

Contribution de la technologie de la meule casamançaise à la réduction des émissions dans le contexte du changement climatique : Application au Togo

Contribution of the improved Casamance carbonisation millstone technology to reducing greenhouse gas emissions and combating climate change: application in Togo

Nabine Waké Aziz*, Fontodji Kokou Jérémie, Kokutse Adzo Dzifa, Kokou Kouami

Laboratoire de Recherche Forestière (LRF), Faculté des Sciences (FDS), Université de Lomé (UL), BP 1515/ BP 80825 Lomé Togo.

(*) Auteur correspondant : walkernabine19@gmail.com

ORCID des auteurs

Nabine Waké Aziz : <https://orcid.org/0009-0009-1277-3119> ; Fontodji Kokou Jérémie : <https://orcid.org/0009-0009-2176-1144> ; Kokutse Adzo Dzifa : <https://orcid.org/0009-0002-8422-0694> ; Kokou Kouami : <https://orcid.org/0000-0002-2400-0852>

Comment citer l'article : Nabine Waké Aziz, Fontodji Kokou Jérémie, Kokutse Adzo Dzifa, Kokou Kouami (2024). Contribution de la technologie de la meule casamançaise améliorée de carbonisation à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la lutte contre les changements climatiques : Études de cas et application au Togo. *Revue Écosystèmes et Paysages*, 4(2) : 1-14, e-ISSN (Online) : 2790-3230

Doi: <https://doi.org/10.59384/recopays.tg4225>

Reçu : 30 septembre 2024
Accepté : 15 décembre 2024
Publié : 30 décembre 2024



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons

Résumé

La forte demande de charbon de bois généralement produit par les techniques traditionnelles de carbonisation représente une véritable menace pour les ressources forestières. Dans le souci de gérer durablement cette filière, la meule casamançaise améliorée de carbonisation (MCAC), ayant un rendement moyen deux fois plus élevé que les techniques traditionnelles de carbonisation a été introduite et vulgarisée par les acteurs de la filière bois-énergie au Togo. Cette étude vise à contribuer à la gestion durable des ressources forestières au Togo par la promotion de la Meule Casamançaise Améliorée de Carbonisation (MCAC). Plus spécifiquement, cette étude vise à : (i) estimer les quantités de charbon de bois produites à l'aide de la MCAC et (ii) évaluer la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à l'adoption de cette technologie. Des enquêtes ont été menées auprès d'un échantillon de 160 charbonniers formés à l'utilisation de la MCAC. Des scénarios d'émissions de GES ont été élaborés afin de comparer les émissions associées à l'usage de la MCAC avec celles des techniques traditionnelles. En 2021, la production de charbon de bois par la MCAC a atteint 12 498,24 tonnes, soit 3% de la production totale annuelle au Togo. L'adoption de la MCAC a permis de réduire de

Attribution (CC BY) license
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1,72% les émissions de GES par rapport au scénario de référence. Les simulations indiquent qu'une généralisation complète de la MCAC pourrait réduire de 65,2% les émissions de GES d'ici 2030, par rapport au scénario de référence. La MCAC se révèle être un outil stratégique dans la lutte contre le changement climatique, contribuant significativement à la réduction des émissions de GES et à l'atteinte des objectifs des Contributions Déterminées au niveau National. Ainsi, une généralisation de son usage est nécessaire pour assurer la durabilité des ressources forestières au Togo.

Mots clés : Changement climatique, gaz à effet de serre, carbonisation, meule casamançaise améliorée, Contributions Déterminées.

Abstract

The high demand for charcoal, which is generally produced using traditional charcoal-burning techniques, represents a real threat to forest resources. With a view to managing this sector sustainably, the improved Casamance charcoal-burning wheel (MCAC), which has an average yield twice as high as traditional charcoal-burning techniques, has been introduced and popularised by stakeholders in Togo's wood-energy sector. This study aims to contribute to the sustainable management of forest resources in Togo by promoting the Improved Casamance Carbonisation Millstone technology (MCAC). More specifically, this study aims to: (i) estimate the quantities of charcoal produced using the MCAC and (ii) assess the reduction in greenhouse gas (GHG) emissions associated with the adoption of this technology. Surveys were conducted among a sample of 160 charcoal makers trained in the use of MCAC. GHG emission scenarios were developed to compare the emissions associated with the use of MCAC with those of traditional techniques. In 2021, charcoal production using MCAC reached 12,498.24 tonnes, or 3% of Togo's total annual production. The adoption of MCAC resulted in a 1.72% reduction in GHG emissions compared with the reference scenario. Simulations indicate that a full roll-out of the MCAC could reduce GHG emissions by 65.2% by 2030, compared with the reference scenario. MCAC is proving to be a strategic tool in the fight against climate change, making a significant contribution to reducing GHG emissions and achieving the objectives of the Nationally Determined Contributions. Its widespread use is therefore necessary to ensure the sustainability of forest resources in Togo.

Keywords: Climate change, greenhouse gases, carbonisation, improved Casamance carbonisation millstone, Determined Contributions.

1. Introduction

Le bois constitue la principale source d'énergie rencontrée dans la plupart des pays en voie de développement. En 2015, en Afrique subsaharienne (hors Afrique du Sud), 780 millions de personnes dépendaient du bois et du charbon de bois pour cuisiner, soit environ 80% des ménages et elles seront plus de 800 millions en 2030 (Louvel and de Gromard, 2017).

