

SOAPHYS®

EXPLOITATION PRODUCTIVE DE L'ÉNERGIE POUR UN ACCÈS DURABLE A L'ÉNERGIE EN MILIEU RURAL AU TOGO

Domegni Kossivi Mawulolo Susuenyame* and Azouma Yaovi Ouézou

Université de Lomé, École Supérieure d'Agronomie, Lomé, Togo

* kossivi.domegni@gmail.com

INFOS SUR L'ARTICLE

Historique de l'article:

Reçu le : 30 septembre 2021

Réçu en format révisé le : 20 novembre 2021

Accepté le : 24 novembre 2021

Mots-Clés: Justice énergétique, ressources énergétiques, entrepreneuriat rural, utilisation productive de l'énergie, Togo

Keywords : Energy justice, energy resources, rural entrepreneurship, productive use of energy, Togo

RESUME

L'objectif de ce travail est de contribuer à la justice énergétique en milieu rural au Togo par la promotion de l'entrepreneuriat basé sur l'exploitation productive de l'énergie. A cet effet, nous avons réalisé, en 2019, des enquêtes auprès de 650 ménages ruraux répartis dans les cinq régions économiques du Togo. Les données ont été collectées avec le logiciel CSPro 6.3, épurées avec le logiciel STATA et analysées avec le logiciel Microsoft Office EXCEL 2013. Sur la base des résultats obtenus, trois scénarii d'approvisionnement électrique pour une entreprise rurale de traitement humide du café, envisagée dans la région des plateaux, ont été simulés avec le logiciel HOMER Pro 3.14.4. Les résultats des enquêtes montrent que seulement 16% des ménages sont connectés au réseau électrique et par conséquent, indiquent de développer les ressources énergétiques disponibles exprimées, à savoir le solaire (80,9%), la biomasse (68,9%), les sources d'eau (47,1%) et les résidus agricoles (44,5%). Les répondants, dont 64,77% exercent dans l'agriculture et l'élevage, ont exprimé le besoin de l'utilisation des équipements électriques productifs. Le meilleur scénario simulé, un mini-réseau alimentant l'entreprise de traitement humide de café et les ménages, a révélé un coût actualisé de production de l'électricité de 394 FCFA/kWh ; plus bas que le coût d'électrification de l'entreprise, 814 FCFA/kWh ou celui des ménages, 488 FCFA/kWh. Toutefois, ce coût doit être encore réduit pour que l'énergie soit financièrement accessible aux populations rurales.

ABSTRACT

The objective of this work is to contribute to energy justice in rural areas in Togo by promoting entrepreneurship based on the productive use of energy. To this end, in 2019 we conducted surveys of 650 rural households spread across the five economic regions of Togo. The data were collected with CSPro 6.3 software, cleaned with STATA software and analyzed with Microsoft Office EXCEL 2013 software. Based on the results obtained, three electricity supply scenarios for a rural wet coffee processing company, envisaged in the plateau region, were simulated with the HOMER Pro 3.14.4 software. The results of the surveys show that only 16% of households are connected to the electricity grid and therefore indicate to develop the available energy resources expressed, namely solar (80.9%), biomass (68.9%), water sources (47.1%) and agricultural residues (44.5%). Respondents, 64.77% of whom work in agriculture and breeding, expressed the need for the use of productive electrical equipment. The best-case scenario simulated, a mini-grid supplying the wet coffee processing company and households, revealed a levelized cost of electricity of XOF 394/kWh; lower than the cost of electrification of the company, XOF 814/kWh or that of households, XOF 488/kWh. However, this cost must be further reduced if energy is to be financially accessible to rural populations.

I. INTRODUCTION

L'accès à l'énergie est important pour le développement économique et la réduction de la pauvreté dans les milieux ruraux des pays en voie de développement. Jusqu'à récemment, l'électrification rurale a été portée uniquement

par les pouvoirs publics soutenus par les bailleurs de fonds internationaux. L'impératif de l'accès universel pour tous à l'horizon 2030 recommandé par l'initiative pour l'énergie durable (Ki Moon, 2011) et le septième objectif du développement durable (ONU, 2015), de même que les

ressources financières publiques limitées exigent de nouvelles approches. Ainsi, les pouvoirs publics optent pour un changement de paradigme dans leur politique énergétique avec l'implication du secteur privé (Rehman et al., 2017) et l'adoption des technologies décentralisées, mini-réseaux et installations individuelles.

Au Togo, jusqu'en 2017, l'accès à l'électricité a été essentiellement réalisé par des projets d'extension de réseau. Le taux d'électrification était estimé à 45 % en 2018 avec un très faible niveau d'accès en milieu rural, estimé à 10 % (Bolidja, 2019). Face à cette situation, le gouvernement togolais a effectué un changement de modèle d'électrification en adoptant les technologies hors-réseau. Cette nouvelle politique énergétique devrait contribuer à la recherche de la justice énergétique au Togo (Sovacool et al., 2017 ; Heffron et al., 2017 ; Sovacool et al., 2016). Ainsi, le cadre politique et les interventions dans le secteur de l'énergie au Togo se renforcent ces dernières années avec des objectifs ambitieux pour favoriser le développement dans les milieux ruraux par l'exploitation du potentiel énergétique du pays (MME, 2017). La stratégie d'électrification du Togo (DGE, 2018), adoptée en 2018, prévoit 108 MW d'ajout de capacités additionnelles de génération de l'électricité, la densification du réseau électrique par le raccordement de 400 000 ménages, l'extension du réseau électrique à plus de 960 localités, la construction de 315 mini-réseaux électriques et l'installation des kits solaires individuels dans 555 000 ménages. Les projets d'électrification rurale hors-réseau initiés récemment au Togo incluent le projet CIZO qui prévoit d'électrifier 300 000 ménages à l'horizon 2022 à partir des kits solaires individuels (AT2ER, 2017) et l'installation de 317 mini-réseaux à l'horizon 2030 (AT2ER, 2019).

