facturée p_1 et la période de pointe où l'électricité est facturée p_2 . La tarification de pointe vise donc les consommateurs à être efficaces car l'énergie appelée en période de pointe coûte plus chère à générer. Compte tenu de la distorsion du prix, il s'agit donc pour un consommateur d'être moins énergivore en période de pointe car l'énergie lui sera facturée à un prix plus élevé.

Pour concevoir les deux périodes de consommation, nous nous appuyons sur les travaux de [Alinsato \(2011\)](#) qui a réalisé une étude sur la tarification de pointe au Bénin. En effet, il en ressort une fenêtre de 06h à 08h (le matin)³⁷ et une seconde fenêtre de 18h à 22h (le soir)³⁸.

On en déduit donc que : $q_2 = 6$ et $q_1 = 18$. Soit, 25% de la tarification journalière est de l'ordre d'une consommation en pointe contre 75% hors pointe. Nous supposons ainsi que le profil de la consommation des abonnés est homogène et linéaire quelque soit la période et ne varie donc que par leur volume consommé. Nous maintenons les prix de référence pour les tranches 1 et 2 dans la mesure où ils sont supérieurs aux coûts marginaux donc censés captés un surplus net pour le monopole. Soit $p_1 = 109$ et $p_2 = 115$.

S'agissant du prix, nous supposons que $p(2)=115$ et $p(1)=109$. L'idée est de maintenir les prix des tarifs du réseau pour les blocs 1 et 2 de référence. Nous résumons donc la tarification de pointe au système d'équation ci-après :

$$\begin{cases} T_1 = p_1 * q_1 \\ T_2 = p_2 * q_2 \end{cases} \quad (3.9)$$

Partant de ce postulat, nous avons donc déterminé les nouvelles facturations relatives à cette tarification. Ainsi, nous pouvons donc déterminer les prix de revient par rapport au niveau de consommation. Les résultats figurent dans la partie suivante.

36. Time Of Usage

37. car les abonnés se réveillent, et se préparent à leurs obligations en sollicitant l'énergie électrique (éclairage, radio, TV, fer à repasser, etc..)

38. car les abonnés rentrent du boulot et s'adonnent à leurs loisirs à domicile

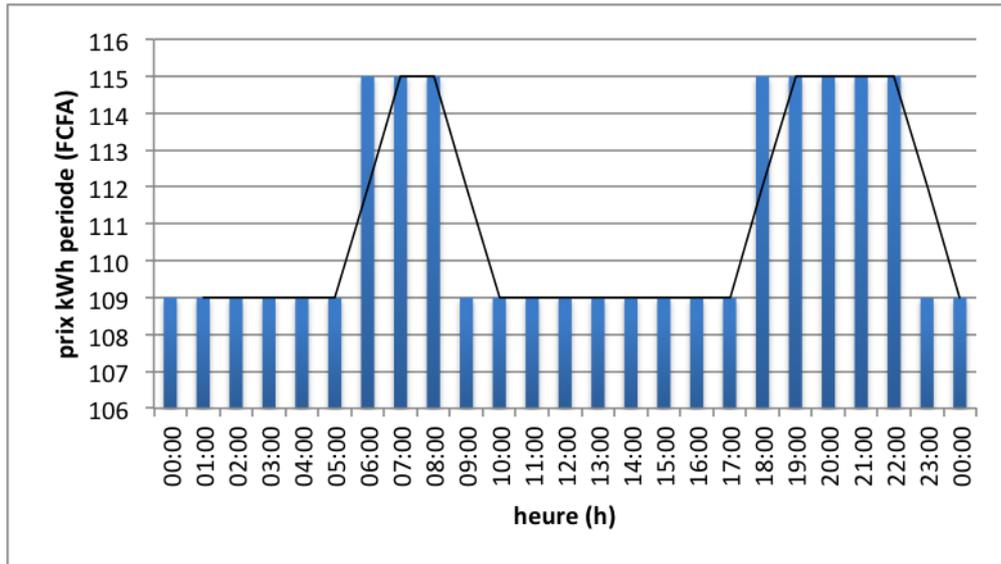


FIGURE 3.12: Trend journalier de la consommation d'électricité
Notre étude

3.5.3 La tarification progressive à 4 tranches

Il s'agit de notre dernière forme de tarification simulée. Conformément aux recommandations de [Crampes & Lauzachmeur \(2012\)](#), [Wanko \(2014\)](#) ; plus le nombre de paliers augmente, plus on se rapproche de l'optimum social. A l'image des systèmes en vigueur en Californie (Southern Californian Edison) et en Afrique du Sud (Eskom), nous estimons l'impact d'une tarification à quatre tranches au Bénin. Pour le dimensionnement des blocs, nous supposons chaque classe est délimitée par les quartiles de notre échantillon. Nous avons dimensionné nos blocs sur la base des quartiles de notre échantillon. Il s'agit donc de segmenter nos 2880 factures en 4 grandes catégories qui représentent équitablement les 25%, 50%, 75% et 100% des volumes de consommation. En conséquence, le premier quart représenterait les plus petits consommateurs, c'est à dire, l'ensemble des abonnés dont la consommation est comprise entre 1 kWh et le seuil du premier quart ; et ainsi de suite. En décomposant donc notre échantillon de cette façon, nous obtenons comme seuils de quartile les niveaux de consommation respectifs de 27kWh , 54 kWh et 108 kWh par mois.

Il revient donc d'observer que dans la tarification IBT-4 simulée, les plus petits consommateurs ont une consommation comprise entre 1 kWh et 27 kWh. Cette première tranche représente dans notre cas la nouvelle consommation sociale. Ensuite, le second quart concentre les abonnés ayant une consommation comprise entre 28 kWh et 54 kWh. Cette tranche est bien plus compressée que la tranche 1 de l'IBT-3 qui couvrait des niveaux de consommation compris entre 21 kWh et 250 kWh. Ensuite, la troisième tranche couvre les niveaux de consommation compris entre 54 kWh et 108 kWh. Et enfin, les très grands consommateurs dont le niveau de consommation est supérieur à 109 kWh.

En somme, on constate que l'IBT-4 compresse les seuils de consommation comparativement au scénario de référence. Néanmoins, comparativement à la tarification de référence, nous constatons une progression de la consommation

de la tranche sociale de 7 kWh, soit 35% (en passant de 20 à 27 kWh) pour un tarif de 78 FCFA ; une forte réduction de 78% du seuil de la seconde tranche de 250 à 54 kWh, la troisième tranche qui encadre les consommations de 54 à 108 kWh mensuelles pour un prix de 115 FCFA ; et enfin la quatrième tranche pour toutes les consommations excédant 108kWh pour un prix estimé au double de la tarification sociale. Soit $p(4)=156$ FCFA . La nouvelle tarification se dessine comme observé sur la figure 3.13

Contrairement à la tarification de référence, l'IBT-4 nous permettra clairement de mesurer l'impact d'une de blocs supplémentaires avec des paliers différents de ceux du scénario de référence.

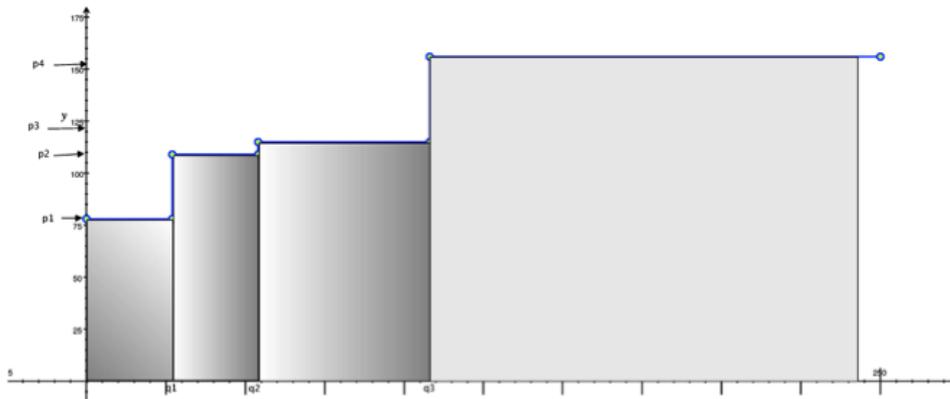


FIGURE 3.13: IBT-4
Notre étude

3.6 Analyse des résultats

Type	facture moyenne (FCFA)	kWh moyen (FCFA)	écart type	surplus social (FCFA)
<i>IBT-3</i> (référence)	13 147,75	155,29	59,57	-
<i>peak load</i>	13 426,09	161,92	61,94	(278,34)
<i>Ramsey</i>	16 975,93	199,89	61,06	(3 828,17)
<i>IBT-4</i>	14 901,69	155,67	59,24	(1 753,94)

TABLE 3.3: Tableau récapitulatif des résultats des simulations

Le tableau 3.3 synthétise l'ensemble des résultats des différents régimes de tarification. D'abord nous constatons en moyenne et la plupart du temps ; les nouvelles formes de tarification sont plus élevées que la tarification de référence pour un même niveau de consommation d'énergie électrique. En effet, la facture moyenne est respectivement plus élevée de 2,12%, 29,12% et 13,34% lorsque l'énergie est facturée selon une tarification de pointe, de Ramsey ou en tranche progressive de 4 tranches sur tout l'ensemble de l'échantillon. Cette augmentation de la facture se répercute de fait sur le prix moyen du kWh. En

conséquence, tous les prix simulés du kWh moyen sont globalement plus élevés que celui du scénario de référence. L'écart de prix est le plus faible pour la tarification progressive à 4 tranches (+0,25%), suivi de la tarification en pointe (+2,12%) et enfin la tarification de Ramsey (+29,12%). En effet, la distorsion de Ramsey est la plus élevée dans la mesure où le monopole récupère tous ces coûts de fonctionnement par rapport au prix marginal. De ce fait, la déviation de prix est la plus importante et réduit de fait le surplus du consommateur car le monopole maximise son utilité. S'agissant de la tarification de pointe, son effet est relativement faible dans la mesure où très peu de consommation sont vraiment affectées par le fait que les niveaux de consommation assujettis sont relativement faibles. Enfin, la tarification à 4 blocs progressifs est celle dont l'effet prix est la plus faible car dans le redimensionnement des blocs, nous n'avons changé que le prix de la dernière tranche.

Nous avons par la suite calculé le surplus social lié à l'écart entre les prix simulés et le prix de référence. Le surplus social a été mesuré en comparant l'écart moyen payé par le consommateur entre la tarification de référence (IBT-3) et les autres régimes simulés. Le surplus total est calculé comme la différence entre le prix moyen final et le prix de référence. S'il est positif, nous supposons qu'il est au bénéfice du consommateur dans la mesure où l'énergie consommée sera en moyenne moins chère que la tarification de référence. A contrario, le surplus sera au profit du producteur qui percevra ce transfert monétaire à quantité consommée constante. De façon globale, nous constatons donc que les surplus sociaux sont à l'actif du monopole et non des consommateurs. Ceci s'explique par le fait que l'énergie coûte globalement plus cher dans les différentes tarifications simulées. Le surplus du producteur est maximal dans la tarification de Ramsey (3828 FCFA en moyenne) et minimal dans la tarification de pointe (278,34 FCFA). Toutes choses étant, les écarts-type qui sont compris entre 59,24 et 61,94 montrent l'hétérogénéité des niveaux de consommation.

La figure 3.14 nous montre les résultats des différentes simulations de tarification décrites précédemment (tarification de Ramsey, tarification de pointe et IBT-4) par rapport à la tarification de référence. Il s'agit des fonctions de prix de revient de l'électricité par rapport à la quantité consommée pour chacune des tarifications simulées. Nous observons sur les quatre courbes que celles des coûts moyens des tarifications progressives à quatre tranches ainsi que celle de Ramsey sont supérieures à celles de la tarification de pointe et de la référence.

L'analyse du graphique décrit trois étapes de l'évolution de la tarification. Tout d'abord nous constatons que pour les petits consommateurs (dont la consommation est inférieure à 30 kWh), la fonction de coût de revient de l'énergie est globalement décroissante au regard de la consommation. Ce phénomène traduit simplement le poids des charges fixes dans la facturation des petits consommateurs.

La figure 3.15 montre de façon détaillée les courbes des quatre tarifications sur les trente premiers kWh consommés. En suivant le principe de l'équité, nous constatons que la tarification progressive à 4 tranches est celle qui converge vers le coût de revient le plus abordable aux abonnés. Compte tenu des charges fixes

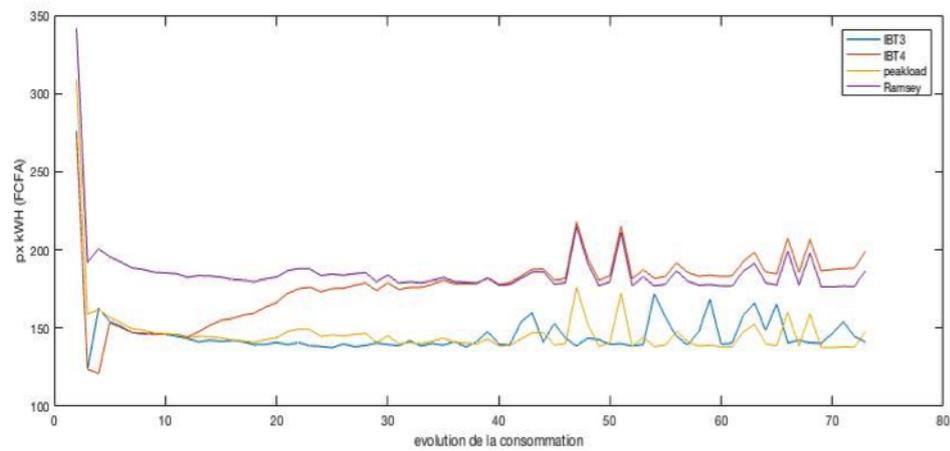


FIGURE 3.14: Simulation des 4 tarifications sur la consommation
Notre étude

qui permettent au monopole public de recouvrer ses coûts mais qui pénalisent les petits consommateurs, la tarification progressive à quatre tranches paraît donc la tarification la plus acceptable. En effet, elle permet de réduire à environ 17% la part des charges fixes sur le prix final du monopole. Cette réduction peut être perçue comme une perte pour le monopole, elle permet néanmoins de respecter le principe d'équité. Rappelons que l'impact de la tarification de pointe est marginale pour les petits consommateurs compte tenu des volumes d'énergie consommée. En effet, la tarification de pointe n'est efficace que dans la mesure où l'utilisateur peut choisir des profils de consommation pour réduire ses dépenses. Or, dans le cas des consommations moyennes inférieures à 30 kWh (soit 1 kWh par jour), l'effet de la variation du prix est quasi nul au regard du volume consommé.

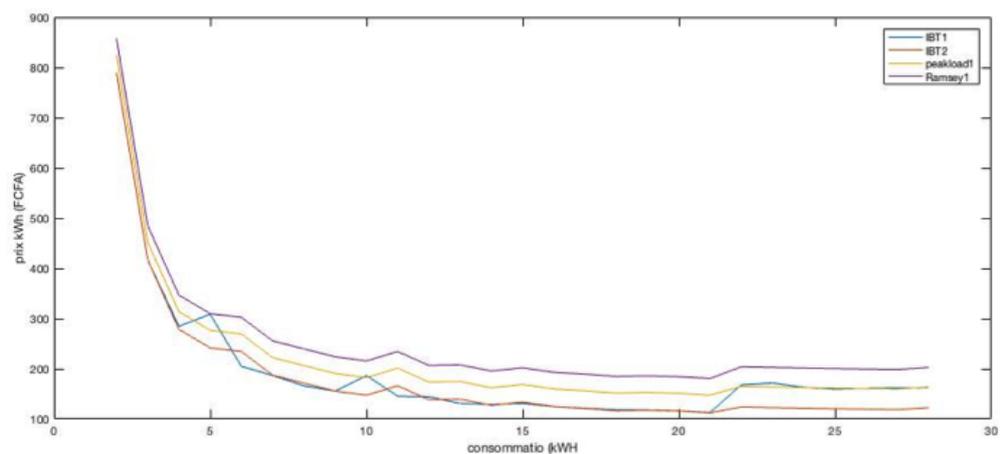


FIGURE 3.15: Zoom sur les 30 premiers kWh
Notre étude

S'agissant des consommations intermédiaires (entre 30 kWh et 200 kWh par mois), nous constatons que le coût de revient de l'énergie est globalement une

fonction croissante de la quantité d'électricité consommée. Les nouvelles formes de tarification réduisent donc l'effet du prix moyen décroissant observé dans le cas de la tarification de référence. Les courbes de la tarification de pointe et de la tarification de référence semblent très rapprochées. Ceci montre que pour les consommations intermédiaires, l'impact d'une tarification de pointe n'impacte pas de façon significative non plus le prix de l'énergie. Les effets les plus importants sont observés pour la tarification progressive à quatre tranches ainsi que la tarification de Ramsey. L'effet progressif de la tarification progressive à quatre tranches traduit le changement de bloc et est donc conforme au principe du « consommateur, payeur ». Les deux courbes convergent autour de 200 kWh de consommation moyenne.

Enfin, pour les gros consommateurs (dont la consommation excède 200 kWh par mois), les surplus du monopole sont les plus élevés pour la tarification de Ramsey et de bloc en quatre tranches. La tarification de pointe est décroissante donc jugée inefficace car elle ne permet pas de suivre le signal prix pour les gros consommateurs. De plus, elle est globalement inférieure à la tarification de référence. Suivant cette tendance, cette tarification est donc inefficace dans la mesure où l'hypothèse était d'améliorer le surplus collectif. Cette inefficacité de la tarification de pointe peut s'expliquer par l'écart de prix faible pour les périodes de pointe et hors pointe³⁹. Le monopole perd donc des gains pour des consommateurs qui en moyenne sont censés être plus sensibles aux prix les plus élevés. Si le monopole doit maximiser son surplus, alors il choisira soit la tarification progressive à quatre tranches ou la tarification de Ramsey.

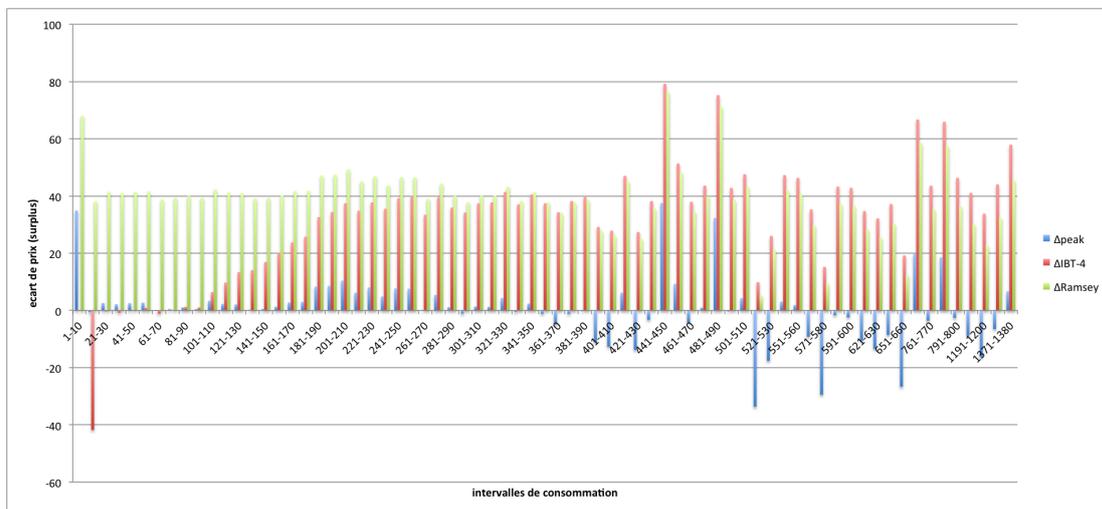


FIGURE 3.16: Comparaison des surplus selon le type de facturation
Notre étude

La figure 3.16 permet de comparer les variations de prix selon la tarification adoptée. Chaque variation est calculée en fonction de l'écart entre la nouvelle tarification et l'IBT-3. Les mesures par intervalle de consommation permettent d'avoir une vue affinée au delà des blocs. Ainsi, les écarts positifs induisent

39. En effet la variation entre les 2 prix n'est que de 6%

qu'à consommation constante, le kWh reviendrait plus cher au consommateur. Le surplus est donc au profit du monopole. A contrario, le kWh consommé reviendrait moins cher. Le surplus serait donc au profit du consommateur. Nous constatons donc que globalement, l'ensemble des simulations de tarification sont au profit du monopole. Seule la tarification de pointe avantage les gros consommation (au delà de 300 kWh) ce qui est contraire à l'intuition.

Pour les plus petits consommateurs, la solution optimale reviendrait à adopter une tarification à quatre tranches qui améliorerait le surplus total. En effet, les variations monétaires sont très faibles (quasi nulles) malgré une progression du volume de consommation (qui passe de 20kWh à 30kWh).

Pour les consommateurs intermédiaires, les effets sont multiples : si le monopole souhaite maximiser son surplus, les tarifications de Ramsey et l'IBT-4 seront adoptées. Toutefois, au regard de la différence des prix constatés, ces tarifications ne seront soutenables que si les consommateurs ciblés ont des élasticités au prix très faibles. A contrario, si la demande des consommateurs est très sensible au prix, alors la tarification de pointe est la plus efficace car la variation par rapport à la situation de référence est la plus faible.

Enfin, pour les gros consommateurs, le principe d'équité reviendrait à leur faire payer le coût de l'énergie le plus élevé. l'IBT-4 et la tarification de Ramsey sont donc les solutions idéales. Compte tenu de l'absence de subvention croisées⁴⁰, ils ne peuvent se comporter comme les petits consommateurs. La tarification de pointe serait perçue ici comme inefficace car elle améliore de façon significative le surplus du consommateur. C'est une perte nette pour le monopole dans la mesure où en tarification de pointe, les capacités de production sont les plus onéreuses. Cette perception ne conduit donc pas les consommateurs les plus énergivores à être efficaces.

3.7 Conclusion

La tarification progressive par blocs est très répandue en Afrique avec différents niveaux de seuil entre les blocs et les prix respectifs. Nous avons recensé de fortes divergences ainsi que des écarts significatifs entre les seuils des blocs et les prix assujettis. C'est la preuve que chaque pays fait face à des coûts de production et d'exploitation hétérogènes.

Au Bénin, plus de 80% des abonnés résidentiels optent pour une tarification en post paiement. Bon nombre d'études et de rapports témoignent des biais aussi bien dans le système de tarification que dans le prix de revient de l'énergie électrique.