Au Togo, plus de 90% de la population locale a recours au bois-énergie (MERF 2021). Au fil des années, la demande en charbon de bois des ménages surtout en milieu urbain est sans cesse croissante (Kaina et al. 2021a) et l'ensemble des besoins est assuré par la production nationale. La consommation nationale totale en charbon de bois est passée de 318 046 tonnes en 2017 (MERF 2017) à 424 426 tonnes en 2021 (MDEM 2022), soit une augmentation de 33,45%. Malheureusement, le potentiel du bois énergie décroît drastiquement (Fontodji et al. 2014). A l'horizon 2030, seuls 28,1% de la consommation nationale seraient satisfaites d'une façon durable et seulement 13,6% le seront à l'horizon 2050 (MERF 2017; Folega et al. 2021). L'augmentation de la demande, liée à l'explosion démographique (Fontodji and Kokou 2014) accroît la pression exercée sur les ressources forestières. Cette augmentation, due à la non diversification des sources d'énergie de cuisson et au maintien des habitudes traditionnelles dans la filière amplifie les effets négatifs sur l'environnement (Segbefia et al. 2018). Le vrai gros goulot d'étranglement de cette filière est la généralisation des technologies traditionnelles de production de charbon de bois dont le rendement moyen est de 11% (Fontodji 2015); ce qui se révèle comme une source de vrai gaspillage des ressources ligneuses.

Face à cette situation préoccupante, des mesures ont été prises. Ainsi, à partir de 2011, les acteurs et parties prenantes de la filière bois-énergie ont introduit des technologies de carbonisation améliorées au Togo, dans le cadre de divers projets visant à répondre à ces défis. En 2017, les résultats de l'étude approfondie sur la dynamique de l'utilisation du bois-énergie ont montré que deux techniques améliorées de carbonisation sont introduites au Togo notamment la meule casamançaise améliorée et le four métallique (MERF 2017). Depuis 2019, le projet PALCC soutient la mise à l'échelle de la meule casamançaise améliorée de carbonisation (MCAC), dans le but de réduire la pression sur les ressources forestières. En effet, les technologies améliorées telles que la MCAC, augmentent significativement le rendement, atteignant entre 25 % et 45 %, contre 11 % pour les méthodes traditionnelles. La MCAC a un rendement moyen de 26% dans le contexte togolais (Fontodji 2015), ce qui constitue un grand moyen de réduction de la déforestation. De plus, une amélioration du rendement de carbonisation contribue à une réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), jouant ainsi un rôle clé dans la lutte contre le changement climatique (Temmerman et al. 2019).

Bien que plusieurs études aient été réalisées sur la filière bois-énergie en général et sur les technologies améliorées de carbonisation en particulier au Togo (Fontodji et al. 2009; Fontodji et al. 2011; Fontodji et al. 2013; Fontodji et al. 2014; Fontodji and Kokou, 2014; Fontodji 2015; GIZ 2015; MERF 2017; Kaina et al. 2021a; Kaina et al. 2021b; MDEM 2022), peu d'informations sont disponibles sur les quantités de charbon de bois produites avec la MCAC ou sa contribution à la réduction des GES. Pourtant, ces données sont essentielles pour sensibiliser et mobiliser les parties prenantes autour de la promotion de cette technologie. Cela soulève deux questions majeures : (i) quelle est la quantité de charbon de bois produite annuellement grâce à la MCAC ? (ii) quelle est sa contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) ?

Cette étude a pour objectif général de contribuer à la gestion durable des ressources forestières par la promotion des technologies améliorées de carbonisation au Togo. Plus précisément, l'étude se propose de : (i) estimer les quantités de charbon de bois produites à base de la MCAC au Togo et (ii) évaluer la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) induite par la promotion de la MCAC au Togo.

2. Matériel et Méthode

2.1. Description du milieu d'étude

Le Togo est un pays côtier de l'Afrique de l'Ouest qui couvre une superficie de 56 600 Km². Situé entre 6° et 11° de latitude Nord et entre 0° et 2° de longitude Est, le Togo est limité au Nord par le Burkina-Faso, au Sud par l'Océan Atlantique, à l'Ouest par le Ghana et à l'Est par le Bénin. Le pays comporte 5 zones écologiques (Ern 1979) et 5 régions administratives : les régions Maritime, des Plateaux, Centrale, de la Kara et des Savanes. Cependant, les prospections de cette étude ont été spécifiquement réalisées dans les régions Centrale et Maritime.

Ces deux régions présentent des caractéristiques socio-économiques contrastées. La Région Centrale est majoritairement rurale, avec une forte dépendance des ressources naturelles pour les moyens de subsistance, tandis que la Région Maritime, qui comprend la capitale Lomé, est plus urbanisée et constitue un important marché pour le charbon de bois (Fontodji 2015).

Les données démographiques les plus récentes (INSEED 2015) estiment que la population de la Région Centrale est de 795 529 habitants, tandis que celle de la Région Maritime est de 2 188 376 habitants, incluant Grand Lomé (la capitale et ses environs). Ces deux régions représentent des zones stratégiques pour l'étude en raison de leur rôle clé dans la production et la consommation de bois-énergie.

Les résultats des enquêtes QUIBB (2011 et 2015) montrent que l'incidence de la pauvreté est passée de 58,7% en 2011 à 55,1% en 2015. La pauvreté est un phénomène essentiellement rural avec plus de 75,1%.