Le Groupe d'évaluation indépendante de la Banque Mondiale (Banque Mondiale, 2008), révisant un portefeuille de 120 projets d'électrification rurale, a affirmé que le manque de la mise à l'échelle des utilisations productives demeure une contrainte sur la viabilité financière de l'électrification rurale à cause du faible facteur de charge qui provient de la concentration de la demande d'électricité en soirée. Pueyo et al., 2018, sont arrivés à la même conclusion au Kenya où des entreprises peinent à émerger dans des communautés rurales trois ans après leur électrification par mini-réseaux. Le même constat est fait au Népal (Bastakotl, 2013) où le développement économique est assez lent à la suite d'un projet d'électrification d'une communauté rurale. De plus, le développement socio-économique en milieu rural suite à la mise en œuvre d'un projet d'accès à l'électricité n'est donc pas automatique (IDS, 2019) et cette attente est qualifiée d'"attitude très passive" (de Gouvello et al., 2008). Pour permettre le développement socio-économique à la suite de l'électrification des communautés rurales, les auteurs recommandent unanimement, le développement des usages productifs de

l'énergie, par la prise de mesures complémentaires, pour que l'énergie disponible soit utilisée dans les entreprises qui emploient la population rurale et ajoutent des valeurs aux ressources locales.

Le partenariat public-privé est l'approche recommandée par Rehman et al., 2017, pour accélérer l'accès aux services énergétiques dans les pays en développement et celle adoptée par le Togo pour la mise en œuvre de la Stratégie d'électrification. Toutefois, l'électrification rurale qui ne vise que les ménages n'est pas attractive pour le secteur privé en raison de leur faible niveau de consommation d'énergie (Goldemberg et al., 2015) et la faiblesse de leur capacité à payer pour l'énergie consommée parce que les populations rurales sont plus touchées par la pauvreté (INSEED, 2016). Pour sortir ces populations de la pauvreté, il faudra prendre des mesures complémentaires à l'accès à l'énergie pour autonomiser les pauvres à l'utilisation de l'énergie moderne pour le développement des activités génératrices de revenus afin de générer des revenus supplémentaires (Ackom et al., 2016). Terrapon-Pfaff et al. (2018), ont confirmé cette notion en affirmant que l'accès à l'énergie n'amène pas automatiquement au développement des activités productives et l'énergie ne représente qu'un des facteurs importants pour enclencher un développement socio-économique. Le développement des usages productifs de l'énergie en milieu rural apparaît donc dans la littérature récente comme une solution pour accompagner les projets d'électrification pour plus de rentabilité et d'attractivité (Johnstone et al., 2019 ; Booth et al., 2018). L'utilisation productive de l'énergie est importante autant pour les consommateurs, pour les aider à générer des revenus additionnels que pour les fournisseurs d'énergie afin de leur permettre de viabiliser les infrastructures électriques (IDS, 2019). Le développement de l'utilisation productive de l'énergie en milieu rural crée donc un cercle vertueux qui améliore la capacité à payer des populations, rendant ainsi l'énergie plus abordable, l'accès et les infrastructures plus durables (Pueyo et al., 2019).

Ainsi, dans le but de contribuer à la justice énergétique et à la durabilité de l'accès à l'énergie en milieu rural au Togo, la présente étude explore les opportunités d'exploitation productive de l'énergie à travers la promotion de l'entrepreneuriat rural.

II. MÉTHODOLOGIE

2.1. Enquêtes en milieu rural

2.1.1. Cadre des enquêtes et échantillonnage

L'étude s'est déroulée en milieu rural sur l'ensemble du territoire togolais, étendu sur 56 600 km², limité au Nord par le Burkina Faso, à l'Ouest par le Ghana, à l'Est par le Bénin et au Sud par l'Océan atlantique. La base de sondage pour l'enquête est le fichier du dernier recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) réalisé en 2010 (DGSCN, 2010) et comprend la liste exhaustive des

zones de dénombrement ainsi que l'effectif des ménages par milieu de résidence.

L'enquête a été réalisée selon un plan de sondage aléatoire stratifié à deux degrés avec représentation proportionnelle au premier degré où il a été tiré des zones de dénombrement (ZD). Au second degré, il a été tiré dans chaque zone de dénombrement les ménages à enquêter.

Les strates correspondent aux régions suivant le premier niveau de découpage administratif du Togo.

Sur cette base, l'échantillon de l'enquête est composé de 650 ménages ruraux répartis dans les cinq régions économiques tels que présentés par le Tableau 1. La région maritime et la région des plateaux ont les plus grands effectifs et la région centrale le plus faible effectif.

Tableau 5. Répartition de la population enquêtée selon les régions économiques du Togo

Région économique	Population en milieu rural	Nombre de ZD tiré	Effectif de l'échantillon	Pourcentage du Total
Maritime	989 935	13	170	26%
Plateaux	1 104 127	14	181	28%
Centrale	465 764	6	78	12%
Kara	585 247	8	104	16%
Savanes	711 587	9	117	18%
Total	3 856 660	50	650	100%

2.1.2. Matériel des enquêtes

Le matériel utilisé pour les enquêtes est essentiellement le questionnaire administré au cours des enquêtes du 31 mars au 14 Avril 2019. Les questions posées sont élaborées sur la base d'une recherche bibliographique (Brüderle et al., 2011 ; Walters et al., 2015 ; Yadoo, 2012 ; Chapman et al., 2016, Practical Action, 2016) sur les initiatives entrepreneuriales en lien avec l'accès à l'énergie et l'identification des ressources énergétiques disponibles toute l'année dans les zones enquêtées. Aussi, il prend en compte la structure économique locale des communautés enquêtées et le potentiel de développement d'activités productives à travers les richesses économiques des localités auxquelles l'électricité donnerait une plus-value. Le logiciel CSPro 6.3 a été utilisé pour programmer le questionnaire d'enquête sur des tablettes et l'administrer aux ménages. .

2.1.3. Traitement des informations collectées

Les données brutes collectées ont été traitées à l'aide du logiciel STATA. Ensuite, le tableur Microsoft Office EXCEL 2013 a été utilisé pour l'analyse et le traitement des données recueillies.

2.2. Simulation d'une entreprise rurale de traitement humide de café dans la région des plateaux

2.2.1. Cadre de l'étude

L'entreprise de traitement humide de café est envisagée dans la préfecture de Wawa, dans la région centrale, au sein de l'Union des caféiculteurs Essebue à Azafi. L'Union Essebue regroupe 35 coopératives pour environ 700 caféiculteurs. La récolte et le pré-traitement du café se font de mi-octobre à décembre de chaque année et la vente a

lieu essentiellement de Janvier à Mai. La Figure 1 présente l'évolution de la vente de café par l'Union Essebue de 2018 à 2020. La diminution observée est due à un retard dans le démarrage des campagnes agricoles à cause du retard des pluies. Sur la base de cette évolution, il est considéré pour cette simulation, une récolte journalière d'une tonne de café.