Ce papier nous a permis d'évaluer le système de tarification résidentiel en vigueur au Bénin. Grâce à des factures d'électricité disponibles, nous avons pu déterminer les prix de revient de l'électricité par blocs. Notre analyse a

40. La subvention croisée implique que les gros consommateurs bénéficient des tarifs sociaux (Wanko, 2014, Crampes & Lauzachmeur, 2012). Or dans notre cas, le tarif social est uniquement réservé pour les consommations inférieures ou égales au pallier.

révéle un certain nombre de conclusions telles que l'inadéquation des tranches de facturation ainsi que des prix assujettis. De façon générale, nos résultats remettent en cause l'efficacité de la tarification post payée en vigueur dans la mesure où les volumes de consommation facturés ne reflètent pas forcément les niveaux réels des usagers.

Par la suite, nous avons simulé différentes formes de tarification largement discutées dans la littérature à savoir : la tarification de Ramsey, la tarification de pointe et la tarification progressive à 4 blocs. L'idée sous jacente est d'étudier aussi bien l'impact sur le niveau de prix payé par le consommateur, que sur la répartition du surplus (d'un point de vue monétaire) entre le consommateur et le monopole.

Nous avons donc trouvé que pour les très petits consommateurs, l'IBT-4 est la meilleure solution car elle permet aux consommateurs d'avoir un volume d'énergie plus important sans détériorer le surplus du monopole. S'agissant des consommateurs moyens, il n'y a pas de tarification dominante sur le plan collectif. Aussi, l'efficacité de la tarification adoptée dépend fortement de l'élasticité de la demande au prix. Si cette élasticité est très faible, alors l'IBT-4 et la tarification de Ramsey pourrait être adoptée dans la mesure où elles conduisent à un surplus net du monopole. A contrario, la tarification de pointe constitue la solution optimale. Enfin, pour les gros consommateurs, les résultats de la tarification de pointe sont contre intuitifs et conduisent à un signal prix erroné selon l'approche d'Ito (2014) au prix moyen.

Pour les plus petits consommateurs, la solution optimale reviendrait à adopter une tarification à quatre tranches qui améliorerait leur surplus. En effet, les variations monétaires sont très faibles (quasi nulles) malgré un accroissement du volume de consommation (qui passe de 20kWh à 27kWh).

Pour les consommateurs intermédiaires, les effets sont multiples : si le monopole souhaite maximiser son surplus, les tarifications de Ramsey et l'IBT-4 seront adoptées. Toutefois, au regard de la différence des prix constatés, ces tarifications ne seront soutenables que si les consommateurs ciblés ont des élasticités au prix très faibles. A contrario, si la demande des consommateurs est très sensible au prix, alors la tarification de pointe est la plus efficace car la variation par rapport à la situation de référence est la plus faible.

Enfin, pour les gros consommateurs, le principe d'équité reviendrait à leur faire payer le coût de l'énergie le plus élevé. l'IBT-4 et la tarification de Ramsey sont donc les solutions idéales. Compte tenu de l'absence de subvention croisées. Or dans notre cas, le tarif social est uniquement réservation pour les consommations inférieures ou égales au pallier. ils ne peuvent se comporter comme les petits consommateurs. La tarification de pointe serait perçue ici comme inefficace car elle améliore de façon significative le surplus du consommateur. C'est une perte nette pour le monopole dans la mesure où en tarification de pointe, les capacités de production sont les plus onéreuses. Cette perception ne conduit donc pas les consommateurs les plus énergivores à être efficaces.

Somme toute, nous constatons donc qu'il n'y a pas une forme de tarification strictement dominante. Bien que les nouvelles formes de tarification sont plus

onéreuses que la tarification de base, elles ont l'avantage de réduire les disparités entre les consommateurs et leur niveau de consommation. Nos résultats permettent d'améliorer la perception du prix du point de vue du consommateur. Ceci est donc de réduire les plaintes des consommateurs comme l'indique la dernière étude de l'INSAE.

Toutefois, la mise en place de ces nouvelles formes de tarification implique aussi l'amélioration des modes de relevé. La tarification du prépayé ou les compteurs intelligents sont des alternatives à explorer pour réduire les biais de relevé ainsi que les défauts de paiement.

3.8 Annexes

	Tranches	Conso	Prix HT	Frais fixes	TVA	Prix TTC	HT /kWh	TTC/kWh	
		<i>kWh</i>							
			<i>FCFA</i>						
<i>min</i>		1,00	78,00	500,00	90,00	671,90	78,00	111,40	
<i>max</i>	1-1653 kWh	1 653,00	188 595,00	15 000,00	34 127,10	233 151,85	114,09	1 261,90	
<i>med</i>		54,50	5 940,50	500,00	1 188,72	8 097,92	109,00	145,00	
<i>moy</i>		90,96	9 928,98	812,71	1 909,68	13 147,75	104,24	155,29	
<i>sd</i>		115,59	12 969,06	1 261,41	2 461,06	16 686,22	11,37	59,57	
<i>min</i>		1,00	78,00	500,00	90,00	671,90	78,00	111,40	
<i>max</i>	1-20kWh	20,00	1 560,00	3 000,00	540,00	4 277,10	78,00	1 261,90	
<i>med</i>		12,00	936,00	500,00	90,00	1 572,80	78,00	135,54	
<i>moy</i>		10,98	856,37	548,43	101,70	1 548,91	78,00	191,19	
<i>sd</i>		5,97	535,83	395,17	51,36	819,33	829,15	742,35	
<i>min</i>		21,00	2 277,00	500,00	499,86	3 390,71	109,00	136,44	
<i>max</i>	1-250kWh	250,00	27 250,00	6 500,00	5 957,28	40 383,08	109,00	402,25	
<i>med</i>		61,00	6 649,00	500,00	1 306,44	8 875,71	109,00	145,64	
<i>moy</i>		77,63	8 461,78	715,97	1 652,00	11 252,84	108,99	149,12	
<i>sd</i>		53,22	5 800,00	578,96	1 068,37	7 292,49	0,33	12,92	
<i>min</i>		252,00	27 480,00	500,00	5 057,10	34 531,85	109,50	136,49	
<i>max</i>	>250kWh	1 653,00	188 595,00	15 000,00	34 127,10	233 151,85	114,09	180,41	
<i>med</i>		339,50	37 542,00	1 000,00	6 951,60	47 474,53	110,61	139,37	
<i>moy</i>		455,89	45 176,32	2 411,93	6 585,89	58 412,95	110,80	142,72	
<i>sd</i>		197,42	22 703,33	3 930,42	4 382,77	29 854,06	1,22	9,17	

TABLE 3.4: Stats-descriptives par tranches de consommation

Chapitre 4

Mobile money, pay as you go et accès à l'énergie : L'expérience du Bénin

4.1 Introduction

La question de l'accès à l'énergie est un enjeu capital pour le développement du continent africain. L'Afrique subsaharienne compte 49 pays avec une population d'environ 975 millions d'habitants dont 63% vivent en zone rurale (Baurzhan & Jenkins, 2016). Plus de 70% de la population n'a pas accès immédiat à une énergie propre et durable, soit environ 700 million d'habitants. La part de la population non connectée est susceptible de croître au regard de l'évolution du taux d'accroissement naturel sur le continent (Williams & Al, 2015). La quasi totalité de cette population non connectée réside en Afrique subsaharienne où les infrastructures d'énergie électrique sont très précaires.

Pour pallier cette situation, des capacités d'une puissance cumulée de 100 GW à 120 GW sont prévues pour les années à venir, totalisant un besoin en financement de 160 à 215 milliards USD (Rosnes & Vennemo, 2012). La capacité financière à mobiliser des budgets aussi importants repose à la fois sur la viabilité technico-économique des sociétés d'électricité et sur la croissance économique mondiale pour l'afflux des capitaux étrangers. Ces investissements sont d'autant plus nécessaires que la consommation d'électricité ne cesse d'augmenter dans les pays en voie de développement. Malheureusement, la plupart des sociétés d'électricité qui sont des monopoles publics verticalement intégrés sont soit déficitaires ou présentent des résultats financiers qui ne sont pas propices à l'investissement (Fritsch, 2011).

Les populations rurales sont celles qui ont les revenus les faibles et qui paient néanmoins le plus cher la satisfaction de leur besoin en énergie : il s'agit de la Base de la Pyramide (Prahalad & Al, 2004; Hammond & Al, 2007; Andre, 2012). Il s'est donc développé depuis les années 90 une multitude de services énergétiques solaires connexes à ces populations au pouvoir d'achat très faible : les mini kits solaires, les stations de recharge, les centrales solaires, les centrales hybrides (Emili & Al, 2016). Tous ces systèmes ont pour point commun qu'ils ne nécessitent pas un raccordement au réseau et répondent à des besoins de base précis des consommateurs (éclairage, recharge de téléphone portable, radio et/ou télévision). Le déploiement de ces nouvelles formes d'énergie est un paradoxe à la vision monopolistique du secteur qui nécessite des investissements très importants. L'énergie de proximité apparaît donc une alternative à la fois rapide et fiable. Elle se heurte néanmoins aux capacités à payer des bénéficiaires dont les revenus sont bas et irréguliers.

Depuis, une dizaine d'années, le potentiel du mobile money¹ dans les pays en voie de développement est considérable d'autant plus qu'il contribue à accélérer la diffusion d'un certain nombre de services comme l'accès à l'énergie dans les zones les plus reculées. Les transactions financières mobiles sont un édifice incontournable de l'inclusion financière numérique. Un rapport de GSMA² (2015) indique que "l'argent mobile a le potentiel considérable d'offrir à des millions de personnes un accès à des services de paiement et de transfert et un moyen de conserver leur argent en sécurité, tout en établissant des rampes d'accès peu

1. ou argent mobile en français

2. GSMA représente le syndicat mondial des télécommunications regroupant la plupart des grands opérateurs téléphoniques de la planète

coûteuses vers une gamme plus large de services financiers.” Les défis du mobile money dans le secteur de l’énergie sont multiples. Ils permettent à la fois de lutter contre l’exclusion financière, dont la plupart des populations rurales de l’Afrique sont victimes, tout en apportant un certain nombre de services innovants et inédits au delà des barrières historiques.

Dans ce papier, nous étudions l’expérience de la première initiative du mobile money dédiée aux services de l’énergie au Bénin. Le Bénin est un pays francophone d’Afrique de l’Ouest situé dans le Golfe de Guinée. D’une superficie de 113 763 km², il est limité par le Burkina Faso et le Niger au Nord, à l’Ouest par le Togo, à l’Est par le Nigéria et au Sud par l’océan atlantique. Riche d’une population d’environ dix millions d’habitants³ dont plus de 60% vivent en milieu rural, le revenu par tête d’habitant est de 805 USD (WDI, 2013) faisant du Bénin un des pays les plus pauvres. L’économie qui très peu industrialisée est fortement dépendante des recettes portuaires et l’agriculture.

Au Bénin, le taux d’accès moyen à l’énergie électrique est de 38% et inégalement réparti selon les régions. Il atteint 58% dans les centres urbains et chute à moins de 10% dans les zones rurales. Cette lacune de l’accès à l’énergie témoigne des enjeux et des défis du secteur de l’électricité pour la fourniture d’un service de qualité aux populations. C’est la raison pour laquelle, en 2014, la coopération neerlandaise SNV, qui oeuvre à l’amélioration des conditions de vie des populations, et à l’atteinte des objectifs du développement durable a initié un programme de déploiement massif de promotions de kits solaires grâce à GSMA⁴ qui est le syndicat mondial des opérateurs de téléphonie mobile. La SNV Benin⁵, grâce à une subvention GSMA Mobile for Development Utilities coordonne la mise en œuvre du projet « Bright Light for Benin », en partenariat avec le réseau de téléphonie mobile MTN Bénin⁶, qui est le premier opérateur téléphonique du pays, GREENLIGHT PLANET⁷ fournisseur de la lampe solaire Sunking easy buy avec la technologie du Pay As you Go (PAYG) mondialement reconnue grâce à des millions de produits commercialisés, la compagnie solaire ARESS⁸, leader du solaire résidentiel au Bénin fort de milliers de kits commercialisés et qui sera chargée de la promotion des lampes solaires sur toute l’étendue du territoire national (les détails sur le produit commercialisé sont disponibles à l’adresse suivante : <https://www.greenlightplanet.com/easybuy/#products> et les détails relatifs au projet sont disponibles à l’adresse : <http://www.snv.org/update/introducing-pay-you-go-solar-products-benin>).

Le projet a pour objectif d’améliorer le taux d’accès à l’énergie électrique sur le territoire béninois grâce à la diffusion massive de kits solaires capable d’assurer l’éclairage et la recharge de téléphones portables aux ménages qui sont principalement dans les localités non desservies par le réseau conventionnel. Parmi les principaux indicateurs, il est prévu la vente de 9 000 lampes

3. INSAE-RGPH, 2013

4. <https://www.gsma.com/>

5. <http://www.snv.org/country/benin>

6. <http://www.mtn.bj/fr/Pages/default.aspx>

7. <https://www.greenlightplanet.com/>

8. <https://fr-fr.facebook.com/AressSar1/>

solaires dotées de la technologie du PAYG qui soient entièrement soldées par les bénéficiaires compte tenu des facilités de paiement accordées. Le PAYG est un mécanisme qui est mis en place pour permettre aux ménages à revenus modestes et qui ne peuvent s'acheter au comptant leurs lampes, de s'en procurer avec la possibilité de paiement selon un échancier. Le mécanisme de PAYG tel que conçu devra être facilité par une intégration de la technologie du Mobile Money qui est l'outil de finance digitale de l'opérateur téléphonique MTN.

Ce papier est une contribution innovante et enrichissante sur les questions de l'économie mobile, de l'accès à l'énergie et de l'évaluation des risques d'un portefeuille PAYG à l'échelle d'un pays. En effet, nous n'avons recensé aucun papier qui traite de façon jointe ces trois questions en Afrique. Les objectifs de ce papier sont multiples car sous un angle empirique, il permet d'étudier la diffusion d'un nouveau service énergie dans un pays où le taux d'accès à l'électricité est très faible. Selon une analyse univariée, nous analysons les données journalières issues des ventes. La méthode de Box-Jenkins nous permet de retenir 3 modèles. Nous retenons le meilleur modèle qui présente une saisonnalité hebdomadaire selon les critères de sélection AIC et BIC. Par la suite, la prévision effectuée sur deux périodes saisonnières a montré avant tout la fiabilité de notre modèle ainsi que la dynamique croissante dans les ventes. Nous pouvons donc conclure que le pay as you go contribue de façon claire à accroître le taux d'accès à l'énergie au Bénin et constitue donc une opportunité à soutenir et à développer.

Toutefois, une des principales limites du pay as you go réside dans le risque de défaut des paiements. En effet, il n'existe pas encore une classification des risques ou un filtre en amont capable de sélectionner les bénéficiaires d'après la littérature parcourue. Sur la base d'un questionnaire réalisé sur un échantillon d'individus en défaut de paiement, nous avons regroupé les réponses en un ensemble de sept variables qualitatives ayant un total de 24 modalités. Deux approches d'analyse sont proposées pour comprendre le défaut de paiements : L'analyse des correspondance multiples (ACM) ainsi que l'estimation logit. L'objectif est de déterminer les facteurs sous jacents capables d'expliquer le profil des individus par rapport au degré de risque : faible (défaut de paiement de moins de 7 jours), moyen (défaut de paiement entre 8 et 15 jours) et élevé (au delà de quinze jours).

Les résultats de cette étude sont très intéressants dans la mesure où ils caractérisent la première expérience du mobile money et du pay as you go sur le secteur de l'énergie au Bénin. De façon générale, nous constatons que la souplesse de déploiement de la technologie par les réseaux mobiles ainsi que les faibles coûts d'entrée aux bénéficiaires constituent la clé de la réussite de l'adaptation du produit par les populations. Dans un pays comme le Bénin, où plus de 90% de la population rurale n'a pas accès à l'énergie, la commercialisation d'environ 2 000 produits solaires a permis d'atteindre environ 10 000 personnes en moins de six mois.

Le papier s'organise donc comme suit : Dans la section I, nous ferons une revue de littérature sur l'économie mobile et les services énergie en Afrique

. La section II abordera l'expérience du Bénin qui est la première initiative en Afrique de l'Ouest francophone. Ensuite, nous analysons les données ainsi que la méthodologie de l'étude (Section III). La section IV est dédiée à l'effet d'apprentissage dans la diffusion des solutions du programme. La section V discute des résultats et de leurs analyses ; suivie de la section VI qui résume les résultats de l'ACM et du modèle logit sur la gestion du risque lié aux défauts de paiement. Pour finir, la section VII conclue et ouvre aux recommandations de politiques énergétiques et d'économie numérique.

4.2 Revue de littérature

Pour faire face à une demande d'énergie faible mais en croissance exponentielle, le continent africain a besoin d'accroître ses capacités de production d'électricité de 100 GW à 120 GW dans les années à venir, totalisant un besoin en financement de 160 à 215 milliards USD (Rosnes & Vennemo, 2012) . La capacité financière à mobiliser des budgets aussi importants repose à la fois sur la viabilité technico-économique des sociétés d'électricité et sur la croissance économique mondiale pour l'afflux des capitaux étrangers. Malheureusement, la plupart des sociétés d'électricité qui sont des monopoles publics verticalement intégrés sont soit déficitaires ou présentent des chiffres qui ne sont pas propices à l'investissement (Fritsch, 2011) . Tous ces facteurs fragilisent le sous secteur de l'électricité et sont susceptibles de retarder les perspectives d'accès à l'énergie conformément aux objectifs internationaux ratifiés par la plupart des Etats.

L'Afrique subsaharienne compte 49 pays avec une population d'environ 975 millions d'habitants dont 63% vivent en zone rurale (Baurzhan & Jenkins, 2016) . Plus de 70% de cette population n'a pas accès à une énergie propre et durable, soit environ 700 millions d'habitants. Cette population est qualifiée de la "Base of The Pyramid"⁹. André (2012) définit la BoP par la population qui a recours exclusivement aux sources énergétiques les plus chères et les plus polluantes telles que le kérozène, les piles ou la biomasse. Prahalad (2004) justifie ici cette situation par la trappe à pauvreté dans laquelle se retrouvent ces populations. Ceci explique qu'en moyenne et la plupart du temps, la propension à payer pour garantir un accès précaire à une énergie de la BoP est beaucoup plus élevée que les abonnés urbains.

Outre la précarité énergétique, la BoP est aussi victime d'une faible inclusion financière. Malgré le développement au cours des vingt dernières années des institutions de microfinance, le taux de bancarisation de l'Afrique subsaharienne demeure très faible. D'après le World Bank Development Indicators¹⁰, en 2012, environ 4 citoyens d'Afrique subsaharienne sur 100.000 ont eu accès aux services financiers et bancaires contre une moyenne de 12 au niveau mondial. Cette faible inclusion financière peut se justifier par la prépondérance de

9. Base de la Pyramide, par la suite BoP

10. par la suite WDI

l'économie informelle et le très faible niveau de revenu des populations.

Au plan mondial, plusieurs pays d'Afrique ont néanmoins ratifié la charte des Nations Unies pour l'atteinte des Objectifs du Développement Durable ¹¹ à l'horizon 2030. Ces grands objectifs internationaux sont aussi accompagnés par des résolutions nationales et sous régionales à l'instar de la Commission de l'Union Africaine qui vise un accès à une énergie abordable et disponible pour plus de 75% des populations du continent à l'horizon 2063 ¹² ; ceci à travers la Commission de l'Union Africaine pour l'Énergie. L'Union Economique et Monétaire de l'Afrique de l'Ouest (UEMOA) quant à elle vise un mix énergétique de 50% d'énergie renouvelable à l'horizon 2030. En conséquence, il urge de trouver des solutions novatrices afin d'inscrire l'Afrique à la croisée d'un développement et d'une croissance inclusive au cours des treize prochaines années.

Une de ces solutions réside dans le mobile money. Comme nous pouvons l'observer sur la figure 4.1, le secteur de la téléphonie mobile s'est accru de façon exponentielle partout dans le monde et de façon spécifique dans les pays émergents. De 1990 à 2012, le taux de pénétration de téléphonie mobile pour 100 habitants est passé de 0,001 en Afrique subaharienne à environ 60 contre une moyenne de 89 à l'échelle mondiale. Le téléphone mobile apparaît comme un outil central qui permet de desservir à moindre coûts des populations qui étaient autrefois isolées en leur proposant un ensemble de services (météo, actualités, téléphonie, transfert d'argent, etc.). Ce nouveau modèle accélère l'intégration des services de base tout en réduisant les coûts d'opération et humains (Lin, 2012) sans contraintes temporelles ni spatiales (Laukkanen, 2007).

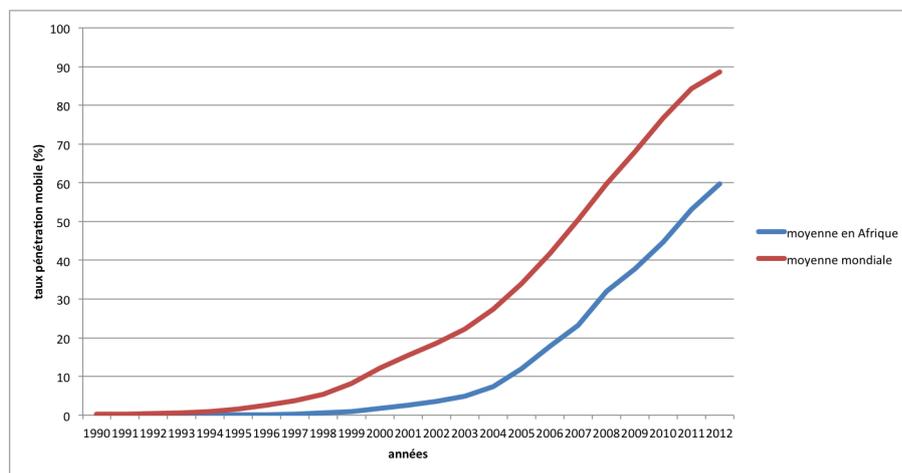


FIGURE 4.1: Evolution de la pénétration de la téléphonie mobile
WDI, 2014

11. par la suite ODD respectivement n. 1, 7, 8, 9 et 10 concernant la lutte contre la pauvreté, la promotion des énergies renouvelables, la croissance économique et l'emploi décent, l'innovation dans les infrastructures et la réduction des inégalités.