2.2. Collecte des données

Entretien avec les parties prenantes

Les données sur la production nationale de charbon de bois au cours des cinq dernières années (2017 à 2021) ont été collectées auprès des services techniques de l'Etat : l'Institut National de la Statistique, des Etudes Economiques et Démographiques (INSEED) et le Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières (MERF). Des échanges ont ensuite été réalisés avec les ONG qui font la promotion des techniques améliorées de carbonisation au Togo et qui sont actives sur le terrain. Ces entretiens ont permis de collecter des informations sur les techniques améliorées de carbonisation vulgarisées, les lieux et l'année de vulgarisation, le nombre de charbonniers formés. Les informations collectées ont permis d'orienter le choix des sites à prospector. D'après ces échanges, 1540 charbonniers (Tableau 1) ont été formés sur la MCAC entre 2018 et 2022 : 40 charbonniers formés par INADES Formation en 2018 dans le cadre de son projet Communautés Résilientes aux changements climatiques (CRCC) dans les préfectures d'Agou et de Kpélé (Région des Plateaux) et 1500 charbonniers formés par l'ONG AJA (Action pour la Jeunesse d'Afrique) répartis en 100 coopératives sur toutes les cinq régions du Togo dans le cadre du projet PALCC (Phase 1 : 2019-2022).

Tableau 1. Répartition par région des charbonniers formés sur la MCAC entre 2018 et 2022 (INADES 2022; ONG AJA 2022)

Régions du Togo	Nombre de charbonniers formés et actifs sur le terrain
Savanes	210
Kara	225
Centrale	435
Plateaux	460
Maritime	210
Total	1540

• Echantillonnage

L'échantillonnage a donc porté sur les 1540 charbonniers, toujours actifs dans l'utilisation de la MCAC et répartis dans les cinq régions du pays. Un échantillon représentatif de cette population de charbonniers a été défini par la méthode de Krejcie & Morgan (1970) selon la formule ci-après:

$$n = \frac{X^2 N p (1-p)}{d^2 (N-1) + X^2 p (1-p)} \quad [\text{Equation (1)}]$$

Où :

n : la taille de l'échantillon ;

N : la taille de la population ;

d : le degré de précision exprimé en proportion (5%) ;

X : le niveau de confiance (1,96 pour un taux de confiance de 95%) ;

$X^2 = 3,841$;

p : proportion estimative de la population, p = 0,5.

L'application numérique de cette formule a permis d'obtenir un échantillon représentatif de 308 charbonniers. Compte tenu des moyens et du temps disponible pour l'étude, cet échantillon a été réduit de moitié à 160 charbonniers. Deux (02) régions représentatives du pays ont été retenues pour les prospections : la Région Centrale appartenant aux grands bassins de production de charbon de bois et la Région Maritime appartenant aux petits bassins de production de charbon de bois au Togo (MERF 2017). L'échantillon retenu (160 charbonniers) a été donc ventilé sur les deux régions en tenant compte de l'accessibilité des sites, de la disponibilité des charbonniers et de la répartition spatiale (Figure 1).

Enquêtes auprès des charbonniers

Le nombre de charbonniers enquêté est de 160 (Tableau 2). Les enquêtes ont été faites à l'aide de questionnaires préétabli à cet effet dans l'application KoBoCollect. Les données ont été collectées par *focus group* auprès des coopératives de charbonniers formés sur la MCAC et par entretien semi-structuré individuellement avec les charbonniers. Les informations recueillies lors des enquêtes sont relatives à l'identification (nom, prénoms, âge, sexe, localité) des enquêtés ou des coopératives, les types de technologies adoptées, la durée de production de charbon de bois à base de la MCAC dans l'année, les quantités de charbon de bois (nombre et type de sac) produit par mois à base de la MCAC, le nombre de répliques effectuées par mois, le nombre de groupements formés par ces charbonniers/coopératives sur la MCAC. Le poids moyen de charbon de bois fabriqué à base de la MCAC est évalué en faisant au moins trois pesées par types de sac (Figure 2) pour en faire la moyenne (Fontodji 2015).

Tableau 2. Localités, coopératives et nombre de charbonniers enquêtés

Régions	Préfectures	Localités	Nombre de coopératives enquêtées	Nombre de charbonniers
Centrale	Tchaoudjo, Sotouboua, Blitta, Tchamba	10	10	115
Maritime	Zio, Yoto	4	6	45
Total				160