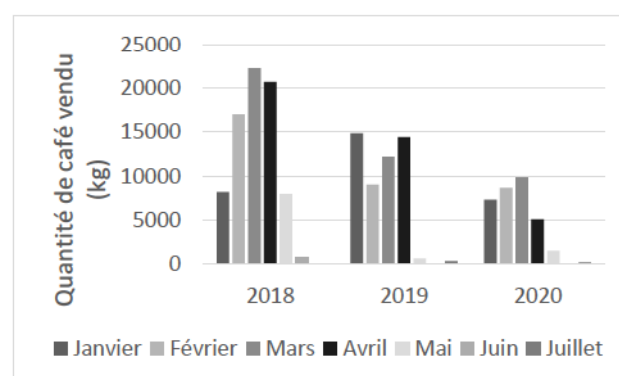


Fig.1. Evolution de la vente de café par l'Union Essebue de 2018 à 2020

2.2.2. Entreprise rurale de traitement humide du café

Le traitement par voie humide des cerises de café récoltées permet d'obtenir du café lavé de spécialité dont le prix à la vente est supérieur d'environ 20-30% au prix du café ordinaire obtenu par séchage direct des cerises au soleil (Café Africa, 2009). La totalité du café produit actuellement au Togo est du café ordinaire exporté dans son intégralité. L'entreprise de traitement humide de café recevra les cerises de café récoltées et produira du café vert de spécialité tel que présenté à la Figure 2.

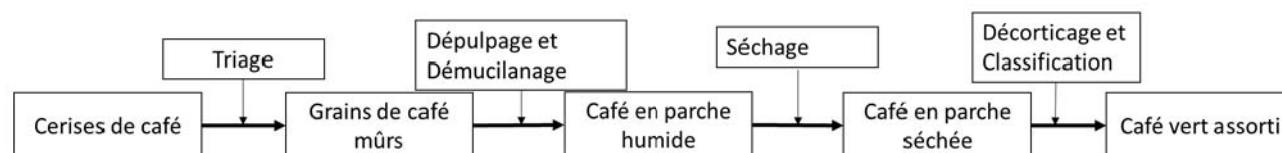


Fig.2. Chaîne de valeur du café lavé de spécialité

Le procédé de traitement des cerises de café, au cœur de l'entreprise rurale, est le suivant : (a) les cerises fraîches cueillies sont triées dans un pré-classificateur par flottaison ; les cerises mûres recueillies sont convoyées dans la dépulpeuse ; (b) les cerises mûres sont dépulpées et démulcinées dans la machine principale pour obtenir le café en parche humide ; (c) le café en parche humide est séché pendant environ 72 h pour avoir le café en parche

séchée avec un taux d'humidité de 11,5% ; (d) la parche séchée est décortiquée et classifiée par la décortiqueuse.

L'unité de traitement humide de café nécessite trois agroéquipements électriques : un pré-classificateur de capacité 1000 - 1200 kg/h ; une dépulpeuse de capacité 300 - 400 kg/h et une décortiqueuse de capacité 60 - 120 kg/h.



Fig.3. Agroéquipements de traitement humide de café : a) Pré-classificateur, b) dépulpeuse et c) décortiqueuse

2.3. Simulation de l'approvisionnement en électricité de l'entreprise rurale

L'entreprise rurale est envisagée au siège de l'Union ESSEBUE à Azafi, une localité qui n'est pas encore électrifiée. Ainsi, trois scénarii d'approvisionnement en électricité de l'entreprise sont simulés à l'aide du logiciel HOMER Pro 3.14.4.

2.3.1. Scénario 1 : Approvisionnement électrique de l'entreprise par un groupe électrogène

Ce scénario convient à la réalité en prenant en compte la culture du café qui est saisonnière, limitée dans le temps, d'octobre à décembre de chaque année. Cette situation est très souvent rencontrée au Togo par les agro-industries qui s'installent dans les zones agro-écologiques éloignées du réseau électrique interconnecté. Le tableau 2 détaille les critères de fonctionnement des équipements électriques de l'entreprise : la puissance installée est de 7,5 kW avec une consommation journalière de 32,2 kWh.

Tableau 2. Critères de fonctionnement des équipements électriques de l'entreprise

Charge électrique	Quantité	Puissance unitaire (kW)	Puissance totale (kW)	Utilisation journalière (h)	Énergie (kWh)
Pré-classificateur	1	1,4	1,4	4	5,6
Dépulpeuse	1	2,8	2,8	4	11,2
Décortiqueuse	1	2,8	2,8	4	11,2
Lampes	5	0,01	0,05	12	0,6
Ventilateur	1	0,07	0,07	8	0,56
Ordinateur	1	0,2	0,2	8	1,6
Autres charges	1	0,1	0,18	8	1,44
Total			7,5		32,2

2.3.2. Scénario 2: Électrification des ménages par un mini-réseau alimenté au solaire photovoltaïque

La localité d'Azafi a une population d'environ 500 habitants, soit près de 100 ménages. Le tableau 3 présente les critères d'accès à l'électricité des ménages, soit par ménage une puissance totale installée de 89 W et une consommation journalière d'électricité de 420 Wh. Ce niveau d'accès correspondant au niveau 2 d'accès à l'électricité de la Banque mondiale est très souvent

observé dans les projets d'électrification rurale par mini-réseaux (IEA et al., 2021).

Tableau 3. Hypothèses sur le niveau d'accès à l'électricité des ménages

Charge électrique	Quantité	Puissance unitaire (W)	Puissance totale (W)	Utilisation journalière (h)	Énergie (Wh)
Eclairage	5	10	50	6	300
Téléphone	3	5	15	2	30
Télévision	1	15	15	4	60
Ventilateur	1	6	6	4	24
Radio	1	3	3	2	6
Total			89		420

2.3.3. Scénario 3 : Mini-réseau hybride, solaire et groupe électrogène, qui alimente l'entreprise et les ménages

Ce scénario 3 correspond à l'électrification des ménages par un mini-réseau hybride alimenté au solaire photovoltaïque et un groupe électrogène avec une charge productive qui est l'entreprise de traitement humide du café.