12. https://au.int/sites/default/files/pages/3657-file-agenda2063_popular_version_fr.pdf

Sur le continent africain, le mobile money est très développé dans les régions de l'Est et du Sud. Son déploiement se fait de deux façons : Soit il s'agit d'un nouveau service développé par les réseaux de téléphonie mobile (mKesk et m-Pesa au Mozambique, m-Pesa au Kenya, Wizzit en Afrique du Sud, Mobile Money MTN au Bénin, Orange Money en Côte d'Ivoire et au Cameroun) sous forme d'un portefeuille monétaire électronique accessible depuis leur téléphone portable; soit il s'agit d'un nouveau service des banques traditionnelles développé en partenariat avec les opérations de téléphonie mobile (TerraMovel et MozaBank au Mozambique, Kenyan Bank of Africa au Kenya, EcobankMobile au Togo et au Bénin).

Afin de mesurer l'impact de ces nouvelles technologies sur les usagers, nous avons étudié une théorie très répandue dans la littérature. En effet, la théorie d'acceptation et d'utilisation de la technologie¹³ fondée par Venkatesh & Al (2003) a été développée sur la base d'une consolidation de la littérature et des modèles autour de la performance, de l'effort, de l'influence sociale et des conditions d'usage pour comprendre l'appropriation d'une technologie.

Baptista & Oliveira (2015) se sont penchés sur la théorie de l'adoption du mobile money à travers des paramètres culturels grâce à une base de données sur le Mozambique. La base de données renseigne sur des données socioéconomiques de la population enquêtée. Les auteurs modélisent une équation structurelle sur la théorie d'acceptation et d'utilisation de la technologie développée par Venkatesh & Al (2012). Avec un pouvoir explicatif de 69%, les résultats montrent que la fiabilité du service, la motivation hédoniste¹⁴ et les habitudes sont les variables significatives.

Néanmoins, il existe plusieurs limites à ce modèle : Lee, Kim & Kim (2005) expliquent qu'il est difficile de comparer la dimension culturelle d'une population à une autre. Aussi, nous trouvons que cette étude n'a d'importances qu'ex-post dans la mesure où elle ne permet pas en amont (ex-ante) d'évaluer l'UTAUT2 avant la mise en place de mobile money. En effet, pour un opérateur téléphonique, l'enjeu de développer des services de mobile money sur un marché est une décision qui précède l'investissement.

Zhao & de Pablos (2011) expliquent qu'il peut exister pour des zones géographiques proches, des similitudes de culture susceptibles de faciliter l'intégration des services de mobile money. Il est pertinent d'étudier l'impact dans l'appropriation des services proposées. Enfin, Lytras & de Pablos (2011) suggèrent d'étudier l'impact des nouvelles formes de réglementation et législation sur l'évolution des innovations dans le mobile banking en Afrique.

Yokossi (2017) a étudié l'impact de l'économie mobile sur l'activité économique au Kenya. En effet, le Kenya est le pays d'Afrique ayant observé la plus pénétration la plus importante des services mobiles dédiés. En combinant les données issues des opérateurs mobiles locaux et la densité spatiale nocturne des points d'éclairage, l'auteur estime l'impact sur l'économie locale de l'innovation

13. par la suite UTAUT2

14. il s'agit d'une expression marketing qui désigne la volonté de se faire plaisir. Ainsi, l'identification des motivations hédonistes influence les décisions marketing et le discours publicitaire.

mobile sur la période de six ans de développement de la solution mobile. Cette méthodologie permet d'observer au fil du temps, l'effet local de l'introduction des services d'économie mobile à travers la densification des activités économiques créées. Les résultats de l'étude montrent que l'accès aux services mobiles se sont accrues rapidement dans les régions initialement riches, en zones urbaines et qui sont connectées aux infrastructures de base telles que les routes et les banques. Tous ces facteurs contribuent donc à améliorer les relations humaines et commerciales.

La question de la régulation est déterminante dans l'adoption des nouvelles technologies. En prenant le cas des énergies renouvelables, les tarifs de rachat et les crédits d'impôts appliqués dans la plupart des pays développés ont permis l'accroissement et la maturité de l'adoption des énergies nouvelles. Le **Mobile Economy Africa (2016)** met en exergue l'impact des réformes fiscales dans différents pays sur l'économie mobile : En République Démocratique du Congo (RDC), la suppression des 10% de taxes sur les services mobile a permis un accroissement de 5% des connexions et un impact de 2% sur le PIB du pays. En Tanzanie, la réduction des taxes sur les services mobiles a permis une augmentation de 5% des connexions et un accroissement de 1% sur le PIB.

Malheureusement, il existe très peu de données accessibles et fiables sur l'état de l'économie mobile et du mobile money en Afrique. GSMA, qui représente le syndicat des opérateurs téléphoniques au monde dispose des données du secteur les plus fiables que nous ayons analysé. D'après le rapport **Mobile Economy Africa (2016)**, le secteur de l'économie mobile en Afrique représente 557 millions d'abonnés en 2015 pour une perspective de 725 millions à l'horizon 2020. Le secteur représente de nos jours 6,7% du PIB du continent avec une perspective à 8% à l'horizon 2020 grâce à un taux de croissance annuel moyen de 3,8%. 5 grands opérateurs se partagent le marché : Safaricom et Airtel qui sont implantés en Afrique de l'Est et du Sud, Orange implanté en Afrique de l'Ouest et Centrale, Vodafone et MTN qui couvrent à peu près toutes les régions.

Au regard des défis auxquels fait face le secteur de l'énergie électrique en Afrique, et face à l'intérêt grandissant des solutions telles que le mobile banking et mobile money, il est évident que l'intégration de services énergétiques au mobile banking est une opportunité pour l'Afrique subsaharienne. L'exemple de Mobisol en Afrique de l'Est est une preuve du succès de ces solutions. Mobisol est une société allemande spécialisée dans le off-grid qui a lancé ses activités au Rwanda en 2012. Le plan d'affaires repose sur une offre d'installation solaire d'une puissance de 100W extensible aux ménages selon un échéancier de paiement en 36 mois couvrant ainsi la garantie et la maintenance du système. Grâce à l'intégration du mobile banking, la supervision générale du système ainsi que la collecte des paiements se font sans aucune intervention humaine. En cas de non paiement, le système est désactivé à distance jusqu'au renouvellement. Ce nouveau modèle permet de réduire de façon drastique les coûts d'opération et donc le coût de revient global du système. L'audit du modèle a révélé que plus

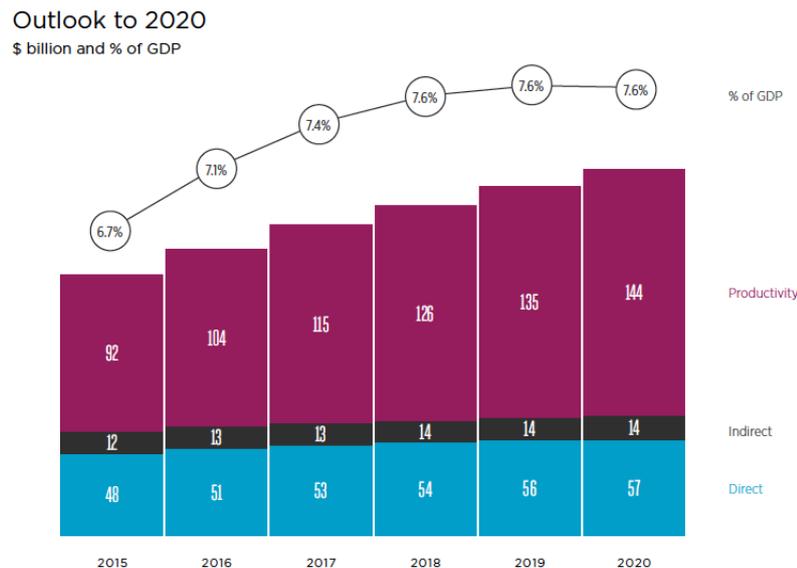


FIGURE 4.2: Perspectives de l'économie mobile à l'horizon 2020 en Afrique
GSMA, Intelligence Data, 2015

de 92% des usagers se déclarent entièrement satisfaits et n'ont plus jamais eu recours aux sources telles que le kérosène, les piles ou la bougie. De plus, le volume important des opérations de mobile banking avec l'opérateur MTN a conduit à une renégociation préférentielle du coût des transactions. L'étude estime que 20% des usagers constituent un nouveau segment de marché pour l'opérateur mobile à proposer des nouveaux services.

Mobisol Pay-as-you-go Process

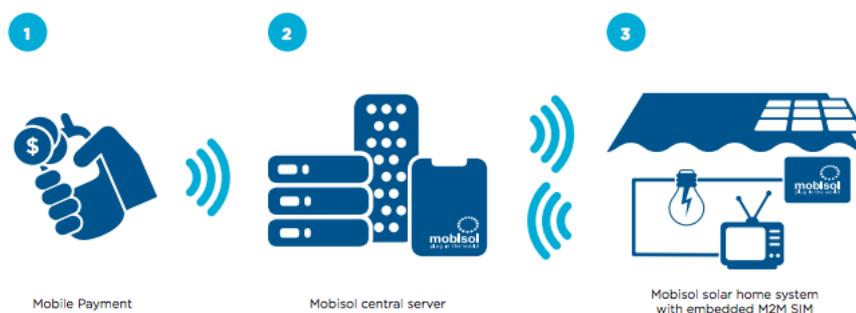


FIGURE 4.3: Principe du fonctionnement du kit Mobisol
GSMA, Mobisol Business model, 2016

Fort de plus de 10 000 kits installés, impactant plus de 70 000 bénéficiaires ruraux, nous observons que l'étude du cas Mobisol est bien conforme au modèle UTAUT2 cité. De plus, il témoigne bien de l'intérêt d'accélérer ces solutions novatrices dans les secteurs tel que l'énergie électrique dont les défis sont encore trop nombreux.

Somme toute, la revue de littérature nous a permis de comprendre que l'adoption des services mobiles dédiés au secteur de l'énergie est en forte croissance sur le continent africain. Ils contribuent aussi bien à améliorer la qualité de vie des populations grâce à la diffusion de technologie innovantes qu'à l'économie nationale, au regard de leur part dans le PIB. Toutefois, la réussite d'une diffusion de ces technologies est aussi facteur de la confiance qu'ont les abonnés vis à vis de l'opérateur téléphonique. Cette diffusion est d'autant plus importante lorsque l'Etat met en places des incitations favorables sur le plan fiscal.

Dans notre étude, nous étudierons le cas du Bénin où l'opérateur téléphonique MTN est leader du marché et jouit d'une confiance de ces abonnés. Dans le cadre de ce programme, une exemption fiscale a été signée sur les droits de douane et la TVA, rendant plus compétitifs les solutions déployées. Notre étude en fait donc l'analyse d'un point de vue empirique de cette première expérience au Bénin et en Afrique de l'Ouest francophone.

4.3 L'expérience du Bénin

Le Bénin est un pays d'Afrique de l'Ouest d'environ onze million d'habitants où près de 75% de la population vit avec moins de 2USD¹⁵ par jour. Le taux d'accès à l'énergie électrique est de 38% au niveau national ; avec 58% de la population urbaine connectée contre moins de 7% en zone rurale. Malgré la création de deux agences¹⁶. La prépondérance des énergies fossiles et traditionnelles à savoir le bois énergie (78%), le pétrole lampant (20%) et le gaz (0,5%) reste toujours significative.

La figure 4.4 ci dessous montre l'évolution croisée de la bancarisation et du taux de pénétration mobile sur la période 2000 à 2013 au Bénin. Environ 60% de la population vit en zone rurale. Les seules données bancaires publiques sont disponibles via le WDI de la Banque Mondiale et couvrent la période 2004 à 2013. On constate la très faible pénétration du secteur bancaire avec moins de 4 agences bancaires pour 100 000 habitants . Parallèlement, le taux de pénétration de la téléphonie mobile s'accroît de façon exponentielle. En effet, en 2000, on comptait moins d'un téléphone pour 100 habitants contre 93 téléphones pour 100 habitants en 2013 ; soit un taux d'accroissement annuel moyen de 41% sur la période. En somme, le très faible niveau de bancarisation jumelé à la forte pénétration de la téléphonie mobile constituent les socles pour le développement du mobile money dans les marchés émergents. Le Bénin compte cinq opérateurs téléphoniques¹⁷. MTN et MOOV, deux multinationales détiennent un pouvoir de marché supérieur à 80%¹⁸. Ils sont les deux opérateurs qui ont lancé le

15. Statistiques extraites du WDI, 2014

16. l'ABERME et l'ANADER qui sont respectivement en charge de la promotion de l'énergie conventionnelle en zone rurale et du développement des énergies renouvelables sur tout le territoire national au cours des dix dernières années. Ceci pour accélérer la politique d'électrification mise en œuvre par le Gouvernement

17. Bell Benin, Benin Telecom, Moov, MTN, Glo Mobile

18. D'après l'Autorité de Régulation des Télécommunications, Moov et MTN détiennent respectivement 2 995 990 et 4 230 840 abonnés sur un parc estimé à 9 034 115 abonnés. Les informations complémentaires sont disponibles sur lien ci-après : <http://arcep.bj/statistiques/>

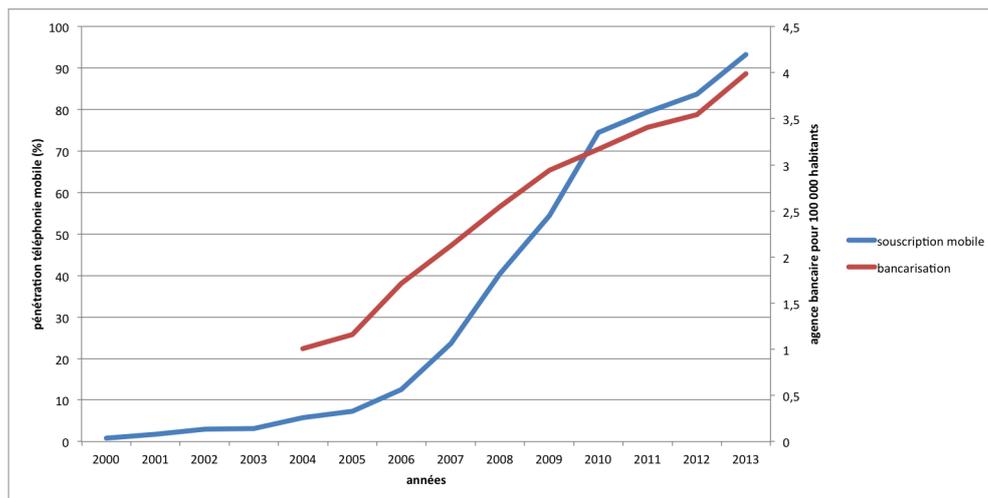


FIGURE 4.4: Evolution croisée de la bancarisation et de la pénétration mobile au Bénin
WDI, 2014

Mobile Money au cours des années 2010.

Au Bénin, le mobile banking est développé à travers un portefeuille électronique qui ne nécessite pas l'ouverture d'un compte bancaire. Le mobile banking permet de faire des opérations journalières¹⁹ d'un montant maximum de 2.000.000 FCFA. Malheureusement, nous ne disposons pas plus de statistiques pour apprécier la pénétration et l'impact du mobile money au plan national, ou par opérateur.

La première expérience du mobile money dédié au service de l'énergie²⁰ a été lancée sous l'égide de GSMA en 2015. Bâptisé "**Bright Lights for Benin project**", il s'agit de la promotion de kits solaires disposant d'un point d'éclairage et d'une recharge de téléphone portable. L'objectif de ce programme est de promouvoir une solution solaire de base pour dans des zones non couvertes par le réseau électrique. Le programme vise la commercialisation de 9 000 lampes sur les 18 mois d'activités (janvier 2016 à juillet 2017).

Le programme implique 4 acteurs clés dont la figure 4.5 décrit les rôles et responsabilités. Le programme est coordonné par la SNV²¹, l'organisation non gouvernementale des Pays Bas qui œuvre depuis des décennies à l'amélioration des conditions de vie des populations béninoises. Les produits commercialisés sont de marque Sun King²² du fabricant Green Light Planet qui est un leader mondial dans la promotion des systèmes solaires décentralisés. Ils sont distribués au Bénin par la société ARESS²³, leader dans la promotion des énergies

19. Entre autres, des transferts d'argent entre les abonnés, payer ses factures, transactions dans certains pays de la sous région,

20. <http://www.snv.org/update/introducing-pay-you-go-solar-products-benin>

21. <http://www.snv.org/country/benin>

22. <https://www.greenlightplanet.com/shop/pro-2/>

23. <http://www.aress-group.com/>

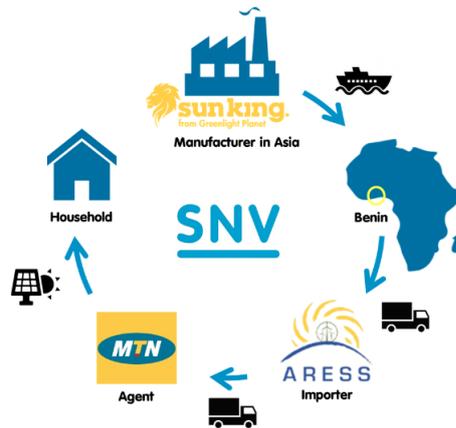


FIGURE 4.5: Infographie du Pay As You Go au Bénin
SNV, 2016

renouvelables. Grâce à l'opérateur mobile MTN, une centaine de points de distribution sont mis en place sur l'étendu du territoire national. Les souscriptions se font depuis la plateforme du mobile money MTN. L'acquisition du produit se fait de deux façons : soit un achat au comptant à 25 000 FCFA entraînant un déblocage systématique du produit ; ou soit un acompte de 5 000 FCFA à l'acquisition et de 900 FCFA par semaine pendant 24 semaines. En cas de non paiement des échéanciers, le produit se bloque automatiquement, empêchant tout usage : il s'agit du principe du Pay As You Go.

La mise en place de ce programme de Pay As You Go au Bénin présente donc plusieurs avantages. D'une part, il s'agit d'une initiative qui permet d'accélérer l'adhésion des produits solaires auprès des populations qui n'ont pas accès à l'énergie électrique. D'autre part, la dématérialisation de services financiers pour les activations des produits ont permis de réduire les frais de mise en œuvre du projet. L'économie mobile accélère donc l'inclusion financiers des populations isolées tout en réduisant les coûts d'accès aux différents services proposés.

Dans la suite de l'étude, nous développerons les données ainsi que la méthodologie de recherche.

4.4 Données méthodologie de recherche

Au regard du taux d'accès à l'énergie électrique relativement bas au Bénin en zone rural, le programme "*Bright Light For Benin*" vise à promouvoir les solutions solaires décentralisées dans les zones non desservies. Comme indiqué en objet, le projet repose sur un réseau d'acteurs dont les rôles sont clairement définis à savoir : la SNV en tant que chef de fil du projet et chargé de la gestion globale, Green Light Planet en tant que fournisseur des produits solaires équipés d'une technologie du Pay As You Go, MTN en tant que l'opérateur téléphonique chargé d'intégrer l'option du PAYG à ses services de mobile banking proposés, ARESS étant le partenaire local au Bénin chargé d'importer, de commercialiser

les produits et d'en suivre les remboursements au fil du temps. Le projet est accompagné par le Gouvernement du Bénin à travers l'ANADER, l'agence en charge des énergies renouvelables grâce à l'exemption de droits de douane et de taxe sur la valeur ajoutée. Pour favoriser la distribution sur tout le territoire national, ARESS dispose d'un réseau de points de marchand en partenariat avec l'opérateur MTN. De ce fait, une centaine de points de vente des produits ont été formellement créés sur l'étendue du territoire national. L'objectif initial du projet était de commercialiser 9 000 produits de janvier 2016 à juillet 2017. Mais les retards liés à l'intégration du mobile banking ont contraint à une révision de la date de démarrage du projet et des quantités à écouler.

La présente étude couvre donc l'évolution de ventes des 2115 lampes sur la période de décembre 2016 à mars 2017. L'ensemble des statistiques sont disponibles en ligne²⁴ avec des accès sécurisés. Les données sont enregistrées d'un pas journalier et concernent principalement : l'identité des utilisateurs, du nombre de transactions réalisées journalièrement, du nombre de produits activés, du nombre de produits en renouvellement et du nombre de produits en défaut de paiement.



FIGURE 4.6: Répartition des ventes par type d'activation
Notre étude, 2017

Nous observons sur la figure 4.6 que les ventes en pay as you go représentent plus de 90% des volumes de transaction contre 9% pour les ventes au comptant. Il y a donc un intérêt considérable pour la solution proposée car elle permet d'atteindre plus facilement les populations visées qui ont un pouvoir d'achat faible. Le tableau 4.1 ci dessous résume les statistiques descriptives des ventes enregistrées. Dans l'ensemble des points de vente, on observe une vente minimale de 1 produit, traduisant la performance d'affaires la plus faible en une journée. La meilleure performance est de 65 produits en une journée, en date du 13 décembre 2016. En moyenne, le programme a permis d'écouler environ 17 produits chaque jour. L'écart type est 12,83, avec une médiane de 13,5. Sur la période d'observations, 25% des ventes se concentrent autour de 33 ventes jours contre 75% des ventes jours qui sont inférieures à 40 produits.

24. <https://payg.angazadesign.com/ui/dashboard>

Sur une période de 124 jours, nous pouvons conclure que l'adoption du programme est un succès compte tenu des performances enregistrées. Quand bien même nous ne disposons d'aucun historique sur des performances similaires aussi bien au Bénin que dans des pays qui ont eu une expérience avérée du pay as you go au mobile banking, cet engouement peut se justifier aussi bien par la souplesse des modes de paiements, du coût d'entrée et des qualités du produit proposé²⁵

	Sd	Mean	Med	Min	Max	Q(0,25)	Q(0,75)	Obs
<i>daily sales</i>	12,83	17,34	13,5	1	65	33	40	124

TABLE 4.1: Statistiques descriptives des volumes de transaction journaliers

Dans cette première partie, il s'agit de comprendre la dynamique des ventes liées à l'introduction du Pay As You Go au Bénin. Deux méthodes d'analyse sont proposées : l'approche par l'effet d'apprentissage ainsi que la méthode de Box-Jenkins.