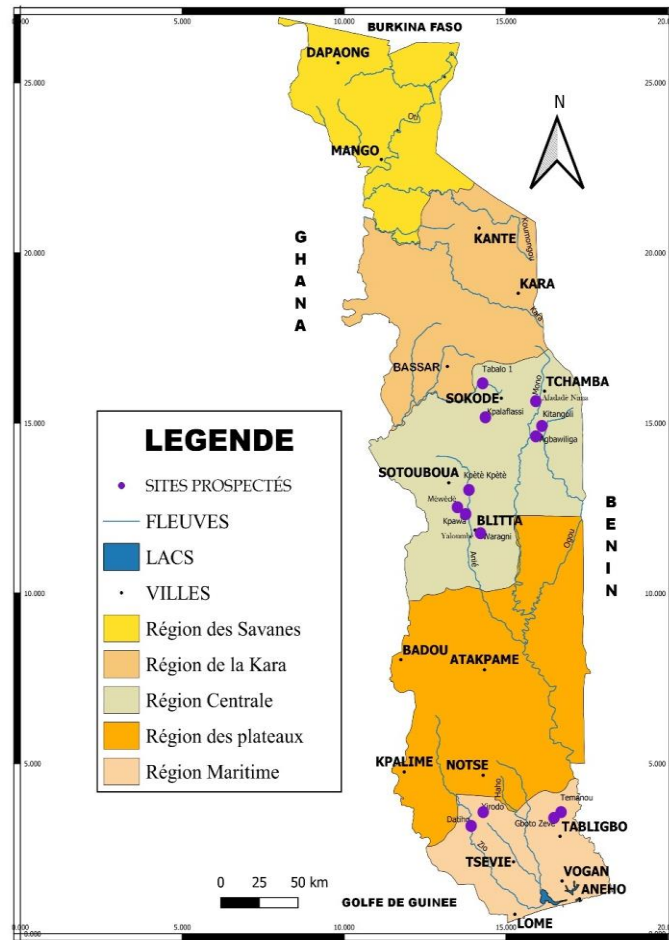


Figure 1. Répartition spatiale des sites prospectés



Figure 2. Pesée du charbon de bois à Mèwèdè (Région centrale)

Elaboration des scénarii d'émission de GES

L'outil *Low Emissions Analysis Platform* (LEAP) est utilisé dans le cadre de cette étude pour l'élaboration des scénarii d'émissions de GES liées à l'utilisation de différentes technologies (MCAC et meule traditionnelle) pour la production du charbon de bois. Deux types de scénarii de GES ont été élaborés. Le scénario de référence est basé sur l'utilisation exclusive de la meule traditionnelle pour produire la totalité du charbon de bois utilisé au Togo. Par contre, le scénario d'atténuation est basé sur l'introduction progressive de la MCAC. Pour le scénario d'atténuation, trois cas de figure ont été considérés selon différentes hypothèses. L'horizon temporel considéré dans cette étude est l'année 2030 qui est l'année cible des Contributions Déterminées au niveau National (CDN) du Togo.

Pour quantifier le niveau d'émissions de GES dans le scénario de référence projeté en 2030, les hypothèses suivantes ont été faites pour les moteurs de croissance des émissions :

- le gouvernement ne prendra pas d'autres mesures de lutte contre les émissions de GES que celles déjà en cours en matière de production de charbon de bois;
- la meule traditionnelle est la technique de carbonisation utilisée pour produire la totalité du charbon de bois consommé au Togo;
- les facteurs comportementaux sont considérés comme étant constants durant toute la période de projection.

La quantification du niveau d'émissions de GES dans le scénario d'atténuation à l'horizon 2030, est basée sur les hypothèses suivantes :

- **1^{er} cas de figure** (scénario d'atténuation faible) : en considérant le niveau actuel de l'utilisation de la MCAC (production de 3% par rapport à la quantité totale de charbon de bois produit en 2021) et les perspectives sur son évolution, on suppose que la proportion de charbon de bois produit à base de cette technologie sera de 10% à l'horizon 2025 et de 20% à l'horizon 2030.
- **2^{ème} cas de figure** (scénario d'atténuation moyen) : le Togo a élaboré son Plan d'Action National de la Bioénergie (PANBE) en 2021 avec des prévisions sur la promotion des technologies améliorées de carbonisation. Si le PANBE est réellement mis en œuvre, la proportion de charbon de bois produit à base de la MCAC sera de 20% à l'horizon 2025 et de 45% à l'horizon 2030 (comme fixé par le PANBE).
- **3^{ème} cas de figure** (scénario d'atténuation élevé) : la proportion de charbon de bois produit à base de la MCAC pourrait être de 45% à l'horizon 2025 et de 100% à l'horizon 2030.

Pour la paramétrisation dans LEAP, le rendement de carbonisation considéré est de 11% pour la meule traditionnelle et de 26% pour la MCAC (Fontodji 2015). Le coefficient de consommation du charbon de bois considéré par ménage est de 795 Kg/an pour une taille moyenne des ménages estimée à 4,5 (MDEM 2022). Les facteurs d'émission (FE) par défaut du GIEC ont été utilisés étant donné que le Togo ne dispose pas de FE propre. Les potentiels de réchauffement global (PRG) utilisés pour convertir les GES directs évalués en équivalent CO₂ sont ceux du cinquième (5^e) rapport du GIEC (Tableau 3).

Tableau 3. Potentiel de réchauffement global (PRG) des GES directs

GES	PRG ₁₀₀
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1
Méthane (CH ₄)	29,8
Hémioxyde d'azote (N ₂ O)	273

2.3. Analyse des données

Les données socio-démographiques et les données sur les productions de charbon de bois ont été exportées de KoBoCollect vers un tableur Microsoft Excel 2013. Des analyses portées sur la typologie des charbonniers enquêtés ont été réalisées à partir des données qualitatives.

• Quantités de charbon de bois produit à base de la MCAC

La quantité annuelle de charbon de bois (Q) produit à base de la MCAC a été obtenue par la somme de la quantité annuelle de charbon de bois produit par les charbonniers (Qch) et de la quantité annuelle de charbon de bois produit par les coopératives

(Q_{co}) (Equation (2)). La quantité annuelle de charbon de bois produit par un charbonnier (Q_c) à base de la MCAC a été obtenue en faisant le produit de la quantité moyenne de charbon de bois produit par réplique (Q_{mc}) et du nombre de répliques annuel du charbonnier (N_{rc}) (Equation (3)). La quantité annuelle de charbon de bois produit par une coopérative (Q_{co}) à partir de la MCAC a été obtenue en faisant le produit de la quantité moyenne de charbon de bois produit par réplique (N_{rco}) et du nombre de réplique annuel de la coopérative (Equation (4)).