Des hypothèses supplémentaires pour la simulation sont formulées :

- Taux d'actualisation : 10% (Huld et al., 2014)
- Taux d'inflation : 2% (BAD, 2021)
- Durée de vie du projet : 25 ans.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Principales sources d'électricité dans les ménages ruraux au Togo

Les résultats présentés au Tableau 4 montrent qu'au niveau national, les piles sèches non-rechargeables représentent la principale source d'électricité utilisée en milieu rural au Togo par plus de 71% des ménages enquêtés. Le réseau électrique est la deuxième source d'électricité utilisée par 16% des répondants. Les installations solaires individuelles sont utilisées par quelques ménages ruraux dans les régions maritimes, des plateaux et centrale.

Tableau 4. Part des principales sources d'électricité utilisées par les ménages ruraux dans les régions économiques du Togo

Région économique	Pile sèche (%)	Réseau électrique (%)	Installation solaire individuelle (%)	Batterie rechargeable (%)	Autres (%)
Maritime	14,46	6,00	1,23	0,00	4,46
Plateaux	21,23	3,23	2,62	0,15	0,62
Centrale	7,08	3,23	1,69	0,00	0,00
Kara	13,23	2,00	0,00	0,31	0,46
Savanes	15,38	1,54	0,92	0,00	0,15
Total général	71,38	16,00	6,46	0,46	5,69

Il est remarqué, tout comme au plan national, que dans toutes les régions économiques du Togo les piles sèches, le réseau électrique et les installations solaires

individuelles constituent les trois premières sources d'électricité des ménages ruraux à l'exception de la région de la Kara pour laquelle les installations solaires individuelles ne sont pas utilisées. Les batteries rechargeables ne sont presque pas utilisées par les ménages ruraux au Togo.

Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques et Démographiques (INSEED, 2016) du Togo au cours de son Questionnaire Unifié des Indicateurs de Base de Bien-être (QUIBB) qui avait trouvé que la lampe torche était utilisée par près de 72% des ménages ruraux, et environ 14% utilisent l'électricité. Les ménages ruraux au Togo ne peuvent donc pas être considérés comme ayant accès à l'électricité pour les activités productives en se basant sur le cadre multi-niveaux d'approvisionnement énergétique pour les applications productives (Banque Mondiale et al., 2015). Néanmoins, la littérature (Booth et al., 2018 ; Kapadia, 2004) insiste sur la disponibilité de l'énergie de qualité et suffisante comme une condition importante pour le développement des activités productives en milieu rural. Il est donc important de développer les ressources énergétiques disponibles pour permettre un accès à l'énergie aux populations rurales qui les aidera à réaliser des activités productives.

3.2. Ressources énergétiques disponibles en milieu rural au Togo

Le Tableau 5 montre que l'énergie solaire est la source d'énergie la plus connue et la plus mentionnée à 80,9% par les ménages ruraux dans toutes les régions économiques du Togo sauf dans la région de la Kara. De même, le bois est la deuxième source d'énergie disponible la plus mentionnée à 68,9% par les ménages ruraux. Les ressources en eau, exploitable sous forme d'hydroélectricité, et les résidus agricoles sont mentionnés par moins de 50% des ménages ruraux.

Tableau 5. Sources d'énergies disponibles identifiées en milieu rural dans les régions économiques au Togo

Région	Solaire (%)	Bois (%)	Source d'eau (%)	Résidus agricoles (%)
Maritime	22,0	11,8	9,1	9,7
Plateaux	27,1	22,8	11,8	7,5
Centrale	12,0	10,5	6,5	7,7
Kara	1,8	13,2	8,0	8,2
Savanes	18,0	10,6	11,7	11,4
Total général	80,9	68,9	47,1	44,5

En lien avec les résultats des enquêtes réalisées en milieu rural au Togo, la littérature permet de quantifier le potentiel ressources énergétiques disponibles.

3.2.1. Énergie solaire photovoltaïque

Le Tableau 6 présente trois sources qui ont estimé la ressource solaire photovoltaïque au Togo. L'ensoleillement moyen sur le plan horizontal varie de 4,5 kWh/m².jour dans la région maritime au Sud et évolue par gradient vers le Nord jusqu'à atteindre 5,6 kWh/m².jour dans les savanes. Ces niveaux d'ensoleillement, dus au positionnement géographique du Togo entre le Tropique du Cancer et le tropique de Capricorne, font du Togo un membre de l'Alliance Solaire Internationale, qui regroupe les pays "riches" en ressource solaire (ISA, 2019).

Tableau 6. Ensoleillement moyen sur le plan horizontal dans les chefs-lieux des régions économiques du Togo

Source	Méthode	Maritime	Plateaux	Centrale	Kara	Savanes
LES-UL & DMN* (WASCAL **, 2019)	Moyenne mesurée de 2002 à 2009 (kWh/m ² .jour)	4,5	4,8	5,1	5,2	5,4
Global Solar Atlas de la Banque Mondiale, 2019	Mesure satellitaire sur 21 ans (kWh/m ² .jour)	4,8	5,2	5,3	5,3	5,6
NASA***, données intégrées au logiciel RETScreen, 2019	Données météorologiques et satellitaires sur 30 ans (kWh/m ² .jour)	5	5,2	5,3	5,4	5,6

*Laboratoire sur l'énergie solaire – Université de Lomé & Direction Nationale de la Météorologie ; **West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use ; ***National Aeronautics and Space Administration

3.2.2. Biomasse traditionnelle

Une étude sur la dynamique du bois-énergie au Togo réalisée en 2016 (MERF, 2017) a permis d'estimer l'offre durable en bois-énergie au Togo à 3,28 millions m³ par an, constituée de production des forêts naturelles à 68%, des arbres hors forêts à 29% et les productions des plantations forestières à 3%. Néanmoins, l'étude révèle aussi que la demande de bois énergie, estimée à 7,58 millions m³ par an, dépasse donc de plus de 230% l'offre durable, rendant la biomasse traditionnelle une ressource énergétique non-durable au Togo. Fontodji et al., 2014, par la modélisation de la vulnérabilité de la biomasse énergie aux effets du changement climatique au Togo sont arrivés aux mêmes conclusions, à savoir que la demande de bois énergie croît exponentiellement relativement à l'offre et le modèle prévoit l'épuisement total de la ressource bois-énergie vers l'an 2025. Cette situation appelle à des mécanismes de gestion durable du bois-énergie qui pourrait être une source d'activité productive en milieu rural au Togo.