Plusieurs papiers scientifiques ont investigué l'effet de la courbe d'apprentissage sur l'économie. Ce postulat émane de l'officier *Wright* qui observa dans les années 30 aux USA qu'avec le temps et notamment en fonction de la production cumulée d'avions, le nombre d'heures de travail nécessaires pour chaque nouvelle unité produite décroissait régulièrement : à chaque doublement de la production cumulée correspondait une économie de temps de 20%. Toutefois, dans les "*courbes d'expérience*", la baisse des coûts unitaires de production n'est pas expliquée par le seul effet d'apprentissage direct, elle dépend aussi des économies d'échelles et de l'introduction de l'innovation.

Dans la récente littérature, plusieurs papiers et études se sont penchés sur la diffusion massive de la technologie de l'énergie solaire dans le monde. En effet, il s'agit d'un secteur en pleine expansion aussi bien au niveau des capacités produites que des capacités installées. [Creti & Sinsin \(2012\)](#) ont étudié l'impact de l'effet d'apprentissage sur les technologies du solaire en silicium et en couche mince dans les principaux pays producteurs que sont les USA, la Chine, l'Espagne, l'Italie, l'Allemagne et la France. La plupart des modèles reposent sur l'analyse de Bass qui démontre que la modélisation d'une diffusion est aussi bien importante pour les firmes ayant une technologie mature que pour les nouvelles entrées qui sont capables de s'appuyer sur l'expérience des firmes matures. L'effet d'apprentissage repose donc sur la diffusion d'innovation. La courbe d'apprentissage est une courbe en S qui décrit le plus souvent la relation entre la diffusion d'une technologie et son coût de production dans le temps.

25. Concernant l'analyse des données, nous avons utilisé le logiciel *Stata MP13.1*. Sur les 124 jours d'observation, nous avons constaté 5 données manquantes que nous avons traité grâce à la procédure *tsfill*. Il s'agit d'une commande sous Stata permettant de solutionner les données manquantes sur les échantillons de grand nombre en séries temporelles

En partant des notes de calcul de Wright (1936), Guidolin & Mortarino (2007), Glachant (2011), Creti & Sinsin (2012), Karali and Al. (2017) , l'ensemble des équations ci dessous décrivent la détermination du coefficient d'apprentissage :

$$C_t = C_1 * X_t^{-bt} \quad (4.1)$$

$$PR = 2^{-b} \quad (4.2)$$

$$LR = 1 - PR \quad (4.3)$$

Dans l'équation 4.1, C_t représente le coût par unité de production à l'instant t , C_1 le coût de l'unité à l'état initial $t=1$, X_t représente le cumul des capacités installées ou produites à l'instant t , t le pas temporel et b le ratio coefficient d'apprentissage. Dans les équations 4.2 et 4.3, PR représente le ratio du progrès, et LR le ratio d'apprentissage. Ces différents ratios expriment le taux auquel les coûts de production ou le niveau de capacité est capable de doubler (ou inversement) par rapport à un niveau initial.

Tout comme Wright, nous supposons que l'effet d'apprentissage ne dépend pas uniquement de la courbe d'expérience mais aussi de l'effet d'innovation et des économies d'échelle. Néanmoins, dans notre cas, nous supposons que ces deux paramètres n'ont aucun effet sur le volume de transactions journalière dans la mesure où il n'y a ni progrès technique (innovation), ni effet d'échelle. En effet, les transactions observées ex post sont le fruit d'actions commerciales des points marchand. Il n'y aucune fabrication d'un produit mais plutôt la commercialisation d'un produit fini. Ceci annule donc l'effet de l'innovation. En ce qui concerne les rendements d'échelle, le seul impact susceptible d'être observé est relatif à l'accroissement du niveau de transactions journalier sur l'ensemble des pointes. Pour autant, nous observons sur la figure 4.7 que ces ventes sont plutôt aléatoires et indépendamment distribuées dans le temps. De plus, l'agrégation ex-post de performances de vendeurs individuels qui sont dispersés sur le plan géographique ne permet de fonder une hypothèse d'effet de rendements d'échelle.

Somme toute, le seul critère qui permet de justifier d'un effet d'apprentissage est bien fondé sur l'effet de l'expérience.

S'agissant de la modélisation de Box-Jenkins, Djabrane (2005) décrit les séries temporelles comme une combinaison de deux concepts, probabiliste et statistique. La méthode de Box -Jenkins est une méthode très répandue pour l'analyse des séries temporelles indexées du temps. Elle repose sur l'analyse de processus aléatoires dont on cherche à comprendre les déterminants et les perspectives. Développée dans les années 70, elle s'appuie sur les travaux de Yule

(1927) et Walker (1931) relatifs aux processus autoregressifs et aux moyennes mobiles. La modélisation retenue est la suivante :

Soit X_t la série observée sur une période $t=1,2,\dots,n$. La modélisation de Box-Jenkins se décompose en cinq étapes à savoir :

- la stationnarisation et la désaisonnalisation de la série ;
- l'identification du processus ;
- l'estimation ;
- la validation et les tests ;
- la prévision ;

La 1^{ère} étape consiste à vérifier que la variable étudiée ne subit pas l'influence du temps et qu'elle est faible au sens de la stationnarité. La notion de stationnarité est indispensable car elle suppose que les propriétés de la série observée sont inchangées dans le temps. Ceci revient à dire que l'espérance de X_t est constante quelque soit le temps. De même, pour tout h fixé, la covariance entre X_t et X_{t+h} est invariante dans le temps. L'hypothèse de stationnarité implique que quelque soit le décalage de h , les variations et les écarts soient constants et stables dans le temps.

Pour étudier la stationnarité d'une série, nous testons la présence de racine unitaire en pratiquant les tests de Dickey Fuller ou de Phillips Perron. Le test de Dickey-Fuller revient à tester le jeu d'hypothèse :

$$\begin{cases} H_0 : \rho = 1 \\ H_1 : \rho < 1 \end{cases} \quad (4.4)$$

pour :

$$\Delta X_t = \alpha + \beta t + \rho \Delta X_{t-1} + \xi_t \quad (4.5)$$

Le choix du modèle retenu revient à tester la significativité des paramètres α et β . Il s'agit donc de vérifier si la constante ou la tendance sont significatives dans l'expression de X_t . Si les retards significatifs sont supérieurs à l'ordre 1, alors il revient d'appliquer le test de Dickey Fuller Augmenté (ADF). Bourbonnais (1993), Ouellet & Al (2005), Desbois (2005) et Bouthar (2007) expliquent davantage et de façon exhaustive les processus de stationnarisation de séries chronologiques.

S'agissant de la seconde étape, l'identification du processus consiste à vérifier la structure du processus. Dans la modélisation de Box-Jenkins, cette seconde étape revient à déterminer les opérateurs de retard, différenciation et les filtres appliqués à la variable dépendante. Ceci en vue de déterminer le(s) processus ARMA caractérisant la variable X_t qui est par hypothèse un processus stationnaire et aléatoire. Cette seconde étape revient donc à déterminer les polynômes Φ et Θ tel que :

$$\Phi(B)X_t = \Theta(B)\epsilon_t \quad (4.6)$$

pour

$$\begin{cases} \Phi(z) = 1 - \phi_1 z - \dots - \phi_p z^p \\ \Theta(z) = 1 + \theta_1 z + \dots + \theta_p z^p \end{cases} \quad (4.7)$$

Les solutions à ces équations polynomiales sont définies par les ensembles (p, d, q) avec p représentant le nombre de retards significatifs dans le processus autogressif (AR), d le degré de différenciation appliquée pour la stationnarisation de X_t , et q le nombre de retards significatifs sur le résidus (MA).

Le choix de p et q repose sur l'analyse des corrélogramme (ACF) et corrélogramme partiel (PACF). p et q correspondent au plus grand retards significatifs.

L'étape 3 d'estimation consiste à définir modéliser l'équation 4.6 en fonction des p et q retenus. Les solutions sont soit des AR, des MA, ou des processus ARMA. Comme indiqué précédemment, plusieurs choix de solution peuvent être retenus. Il revient donc de déterminer le meilleur modèle qui traduit le processus X_t .

C'est donc la 4^{ème} étape qui nous permet de valider le choix du modèle à retenir. Nous utilisons les critères d'information joint d'Akaike (AIC, 1973) et Bayésien (BIC). Ces deux critères sont déterminés sur la base des paramètres du modèle, du maximum de la fonction de vraisemblance, et du nombre d'observations. Par défaut, le meilleur modèle statistique est celui qui minimise les critères AIC et BIC. Une fois le modèle final déterminé, il revient de pratiquer une série de tests pour vérifier aussi bien la significativité des paramètres, l'homoscédasticité et la non corrélation des résidus du modèle, le pouvoir explicatif du modèle. Ces tests usuels en économétrie permettent de renforcer les résultats obtenus, sous un ancrage théorie ou empirique vérifié.

Enfin, la dernière étape de prévision nous permettra de simuler et d'observer la dynamique de l'évolution du processus X_t . Nous nous baserons sur le pouvoir prédictif du modèle. Dans notre cas, il s'agira là de vérifier l'impact du déploiement du Pay as You Go et la nécessité de supporter ces initiatives au regard des multiples bénéfices escomptés.

Nous décrivons dans la partie suivante chacun des analyses ainsi que discutons des résultats des méthodes développés ci dessus.

4.5 Analyses et Résultats

4.5.1 L'effet d'apprentissage

L'analyse de l'évolution des ventes revient initialement à comprendre la dynamique d'assimilation et du processus d'apprentissage qui y sont liés. L'estimation de la courbe d'apprentissage semble la plus adaptée dans notre cas pour analyser l'évolution des ventes au cours de la période étudiée. En effet, l'idée sous jacente que véhicule l'effet d'apprentissage réside dans le fait que le processus de fabrication est optimisé au fur et à mesure que les ventes s'accroissent. Sur toute cette phase, l'entreprise peut donc maximiser ses performances grâce au phénomène d'apprentissage et à ses rendements croissants. Suivant l'approche

de [Hong & Al \(2015\)](#) , nous avons supposé dans notre cas qu'un seul paramètre influençait l'effet d'apprentissage²⁶. En conséquence, nous cherchons donc à modéliser l'impact de l'effet d'apprentissage sur la dynamique des ventes. Sur le plan économique, il s'agit donc de déterminer le coefficient de la courbe d'apprentissage associé à l'introduction du Pay As You Go dans l'économie mobile. Pour ce fait, nous partirons des notes de calcul de [Wright \(1936\)](#), [Guidolin & Mortarino \(2007\)](#), [Glachant \(2011\)](#), [Creti & Sinsin \(2012\)](#), [Karali and Al. \(2017\)](#)

Nous réécrivons l'ensemble des équations [4.1](#), [4.2](#), [4.3](#) tel que :

$$X_t = c * CumX^b \quad (4.8)$$

$$PR = 2^b \quad (4.9)$$

$$LR = 1 - PR = 1 - 2^b \quad (4.10)$$

X_t représente le niveau des ventes à l'instant t , c la quantité initiale au démarrage du projet, $CumX$ le cumul des ventes , b l'index d'apprentissage et LR le coefficient d'apprentissage.

Nous avons donc estimé le coefficient b afin de calculer LR et PR dans notre modèle. La résolution mathématique donne un coefficient b égal à 0,0905, soit 9,05%. PR équivaut donc à 1,0647, soit $LR = 0,0647$, soit 6,47%. D'un point de vue économique, nos résultats montrent que les transactions journalières s'accroissent en moyenne de 6,47% à chaque fois que le niveau de transactions cumulées double. Même s'il ne s'agit pas de capacités solaires comme les installations de centrales largement étudiées dans la littérature de référence, l'effet d'apprentissage estimé dans notre modèle est bien inférieur qui varie entre 10% et 20% selon la littérature de référence ([Glachant, 2011](#)).

La figure [4.7](#) qui est une représentation graphique de la courbe d'apprentissage transcrit d'un point de vue linéaire l'effet d'expérience. En ordonnées figure l'évolution cumulée des ventes journalières qui indique aussi l'effet du temps. En abscisses sont graphées les ventes journalières qui varient entre 1 et 65. Durant les premiers jours, nous observons une certaine volatilité tant les points sont divergents. Ceci peut s'expliquer par l'innovation apportée par ce nouveau mécanisme de vente d'énergie et l'absence de réflexes ou stratégies fiables des agents commerciaux. Il n'y a donc point d'effets de progrès technique ou de rendements d'échelle comme nous l'avons justifié dans nos hypothèses.

Par la suite, nous observons une seconde phase qui schématise davantage l'effet de l'apprentissage dans la mesure où les ventes sont plus concentrées. Le concept même d'apprentissage et d'expérience est pleinement justifié dans la mesure où la concentration des statistiques journalières traduisent le fait que les agents aient développé des aptitudes à vendre et que le programme soit accepté

26. Hong, Chung et Woo parle du concept de 1FLC

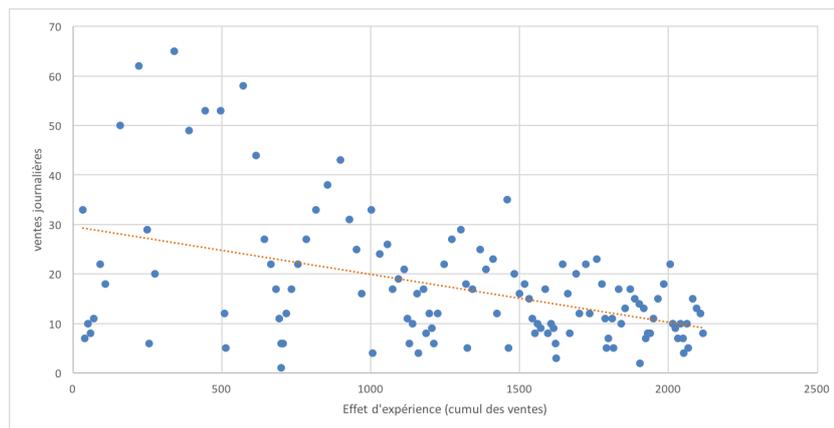


FIGURE 4.7: Représentation linéaire de l'effet d'apprentissage
Notre étude, 2017

par les populations ciblées. Enfin, nous observons sur le graphique une certaine saisonnalité cyclique dans l'évolution des ventes que nous étudierons dans la partie suivante par la modélisation de Box-Jenkins.

4.5.2 La modélisation Box-Jenkins

Dans la présente section, nous travaillons avec des variables en taux de croissance et non en niveau. L'intérêt de la variable en taux de croissance est qu'elle réduit de facto l'amplitude des variations dans le temps (et donc la variance) car nous analyserons des rendements (taux de croissance). Notre variable d'études sera donc le log-diff de la série en niveau. Nous appellerons cette variable *sales*.

L'observation visuelle de l'évolution des ventes sur la figure 4.8 décrit une allure de stationnarité. En effet, la moyenne tourne autour de 0 et les amplitudes ne sont pas explosives au fil du temps. Les différents tests de stationnarité (ADF et Phillips Perron) dont les résultats sont présentés en annexe confirment que la série *sales* est stationnaire. La statistique de test $Z(t)$ obtenue est inférieure aux seuils de décision. Nous rejetons de facto l'hypothèse nulle de présence de racine unitaire. La série *sales* est bien stationnaire. Par contre, ni la constante ni le trend ne sont significatifs. Avec un seuil de décision de 5%, le modèle 1 sans constante ni trend est donc retenu.

Une fois la stationnarisation de la variable déterminée, nous devons procéder à l'identification du modèle. L'étude des corrélogrammes (en annexes sur les figures 4.13 et 4.14 permet de détecter les différents retards significatifs. Nous retenons les valeurs de p (1,7,21) et q (1,7,21,28). L'observation visuelle des corrélogrammes révèle aussi une périodicité d'un pas 7. Cette périodicité peut se justifier par la fréquence hebdomadaire des données. En effet, les week-ends sont des jours de regain d'activités compte tenu de l'indisponibilité de certains points de vente²⁷. Pour éviter les effets fallacieux d'estimation dûs aux retards importants, une alternative revient donc à tester l'effet saisonnier dans

²⁷. Les produits sont commercialisés via des points de vente détenus par des entrepreneurs et répartis sur le territoire national. De ce fait, il arrive souvent qu'ils soient fermés les

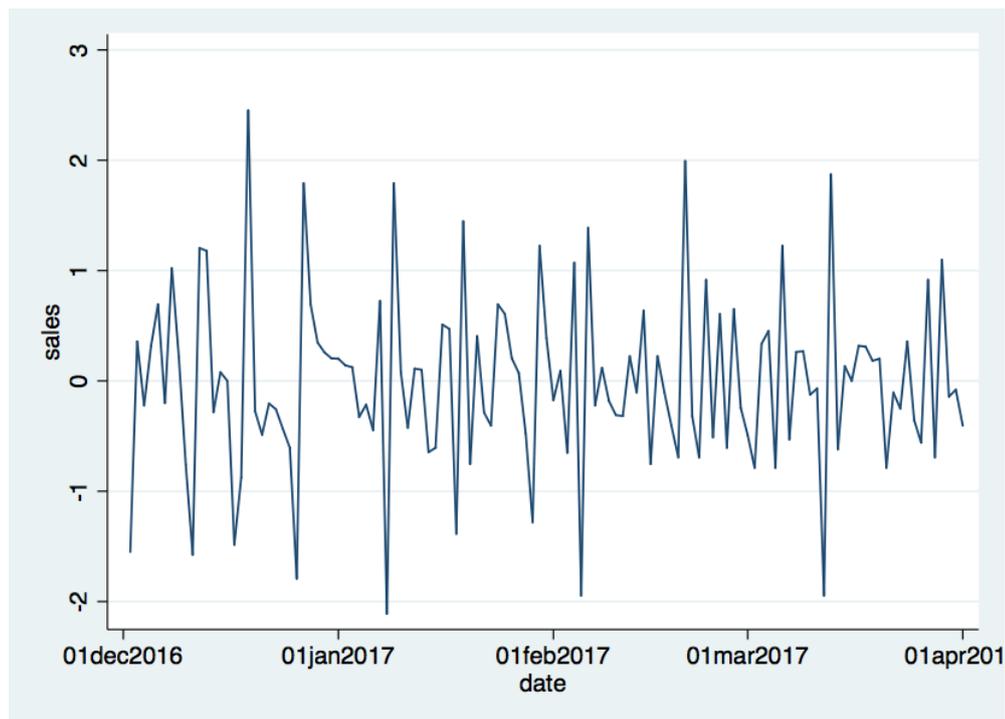


FIGURE 4.8: Représentation de l'évolution des ventes
Notre étude, 2017

les ventes. Nous utiliserons à cette fin un modèle *SARMA* pour justifier la saisonnalité multiplicative de l'évolution des ventes. Nous identifions 4 modèles à tester. Nous les appelons respectivement modèle I pour le modèle $ARMA(1,1)$; modèle II pour le $ARMA(1,7)$; modèle III pour le modèle $ARMA(7,7)$ et modèle IV pour le $SARMA(1,0,1,7)$.

Le Tableau 4.2 concatène l'ensemble des résultats des chaque estimation des modèles identifiés sur la base des critères de retards significatifs retenus.

Le modèle I traduit un polynôme avec un retard de 1 sur le processus autorégressif (AR) et sur la moyenne mobile (MA). Le coefficient du MA n'est pas du tout significatif et n'impacterait donc pas l'évolution des ventes. Par contre, le coefficient du terme autorégressif est significatif à un seuil de décision de 5%. Il traduit une dynamique croissante dans les ventes. En effet, l'interprétation économique suggérerait une hausse de 29% de la variable retardée, soit un intérêt considérable de soutenir l'initiative. La constante qui n'est pas significative implique l'absence de toutes perturbations sur la variable dépendante et conforte les conclusions du test de stationnarité.

Le modèle II est un processus autorégressif d'ordre 1 et d'un retard 7 sur la moyenne mobile. Le processus autorégressif est significatif à 5% et son signe négatif traduit une décroissance de l'évolution des ventes d'une période à une autre. Sur le plan économique, ceci signifie que les ventes décroissent de 38% sur

weekends, ce qui explique l'effet saisonniers des 3 derniers jours de la semaine (vendredi, samedi, dimanche) par rapport aux autres jours de la semaine

	Modèle I	Modèle II	Modèle III	Modèle IV
sales	2.609***	2.605***	2.605***	2.602***
_cons	(21.77)	(22.73)	(20.62)	(10.51)
ARMA	0.591**	0.380***		0.631***
L.ar	(3.02)	(4.37)		(3.37)
L7.ar			0.933***	
			(11.66)	
L.ma	-0.256			-0.259
	(-1.16)			(-1.14)
L7.ma		0.135	-0.789***	
		(1.84)	(-5.37)	
sigma	0.665***	0.661***	0.674***	0.604***
_cons	(17.79)	(17.87)	(17.83)	(17.24)
ARMA7				0.966***
L.ar				(19.33)
L.ma				-0.844***
				(-6.88)

TABLE 4.2: Tableau récapitulatif des modèles retenus

deux périodes consécutives. Ce signe négatif peut s'interpréter comme un ralentissement dans la dynamique observée sur la figure 4.8. S'agissant du polynôme MA, son coefficient d'ordre 7 n'est pas significatif sous un seuil de décision de 5% mais plutôt à 10%. Nous choisissons donc de ne pas le retenir afin de conserver les mêmes critères de comparaison des différents modèles. Dans ce modèle, la constante non plus n'est pas significative ce qui confirme bien les résultats et hypothèses posés ci dessus.

Dans le modèle III, nous considérons les retards les plus importants (d'ordre 7) sur les polynômes AR et MA. La non significativité de la constante ne déroge

pas non plus à la règle, avec une p-value de 95% et un coefficient négatif de -0,10. Le coefficient du terme autoregressif est significatif et très important. En effet, l'évolution des ventes est impactée à plus de 98% par la période précédente. Cette tendance de croissance élevée indique bien l'intérêt des ventes en pay as you go car elle implique un nombre très élevé de souscription sur la période d'études. S'agissant de la composante MA, elle est tout aussi significative au seuil de décision de 5%.