$$Q = Q_{ch} + Q_{co} \quad \text{Equation (2)}$$

$$Q_c = Q_{mc} \times N_{rc} \quad \text{Equation (3)}$$

$$Q_{co} = Q_{mco} \times N_{rco} \quad \text{Equation (4)}$$

Pour chacune des deux régions (Centrale et Maritime), la quantité totale des productions individuelles a été évaluée en faisant le produit de la quantité moyenne individuelle de charbon de bois produit et du nombre de charbonniers formés et utilisant la MCAC dans les régions. La quantité totale des productions en coopératives a été évaluée en faisant le produit de la quantité moyenne de charbon de bois produit par coopérative et du nombre de coopératives formés et utilisant la MCAC dans les régions. Pour les trois autres régions, nous avons procédé par extrapolation. Les quantités moyennes de charbon de bois produit par charbonnier et par coopérative dans les deux régions centrale et Maritime ont été multipliées par le nombre de charbonniers et de coopératives formés et utilisant la MCAC dans les régions des plateaux, de la Kara et des Savanes.

- **Quantités de GES émises**

Le calcul (sur la plateforme LEAP) des émissions de GES occasionnées par les différentes techniques de carbonisation (meule traditionnelle et MCAC) est basé sur la méthodologie d'estimation des émissions du GIEC avec la formule ci-après (Equation 5) :

$$\text{Emissions} = DA \times FE \quad \text{Equation (5)}$$

Où :

DA : Données d'Activités (il s'agit ici de la quantité du charbon de bois produit) et FE : Facteur d'émission.

3. Résultats

3.1. Profil des enquêtés et taux de répliation de la MCAC

Les coopératives sont constituées essentiellement d'hommes. Les 61,25% des charbonniers sont des hommes et 38,75% sont des femmes. L'âge des enquêtés varie de 18 à 70 ans, mais plus de 84,38% ont un âge compris entre 21 et 50 ans. Plus de 78% des charbonniers exercent le métier de carbonisation du bois comme activité secondaire. Ces derniers sont souvent des agriculteurs/trices et commerçant(e)s qui pendant la période sèche ou pendant les moments de crise économique, font recours à la carbonisation du bois.

Les résultats de l'étude montrent que, dans les deux régions (Maritime et Centrale), 85% des charbonniers ont répliqué la MCAC contre 15% qui n'ont jamais fait de répliques. Les 15% qui n'ont jamais répliqué sont réticents et préfèrent la méthode traditionnelle. En effet, cela est surtout dû à l'habitude aux techniques traditionnelles et aux efforts nécessaires pour installer et maintenir la MCAC, qui peut sembler plus complexe à gérer. Dans la Région Maritime, 88,89% des charbonniers formés ont répliqué la MCAC contre 83,48% dans la Région Centrale.



Figure 3. Réplication d'une MCAC à Gboto-Zévé (Région Maritime)

Le nombre moyen de charbonniers ayant fait des répliques au sein des coopératives est de $8,50 \pm 4,91$ par coopérative. Il faut rappeler que la taille moyenne des coopératives est de 15 charbonniers. Mais, en considérant les coopératives comme entité, 100% des 16 coopératives enquêtées ont déjà fait des répliques. Individuellement, un charbonnier réplique en moyenne $21,29 \pm 16,30$ fois dans l'année mais en coopérative, la réplication se fait en moyenne $39,25 \pm 34,73$ fois dans l'année (Tableau 4). Les charbonniers produisent du charbon de bois à base de la MCAC pendant en moyenne $6,24 \pm 3,82$ mois dans l'année mais en coopératives, ils exercent l'activité pendant en moyenne $8,00 \pm 4,29$ mois dans l'année. Il y'a donc plus de motivation dans l'utilisation de la MCAC au niveau des coopératives qu'au niveau des charbonniers individuels. Cela s'explique par le fait qu'individuellement pris, les charbonniers formés ne disposent pas d'équipements personnels de la MCAC (cheminées et accessoires). Selon les échanges avec les vulgarisateurs de la MCAC notamment les ONG AJA et INADES Formation, un équipement a été octroyé à trois charbonniers formés, mais la coopérative à laquelle appartiennent ces charbonniers reste garante des équipements.

Tableau 4. Indicateurs sur l'utilisation de la MCAC

Indicateurs	Valeur moyenne
Nombre moyen de charbonniers ayant fait des répliques par coopérative	$8,50 \pm 4,91$
Nombre moyen de réplication par charbonnier individuel dans l'année	$21,29 \pm 16,30$
Nombre moyen de réplication en coopérative dans l'année	$39,25 \pm 34,73$

Parmi les charbonniers individuels enquêtés, seulement 19,38% ont transmis les savoir-faire sur la MCAC à environ 296 personnes depuis qu'ils ont été formés sur cette technologie entre 2018 et 2022. Quant aux coopératives, seulement 37,5% ont transmis les savoir-faire à 69 personnes. Au total, 365 personnes ont été formées par les charbonniers individuels et coopératives enquêtés.

3.2. Quantités de charbon de bois produit à base de la MCAC

Les résultats précédents ont permis de connaître la quantité annuelle et moyenne de charbon de bois produit à base de la MCAC par charbonnier puis par coopérative. Elle est de $7,42 \pm 5,71$ tonnes/an par charbonnier et de $27,74 \pm 25,14$ tonnes/an par coopérative. Sur cette base, la quantité totale de charbon de bois produit à base de la MCAC est estimée à 12 498,24 tonnes en 2021 (Tableau 5). Cette quantité est plus élevée dans les Régions des Plateaux (3 681,37 tonnes) et Centrale (3 551,25 tonnes). Ces

deux régions représentent les grands bassins de production du charbon de bois au Togo. C'est également dans ces régions que le nombre de charbonniers formés sur la MCAC est plus élevé. Les quantités de charbon de bois produit à base de la MCAC sont plus faibles dans les trois autres régions abritant les petits bassins de production de charbon. Ces quantités sont de 1 714,40 tonnes dans la Région Maritime, de 1 836,85 tonnes dans la Région de la Kara et de 1 714,40 tonnes dans la Région des Savanes (Tableau 5).