3.2.3. Bioénergie moderne

Le tableau 7 présente les cultures et élevage identifiés en

2011 comme étant à fort potentiel de développement de la bioénergie moderne : huile végétale, éthanol et biogaz (MME, 2011). Les limites de cette étude sont que certaines des cultures identifiées (palmier à huile, manioc et maïs) sont produites essentiellement pour l'alimentation. Aussi, cette étude n'a pas pu quantifier le potentiel énergétique. Néanmoins, la faisabilité de l'utilisation de l'huile de Jatropha Curcas dans des groupes électrogènes a été étudiée et trouvée concluante par Porosi et al., (2015), pour l'électrification du village de Teraxoe au Sud du Togo. En outre, Etse et al., (2019) ont démontré la faisabilité de l'électrification rurale de Djarkpanga au Nord du Togo, par un système hybride, solaire-groupe électrogène.

Tableau 7. Cultures et élevage à fort potentiel de bioénergie par région économique au Togo

Région	Maritime	Plateaux	Centrale	Kara	Savanes
Potentiel en huile végétale	Palmier à huile	Palmier à huile Coton	Jatropha Curcas Coton	N/A*	Jatropha Curcas Coton
Potentiel en éthanol	Manioc Canne à sucre	Manioc Maïs	Maïs Pomme anacarde	N/A	Pomme anacarde
Potentiel de biogaz	N/A	N/A	N/A	Bovins	Bovins

*N/A = Non-applicable

Le Tableau 8 présente les résultats d'une étude d'une équipe de chercheurs de l'Université de Lomé (WASCAL, 2019) qui a estimé les quantités de paille de riz, de balles de riz et de résidus d'ananas pour la production de briquettes, un produit de substitution du bois-énergie.

Tableau 8. Quantification des résidus agricoles à potentiel de production de briquettes au Togo

Déchet	Maritime	Plateaux	Centrale	Kara	Savanes
Paille de riz (t/an)	23 322	6 276	-	3 138	5 800
Balles de riz (t/an)	-	300	93,1	210,6	186,4
Déchets d'ananas (t/an)	39 562,6	11674,8	N/A	-	-

Pour la production de biogaz, la même étude (WASCAL, 2019) a identifié les boues de vidange et les déchets d'abattoirs, d'élevage et de coopératives avec un potentiel de production totale estimé à 1,12 million m³ de méthane par an composé à plus de 90% de déchets d'abattoirs. Azouma et al., (2018) ont aussi démontré que les résidus d'ananas sont aussi convertibles en biogaz riche énergétiquement en obtenant au laboratoire une production de méthane de 113,8 L/kg de matière sèche organique après un temps de rétention hydraulique de 92 jours.

3.2.4. Ressources hydrauliques

Le Tableau 9 présente les données d'une étude conduite par le Centre pour les Énergies Renouvelables et l'Efficacité Énergétique de la CEDEAO (CEREEC, 2012) qui a évalué le potentiel hydroélectrique au Togo. Ajouté

à ces données, quelques installations de très petites tailles de l'ordre du kW installées sont aussi envisagées sur le fleuve Zio dans la région maritime.

Tableau 9. Potentiel hydroélectrique (MW) dans les régions économiques au Togo

Région économique	Site	Capacité (MW)
Plateaux	Kpessi	15,9
	Kolo-kopé	17,1
	Sereghéné	3,4
	Tététou	64
	Wawa	8,4
Centrale	Baghan	5,8
Kara	Sarakawa	24,2
	Titira	23,8
	Fazao	2,5
	Landa Pozanda	5

3.3. Activités économiques exercées par les ménages ruraux enquêtés

Le Tableau 10 montre que l'agriculture et l'élevage constituent la première source d'occupation de 64,8% des ménages ruraux au Togo. Le commerce est la deuxième activité économique exercée par 16,9% de ménages ruraux au Togo. L'INSEED (2016) a trouvé des résultats similaires pour son enquête QUIBB conduite en 2015 avec une proportion de 55,8% des chefs de ménages ruraux qui sont des agriculteurs indépendants, 13,9% salarié du privé, et des proportions marginales pour les autres activités économiques. Ces résultats suggèrent que pour le développement des activités productives en milieu rural au Togo, il faut se concentrer sur les technologies qui sont en mesure de répondre aux besoins énergétiques des secteurs de l'agriculture, de l'élevage et du commerce.

Tableau 10. Importance des activités économiques exercées par les ménages ruraux dans les régions économiques du Togo

	Agriculture/ Élevage (%)	Commerce (%)	Artisanat (%)	Activité non- rémunérée (%)	Activité salariale (%)	Fonction publique (%)	Étude (%)	Autre activité (%)
Maritime	14,5	5,4	3,1	0,0	0,9	0,5	0,0	1,8
Plateaux	22,3	2,5	1,4	0,2	0,3	0,2	0,0	1,1
Centrale	7,2	2,5	0,5	0,3	0,2	0,2	0,0	1,2
Kara	6,9	4,9	0,3	2,8	0,0	0,2	0,3	0,6
Savanes	13,8	1,7	1,1	0,0	0,3	0,2	0,2	0,8
Total secteur	64,8	16,9	6,3	3,2	1,7	1,1	0,5	5,5

La Figure 4, traduit d'un article de Sims et al., (2015), présente les besoins énergétiques sur les principaux maillons des chaînes de valeur de l'agriculture en partant des intrants jusqu'à la transformation des produits agricoles. Ces besoins nécessitent différentes formes d'énergie : mécanique, électrique et thermique. Les besoins énergétiques en lien avec le transport, la logistique

et l'accès au marché dans les régions ne sont pas pris en compte par la Figure 4.

Il est donc important de développer les ressources énergétiques disponibles identifiées en milieu rural qui peuvent par l'utilisation des équipements électriques répondre aux besoins des populations et apporter de la valeur aux activités économiques.