Enfin, dans le modèle IV, nous supposons un retard d'ordre 1 sur le terme autorégressif et sur celui de la moyenne mobile, de même qu'une saisonnalité de pas hebdomadaire de 7 (jours). Dans ce modèle, la constante est significative mais négative. Son impact néanmoins est marginal au regard de la valeur du coefficient estimé (-0,007). Le retard d'ordre 1 sur le terme autorégressif (AR) est significatif. Le coefficient positif confirme bien la dynamique élevée car un accroissement du rendement sur les ventes s'explique à 36,41% par le niveau des rendements à la période précédente. La composante de la moyenne mobile n'est pas significative ; nous n'en tiendrons donc pas compte dans la modélisation. Par rapport aux composantes saisonnières, les termes AR et MA sont tous significatifs confirmant bien la nécessité de tenir compte de l'effet périodique dans la modélisation. Néanmoins, les coefficients saisonniers sont tous négatifs (respectivement de -0,21 et -0,79 pour le SAR et le SMA). Nous pouvons le justifier par le fait que nos données concernent la période du lancement du programme. De ce fait, l'acceptation de l'initiative par la population traduit une forte performance des ventes qui tend à se stabiliser dans le temps.

4.5.3 L'identification

Somme toute, il nous revient donc de choisir le modèle ayant le meilleur pouvoir explicatif et qui minimise les erreurs et biais. Les critères d'information AIC et BIC sont nos indicateurs de décision tout en maximisant la log-vraisemblance. Tous les résultats sont résumés dans le tableau 4.3. Nous retenons de façon indiscutable le modèle IV qui minimise les critères d'information. Le modèle retenu est statistiquement et intuitivement le meilleur car nous avons expliqué plus ci dessus les effets de périodicité observés dans l'analyse des fonctions d'autocorrélation et autocorrélation partielle. Les étapes de modélisation de Box-Jenkins nous permettent donc de dire que l'évolution des ventes liées au Pau As You Go au Bénin suit une dynamique de croissance soutenue, ainsi qu'une composante saisonnière. Cette saisonnalité observée et vérifiée se justifie par les effets de weekends au regard des types de point de vente.

L'équation polynomiale décrite en 4.6 du modèle retenu se réécrit donc comme ci-après :

$$(1 - \rho L)(1 - \rho_{7,1} L^7) \Delta(\text{sales}_t) = (1 + \theta_7 L^7) \varepsilon_t \quad (4.11)$$

	<i>Modèle I</i>	<i>Modèle II</i>	<i>Modèle III</i>	<i>Modèle IV</i>
<i>AIC</i>	248,66	277,29	276,97	234,31
<i>BIC</i>	257,04	288,43	288,16	248,3
<i>Log Likelihood</i>	-121,33	-134,65	-134,49	-112,16

TABLE 4.3: Critère d'informations et de décision pour la sélection du modèle

Nous en concluons que :

$$\Delta sales_t = 0,63sales_{t-1} + 0,97sales_{t-7} + 0,61sales_{t-8} - 0,84\varepsilon_{t-7} + \varepsilon_t \quad (4.12)$$

A présent, nous effectuons les tests de spécificité et de validation sur les paramètres et les résidus nous permettent pour valider le modèle retenu.

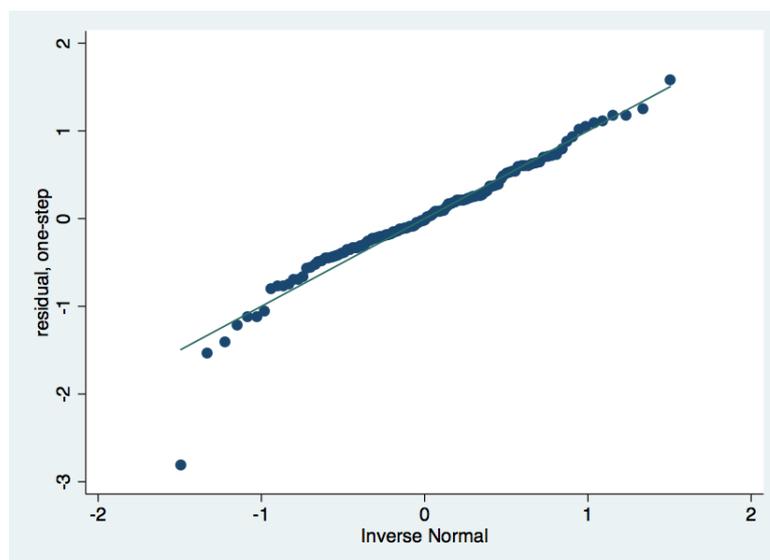


FIGURE 4.9: Q-Qnorm res- SARMA

Une hypothèse importante de la validité du modèle repose sur la normalité des résidus comme un bruit blanc. La figure 4.9 graphie les résidus du modèle par rapport à la droite de normalité. L'observation visuelle conforte l'hypothèse de normalité des résidus. Le tableau 4.6 en annexe montre les résultats de test de normalité de Jarque-Bera et Shapiro Wilk. A l'unanimité, les p-values obtenues statuent sur le non rejet de l'hypothèse nulle de la normalité de la distribution des résidus du modèle. Nous vérifions à présent si les résidus ne violent pas l'hypothèse d'absence d'autocorrélation. La présence d'autocorrélation implique un lien temporel entre les résidus dans le temps, et ne respecte donc pas l'hypothèse d'un bruit blanc. Les résultats de test de Ljung-Box et Portmanteau nous donnent des p-value de 86,54% largement supérieures au seuil de décision. De ce fait, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle d'absence d'autocorrélation entre les résidus du modèle.

La dernière étape des tests de validation consiste à vérifier la constance de la variance de la série dans le temps. Pour ce fait, nous appliquons un test de Breusch-Pagan. Le tableau 4.8 en annexe montre que la p-value obtenue ne nous permet pas de rejeter l'hypothèse nulle de la variance constante de la série. Ce résultat nous permet de spécifier le modèle retenu afin de décrire la dynamique des ventes du Pay As You Go au Bénin. L'analyse des résultats nous permet de formaliser les informations contenues dans la série temporelle.

4.5.4 La prévision

Une fois le modèle spécifié et validé, l'intérêt est de prévoir les tendances pour les périodes ultérieures. Il s'agit de l'ultime étape de la modélisation de Box Jenkins. La série étant stationnaire, les valeurs prédites ont tendance à converger autour de la moyenne des observations. Dans la mesure où nous avons étudié la stationnarité de la dynamique des ventes X_t , nous cherchons à comprendre cette dynamique à un horizon h pour X_{t+h} .

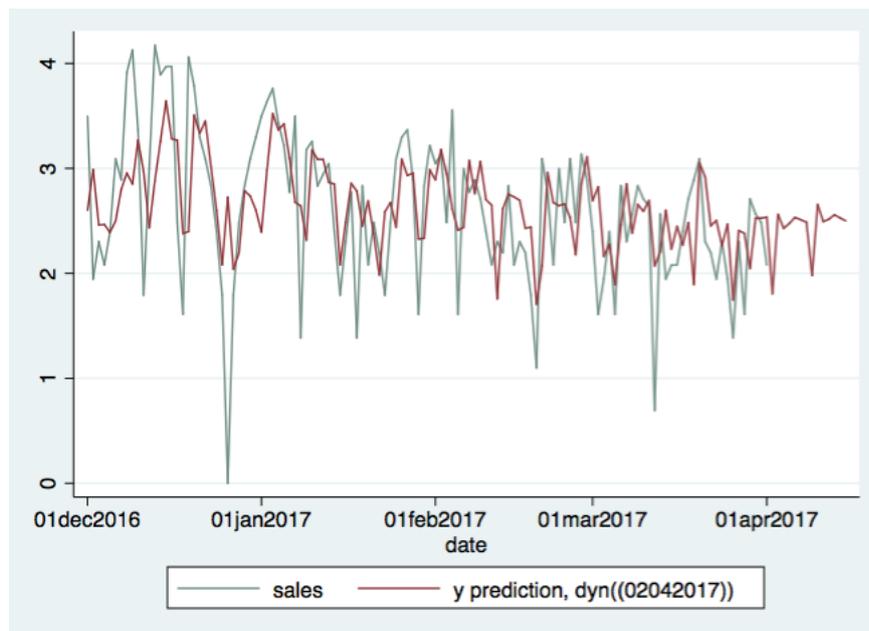


FIGURE 4.10: Evolution jointe series observée et prédite

Nous générons la série des valeurs prédites sur la base d'une analyse dynamique de l'évolution des ventes. Ceci nous permet de mesurer les écarts avec les valeurs observées pour apprécier la qualité du modèle. L'analyse visuelle conforme la bonne spécification du modèle prédit. Nous pouvons constater que le taux d'évolution des ventes oscille journalièrement entre 1,89% et 3,65%, soit d'une dynamique très soutenue. Le modèle prédit est riche de plusieurs informations : tout d'abord, la dynamique des ventes dudit modèle demeure soutenue, signe d'un intérêt grandissant pour le pay as you go sur la période de décembre 2016 à mars 2017. Ensuite, les mois de mars 2017 et avril 2017 décrivent une stabilité du modèle prédit, signe d'une maturité du processus. L'intérêt du modèle prédit est de simuler la dynamique de notre modèle sur le moyen terme.

Nous proposons de suivre l'évolution des prédictions sur une période de 14 jours. Nous supposons qu'une période de 14 jours (correspondant à 2 saisonnalités) est fiable pour la prévision, sans trop biaiser les propriétés de notre modèle. Le nouveau modèle est très bien spécifié car il a un bon pouvoir explicatif. Le coefficient de détermination est de 78% et les erreurs de prévisions sont très faibles (0.18). Toutes les variables sont significatives de même que la constante. Nous pouvons interpréter la significativité de la constante comme l'effet d'adaptation. Au final, la prévision de notre modèle à court terme confirme que le pay as you go constitue une opportunité car il a permis d'accroître considérablement l'accès à l'énergie au regard de la dynamique des produits commercialisés.

Toutefois, le principe du pay as you go repose sur des paiements échelonnés par les utilisateurs sur la période contractuelle (6 mois au Bénin). Le succès effectif du programme repose sur le respect des échéanciers par les abonnés. Nous étudierons donc la quantification du risque client.

4.6 La caractérisation des risques : l'approche factorielle et l'approche économétrique

Largement discuté ci dessus, le principal avantage du PAYG appliqué au secteur de l'énergie repose sur la possibilité d'échelonner le paiement des systèmes jusqu'à l'acquisition complète de ce dernier. L'accès à l'énergie devient donc un déterminant inclusif de la bancarisation des populations les plus éloignés et les plus vulnérables. Cette inclusion sociale et économique évite aux utilisateurs de supporter des coûts d'entrée élevés compte tenu de leur capacité d'autofinancement limitée. Néanmoins, le risque majeur repose sur le respect des échéanciers de paiement. En effet, il n'y a aucun critère qui permet de discriminer à l'entrée du programme les utilisateurs. [Bloomberg²⁸ \(2016\)](#) propose de une diversification des portefeuilles des sociétés qui se développent dans le PAYG afin de réduire les risques associés qui se répartissent principalement entre l'engagement sur la dette contractée et l'absence de régulation fiable car il s'agit de marchés naissants. Quant à [GSMA²⁹ \(2017\)](#), l'organisation propose de mettre en place un certain nombre d'indicateurs de performance à l'endroit des compagnies et de leurs futurs clients pour évaluer la performance du marché et les capacités réelles des prospects.

En substance, il s'agit donc de pouvoir réduire le risque de défaut des paiements à travers l'enrichissement des données sur les bénéficiaires. Rappelons que le défaut de paiement dans notre cas se définit comme l'état d'inexploitation d'un produit issu d'un non respect de l'échéance du paiement escompté. Le défaut de paiement est une situation critique sur les plans économique et financier pour l'entreprise, car plus la part des produits concernés dans le portefeuille est importante, plus le manque à gagner s'accroît ce qui compromet la

28. https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2016/10/BNEF_WP_2016_10_07-Pay-as-you-go-solar.pdf

29. <https://www.lightingglobal.org/news/announcing-the-first-ever-key-performance>

santé financière de l'entreprise. La société court jusqu'à la faillite car les recettes escomptées dans son plan d'affaires ne sont plus honorées à bonne date, quand bien même bien les produits sont déjà sur le terrain et ne représentent plus un actif viable.

Au Bénin, chaque produit acquit en PAYG est censé être réactivé chaque semaine moyennant un paiement de 900 FCFA³⁰ qui correspond à une semaine d'usage durant vingt quatre semaines. Lorsque le paiement de la prochaine traite n'est pas honoré, le produit clignote et s'arrête de fonctionner. Au mois de mars 2017, le projet enregistrait 329 produits en défaut sur les 2115 en service, soit un taux de défaut de 15,56% dans le portefeuille global. Nous avons donc décidé de mener une enquête sur un échantillon de ces clients en défaut. Compte tenu des coûts en logistique et ressources humaines pour mener une telle opération, nous ne pouvons donc mener l'enquête sur l'ensemble du portefeuille en défaut. Pour ce fait, nous avons délibérément choisi de sonder un échantillon de 100 clients.

Pour être représentatif du niveau de défaut de paiements, nous avons classifié le risque de défaut en trois sous catégories à savoir :

- le risque faible qui correspond aux clients en défaut de paiement de moins de 7 jours inclus
- le risque moyen qui correspond aux clients en défaut de paiement entre 8 jours et 14 jours inclus
- le risque élevé qui correspond aux clients en défaut de paiement au delà de 15 jours

Par la suite, nous avons tiré de façon aléatoire un nombre de clients en défaut proportionnellement aux trois niveaux de risque. L'entretien réalisé est sur la base d'un appel téléphonique qui dure entre 3mn et 10mn. Un masque de saisie Excel permet pour chaque client appelé de recueillir ses réponses aux questions posées ainsi que ses observations. Le questionnaire figure en annexe 4.16. De façon spécifique, le questionnaire permet de confirmer l'identité du clients, sa géolocalisation, sa catégorie socioprofessionnelle ainsi que son niveau d'éducation, sa situation matrimoniale, son âge, le nombre de jour de défaut de paiements du produit acquit, s'il y a un compte mobile money ou non, les raisons de son défaut de paiement, ainsi que ses propres impressions. L'enquête a mobilisé 3 enquêteurs-analystes pendant une semaine.

Les résultats exhaustifs de l'enquête sont confidentiels. A l'exception de l'âge, toutes les variables sont de type qualitatives. Nous avons donc reporté en annexe toutes les statistiques descriptives de chacune d'entre elles. Il est quand même utile d'en rappeler la décomposition.

Comme désigné ci dessus, le risque de défaut de paiement est hiérarchisé en trois catégories à savoir : le risque faible pour les paiement de moins de 7 jours, le risque moyen pour les paiements de huit jours à quinze jours en défaut et le risque élevé pour les paiements en défaut supérieurs à quinze jours. Les défauts de paiement faible et moyen correspondent respectivement 15% chacun

30. environ 1.8 USD

du portefeuille. Les 70% restants sont donc des clients au risque élevés car ilsregistrent un défaut de paiement supérieur à 15 jours. On peut supposer qu'il y a donc une sur pondération des clients à risque mais il s'agit pour nous de minimiser au maximum les délais de grâce dans l'interprétation du risque.

Concernant la variable région, nous subdivisons le territoire national en 5 régions à savoir le Nord Ouest, le Nord Est, le Centre, le Sud Est et le Sud Ouest. L'intérêt de cette variable géographique est de voir s'il existe un risque région dans les profils des clients à risque. Les régions du Nord Est, Nord Ouest, Centre, Sud Est et Sud Ouest représentent respectivement 11%, 6%, 14%, 46% et 23% de notre portefeuille. La région du Sud Est semble dominante et nous tâcherons dans l'analyse d'établir l'existence de corrélation entre la région et le risque de paiement.

Les catégories socio-professionnelles ont été regroupées en 3 sous catégories à savoir : les personnes au chômage, les personnes en emploi non qualifié et les personnes avec un emploi qualifié. Cette segmentation des catégories socio-professionnelle est très importante dans la mesure où en l'absence de données ex ante sur les bénéficiaires, le risque est susceptible d'être lié à des individus n'ayant pas de revenus constant. De ce fait, les personnes au chômage semblent donc les plus vulnérables à s'exposer au défaut de paiement. Seul 4% des clients sont au chômage, 79% ont un emploi non qualifié et 17% ont un emploi qualifié. La sur pondération des emplois non qualifiés est susceptible de représenter les réalités des populations ciblées qui sont majoritairement rurales avec un faible niveau d'éducation.

S'agissant donc du niveau d'éducation, il s'agit d'une variable très importante. Nous avons agrégé en quatre sous variables à savoir l'absence d'instructions scolaires, le niveau primaire, le niveau secondaire et enfin le niveau supérieur. Le croisement du niveau d'instruction avec le niveau d'emploi renforce de facto la perception du profil du bénéficiaire. 34% n'ont pas de niveau d'instruction, contre 24% qui ont un niveau primaire, 27% ont un niveau secondaire et 15% ont un niveau supérieur. A nouveau, l'absence d'éducation et le niveau d'éducation primaire sont donc dominant (ils représentent 58% des observations) et caractérisent les populations cibles.

Concernant l'âge des enquêtés, nous les avons regroupé en trois sous catégories à savoir : les jeunes pour les enquêtés de moins de 30 ans qui représentent 31% des observations, les personnes actives pour les enquêtés ayant 30 ans et 60 ans représentant 66% des observations et les personnes âgées pour les personnes de plus de 60 ans qui ne représentent que 3% des observations. Cette classification des âges est conforme à l'état de la Nation dans la mesure où le poids de la jeunesse est dominant dans la pyramide des âges. De plus, les jeunes sont le plus souvent exposés au chômage massif et tardent à trouver un emploi. Nous faisons donc l'hypothèse que les actifs se situent entre 30 et 60 ans, d'autant plus que l'âge légal d'admission des droits de retraite est de 60 ans.

S'agissant de la variable du mobile money, il s'agit de savoir si les utilisateurs ont activé l'option sur leur téléphone ou pas. Cette variable est déterminante dans la mesure où l'absence de l'activation du mobile money, le renouvellement des paiements est liée à l'inter médiation via un agent de l'opérateur MTN. Ceci induit un facteur temps susceptible d'agir sur la périodicité des paiements. Nos

observations démontrent que 81% affirment avoir le mobile money. Ils n'ont donc pas, à priori besoin d'inter médiation pour honorer leur processus de repaiement sauf par défaut de compréhension des instructions ou pour cause de finance et technique.

La variable sexe n'a pas trop d'importance même si 92% des clients sont des hommes contre 8% des femmes. En effet, nous n'avons pas d'études cadres ni de documents capables de justifier l'impact du genre sur la capacité à rembourser.

Enfin, sur les causes des défauts de paiements, les réponses des abonnés ont été agrégées en 4 sous variables que sont : les finances pour les enquêtés déclarant ne pas disposer des ressources financières pour faire face au renouvellement des produits, la distance dans le cas où ils résident loin des intermédiaires (cette réponse est compatible avec l'activation ou non du mobile money), la mobilité pour les enquêtés qui ne sont pas stables sur leur lieu géographique et donc ont des cycles de paiement liés à leur mobilité, et enfin la technique pour les enquêtés qui déclarent faire face à des dysfonctionnements techniques du produit. Les statistiques montrent que 12% des réponses convergent sur une cause de distance, 63% pour cause de finance, 21% pour cause de mobilité et enfin 4% pour cause de technique.

Somme toute, notre échantillon se compose de 100 individus, 7 variables qualitatives et 24 modalités totales pour les variables. L'hétérogénéité des réponses ainsi que des variables nous forcent donc à recourir à plusieurs méthodes pour comprendre à la fois les interactions ou les proximités entre les types de variables ; de même que la probabilité pour un type de profil donné d'être plus exposé au risque ou non. Pour ce fait, nous utiliserons deux méthodes aussi bien divergentes que complémentaires dans la section suivante.

4.6.1 L'analyse des correspondances multiples

Compte tenu de la nature qualitative de certaines données, nous avons décidé d'utiliser la méthode d'analyse des correspondances multiples qui est une analyse de données multivariée pour comprendre les déterminants du défaut de paiement. En effet, [Abdelkhalek & Ejjanoui \(2013\)](#) décrivent l'analyse des Correspondances Multiples (ACM) comme l'analyse simultanée de plusieurs variables qualitatives. La méthode consiste à chercher, dans un premier temps, le premier axe factoriel sur lequel le nuage se déforme le moins en projection. Cet axe restitue, par construction et par définition, la part la plus importante de l'inertie totale (la variabilité totale) du nuage ou encore de l'information que le nuage contient.

L'utilisation de l'ACM contraint à rendre qualitatives l'ensemble des modalités de nos variables³¹. Le tableau ?? en annexe renseigne sur les variables d'intérêt et leur modalité.

31. Pour notre modèle, nous recodons grâce au logiciel Stata les variables clés qui nous intéressent.

L'analyse des résultats de l'ACM fait ressortir plusieurs paramètres. Tout d'abord, il s'agira d'apprécier la représentativité de chacune des variables dans le modèle. Les variables les moins significatives seront supprimées en vue d'améliorer la qualité de l'analyse. Ensuite, le poids de chaque des variables sur les axes renseigne la représentativité de leur variabilité. Il s'agit donc de mesurer la part expliquée de chaque variable dans la variance totale. Enfin, le \cos^2 renseigne sur la qualité de la représentation. Nous nous baserons sur les méthodes d'analyse en composantes multiples ainsi que sur l'analyse factorielle discriminante qui sont des méthodes d'analyse factorielle multivariées. Le critère d'inertie et de l'impact des axes des résultats obtenus nous permettent donc de déterminer les facteurs influents qui caractérisent les défauts de paiement.

Nous effectuons l'ACM en utilisant comme variable de contrôle³² le niveau de risque et la cause. Nous obtenons une inertie totale de 0,12 et les deux premiers axes expliquent 60% de cette inertie. Cette part significative de la contribution de ces deux axes est renforcée par le fait que ce sont les seuls axes dont la valeur propre est supérieure à la moyenne des valeurs propres du modèle qui est de 0,14³³. Les deux premiers axes contribuent respectivement à 44% et 16% dans l'inertie totale. Nous ne retiendrons que ces deux axes parmi les sept estimés. Pour mieux comprendre la significativité de ces axes, nous nous pencherons sur la contribution de chacune des variables et modalités projetées et estimées. Nous constatons que la contribution de la région est marginale dans l'ACM avec une contribution de la variable inférieure à 5% dont chacune des modalités est inférieure à 3%. Nous en déduisons que les défauts de paiement ne sont pas tributaires d'une région donnée, expliquant qu'il n'y a pas un risque géographique dans le projet. Nous retirons donc cette variable et estimons une nouvelle ACM dont les axes 1 et 2 expliquent 67% de l'inertie totale due à une meilleure contribution de l'axe 2 qui passe à 23%. Nous gagnons donc en précision.