Tableau 5. Quantités totales de charbon de bois produit à base de la MCAC en 2021 par région

Régions économiques	Quantités totales individuelles (tonnes)	Quantités totales en coopératives (tonnes)	Quantités totales (tonnes)
Région Maritime	1 325,94	388,46	1 714,40
Région des Plateaux	2 904,46	776,91	3 681,37
Région Centrale	2 746,59	804,66	3 551,25
Région de la Kara	1 420,65	416,20	1 836,85
Région des Savanes	1 325,94	388,46	1 714,40
Total	9 723,57	2774,69	12498,24

3.3. Scénarii des émissions de GES

- Scénario de référence

Dans le scénario de référence où la meule traditionnelle est utilisée pour produire la totalité du charbon de bois consommé au Togo, les émissions de GES liées à cette production présentent une tendance haussière et continue entre 2010 et 2030 (Figure 4). Selon ce scénario, les émissions de GES sont estimées à 187,4 kilotonnes (kt) de CO₂-e en 2010 et à 206,9 kt de CO₂-e en 2015. En 2022, elles sont estimées à 244,2 kt de CO₂-e. Aux horizons 2025 et 2030, elles seront respectivement de 261,1 kt de CO₂-e, soit une augmentation de GES de 39,3% par rapport à l'année 2010 et de 289,9 kt de CO₂-e, soit une augmentation de GES de 54,7% par rapport à l'année 2010.

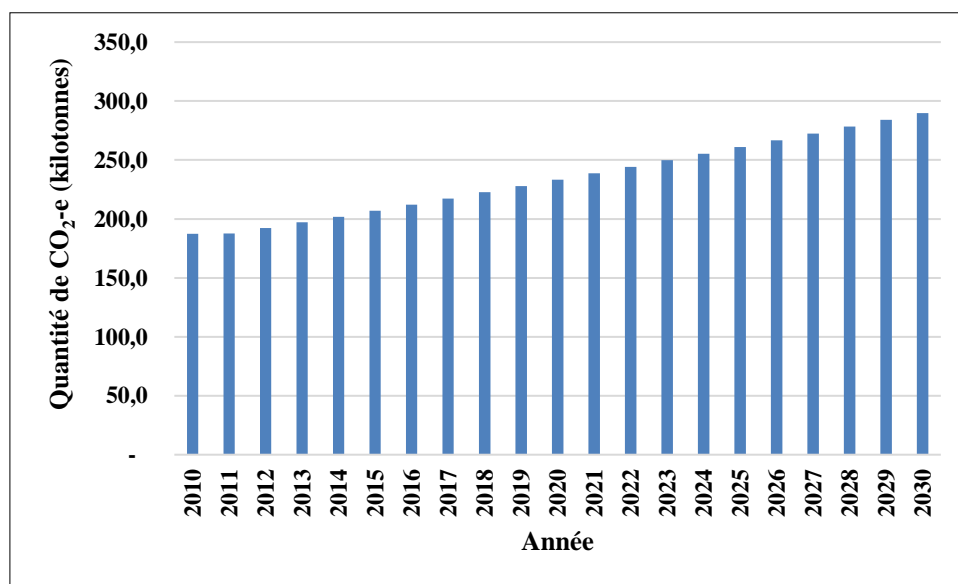


Figure 4. Scénario de référence

- Scénario d'atténuation

Pour le scénario d'atténuation, plusieurs cas de figures ont été considérés dans cette étude.

- **1^{er} cas de figure** : Scénario d'atténuation faible

Les émissions de GES selon le scénario d'atténuation faible présentent une légère diminution de 2022 à 2030 (Figure 5). En 2022, la quantité totale de GES liée à la production de 3% du charbon de bois à base de la MCAC est de 240 kt de CO₂-e. Cela représente une quantité de GES évités estimée à 4,2 kt de CO₂-e, soit 1,72% par rapport au scénario de référence. Lorsque la MCAC permettra de produire 10% du charbon de bois total consommé au Togo à l'horizon 2025 et 20% à l'horizon 2030, les émissions de GES sont estimées à 246 kt de CO₂-e en 2025 et à 256,4 kt de CO₂-e en 2030 (Figure 5). Cela équivaut à une réduction de GES de 5,8% en 2025 et de 11,5% en 2030 par rapport au scénario de référence pour les mêmes horizons temporels.