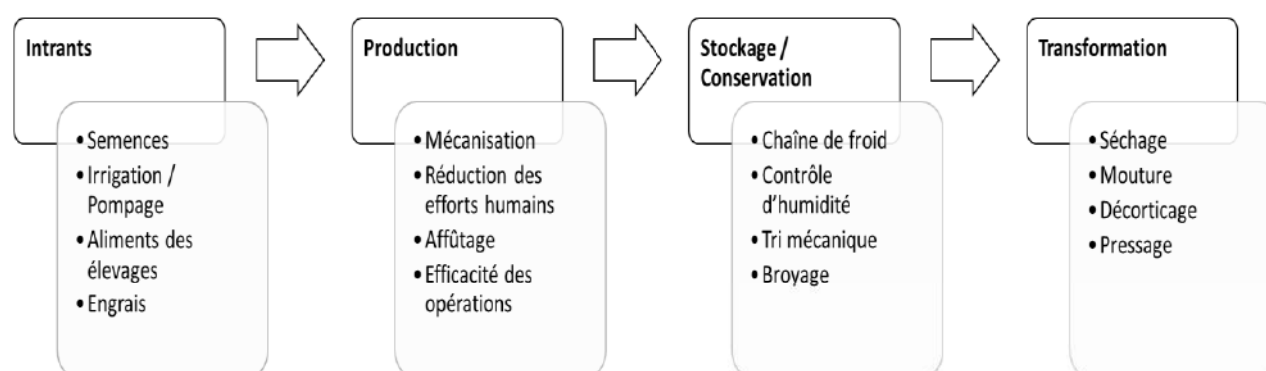


Fig. 4. Besoins énergétiques sur les chaînes de valeur de l'agriculture

3.4. Impact de l'introduction d'un équipement électrique dans l'activité économique en milieu rural au Togo

La Figure 5 permet d'apprécier l'impact de l'introduction d'un équipement électrique dans l'activité économique en milieu rural au Togo.



Fig.5. Impact de l'utilisation d'un équipement électrique sur l'activité économique en milieu rural au Togo

L'amélioration de la productivité est le premier impact mentionné à plus de 41% des réponses obtenues, suivie par l'augmentation des ventes à 24%, l'amélioration de la qualité et la réduction des coûts de production. On peut conclure qu'il y a un besoin d'introduction des équipements électriques en milieu rural au Togo pour améliorer la productivité des activités économiques et les revenus des ménages ruraux.

3.5. Simulation de l'approvisionnement en électricité de l'entreprise de traitement humide du café dans la région des plateaux

3.5.1. Scénario 1. Approvisionnement électrique de l'entreprise par un groupe électrogène

Le Tableau 11 montre un coût actualisé de production d'électricité – Levelized Cost of Electricity (LCOE) de 814 F CFA/kWh. Comparé au coût de l'électricité sur le réseau électrique au Togo d'environ 150 F CFA/ kWh, il revient 5,4 fois plus cher. Ce coût réduira considérablement les marges bénéficiaires de l'entreprise. Les caféiculteurs ne pourront donc pas bénéficier de tous les avantages du traitement humide de leur café. Plus de la moitié de l'électricité produite reste disponible. Il faudra donc penser à des méthodes alternatives d'approvisionnement électrique moins coûteuses pour l'entreprise rurale.

Tableau 11. Résultats de simulation de l'alimentation électrique de l'entreprise rurale par groupe électrogène

Electricité produite (kWh/an)	Electricité consommée (kWh/an)	Excédent d'électricité (kWh/an)	Coût actualisé de l'installation (MFCFA)*	Coût actualisé de l'électricité – LCOE (F CFA/ kWh)*
6 301	2 905	3 395	25,5	814

*Les coûts générés par HOMER en dollar US ont été convertis en FCFA en considérant 1USD=550 FCFA

3.5.2. Scénario 2. Electrification des ménages par un mini-réseau alimenté au solaire photovoltaïque

Le tableau 12 montre un coût actualisé de production d'électricité de 488 F CFA/kWh que doit supporter chaque ménage rural. Toutefois, ce coût reste excessif pour un ménage rural. Il est appliqué actuellement un tarif, similaire au tarif urbain, de 119 F CFA/kWh pour les ménages ruraux connectés aux mini-réseaux exploités par les pouvoirs publics au Togo. Dans la perspective de la construction et de l'exploitation des mini-réseaux par le secteur privé, il faudra penser à subventionner le coût de production pour rendre l'électricité abordable pour les populations rurales ou ajouter des charges productives au réseau de distribution de l'énergie photovoltaïque. Cette dernière option est étudiée au scénario 3.

Tableau 12. Résultats de la simulation de l'électrification de la communauté d'Azaïfi avec un mini-réseau alimenté avec du solaire

Electricité produite (kWh/an)	Electricité consommée (kWh/an)	Excédent d'électricité (kWh/an)	Coût actualisé de l'installation (MFCFA)*	Coût actualisé de l'électricité – LCOE (F CFA/ kWh)*
28 523	12 751	11 848	67,3	488

*Les coûts générés par HOMER en dollar US ont été convertis en FCFA en considérant 1USD=550 FCFA

3.5.3. Scénario 3. Mini-réseau hybride, solaire et groupe électrogène, qui alimente l'entreprise et les ménages

Le tableau 13 montre un coût actualisé de production d'électricité de 394 F CFA/kWh. Ce coût est plus bas que dans les scénarii 1 et 2 mais reste encore élevé pour un ménage rural. Nos résultats sont conformes à une étude sur la tarification des mini-réseaux en Afrique sub-saharienne (Reber et al., 2018) qui a trouvé que la configuration hybride solaire et groupe électrogène donnait un coût plus bas que celui du groupe électrogène ou du solaire. En prenant en compte le niveau de subvention du coût de connexion aux mini-réseaux suggéré dans la stratégie d'électrification du Togo, d'un peu plus de 40%, le coût de production de l'électricité reviendrait à environ 160 F CFA. Pour réduire davantage ce coût, l'exploitant du mini-réseau peut appliquer, en accord avec le régulateur, un coût différencié plus élevé pour l'entreprise qui permettra de subventionner le coût d'électricité des ménages ruraux. Cette dernière solution a été recommandée par une étude similaire au Rwanda qui a porté sur la transformation du maïs en milieu rural (Kyriakarakos et al., 2020). Une deuxième solution à explorer est l'ajout d'une ou plusieurs charges productives au mini-réseau telles qu'une fabrique de glace, un moulin, un pompage d'eau, un incubateur d'œufs, etc. (Booth et al., 2018).