La Figure 4.11 décrit l'analyse de la représentativité de chaque variable dans les deux dimensions. Nous constatons dans l'ensemble que les niveaux d'éducation les plus élevés se dégagent quelque soit des autres niveaux d'éducation. Les niveaux d'étude supérieur et secondaire s'opposent de façon extrême aux autres niveaux d'étude sur les dimension 1 et 2. Les coefficients négatifs respectifs (-2,9 et -1,65 de l'enseignement supérieur sur les dimensions 1 et 2 et -de - 0,01 et -0,318 de l'enseignement secondaire sur les dimensions 1 et 2) justifient l'hypothèse qu'avoir un niveau d'éducation scolaire élevé est un critère discriminant dans le niveau de risque. De même, être plus âgé se distingue de façon nette des deux autres modalités. Concernant le mobile money, les observations contradictoires ne nous permettent pas de tirer une hypothèse viable. Toutefois, la contribution de la modalité ne pas avoir de mobile money est la plus significative sur les 2 axes (0,04 sur la dimension 1 et 0,07 sur la dimension 2. Concernant la variable de la catégorie socio professionnelle, l'emploi qualifié

32. Les variables de contrôles s'ajustent par le biais de la fonction *supplementary* dans l'option *mca* de Stata

33. La moyenne des valeurs propres est obtenue par l'inverse du nombre de modalités de notre modèle

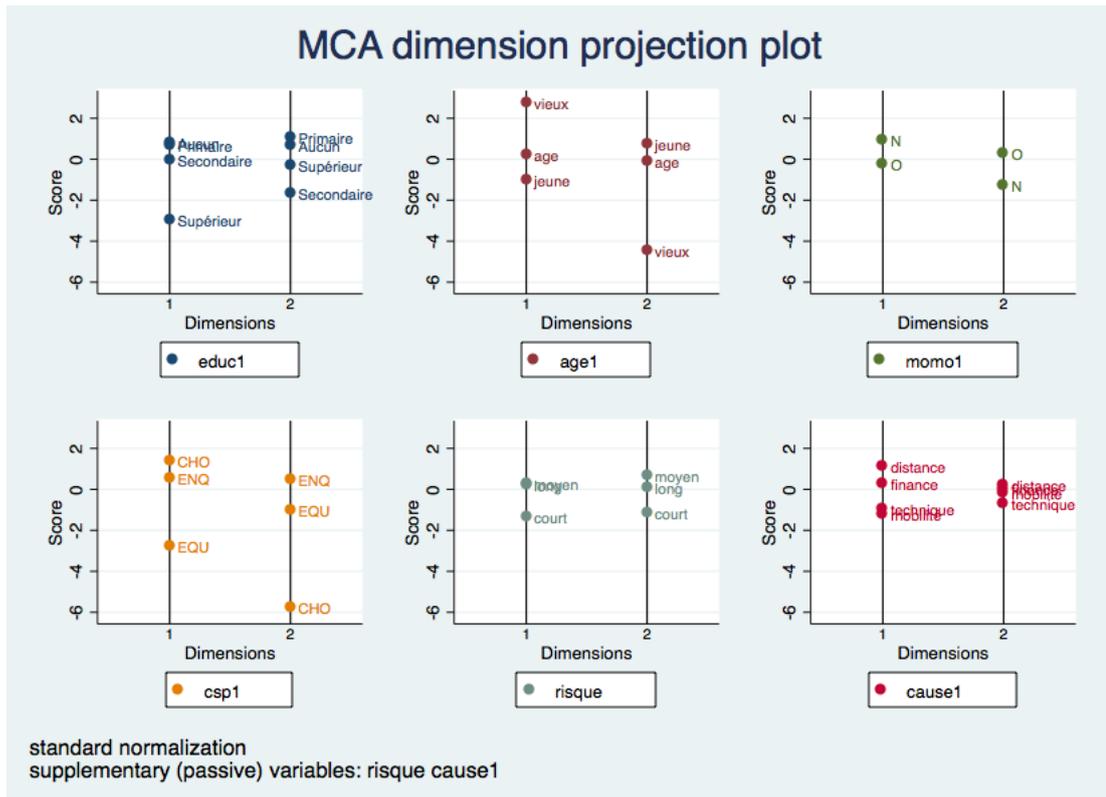


FIGURE 4.11: Figure des projections de variables sur les 2 axes de l'ACM

a la plus forte contribution et se détache clairement des deux autres modalités. Dans la mesure où l'axe 1 est celui qui a l'inertie la plus importante, nous pouvons déduire que avoir un emploi qualifié est un facteur discriminant dans le risque de défaut de paiement. Son coefficient négatif (-2,78) renforce également cette hypothèse. S'agissant des variables de contrôle, pour les causes de défaut de paiement, nous avons 3 catégories d'après l'observation de l'axe 1. Initialement, un rapprochement des modalités voyage et distance qui semblent logiques dans la mesure où elles convergent vers le motif d'absentéisme physique du bénéficiaire. Le couple de modalité mobilité et technique représenterait les bénéficiaires impactés de façon jointe par l'absence physique et par les défauts de fonctionnement de produit et enfin la finance, équidistante des groupes de modalités cités ci dessus. Enfin, pour le niveau de risque, le risque se dégage de façon unanime des risque moyen et long terme. Ceci traduit une nette différenciation entre les profils de clients présentant un risque court et ceux qui présentent des risque moyen et élevé. L'analyse des correspondances multiples de la figure met en évidence les synergies entre nos différentes variables.

L'observation graphique nous permet de conclure que la dimension 1 oppose clairement les individus ayant un emploi qualifié de niveau secondaire ou supérieur aux autres individus. En effet, les premiers sont ceux qui sans distinction d'âge ont le risque de défaut le plus faible. Leur défaut de paiement se justifie principalement à la technique ou la mobilité. Le niveau d'emploi qualifié dans les localités sondées est synonyme de contraintes professionnelles qui ne permettent

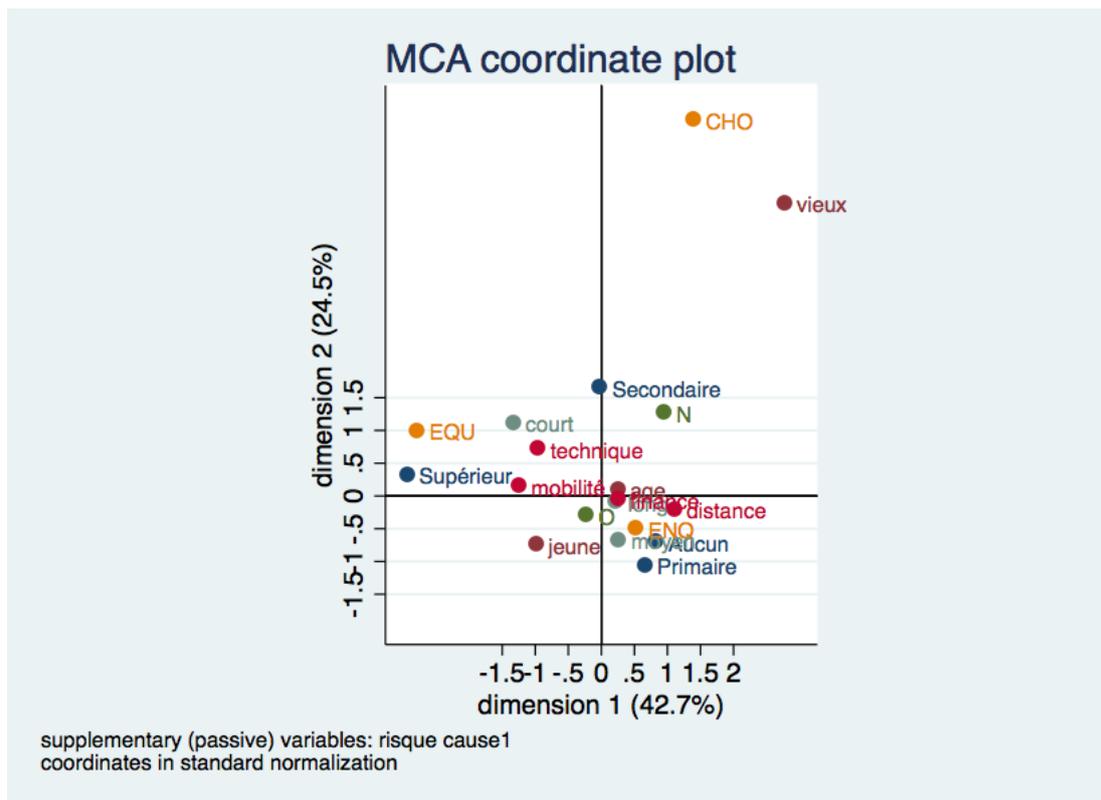


FIGURE 4.12: Figure de l'analyse en correspondances multiples

aux bénéficiaires d'être sur place pour veiller au renouvellement périodique du produit. Ce risque de défaut est faible d'autant plus à leur retour, ils se remettent automatiquement à jour. Nous constatons une étroite proximité pour les individus dont le risque est moyen ou élevé. En effet, les profils de ces individus sont un faible niveau d'éducation, les emplois non qualifiés et les causes de distance et de finance. En effet, le faible niveau d'instruction prédispose à un emploi non qualifié qui de surcroît est susceptible d'entraîner une situation financière non stable. De ce fait, ces individus sont ceux qui n'ont pas la possibilité d'honorer de façon récurrente leur paiement pour cause de finances. Enfin, nous avons une dernière catégorie très difficile à classer d'un point de vue risque dans la mesure où ils sont sans emploi, de plus de 60 ans. La limite de notre analyse réside en l'absence d'informations sur le patrimoine ou l'actif des sujets. Ces deux paramètres pouvant être considérés comme un critère d'évaluation de la solvabilité. De plus, ces profils sont dans la même dimension que le niveau d'instruction secondaire et répondant à la modalité sans mobile money. Une hypothèse serait de considérer cette catégorie de clients pour lesquels l'évaluation de risque s'avère compliquée comme des personnes âgées, ayant un niveau d'instruction limitée et n'ayant pas les capacités de manipuler convenablement leur téléphone pour les renouvellements des produits.

En résumé, l'analyse des correspondances multiples nous a permis de déterminer 3 grandes catégories d'individus avec des niveaux de risque relatifs. La première catégorie concerne les individus présentant le risque le plus faible

(moins d'une semaine) qui pour la plupart du temps, ont un niveau d'instruction élevé et dont les défauts de paiement sont principalement dus à une forte mobilité et à des défaillances techniques. La seconde catégorie concerne les individus de 30 à 60 ans dont les défauts de paiement sont supérieurs à plus de deux semaines, qui ont pour la plupart un niveau d'instruction très faible et des emplois non qualifiés. Ils justifient leur retard de paiement par les contraintes financières et la distance les séparant des points marchands. Enfin, la dernière catégorie concerne les personnes de plus de 60 ans qui n'ont pas une activité professionnelle. Il est difficile de quantifier le risque lié dans la mesure où nous n'avons aucune information sur le patrimoine de ces derniers, d'autant plus ils ont un niveau d'instruction limité (le secondaire) et n'ont pas activé le mobile money sur leur téléphone.

4.6.2 L'approche logit multinomiale

Le modèle logit multinomial consiste en une généralisation du modèle logit classique pour des variables à expliquer ayant plus de deux modalités³⁴. Contrairement à l'analyse des composantes étudiée ci dessus, il s'agit ici de comprendre ou prédire l'effet d'une ou plusieurs variables sur une variable qualitative à réponses multiples. Cette variable doit être une variable catégorielle non ordonnée. L'ensemble des calculs se font relativement à une modalité de référence à déterminer. Le modèle logit multinomial permet de modéliser la probabilité qu'un événement survienne étant donné les valeurs d'un ensemble de variables descriptives quantitatives et/ou qualitatives.

Dans notre cas, la variable dépendante est bien de type qualitative avec trois modalités. L'approche multinomiale nous permettra de voir non pas des proximités entre les variables comme dans l'ACM mais les probabilités d'appartenir à une catégorie donnée. Nous prendrons donc comme repère de base le risque faible.

Le tableau 4.15 qui figure en annexe détaille les résultats du modèle estimé. Tout d'abord le modèle présente un très faible coefficient de *pseudo* - R^2 de 32,7%. Contrairement aux modèles linéaires, il ne s'agit pas ici du coefficient de détermination du modèle. En effet, la somme carrée des résidus (RSS) ajoutée à la somme du modèle au carré (MSS) n'égalise pas la somme des carrés (TSS), Cameron & Trivedi (2010) . Le maximum de vraisemblance est le meilleur indicateur de qualité du modèle. Nous effectuons donc un test de vraisemblance avec une restriction sur le paramètre âge. Nous obtenons une p-value de 2,05% qui nous permet de conclure qu'il n'y a pas d'interactions entre nos variables et que le modèle est bien spécifié. Nous aurons pu aussi effectuer un test de Wald tout en obtenant des résultats similaires, Cameron & Trivedi (2010) .

Le test du Multiplicateur de Lagrange sur les modèles généraux nous permet de vérifier si le modèle est bien spécifié. Les résultats de test, issus de l'analyse de la p-value qui est égale à 13,13% nous permet de ne pas rejeter à tort l'hypothèse nulle de bonne spécification du modèle suivant le test de Wald dont la statistique de test est égale à 4,06. Une fois les tests préliminaires effectués,

34. cette méthode peut aussi être appelée régression logistique polynomique

nous pouvons à présent analyser les résultats de notre modèle.

Nous considérons le niveau de risque de défaut faible comme scénario de référence.

Variable de référence		<i>risque de défaut faible</i>	
Variable de comparaison		<i>risque de défaut élevé</i>	
<i>Modalité</i>		Coeff	p-value
<i>reg</i>	<i>se</i>	2.27	4.7%
<i>cause</i>	<i>fin</i>	1.97	3.3%
	<i>mob</i>	4.16	0.6%
<i>agecat</i>	<i>30-60</i>	-1.96	6.3%
Variable de comparaison		<i>risque de défaut moyen</i>	
<i>Modalité</i>			
	<i>fin</i>	2.91	7,3%

TABLE 4.4: Résultats succincts des variables significatives du modèle

La première partie détaille les facteurs d'exposition au risque de défaut élevé par rapport au risque faible. Nous avons résumé dans la table 4.4 les résultats des variables significatives du modèle. Les résultats complets figurent en annexe.

Nos résultats montrent que pour le critère région, seuls les personnes qui habitent les régions du Sud Est ont plus de risque d'être en défaut de paiement élevés par rapport au risque faible. En effet, avec une plus valeur de 4,7% inférieur au seuil de tolérance de 5%, on ne peut rejeter à tort cette variable. Un individu qui habiterait donc le Sud Est du Bénin a plus de chance de présenter un niveau de paiement élevé qu'un individu des autres régions. Globalement, le critère région n'est pas un paramètre de différenciation du niveau de risque car aucun coefficient des autres variables des régions n'est significatif.

Pour la variable éducation, aucun coefficient des modalités n'est significatif au seuil de 5%. Nous en concluons donc que le fait d'avoir été scolarisé ou non ne permet pas de justifier une exposition à un niveau de risque plus élevé par rapport au scénario de référence. Ce résultat, bien que surprenant nous semble logique dans la mesure où le degré d'éducation ne caractérise pas pour autant la solvabilité d'un individu. En effet, la jeunesse du Bénin bien qu'ayant un niveau d'éducation est victime d'un chômage grandissant.

S'agissant du critère socio-professionnel, le fait d'être au chômage ne justifie pas pour autant l'exposition à un risque plus élevé par rapport au fait d'avoir un emploi qualifié ou non qualifié. Ce résultat est justifié par la non significativité

des paramètres de la régression au seuil de décision de 5%. De même, avoir un compte de mobile money, censé simplifier les transactions sans recours à un intermédiaire ne justifie pas non plus d'être un individu à risque plus élevé.

Pour les variables âge et cause, les résultats obtenus sont plus contrastés. Seuls les individus entre 31 et 60 ans ont une probabilité de présenter un risque de défaut plus élevé que le scénario de référence à un seuil de décision de 10%. En effet, le coefficient du paramètre a une p-value de 6,3%, légèrement supérieur au seuil de décision de 5%. S'agissant de la variable cause, nous constatons en effet que pour les mêmes individus en défaut élevé, les raisons financières et de mobilité sont celles qui sont significativement différentes de zéro car elles ont des p-values respectives de 3,33% et 0,6%. Les individus qui présentent ses caractéristiques sont significativement différents de ceux qui énoncent pour cause la distance. Ces résultats se justifient aisément par le fait que l'absence de revenus fixes ou la mobilité pour cause de recherches d'emploi sont susceptibles de justifier le fait que les clients n'arrivent plus à honorer leur engagement.

Par la suite, nous analysons le risque de défaut moyen, c'est à dire compris entre 8 jours et 15 jours par rapport au scénario de référence. La variable région n'est significative pour justifier du niveau de défaut de paiement. En effet, aucune des modalités n'est significativement différente de zéro. Idem pour le niveau d'éducation, la catégorie socioprofessionnelle, la détention d'un portefeuille électronique et l'âge. Sur les causes du défaut de paiement, seule la modalité finance est significativement différente de zéro. Soit, les clients qui présentent un niveau moyen de risque de paiement et qui justifient des difficultés financières sont statiquement susceptibles d'impacter sur les individus en risque faible. Contrairement aux clients en risque élevé, le risque moyen est plus difficile à quantifier dans la mesure où le niveau des finances des clients peut permettre de quantifier le degré de risque.

Nous nous proposons donc de mesurer les effets marginaux pour tenter d'analyser de façon plus profonde l'effet d'une variation d'une variable sur les autres.

Nous analysons les effets marginaux à la moyenne, en prenant comme situation de référence le niveau de risque faible. Aucune des statistiques de test n'est significativement différent de zéro. Ce résultat s'interprète comme l'absence de probabilité de migrer vers un niveau de risque plus élevé si une modalité change. Le résultat obtenu est toutefois conforme aux conclusions du test de Wald.

4.7 Conclusion

Le continent africain fait face à plusieurs défis, en l'occurrence s'agissant de l'accès pour tous aux infrastructures et services de base. La révolution de la téléphonie mobile au cours des dernières décennies a permis d'accélérer la diffusion de services innovants à des tarifs très compétitifs et qui ne nécessitent pas des infrastructures plus onéreuses. C'est la raison pour laquelle ce papier analyse le premier programme du mobile money appliqué au secteur de l'énergie au Bénin.

Les résultats de notre étude sont aussi bien intéressantes que multiples. S'agissant de l'évolution des ventes, nous avons déterminé un coefficient d'apprentissage égal à 6,47%. Aussi, il en ressort une croissance soutenue qui se stabilise toutefois dans le temps, avec une composante saisonnière significative d'ordre 7. La prévision sur quinze jours confirme la fiabilité de notre modèle au regard des estimateurs obtenus. En somme, l'impact du développement numérique et de la téléphonie mobile produisent plusieurs externalités positives qui permettront d'accroître la diffusion des technologies et services de base même dans les régions les plus reculées en particulier dans le secteur de l'énergie.

Par la suite, nous avons analysé sous deux angles complémentaires le risque associé au défaut de paiement grâce à l'analyse des correspondances multiples et à la régression multinomiale. Il en ressort trois catégories dont les profils dépendent de l'âge, du niveau d'instruction et du type d'emploi. En l'absence de données sur le patrimoine, nous ne pourrions comprendre l'impact réel du revenu sur les défauts du paiements pour certaines catégories de bénéficiaires. Pour le modèle économétrique estimé, nous avons trouvé, en comparaison à la situation de référence que seul le niveau des finances justifiait le niveau de risque assujetti. Seule la variable finance justifie un niveau de risque significatif. En effet, le Bénin étant classé parmi les pays aux revenus les plus faibles, plusieurs ménages bien qu'intéressés par la solution sont susceptibles de ne pas pouvoir honorer leurs engagements au regard de leur revenu qui ne sont pas fixes.

Néanmoins, les résultats trouvés renforcent l'hypothèse d'un filtrage des clients afin de réduire les risques de défaut de paiement compte tenu de l'importance que revêt l'économie mobile dans le déploiement des services.

En fin de compte, cette étude ouvre aussi le champ de l'interaction monétaire ainsi que de la réglementation entre les secteurs bancaire et ceux de la téléphonie mobile. En effet, la part de la téléphonie mobile passera à plus de 7% dans le PIB du continent au cours des années à venir. Ceci représente une réelle opportunité pour les gouvernements d'y bâtir un secteur de croissance durable et inclusif au développement.