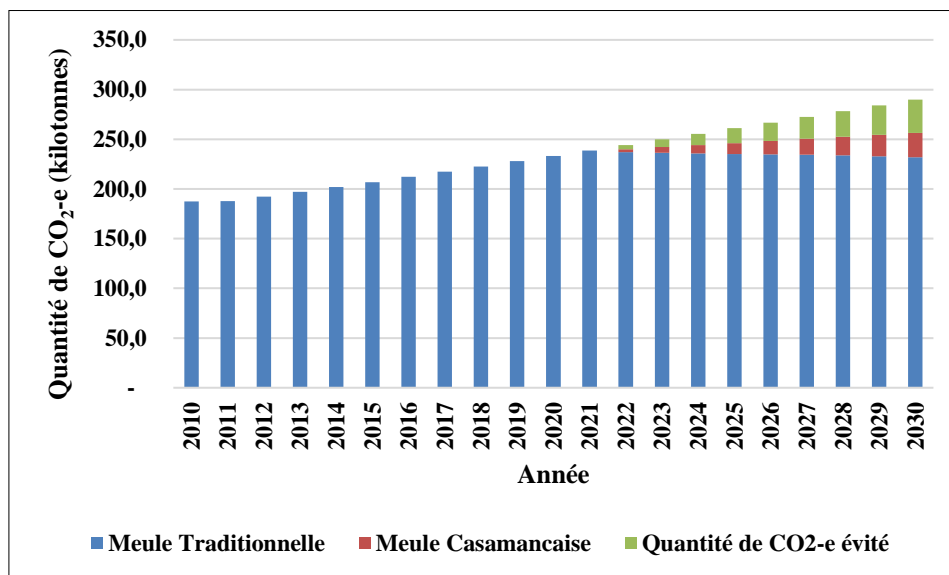


Figure 5. Scénario d'atténuation faible

○ 2^e cas de figure : Scénario d'atténuation moyenne

Dans le scénario d'atténuation moyenne, la diminution des émissions de GES est plus prononcée par rapport au scénario d'atténuation faible (Figure 6). Lorsque la MCAC produit 20% du charbon de bois consommé au Togo à l'horizon 2025 et 45% à l'horizon 2030, les émissions de GES sont estimées respectivement à 211,2 kt de CO₂-e, et à 176,8 kt de CO₂-e (Figure 6). La quantité de GES évitée en 2025 est donc de 49,9 kt de CO₂-e, soit une réduction de 19,1% par rapport au scénario de référence. En 2030, cette quantité évitée sera de 113,10 kt de CO₂-e, soit une réduction de GES de 39% par rapport au scénario de référence.

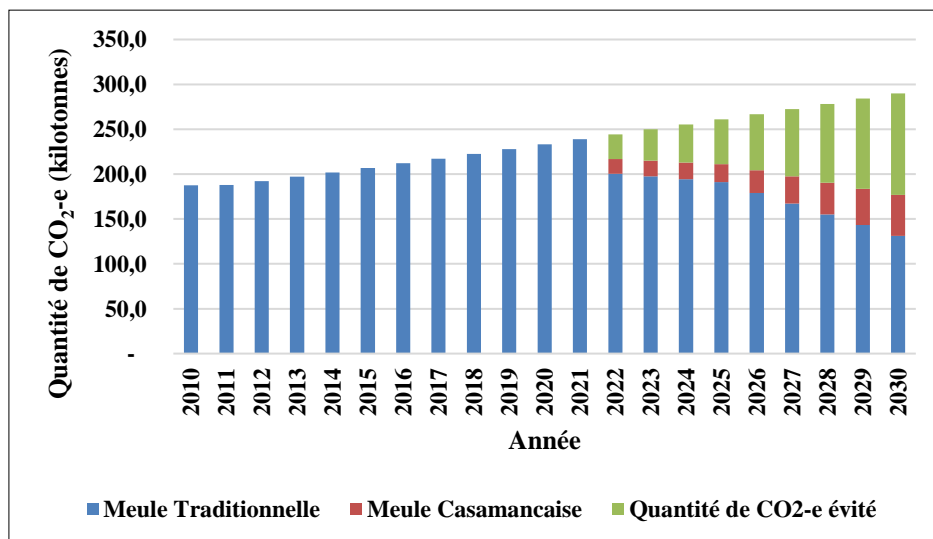
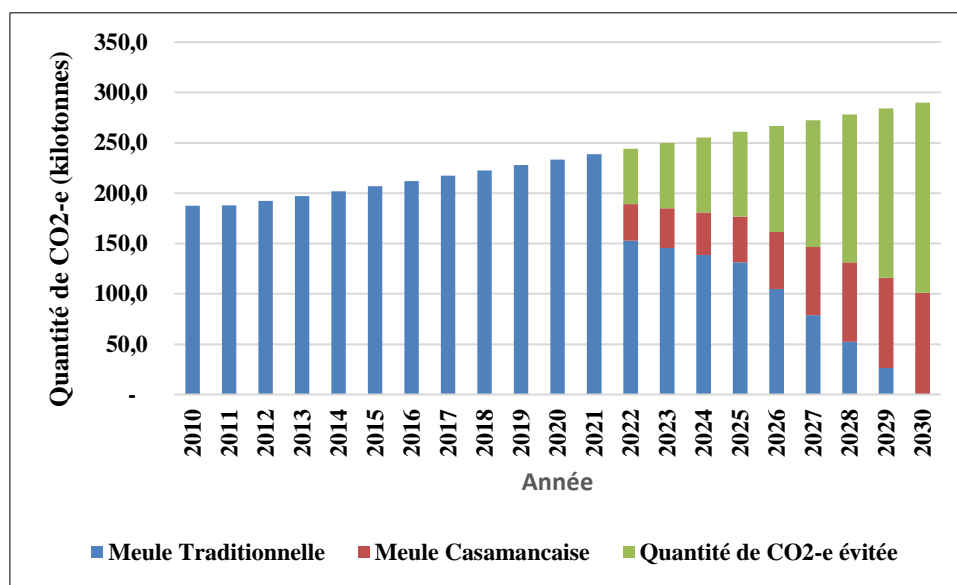


Figure 6. Scénario d'atténuation moyenne

- **3^e cas de figure** : Scénario d'atténuation élevée

Dans le scénario d'atténuation élevée, la réduction des émissions de GES est très prononcée par rapport au scénario d'atténuation moyenne (Figure 7). L'utilisation de la MCAC pour produire 45% du charbon de bois consommé au Togo à l'horizon 2025 et 100% à l'horizon 2030, émet une quantité de GES estimées à 176,8 kt de CO₂-e à l'horizon 2025 et à 101 kt de CO₂-e à l'horizon 2030 (Figure 7). Cela représente une réduction de GES de 32,3% en 2025 et de 65,2% en 2030 par rapport au scénario de référence pour les mêmes horizons temporels.