Tableau 13. Résultats de la simulation de l'alimentation des ménages ruraux et de l'entreprise à partir d'une installation hybride solaire et groupe électrogène

Electricité produite (kWh/an)	Electricité consommée (kWh/an)	Excédent d'électricité (kWh/an)	Coût actualisé de l'installation (MFCFA)*	Coût actualisé de l'électricité – LCOE (F CFA/ kWh)*
40 804	18 235	21 285	77,6	394

*Les coûts générés par HOMER en dollar US ont été convertis en FCFA en considérant 1USD=550 FCFA

IV. CONCLUSION

Les piles sèches, utilisées principalement pour les besoins d'éclairage et de produits de télécommunication constituent encore la première source d'électricité pour la majorité des ménages en milieu rural au Togo. Cette situation laisse présager que de nouvelles sources d'énergie doivent être développées pour permettre aux entreprises et commerces de s'implanter en milieu rural au Togo. Ainsi, l'énergie solaire demeure la première source d'énergie disponible, ensuite vient le bois et par endroit les ressources en eau et les résidus agricoles. Il est important que des projets soient développés autour de ces ressources énergétiques pour exploiter et ajouter de la valeur aux potentiels économiques dans les régions, à savoir les activités agricoles et d'élevage qui occupent la majorité de la population rurale. A titre d'exemple, l'approvisionnement électrique d'une entreprise de traitement humide de café envisagée dans la localité d'Azafi, dans la région des plateaux, a été simulée à l'aide du logiciel HOMER. Les résultats de la simulation donnent un coût actualisé de production de l'électricité pour l'entreprise de traitement humide de café et les ménages plus bas que le coût d'électrification de l'entreprise ou celui des ménages. Toutefois, ce coût reste élevé pour le ménage rural et doit être réduit pour que l'électricité produite soit financièrement accessible aux populations rurales.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur gratitude aux populations rurales du Togo pour avoir fourni les informations pour ce travail de recherche. Ils remercient également le Centre de Recherches pour le Développement International (CRDI, Canada) pour son appui financier dans la conduite de cette recherche.

REFERENCES

Ackom, E., Larsem, T. H., & Mackenzie, G. A., 2016. Sustaining Energy Access: Lessons from Energy Plus Approach and Productive Use in developing countries. Global Network on Energy for Sustainable Development (GNESD).

Agence Togolaise d'Électrification Rurale et des Énergies Renouvelables (AT2ER), 2017. Projet d'électrification rurale hors-réseau par kits solaires domestiques en mode PAYGO « CIZO », <https://at2er.tg/lancement-du-projet-cizo/>

Agence Togolaise d'Électrification Rurale et des Énergies Renouvelables (AT2ER), 2019. Projet d'électrification de 317 localités par mini-réseaux solaires au Togo, <https://at2er.tg/projet-delectrification-de-317-localites-par-mini-reseaux-solaires-au-togo/>

Azouma, Y.O., Jegla, Z., Reppich, M., Turek, V., Weiss, M., 2018. Using agricultural waste for biogas production as a sustainable energy supply for developing countries, Chemical Engineering Transactions, Volume 70, pp. 445-450 <https://doi.org/10.3303/CET1870075>

BAD, 2021. Perspectives économiques au Togo. <https://www.afdb.org/fr/countries/west-africa/togo/togo-economic-outlook>

Bolidja, T., 2019. Électrification rurale hors réseau au Togo, Agence Togolaise d'Électrification Rurale et des Énergies Renouvelables (AT2ER).

Booth, S., Li, X., Baring-Gould, I., Kollanyi, D., Bharadwaj, A., Weston, P., 2018. Productive Use of Energy in African Microgrids: Technical and Business Considerations, National Renewable Energy Laboratory (NREL), USA, pp 1-70.

Brüderle, A., Attigah, B., Bodenbender, M., 2011. Productive Use of Energy – PRODUCE. A Manual for Electrification Practitioners, GIZ and EUEI PDF.

Café Africa, 2009. Production of washed coffee – Arabica and Robusta, Feasibility study. <https://www.yumpu.com/en/document/read/4402935/washed-coffee-cameroon-feasibility-study>

Centre pour les Énergies Renouvelables et l'Efficacité Énergétique de la CEDEAO (CEREEC), Sustainable Energy for All, 2012. The contribution of hydropower to a sustainable Energy Future. ECOWAS Regional Workshop on Small Scale Hydro Power. Baseline Report on existing and potential small-scale hydropower systems in the ECOWAS region. UNIDO, ESMAP. Vienna.

Chapman, A., McLellan, B., Tezuka, E., 2016. Strengthening the Energy Policy Making Process and Sustainability Outcomes in the OECD through Policy Design, Administrative Sciences, 2016, 6, 9. doi:10.3390/admsci6030009

Coordination nationale REDD+, 2017. Étude approfondie sur la dynamique de l'utilisation du bois-énergie au Togo. Version consolidée, Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières (MERF) du Togo.

De Gouvello, C., Durix, L., 2008. Maximizing the Productive Uses of Electricity to Increase the Impact of Rural Electrification Programs, Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP), World Bank.

Direction Générale de l'Énergie (DGE) du Togo, 2018. Stratégie d'Électrification du Togo. Présentation de 119 pages

Direction Générale de la Statistique et de la Comptabilité Nationale (DGSCN) du Togo, 2010. Quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Publication des Résultats définitifs.

Etse, K., Mohan, A., Sharma, A., 2019. Hybrid System for Electrification and Upliftment of Northern Rural Region of Togo, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-8, Issue-1.