4.8 Annexes

Augmented Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = **114**

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-5.983	-3.505	-2.889	-2.579

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = **0.0000**

TABLE 4.5: ADF Test - sales

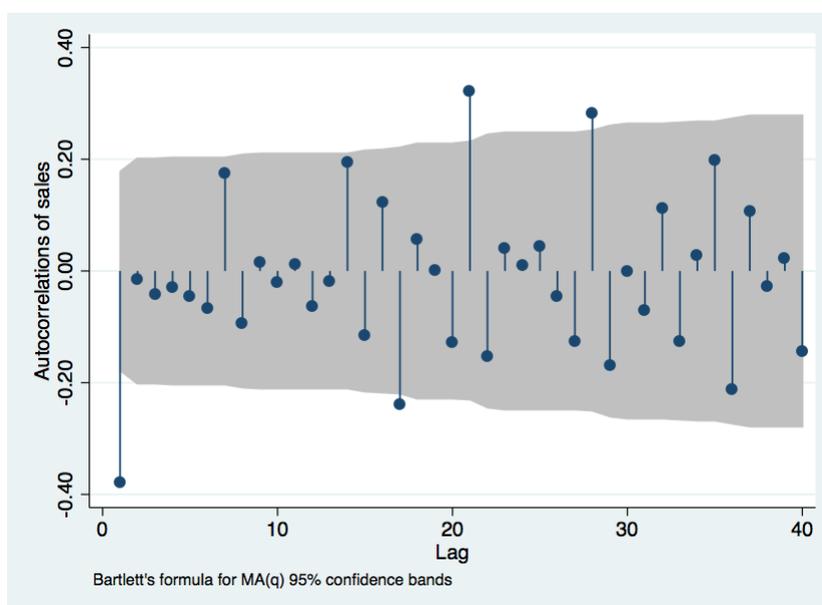


FIGURE 4.13: Autocorrelation Function de la serie sales

<i>Skewness/Kurtosis tests for Normality</i>					
			<i>joint</i>		
Variable	Obs	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis) adj	chi2(2)	Prob>chi2
res	122	0.9659	0.4959	0.47	0.7901

TABLE 4.6: Test de normalité des résidus du SARMA

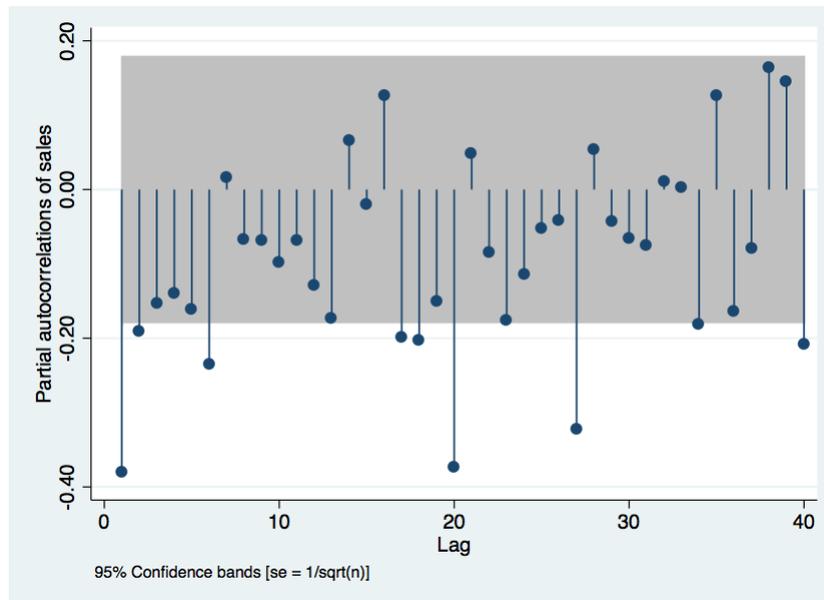


FIGURE 4.14: Partial Autocorrelation Function de la serie sales

<i>Portmanteau test for white noise</i>			
Portmanteau (Q)	statistic	=	0.0328
Prob >chi2(1)		=	0.8564

TABLE 4.7: Résultats du test d'autocorrelation des résidus du SARMA

<i>Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity</i>	
Ho :	Constant variance
Variables :	fitted values of sales
chi2(1) =	0.05
Prob >chi2 =	0.8222

TABLE 4.8: Résultats du test d'homoscédasticité des résidus du SARMA

Variable	Coefficient	(Std. Err.)
Equation 1 : chat2		
Intercept	2.612**	(0.211)
Equation 2 : ARMA		
L.ar	0.657**	(0.140)
L.ma	-0.241	(0.168)
Equation 3 : ARMA7		
L.ar	0.961**	(0.040)
L.ma	-0.743**	(0.109)
Equation 4 : sigma		
Intercept	0.270**	(0.015)
Significance levels : † : 10% * : 5% ** : 1%		

TABLE 4.9: Estimation results : arima

TABLE 4.10: Estimation results : regress

Variable	Coefficient	(Std. Err.)
L.chat2	0.565**	(0.050)
S7.chat2	-0.154	(0.101)
rfinal	1.422**	(0.096)
S7.rfinal	-0.194*	(0.089)
Intercept	1.164**	(0.133)
Significance levels : † : 10% * : 5% ** : 1%		

<i>variable</i>	<i>modalités</i>
region	Nord Ouest
	Nord Est
	Sud Est
	Sud Ouest
	Centre
sexe	Homme
	Femme
csp	ENQ
	EQU
	CHO
educ	aucun
	primaire
	secondaire
	superieur
cause	technique
	finance
	mobilité
	distance
age	jeune
	age
	vieux
momo	oui
	non

TABLE 4.11: Les variables de l'ACM et leurs modalités respectives

	Freq.	Percent	Cum.
agecat			
<i>30</i>	31	31	31.00
<i>60</i>	66	66.00	97.00
<i>90</i>	3	3.00	100.00
default			
<i>high</i>	70	70.00	70.00
<i>low</i>	15	15.00	85.00
<i>middle</i>	15	15.00	100.00
educ			
<i>highs</i>	27	27.00	27.00
<i>noeduc</i>	34	34.00	61.00
<i>primary</i>	24	24.00	85.00
<i>sup</i>	15	15.00	100.00
csp			
<i>CHO</i>	4	4.00	4.00
<i>ENQ</i>	79	79.00	83.00
<i>EQU</i>	17	17.00	100.00
momo			
<i>N</i>	19	19.00	19.00
<i>O</i>	81	81.00	100.00
sex			
<i>F</i>	8	8.00	8.00
<i>M</i>	92	92.00	100.00
reason			
<i>dist</i>	12	12.00	12.00
<i>fn</i>	63	63.00	75.00
<i>mob</i>	21	21.00	96.00
<i>tech</i>	4	4.00	100.00

TABLE 4.12: Statistiques descriptives des variables et des modalités associées

lrtest B	
<i>Likelihood-ratio test</i>	LR chi2(6) = 14.97
<i>(Assumption : . nested B)</i>	Prob >chi2 = 0.0205

TABLE 4.13: Tests du Maximum de Vraisemblance issue de la régression multinomiale

Test Langrage Multiplicateur General	
Test xbhatsq	
<i>(1) [high]xbhatsq</i>	= 0
<i>(2) [low]o.xbhatsq</i>	= 0
<i>(3) [middle]xbhatsq</i>	= 0
<i>Constraint 2 dropped</i>	-
chi2(2)	= 4.06
Prob >chi2	= 0.1313

TABLE 4.14: Test Général du Multiplicateur de Lagrange

Multinomial logistic regression		Number of obs =	100
		LR chi2(32) =	53.56
		Prob > chi2 =	0.0098
		Pseudo R2 =	0.3270
Log likelihood = -55.1024			
rdfault	Coef. Std. Err.	z	P> z [95% Conf. Interval]
high			
reg			
ne	1.29429 56221.11	0.00	1.000 -110190 110192.6
ce	-.050401 1.363215	-0.04	0.971 -2.722254 2.621452
nw	-1.759641 1.652582	-1.06	0.287 -4.998641 1.47936
se	2.274975 1.145227	1.99	0.047* .0303718 4.519578
sw	1.430456 1.316578	1.09	0.277 -1.14999 4.010902
edu			
noeduc	.2626044 1.092414	0.24	0.810 -1.878487 2.403696
primary	.3956941 1.180555	0.34	0.737 -1.918152 2.70954
sup	-.1231 1.193122	-0.10	0.918 -2.461577 2.215376
cspp			
ENQ	.3797876 1.780275	0.21	0.831 -3.109488 3.869063
EQU	-.8606616 1.826413	-0.47	0.637 -4.440364 2.719041
momoney			
O	.0503362 1.032923	0.05	0.961 -1.974156 2.074829
cause			
fin	1.971727 .9226132	2.14	0.033* .1634387 3.780016
mob	4.1617 1.524761	2.73	0.006* 1.173224 7.150176
tech	18.94943 4170.851	0.00	0.996 -8155.768 8193.666
agecat			
60	-1.957841 1.053716	-1.86	0.063* -4.023087 .1074051
90	16.66942 3642.773	0.00	0.996 -7123.035 7156.374
_cons	-.4604595 2.434268	-0.19	0.850 -5.231537 4.310618
low (base outcome)			
middle			
reg			
ne	20.96722 51019.82	0.00	1.000 -99976.05 100018
ce	-1.132273 1.669908	-0.68	0.498 -4.405234 2.140687
nw	-17.56816 3442.622	-0.01	0.996 -6764.984 6729.847
se	-1.272103 1.544172	-0.82	0.410 -4.298625 1.754419
sw	1.436267 1.440521	1.00	0.319 -1.387102 4.259636
edu			
noeduc	1.444099 1.388422	1.04	0.298 -1.277158 4.165356
primary	.3845426 1.534031	0.25	0.802 -2.622102 3.391187
sup	.2242826 1.635806	0.14	0.891 -2.981839 3.430404
cspp			
ENQ	14.49212 3865.841	0.00	0.997 -7562.417 7591.401
EQU	12.9157 3865.841	0.00	0.997 -7563.994 7589.825
momoney			
O	-1.918455 1.359861	-1.41	0.158 -4.583733 .7468235
cause			
fin	2.90748 1.62305	1.79	0.073* -.2736394 6.0886
mob	3.304292 2.29842	1.44	0.151 -1.200528 7.809111
tech	19.57857 4170.851	0.00	0.996 -8155.139 8194.296
agecat			
60	-1.640566 1.26137	-1.30	0.193 -4.112806 .8316729
90	1.749782 5822.868	0.00	1.000 -11410.86 11414.36
_cons	-14.57197 3865.842	-0.00	0.997 -7591.482 7562.338

TABLE 4.15: Estimation du modèle multinomial

L'énergie solaire autrement, PAYEZ VOTRE LAMPE SOLAIRE EN CASH OU À CRÉDIT

1 lampe, 3 niveaux d'éclairage,
1 chargeur pour téléphone
Garantie 2 ans

Grace au Pays As You GO et
au MTN Mobile Money



100 LUMENS
per light

24 HOURS
of light on one day's
charge

5 YEARS
battery life LifePo
Technology

PAYS AS YOU GO
**POSSIBILITÉ DE PAYER EN
PLUSIEURS FOIS***

**Plusieurs paiements sur 6 mois, plus
d'informations en point de vente.*



Un crédit est un engagement, une dette qui doit être
intégralement remboursée.

FIGURE 4.15: Prospectus du projet



Formulaire des questions au cours de l'entretien

N.B : *Cet entretien est réalisé en français par défaut ou dans la langue de l'intéressé.*

	Bonjour Monsieur/Madame, nous sommes la société ARESS, qui distribue les produits solaires que vous aviez acheté. Nous nous permettons de vous appeler car votre lampe ne fonctionne plus depuis quelques jours et nous souhaitons avoir des informations. Cette enquête vise aussi à améliorer la qualité des services que nous proposons. Etes vous disponibles ? (Si oui, merci de votre collaboration – Si non, quand pourrions nous vous rappeler ?)
	Quel est votre département ?
	Quel est votre localité/village/quartier ?
	Quel est votre nom et prénoms ?
	Quel est votre niveau d'instructions ?
	Quelle est votre situation matrimoniale ?
	Quelle est votre profession ?
	Quel est votre âge ?
	Au moment de l'achat de la lampe, aviez-vous signé un contrat avec le vendeur ?
	Combien de lampes aviez-vous acheté ?
	Avez-vous un compte Mobile Money MTN ?
	Pourriez-vous nous rappeler les modalités de paiement de votre lampe ?
	Vous a-t-on expliqué comment la lampe fonctionne ?
	Si oui, dites-nous comment ?
	Combien aviez-vous déjà payé à ce jour ?
	Combien vous restez devoir ?
	Votre lampe fonctionne t'elle actuellement ?
	Si non, pourquoi selon vous ?
	Pouvez-vous nous dire les raisons du non-paiement de votre lampe ?
	Quand est-ce que vous pensez régulariser les montants dus ?
	Seriez-vous intéressés par un paiement journalier pour alléger les remboursements ?
	Saviez-vous que vous avez la possibilité de faire le paiement depuis votre compte Mobile Money ?
	Seriez-vous prêt à acheter un système plus grand dès que vous finirez de payer celui ci ?
	Madame, Monsieur, nous vous remercions pour votre disponibilité. Agréable journée.
	Interview réalisée le xx/xx/2017
	Identité de l'enquêteur :

FIGURE 4.16: Formulaire de l'entretien relatif au défaut de paiement

Chapitre 5

Conclusion générale

Cette dernière partie, synthétise l'ensemble de nos travaux et ouvre les perspectives sur des recherches prometteuses et enrichissantes.

Les nombreux enjeux de l'électrification du continent africain constituent à la fois un pilier pour la croissance économique du continent de même qu'une opportunité d'atteindre la plupart des objectifs du développement durable à savoir la réduction des inégalités, la pauvreté ainsi que la croissance partagée et prospère.

Dans un monde où un habitant sur six est en Afrique, et où un habitant sur trois sera africain à l'horizon 2050, il urge d'adopter des politiques en faveur du climat, de l'économie verte et de la digitalisation pour faire face à la forte pression sur la demande en énergie. En effet, la consommation continentale moyenne par habitant est d'environ 200 kWh par an, contre 4 200 kWh par habitant pour un sud africain et 1 500 kWh par habitant un habitant du Maghreb. D'après [Tagliapietra & Bazilian \(2017\)](#), le secteur de l'énergie électrique aurait besoin en investissement de 100 milliard USD pour atteindre les objectifs du Développement Durable à l'horizon 2030.

Tout au long de nos travaux, nous avons cherché à comprendre les questions d'économie appliquées à l'énergie dans le contexte subsaharien où le secteur vit une crise de production et de confiance vis à vis de ses abonnés. Dans le chapitre 2, nous avons expliqué l'importance de renforcer la production nationale pour faire face à la demande d'énergie sans cesse croissante. Compte tenu des budgets limités des États, les investissements extérieurs constituent une des opportunités les plus fiables. Néanmoins, nos résultats ont montré que les investissements extérieurs dépendent de la qualité de la gouvernance et du contrôle de la corruption. Dans le chapitre suivant, nous avons traité de la tarification résidentielle. Comme dans bon nombre de pays du continent, la tarification progressive à trois blocs est en vigueur. Nous avons constaté dans un premier temps des disparités entre le relevé des index et les niveaux de consommation : c'est la tranche de pénalité. Par la suite, nous avons simulé à d'autres formes de tarification les niveaux de consommation observés. Nos résultats ont montré qu'il n'existe aucune tarification qui soit strictement dominante. De plus, l'efficacité d'une politique dépend aussi de l'objectif de la politique publique. Enfin, dans le chapitre 4, nous avons abordé la question de l'économie mobile et de l'accès à l'énergie à travers l'innovation qu'apporte le pay as you go. Les résultats de l'effet d'apprentissage et l'analyse en séries temporelle convergent sur l'attractivité du programme. En effet, les niveaux élevés des ventes témoignent de l'intérêt pour les populations de disposer de facilités financières pour l'acquisition des produits. Cette initiative présente plusieurs avantages dans la mesure où elle accélère l'inclusion financière tout en permettant aux bénéficiaires de disposer d'une capacité énergétique minimum pour assurer leur besoin de base. Néanmoins, le pay as you go transforme les compagnies en banque dans la mesure où elles gèrent des portefeuilles de clients sur des crédits énergie. En effectuant une analyse en composante multiple de même qu'une régression multinomiale, nous avons cherché à comprendre les déterminants du niveau de risque de même que les paramètres susceptibles d'exposer à un niveau de risque plus élevé.

En conséquence, les différentes approches abordées dans nos travaux mettent

en exergue l'intérêt et le rôle de l'énergie électrique aussi bien dans le développement économique que dans l'amélioration des conditions de vie. L'électricité est une ressource inclusive aussi bien à l'échelle micro économique que macro économique. Ces défis sont d'autant plus importants que les divergences sont très nombreuses au sein même du continent. Face aux budgets limités des États et compte tenu de leur situation déficitaire, les institutions internationales et les bailleurs privés ont un rôle clé à jouer comme nous l'avons plusieurs fois démontré dans nos travaux.

La réduction des déficits d'infrastructures devient donc une priorité mondiale aussi bien pour les acteurs institutionnels que pour les compagnies privées d'accompagner les États. Cet accompagnement ne pourra toutefois être viable que par des réformes et des politiques publiques claires et attractives comme nous l'avons démontré dans les chapitres 2 et 4. En effet, le gestion du risque est fortement corrélée à l'environnement macroéconomique et aux mesures de protection de la propriété et des biens. Dans le premier chapitre, nous avons largement démontré grâce à nos instruments la relation et l'impact des variables de bonne gouvernance sur les investissements. D'après le GOGLA¹, environ 4 millions de solutions solaires ont été distribuées dans le monde au premier semestre 2017, impactant plus de 120 millions de personnes dans le monde, et représentant un chiffre d'affaires environ 96 millions USD, soit plus de 50 milliards de FCFA. De façon spécifique, Afrique saharienne, où près de 600 millions sont concernées représente la moitié de ce portefeuille en termes de ventes et de revenus. Ces chiffres mettent en avant un fait : La révolution énergétique du continent est déjà en marche. Ces initiatives sont pour la plupart financées par des capitaux privés et non des programmes publics et institutionnels classiques.

Les évidences du réchauffement climatique et des inégalités du développement ont accru l'engagement des acteurs mondiaux dans leur différent plan d'investissement en faisant de l'accès pour tous à l'énergie un socle des programmes à financer. Durant la décennie précédente, ces investissements sur le continent africain se répartissaient à 40% pour la Banque Mondiale et ses filiales, 27% pour la BAD, 25% pour l'Union Européenne, et 8% pour les autres acteurs regroupant entre autres le Fonds Arabe pour l'Economie et le Développement, les USA, l'OPEEC, le Fonds Kowétien, le Fonds des UAE, et la BID. À ses multiples acteurs viennent se greffer les sociétés et compagnies privées spécialisées dans la télécommunication, la banque digitale ou le service énergie dédié. On peut citer entre autres : Orange, M Pesa, Safaricom , Mobisol , Green Light en Afrique de l'Est et du Sud ; MTN, Schneider Electric, Off Grid Electric, MyJouleBox, EDF, Engie en Afrique de l'Ouest et Centrale. Dans le chapitre 4, nous détaillons de façon claire les perspectives que représenterait l'économie mobile comme un vecteur d'accélération de la croissance inclusive. Ceci permettrait comme indiqué dans le chapitre 3, d'avoir une meilleure satisfaction des besoins des clients tout en ayant des tarifs de plus en plus compétitifs. A l'échelle de l'Afrique de l'Ouest, l'UEMOA s'est donné comme objectif un prix de l'énergie compétitif à 30 FCFA compte tenu des investissements massifs dans les unités

1. Global Off Grid Lighting Association

de production renouvelables donc les coûts d'exploitation sont marginaux sur le long terme. Il en va donc pour les régulateurs d'être à la fois très vigilant et à jour sur l'évolution des technologies, ainsi que des normes et réglementation aussi bien en faveur des compagnies, qui grâce au pay as you go, prendront de plus en plus le risque de pré investir dans de nouveaux produits financiers pour atteindre le dernier consommateur final en zone isolée.

Bibliographie

- [1] C Adjamagbo, P Ngae, A Vianou, and V Vigneron. Modélisation de la demande en énergie électrique au togo. *Revue des Energies Renouvelables*, 14(1) :67–83, 2011.
- [2] Philip Kofi Adom and William Bekoe. Modelling electricity demand in ghana revisited : The role of policy regime changes. *Energy Policy*, 61 :42–50, 2013.
- [3] Helene Ahlborg, Frida Boräng, Sverker C Jagers, and Patrik Söderholm. Provision of electricity to african households : The importance of democracy and institutional quality. *Energy Policy*, 87 :125–135, 2015.
- [4] A Enisan Akinlo. Foreign direct investment and growth in nigeria : An empirical investigation. *Journal of policy modeling*, 26(5) :627–639, 2004.
- [5] Anthony E Akinlo. Energy consumption and economic growth : Evidence from 11 sub-sahara african countries. *energy economics*, 30(5) :2391–2400, 2008.
- [6] Anthony E Akinlo. Electricity consumption and economic growth in nigeria : evidence from cointegration and co-feature analysis. *Journal of Policy Modeling*, 31(5) :681–693, 2009.
- [7] Alastaire Sèna Alinsato. Electricity consumption and gdp in an electricity community : Evidence from bound testing cointegration and granger-causality tests. 2009.
- [8] Mr Trevor Serge Coleridge Alleyne and Mr Mumtaz Hussain. *Energy subsidy reform in Sub-Saharan Africa : experiences and lessons*. International Monetary Fund, 2013.
- [9] Thomas Barnebeck Andersen and Carl-Johan Dalgaard. Power outages and economic growth in africa. *Energy Economics*, 38 :19–23, 2013.
- [10] Ernest Aryeetey. Guide to electric power in ghana. *Resource Center for Energy Economics and Regulation Institute of Statistical, Social and Economic Research University Of Ghana, Legon*, 21 :30, 2005.
- [11] Groupe Spécial Mobile Association et al. The mobile economy. *Groupe Spécial Mobile Association*, 2014.
- [12] GSM Association et al. The mobile economy 2015. URL : http://www.gsmamobileeconomy.com/GSMA_Global_Mobile_Economy_Report_2015.pdf [accessed 2015-12-17][WebCite Cache], 2015.
- [13] GSM Association et al. The mobile economy 2016. URL : http://www.gsmamobileeconomy.com/GSMA_Global_Mobile_Economy_Report_2016.pdf [accessed 2016-12-17][WebCite Cache], 2016.

- [14] Emmanuelle Auriol and Aymeric Blanc. Capture and corruption in public utilities : The cases of water and electricity in sub-saharan africa. *Utilities Policy*, 17(2) :203–216, 2009.
- [15] Gonçalo Baptista and Tiago Oliveira. Understanding mobile banking : The unified theory of acceptance and use of technology combined with cultural moderators. *Computers in Human Behavior*, 50 :418–430, 2015.
- [16] Saule Baurzhan and Glenn P Jenkins. Off-grid solar pv : Is it an affordable or appropriate solution for rural electrification in sub-saharan african countries? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60 :1405–1418, 2016.
- [17] Morgan Bazilian, Patrick Nussbaumer, Hans-Holger Rogner, Abeeku Brew-Hammond, Vivien Foster, Shonali Pachauri, Eric Williams, Mark Howells, Philippe Niyongabo, Lawrence Musaba, et al. Energy access scenarios to 2030 for the power sector in sub-saharan africa. *Utilities Policy*, 20(1) :1–16, 2012.
- [18] Mourad Belguedj. The west africa gas pipeline and power pool project building blocks for regional energy integration. *A report prepared for the International Gas Union*, 2006.
- [19] Nancy Benjamin and Ahmadou Aly Mbaye. Les entreprises informelles de l’afrique de l’ouest francophone. *Paris, New York : Agence Française de Développement, World Bank*, 2012.
- [20] Jean-Thomas Bernard and Éric Genest-Laplante. La régressivité de la tarification de l’électricité selon le coût marginal. *Canadian Public Policy/Analyse de Politiques*, pages 401–412, 1995.
- [21] Simona Bigerna and Carlo Andrea Bollino. Ramsey prices in the italian electricity market. *Energy Policy*, 88 :603–612, 2016.
- [22] Marcel Boiteux. Peak-load pricing. *The Journal of Business*, 33(2) :157–179, 1960.
- [23] Severin Borenstein. The redistributational impact of nonlinear electricity pricing. *American Economic Journal : Economic Policy*, 4(3) :56–90, 2012.
- [24] Ronald R Braeutigam. An analysis of fully distributed cost pricing in regulated industries. *The Bell Journal of Economics*, pages 182–196, 1980.
- [25] Imoro Braimah and Owusu Amponsah. Causes and effects of frequent and unannounced electricity blackouts on the operations of micro and small scale industries in kumasi. *Journal of Sustainable Development*, 5(2) :17, 2012.
- [26] Abeeku Brew-Hammond. Energy access in africa : Challenges ahead. *Energy Policy*, 38(5) :2291–2301, 2010.

- [27] Cecilia Briceño-Garmendia and Maria Shkaratan. Power tariffs : caught between cost recovery and affordability. 2011.
- [28] Toby Brown and Ahmad Faruqui. Structure of electricity distribution network tariffs : recovery of residual costs. *Prepared for the Australian Energy Market Commission. The Brattle Group*, 2014.
- [29] Alfredo Burlando. Power outages, power externalities, and baby booms. *Demography*, 51(4) :1477–1500, 2014.
- [30] Tianxing Cai. Application of data mining and analysis techniques for renewable energy network design and optimization. In *Data Mining and Analysis in the Engineering Field*, pages 33–47. IGI Global, 2014.
- [31] A Castellano, A Kendall, M Nikomarov, and T Swemmer. Brighter africa : The growth potential of the sub-saharan electricity sector. *Johannesberg : Mckinsey and Company*, 2015.
- [32] Murat Çetinkaya, Alparslan A Başaran, and Necmiddin Bağdadioğlu. Electricity reform, tariff and household elasticity in turkey. *Utilities Policy*, 37 :79–85, 2015.
- [33] Duane Chapman, Timothy Mount, and Timothy Tyrrell. Electricity demand growth and the energy crisis an analysis of electricity demand growth projections suggests overestimates in the long run. *Science*, 178(4062) :703–708, 1972.
- [34] Sheng-Tung Chen, Hsiao-I Kuo, and Chi-Chung Chen. The relationship between gdp and electricity consumption in 10 asian countries. *Energy Policy*, 35(4) :2611–2621, 2007.
- [35] Koh Wee Chian. A new electricity tariff in brunei darussalam : welfare implications for households. *Journal of Southeast Asian Economies (JSEAE)*, 31(2) :276–291, 2014.
- [36] Gérald Collange and François Guillaumat-Taillet. Les déterminants des prix des matières premières : une analyse économétrique. *Observations et diagnostics économiques : revue de l'OFCE*, 25(1) :145–171, 1988.
- [37] C Crampes and JM Lozachmeur. Tarif progressif, efficience et équité : Redistribution et distorsions tarifaires. *Institut d'économie industrielle*, 58, 2012.
- [38] Claude Crampes and Jean-Marie Lozachmeur. tarif progressif, efficience et équité. *Revue d'économie industrielle*, (4) :133–160, 2014.
- [39] Anna Créti and Léonide Michael Sinsin. Photovoltaic deployment : from subsidies to a market-driven growth : A panel econometrics approach. 2012.

- [40] Anna Creti and Bertrand Villeneuve. Politique énergétique : aspects stratégiques de la question des approvisionnements. *Economie & prévision*, (2) :73–88, 2003.
- [41] Jean Magnan De Bornier. Les monopoles. 1986.
- [42] Direction de la Stratégie. Accès à l'électricité en afrique subsaharienne : retours d'expérience et approches innovantes. 2012.
- [43] Arnaud de La Tour, Matthieu Glachant, and Yann Ménière. Predicting the costs of photovoltaic solar modules in 2020 using experience curve models. *Energy*, 62 :341–348, 2013.
- [44] Dominique Desbois. Une introduction à la méthodologie de box et jenkins : l'utilisation de modèles arima avec spss. *Revue Modulad*, 1(33), 2005.
- [45] YAHIA DJABRANE. *SERIES TEMPORELLES ET TEST D'ADEQUATION POUR UN MODELE GARCH (1, 1)*. PhD thesis, Université Mohamed Khider Biskra, 2005.
- [46] Gang Du, Wei Lin, Chuanwang Sun, and Dingzhong Zhang. Residential electricity consumption after the reform of tiered pricing for household electricity in china. *Applied Energy*, 157 :276–283, 2015.
- [47] Anton Eberhard and Maria Shkaratan. Powering africa : Meeting the financing and reform challenges. *Energy Policy*, 42 :9–18, 2012.
- [48] Jude C Eggoh, Chrysost Bangaké, and Christophe Rault. Energy consumption and economic growth revisited in african countries. *Energy Policy*, 39(11) :7408–7421, 2011.
- [49] US Energy Information Administration (EIA). Annual energy outlook 2014 with projections to 2040, 2014.
- [50] Silvia Emili, Fabrizio Ceschin, and David Harrison. Product–service system applied to distributed renewable energy : A classification system, 15 archetypal models and a strategic design tool. *Energy for Sustainable Development*, 32 :71–98, 2016.
- [51] Loesse Jacques Esso and Yaya Keho. Energy consumption, economic growth and carbon emissions : Cointegration and causality evidence from selected african countries. *Energy*, 114 :492–497, 2016.
- [52] Jean-Pierre Favennec et al. L'énergie en afrique a l'horizon 2050. *Agence Française de Développement et*, 260, 2010.
- [53] Vivien Foster and Jevgenijs Steinbuks. Paying the price for unreliable power supplies : in-house generation of electricity by firms in africa. *World Bank Policy Research Working Paper Series, Vol*, 2009.

- [54] Rémi Fritsch. Comparative financial analysis of electricity utilities in west africa. *Energy Policy*, 39(10) :6055–6064, 2011.
- [55] Axel Gautier. Repenser la tarification de l'énergie. *Reflets et perspectives de la vie économique*, 54(1) :175–184, 2015.
- [56] Jacques Girod and Jacques Percebois. Reforms in sub-saharan africa's power industries. *Energy Policy*, 26(1) :21–32, 1998.
- [57] Sebastian Groh. The role of energy in development processes—the energy poverty penalty : Case study of arequipa (peru). *Energy for Sustainable Development*, 18 :83–99, 2014.
- [58] Sylviane Guillaumont Jeanneney. Dévaluer en afrique? *Observations et diagnostics économiques : revue de l'OFCE*, 25(1) :123–143, 1988.
- [59] Nina L Hall, Talia D Jeanneret, and Alan Rai. Cost-reflective electricity pricing : Consumer preferences and perceptions. *Energy Policy*, 95 :62–72, 2016.
- [60] Ulrich Elmer Hansen, Mathilde Brix Pedersen, and Ivan Nygaard. Review of solar pv policies, interventions and diffusion in east africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46 :236–248, 2015.
- [61] Xiaoping He and David Reiner. Electricity demand and basic needs : Empirical evidence from china's households. *Energy Policy*, 90 :212–221, 2016.
- [62] Steven E Henson. Electricity demand estimates under increasing-block rates. *Southern Economic Journal*, pages 147–156, 1984.
- [63] John Hills. Getting the measure of fuel poverty : Final report of the fuel poverty review. 2012.
- [64] Stephanie Hirmer and Heather Cruickshank. Making the deployment of pico-pv more sustainable along the value chain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30 :401–411, 2014.
- [65] Sungjun Hong, Yanghon Chung, and Chungwon Woo. Scenario analysis for estimating the learning rate of photovoltaic power generation based on learning curve theory in south korea. *Energy*, 79 :80–89, 2015.
- [66] Clement AU Ighodaro. Co-integration and causality relationship between energy consumption and economic growth : Further empirical evidence for nigeria. *Journal of Business Economics and Management*, 11(1) :97–111, 2010.
- [67] Koichiro Ito. Do consumers respond to marginal or average price? evidence from nonlinear electricity pricing. *The American Economic Review*, 104(2) :537–563, 2014.

- [68] Akin Iwayemi. Nigeria's dual energy problems : policy issues and challenges. *International Association for Energy Economics*, 53 :17–21, 2008.
- [69] Stephen Karekezi. Poverty and energy in africa—a brief review. *Energy Policy*, 30(11) :915–919, 2002.
- [70] Ellene Kebede, John Kagochi, and Curtis M Jolly. Energy consumption and economic development in sub-sahara africa. *Energy economics*, 32(3) :532–537, 2010.
- [71] Madhu Khanna and Narasimha D Rao. Supply and demand of electricity in the developing world. *Annu. Rev. Resour. Econ.*, 1(1) :567–596, 2009.
- [72] Marcel Kohler. Differential electricity pricing and energy efficiency in south africa. *Energy*, 64 :524–532, 2014.
- [73] Maria Kopsakangas-Savolainen. The welfare effects of different pricing schemes for electricity distribution in finland. *Energy Policy*, 32(12) :1429–1435, 2004.
- [74] Auguste K Kouakou. Economic growth and electricity consumption in cote d'ivoire : Evidence from time series analysis. *Energy Policy*, 39(6) :3638–3644, 2011.
- [75] Hartman Kouassi and Pierre-Olivier Pineau. Financing challenges for electricity projects in sub-saharan africa : Reviewing old models and exploring new ones. *Journal of African Business*, 12(3) :347–367, 2011.
- [76] Varun Badrinath Krishna, Ravishankar K Iyer, and William H Sanders. Arima-based modeling and validation of consumption readings in power grids. In *International Conference on Critical Information Infrastructures Security*, pages 199–210. Springer, 2015.
- [77] Hooi Hooi Lean and Russell Smyth. On the dynamics of aggregate output, electricity consumption and exports in malaysia : evidence from multivariate granger causality tests. *Applied Energy*, 87(6) :1963–1971, 2010.
- [78] Brantley Liddle and Sidney Lung. Revisiting energy consumption and gdp causality : Importance of a priori hypothesis testing, disaggregated data, and heterogeneous panels. *Applied Energy*, 142 :44–55, 2015.
- [79] Boqiang Lin and Zhujun Jiang. Designation and influence of household increasing block electricity tariffs in china. *Energy Policy*, 42 :164–173, 2012.
- [80] Kate Louw, Beatrice Conradie, Mark Howells, and Marcus Dekenah. Determinants of electricity demand for newly electrified low-income african households. *Energy Policy*, 36(8) :2812–2818, 2008.
- [81] Xunzhou Ma, Shiqiu Zhang, and Quan Mu. How do residents respond to price under increasing block tariffs? evidence from experiments in urban residential water demand in beijing. *Water resources management*, 28(14) :4895–4909, 2014.

- [82] Brijesh Mainali, Shonali Pachauri, Narasimha D Rao, and Semida Silveira. Assessing rural energy sustainability in developing countries. *Energy for Sustainable Development*, 19 :15–28, 2014.
- [83] SR Maria de Fatima, Sammy Zahran, and Gabriela Bucini. On the adoption of electricity as a domestic source by mozambican households. *Energy Policy*, 38(11) :7235–7249, 2010.
- [84] Isamu Matsukawa. The effects of average revenue regulation on electricity transmission investment and pricing. *Energy Economics*, 30(3) :696–714, 2008.
- [85] Luisa M Mimmi and Sencer Ecer. An econometric study of illegal electricity connections in the urban favelas of belo horizonte, brazil. *Energy Policy*, 38(9) :5081–5097, 2010.
- [86] M Mordjaoui and B Boudjema. Forecasting and modeling electricity demand using anfis predictor. *Journal of Mathematics and Statistics*, 7(4) :275–281, 2011.
- [87] Ouedraogo Nadia. Energy and economic poverty : An assessment by studying the causality between energy consumption and economic growth in the economic community of west africa states (ecowas). 2011.
- [88] Venkat Natarajan and Amit S Closepet. Statistical analysis of cost of energy due to power outages in developing countries. In *Future Computing Conf Submission, France*, 2012.
- [89] Celine Nauges and Dale Whittington. Evaluating the performance of alternative municipal water tariff designs : Quantifying the tradeoffs between equity, economic efficiency, and cost recovery. *World Development*, 91 :125–143, 2017.
- [90] Michael C Naughton. The determinants of regulators’ preferences : Discrimination in electricity pricing. *Journal of Behavioral Economics*, 17(4) :279–294, 1988.
- [91] Demba Ndiaye and Kamiel Gabriel. Principal component analysis of the electricity consumption in residential dwellings. *Energy and buildings*, 43(2) :446–453, 2011.
- [92] Kevin Ngunza Maniata. Théorie des ensembles flous et décomposition multidimensionnelle de la pauvreté en république démocratique du congo. 2014.
- [93] Anis Omri and Bassem Kahouli. Causal relationships between energy consumption, foreign direct investment and economic growth : Fresh evidence from dynamic simultaneous-equations models. *Energy Policy*, 67 :913–922, 2014.

- [94] Ijeoma Onyeji, Morgan Bazilian, and Patrick Nussbaumer. Contextualizing electricity access in sub-saharan africa. *Energy for Sustainable Development*, 16(4) :520–527, 2012.
- [95] Idrissa M Ouédraogo. Electricity consumption and economic growth in burkina faso : A cointegration analysis. *Energy Economics*, 32(3) :524–531, 2010.
- [96] Nadia Ouedraogo. Vulnérabilité et pauvreté énergétique, changement climatique et développement socio-économique de l’afrique sub-saharienne.
- [97] Debajit Palit. Solar energy programs for rural electrification : Experiences and lessons from south asia. *Energy for Sustainable Development*, 17(3) :270–279, 2013.
- [98] Debajit Palit and Akanksha Chaurey. Off-grid rural electrification experiences from south asia : Status and best practices. *Energy for Sustainable Development*, 15(3) :266–276, 2011.
- [99] Pierre-Olivier Pineau. Electricity sector integration in west africa. *Energy Policy*, 36(1) :210–223, 2008.
- [100] Ricardo Raineri and Pablo Giaconi. Price and access charge discrimination in electricity distribution : An application to the chilean case. *Energy economics*, 27(5) :771–790, 2005.
- [101] Marina Yesica Recalde, Carina Guzowski, and Mariana Ines Zilio. Are modern economies following a sustainable energy consumption path? *Energy for Sustainable Development*, 19 :151–161, 2014.
- [102] Javier Reneses, Tomás Gómez, Juan Rivier, and Jorge L Angarita. Electricity tariff design for transition economies : Application to the libyan power system. *Energy Economics*, 33(1) :33–43, 2011.
- [103] Christoph Riechmann. Strategic pricing of grid access under partial price-caps—electricity distribution in england and wales. *Energy Economics*, 22(2) :187–207, 2000.
- [104] Orvika Rosnes and Maria Shkaratan. *Africa’s power infrastructure : investment, integration, efficiency*. World Bank Publications, 2011.
- [105] Orvika Rosnes and Haakon Vennemo. Powering up : costing power infrastructure spending needs in sub-saharan africa. *AICD Background Paper*, 5, 2009.
- [106] Orvika Rosnes and Haakon Vennemo. The cost of providing electricity to africa. *Energy Economics*, 34(5) :1318–1328, 2012.
- [107] Christof Rühl, Paul Appleby, Julian Fennema, Alexander Naumov, and Mark Schaffer. Economic development and the demand for energy : A historical perspective on the next 20 years. *Energy Policy*, 50 :109–116, 2012.

- [108] SBEE. Enquête sur la consommation d'électricité au Bénin, Juillet 2015.
- [109] A Scheffer. L'énergie électrique en France. In *Annales de géographie*, volume 47, pages 25–57. JSTOR, 1938.
- [110] AB Sebitosi and R Okou. Re-thinking the power transmission model for sub-saharan africa. *Energy Policy*, 38(3) :1448–1454, 2010.
- [111] Alinsato Alastaire Sena. Problématique du secteur de l'électricité au Bénin, 2011.
- [112] Alinsato Alastaire SENA. Consommation d'énergie électrique, investissement privé, emploi et croissance économique au Bénin. *Annale des Sciences Economiques et de Gestion*, 15(2), 2016.
- [113] Alice Shiu and Pun-Lee Lam. Electricity consumption and economic growth in China. *Energy policy*, 32(1) :47–54, 2004.
- [114] Paul Simshauser and Patrick Whish-Wilson. Price discrimination in Australia's retail electricity markets : An analysis of Victoria & Southeast Queensland. *Energy Economics*, 2016.
- [115] Surya Prakash Singh Soni and Vivek Devinder Kumar Banwet. A cointegration and causality analysis for assessing sustainability and security in Indian energy sector. *Global Journal of Management And Business Research*, 13(4), 2013.
- [116] Jevgenijs Steinbuks and Vivien Foster. When do firms generate? Evidence on in-house electricity supply in Africa. *Energy Economics*, 32(3) :505–514, 2010.
- [117] Ognjen Stojanovski, Mark Thurber, and Frank Wolak. Rural energy access through solar home systems : Use patterns and opportunities for improvement. *Energy for Sustainable Development*, 37 :33–50, 2017.
- [118] Mohammed Yekini Suberu, Mohd Wazir Mustafa, Nouruddeen Bashir, Nor Asiah Muhamad, and Ahmad Safawi Mokhtar. Power sector renewable energy integration for expanding access to electricity in sub-saharan Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25 :630–642, 2013.
- [119] Chuanwang Sun. An empirical case study about the reform of tiered pricing for household electricity in China. *Applied Energy*, 160 :383–389, 2015.
- [120] Chuanwang Sun and Boqiang Lin. Reforming residential electricity tariff in China : Block tariffs pricing approach. *Energy Policy*, 60 :741–752, 2013.
- [121] Amy JC Trappey, Charles V Trappey, Hao Tan, Penny HY Liu, Shin-Je Li, and Lee-Cheng Lin. The determinants of photovoltaic system costs : an evaluation using a hierarchical learning curve model. *Journal of Cleaner Production*, 112 :1709–1716, 2016.

- [122] Philipp A Trotter. Rural electrification, electrification inequality and democratic institutions in sub-saharan africa. *Energy for Sustainable Development*, 34 :111–129, 2016.
- [123] UPDEA. *Etude Comparative des Tarifs d’Electricité pratiqués en Afrique*, Decembre 2009.
- [124] UPDEA. *Etude Comparative des Tarifs d’Electricité pratiqués en Afrique*, Decembre 2009.
- [125] Johannes Urpelainen and Semee Yoon. Solar home systems for rural india : Survey evidence on awareness and willingness to pay from uttar pradesh. *Energy for Sustainable Development*, 24 :70–78, 2015.
- [126] Alex Van den Bossche, Bart Meersman, and Lieven Vandevelde. Fundamental tarification of electricity. In *Power Electronics and Applications, 2009. EPE’09. 13th European Conference on*, pages 1–7. IEEE, 2009.
- [127] Sonia Vera, Felipe Bernal, and Enzo Sauma. Do distribution companies loose money with an electricity flexible tariff? : A review of the chilean case. *Energy*, 55 :295–303, 2013.
- [128] Wanko. La tarification progressive linéaire par blocs pourrait elle etre le bon remede a la precarité énergétique. Decembre 2014.
- [129] Nathaniel J Williams, Paulina Jaramillo, Jay Taneja, and Taha Selim Ustun. Enabling private sector investment in microgrid-based rural electrification in developing countries : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52 :1268–1281, 2015.
- [130] Jan Witajewski, Elena Verdolini, and Massimo Tavoni. Bending the learning curve. 2015.
- [131] Yemane Wolde-Rufael. Energy demand and economic growth : the african experience. *Journal of Policy Modeling*, 27(8) :891–903, 2005.
- [132] Yemane Wolde-Rufael. Electricity consumption and economic growth : a time series experience for 17 african countries. *Energy Policy*, 34(10) :1106–1114, 2006.
- [133] Yemane Wolde-Rufael. Energy consumption and economic growth : the experience of african countries revisited. *Energy Economics*, 31(2) :217–224, 2009.
- [134] Tite Yokossi. Mobile money and economic activity : Evidence from kenya. 2017.
- [135] Seung-Hoon Yoo. Electricity consumption and economic growth : evidence from korea. *Energy Policy*, 33(12) :1627–1632, 2005.
- [136] Chi Zhang, Kaile Zhou, Shanlin Yang, and Zhen Shao. On electricity consumption and economic growth in china. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76 :353–368, 2017.

-
- [137] Jing Zhang, Xin-yao Yang, Fei Shen, Yuan-wei Li, Hong Xiao, Hui Qi, Hong Peng, and Shi-huai Deng. Principal component analysis of electricity consumption factors in china. *Energy Procedia*, 16 :1913–1918, 2012.
- [138] Yue-Jun Zhang and Hua-Rong Peng. Exploring the direct rebound effect of residential electricity consumption : An empirical study in china. *Applied Energy*, 2016.
- [139] Yuanchun Zhou, Bing Zhang, Ji Zou, Jun Bi, and Ke Wang. Joint r&d in low-carbon technology development in china : A case study of the wind-turbine manufacturing industry. *Energy policy*, 46 :100–108, 2012.

Résumé

Les objectifs de nos travaux de recherche sont multiples. Tout d'abord, ils balayent le champ de la théorie économique appliquée au secteur de l'énergie.

De façon spécifique, il s'agit de revisiter les questions de régulation, de tarification et bien être dans le contexte africain subsaharien où le secteur de l'énergie est en crise.

Par la suite, nos recherches ouvrent un spectre sur les défis du continent que sont l'atteinte des objectifs du développement durable, l'économie mobile et l'innovation grâce à l'accès pour tous à l'électricité. Enfin, cette thèse s'articule au croisement de la recherche théorique et appliquée en se basant sur des études de cas réels au Bénin.

En conséquence, la nécessité d'enrichir la recherche en Afrique de façon générale et au Bénin de façon spécifique constituent un éventail des défis et opportunités à l'issue de ces travaux.

Mots Clés

Economie de l'énergie, développement durable, tarification et réseaux, macroéconomie, économie mobile

Abstract

Our research objectives are multiple. First, we conduct a literature review covering the fields of energy and economics.

Specifically, we revisit regulation, pricing and well-being theories within the sub-Saharan Africa context, where the electricity sector has been in crisis for a while.

Subsequently, our results open a deeper reflection spectrum concerning sustainable development, mobile banking and access for all to clean energy through innovation. Finally, this thesis is articulated at the crossroads of theoretical and applied research based on real study cases in Benin.

Consequently, there is a strong need to expand applied research in Africa, and in Benin specifically because it constitutes a large scope of challenges and opportunities beyond this work.

Keywords

Energy economics, Sustainable development, Tariffs and networks, Macroeconomics, Mobile banking