Fontodji, J. K., Akponikpè, P. B. I., Kokou, K., 2014. Modeling of the vulnerability of "biomass energy" sub-sector to climate change in Togo, Scientific Journal of Review, Vol.3 No.1 pp.34-45 ref.44

Goldemberg, J., Reddy, A. K.N., Smith, K. R., Williams, R. H., 2015. World Energy Assessment: Energy and

- the Challenge of Sustainability. Chapter 10: Rural energy in Developing countries. pp 376 – 389
- Heffron, R. J., McCauley, D., 2017. The concept of energy justice across the disciplines. *Energy Policy* 105, pp. 658–667
- Huld, T., Szabo, S., Jager-Waldau, A., 2014. Mapping the Cost of Electricity from Grid-connected and Off-grid PV Systems in Africa. Conference Paper. DOI:10.5071/1stAfricaPVSEC2014-3AO.2.4
- IDS and GIZ, 2019. Unlocking the Benefits of Productive Uses of Energy for Women in Ghana, Tanzania and Myanmar, Research report RA6, ENERGIA
- IEA, IRENA, UNSD, World Bank, WHO, 2021. Tracking SDG 7: The Energy Progress Report. World Bank, Washington DC.
- Institut National de la Statistique et des Études Économiques Et Démographiques (INSEED) du Togo, 2016. Profil de la pauvreté 2006-2011-2015. 141 pages
- Institut National de la Statistique et des Études Économiques et Démographiques (INSEED) du Togo, 2016. Questionnaire unifié des indicateurs de Base du Bien-être (QUIBB) 2015.
- International Solar Alliance (ISA), 2019. Prospective Member Countries. <http://isolaralliance.org/MemberCont.aspx>
- Johnstone, K., Rai, K., Mushi, F., 2019. Remote but productive: practical lessons on productive uses of energy in Tanzania. Discussion Paper, Hivos, iied. Energy Change Lab.
- Kapadia, K., 2004. Productive uses of renewable energy. A Review of Four Bank-GEF Projects, Consultant Report to World Bank.
- Ki-Moon, B., 2011. A Vision statement by the Secretary-General of the United Nations, Sustainable Energy for All, https://www.seforall.org/sites/default/files/gather-content/SG_Sustainable_Energy_for_All_vision.pdf
- Kyriakarakos, G., Balafoutis, A., Bochtis, D., 2020. Proposing a Paradigm Shift in Rural Electrification Investments in Sub-Saharan Africa. *Sustainability* 2020, 12, 3096.
- Ministère des Mines et de l'Énergie (MME) du Togo, 2011. Évaluation du potentiel des bioénergies au Togo, Rapport provisoire, République Togolaise.
- Ministère des Mines et de l'Énergie (MME) du Togo, 2017. Lettre de Politique de Développement du Secteur de l'Énergie du Togo. Plan d'Action Stratégique des Énergies Modernes, 2018-2022.
- Organisation des Nations Unies (ONU), 2015. Résolution adoptée par l'Assemblée générale le 25 septembre 2015, Objectifs de Développement Durable, Objectif 7, https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf
- Porosi, M., Boroze, T. T., Azouma, Y. O., 2015. Impacts of the Production of Electrical Energy from Green Fuel (biodiesel) in Rural Areas in Togo: The Case of the Jathropha Curcas, *International Journal of Environment and Bioenergy*, Volume 10, pp 77-93
- Practical Action, 2016. Poor people's energy outlook 2016: National Energy Access Planning from the Bottom Up, Rugby, UK: Practical Action Publishing, <http://dx.doi.org/10.3362/9781780449357>
- Prasad, B., 2013. Rural electrification and efforts to create enterprises for the effective use of power, *Applied Energy*, Volume 76, Issues 1–3, Pages 145-155
- Pueyo, A., DeMartino, S., 2018. The impact of solar mini-grids on Kenya's rural enterprises, *Energy for Sustainable Development* 45, 28–37
- Pueyo, A., Maestre, M., 2019. Linking energy access, gender and poverty: A review of the literature on productive uses of energy, *Energy Research & Social Science* 53, 170–181.
- Reber, T., Cutler, D., Li, X., Salasvich, J., 2018. Tariff Considerations for Micro-grids in Sub-Saharan Africa. National Renewable Energy Laboratory (NREL), USAID, Power Africa.
- Rehman, I. H.; Sreekumar, A.; Gill, B.; Worrell, E., 2017. Accelerating access to energy services: Way forward, *Advances in Climate Change Research* 8 (2017) pp. 57-61.
- Ressources Naturelles Canada. Logiciel RETScreen Expert. <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465>
- Sims, R.; Flammioni, A.; Puri, M.; Bracco, S., 2015. Opportunities For Agri-Food Chains To Become Energy-Smart.
- Sovacool, B. K., Burke, M., Baker, L., Kotikalapudi, C. K.; Wlokas, H., 2017. New frontiers and conceptual frameworks for energy justice", *Energy Policy* 105, pp. 677–691
- Sovacool, B. K., Heffron, R. J., McCauley, D., Goldthau, A., 2016. Energy decisions reframed as justice and ethical concerns, *Nature Energy*. Article 16024. DOI : 10.1038.
- Tchodou, S. B., Dr. Kanagavel, P., Arivukkodi, G., 2017. Quantitative Evaluation of Wind Potential at 10m on seven sites in Togo, *International Journal of Advanced Research in Education & Technology (IJARET)*. Vol. 4, Issue 2
- Terrapon-Pfaff, J., Gröne, M., Dienst, C., Ortiz, W., 2018. Productive use of energy – Pathway to development? Reviewing the outcomes and impacts of small-scale energy projects in the global south, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 96, pp. 198-209.
- Walters, T., Esterly, S., Cox, S., Reber, T., 2015. Engaging the Private Sector in Expanding Access to Electricity, *Policies to Spur Energy Access: Volume 1*.
- West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use (WASCAL), Université de Lomé, 2019. Étude de faisabilité pour le Développement des Énergies Renouvelables au Togo, Rapport provisoire, Ministère de l'Enseignement Supérieur du Togo, German Federal Ministry of Education and Research.

- World Bank and International Finance Corporation, 2019.
Global Solar Atlas,
www.globalsolaratlas.info
- World Bank, 2008. The Welfare Impact of Rural Electrification: A Reassessment of the Costs and Benefits, An IEG Impact Evaluation, Independent Evaluation Group of the World Bank.
- World Bank, ESMAP and Sustainable Energy for All, 2015. Beyond connections, Energy Access Redefined.
- Yadoo, A., 2012. Delivery Models for Decentralised Rural Electrification: Case Studies in Nepal, Peru and Kenya, London: International Institute for Environment and Development.



Journal de Physique de la Soaphys
Volume imprimé avec la contribution de :