**Figure 7.** Scénario d'atténuation élevée

4. Discussion

4.1. Réplication de la MCAC par les charbonniers formés

Les résultats de cette étude indiquent que 85% des charbonniers formés sur la MCAC ont individuellement répliqué et ont transmis les savoir-faire à leurs pairs. De récents travaux de Schure et al. (2022) corroborent ces résultats et ont révélé qu'au Kenya, 90% des 24 premiers charbonniers formés sur la MCAC ont répliqué et ont formé à leur tour plus de 359 charbonniers. Cette grande proportion (85%) de charbonniers qui ont répliqué la MCAC après leur formation peut s'expliquer par le fait que la technologie casamançaise améliorée présente plusieurs avantages. En effet, la MCAC permet non seulement d'augmenter les rendements de carbonisation qui peuvent atteindre 34%, mais aussi permet de réduire le temps de carbonisation (Girard 1992; Schenkel et al. 1997; Sanogo et al. 2006; Mundhenk et al. 2010; Fontodji et al. 2013; Riuji et al. 2016; FAO 2017) et de récupérer le liquide pyroligneux. Ce liquide (Figure 8) est constitué d'un surnageant qui est le vinaigre du bois et d'une partie visqueuse appelée goudron du bois. Le vinaigre a des usages en agriculture et en élevage tandis que le goudron est utilisé en industrie (Hounlonon 2010). Lors des missions de terrain de cette étude, force est de constater, dans le village de Gboto-Zévé, dans la préfecture de Yoto (Région Maritime), que les charbonniers récupèrent ce liquide pyroligneux et l'utilisent dans la lutte contre les ravageurs des végétaux et dans la fertilisation du sol.



Figure 8. Récolte et valorisation du liquide pyrolygneux à Gboto-Zévé (Région Maritime)

4.2. Quantités de charbon de bois produit à base de la MCAC

La quantité totale de charbon de bois produit à base de la MCAC au Togo est de 12 498,24 tonnes en 2021. Cela représente environ 3% de la quantité totale du charbon de bois produit ou consommé au cours de la même année qui est de 424 426 tonnes (MDEM 2022). Cette proportion reste très faible au regard du contexte actuel de déforestation et de changement climatique. Il est démontré que la carbonisation occasionne une destruction moyenne de 2,8 millions tonnes de bois par an (Fontodji 2015). En considérant que la MCAC a un rendement de carbonisation de plus de deux fois supérieur à celui de la meule traditionnelle, les efforts de vulgarisation de la MCAC permettront de réduire de plus de moitié la quantité du bois coupé pour une même quantité de charbon. Fontodji et al. (2013) ont démontré que la généralisation de la MCAC au Togo permettrait d'économiser environ 2,2 millions de tonnes de bois par an. Il est donc capital de vulgariser davantage les technologies améliorées de carbonisation au Togo et de sensibiliser les acteurs sur son utilisation afin de rendre plus durable l'approvisionnement en bois-énergie. Cependant, il faut lever certaines barrières pour faciliter son adoption. En effet, Schure et al. (2019) ont montré que l'adoption des technologies améliorées reste faible en Afrique sub-saharienne en raison de plusieurs barrières dont les coûts d'investissement relativement élevés pour l'acquisition des équipements, le manque de formation parmi les producteurs de charbon de bois, l'inadaptation de certaines techniques aux contextes locaux et le manque de cadres institutionnels pour promouvoir des pratiques de carbonisation plus efficaces.

4.3. Scénarii des émissions de GES

L'utilisation généralisée de la meule traditionnelle pour produire le charbon de bois au Togo dans le scénario de référence fait passer les émissions de GES de 187,4 kt de CO₂-e en 2010 à 289,9 kt de CO₂-e en 2030. Mais l'utilisation de la MCAC pour produire le charbon de bois (scénario d'atténuation) permet de réduire ces émissions. La quantité de GES réduite (ou évitée) dans l'atmosphère est fonction de la proportion du charbon de bois produit à base de la MCAC. Elle est de 11% pour le scénario d'atténuation faible, de 39% pour le scénario d'atténuation moyenne et de 65% pour le scénario d'atténuation élevé à l'horizon 2030 par rapport au scénario de référence. Les émissions de GES dans le scénario de référence représentent environ 2,15% des émissions à l'horizon 2030 du secteur Agriculture, Foresterie et autres Affectations des Terres (AFAT) dans les CDN révisées du Togo (MERF 2021). Par contre, l'utilisation généralisée de la MCAC à l'horizon 2030 contribuerait à réduire les émissions du secteur AFAT des CDN révisées à hauteur de 5% (MERF 2021).

D'autres auteurs ont démontré que toute amélioration du rendement de carbonisation conduit à une réduction des émissions de GES. Au Madagascar des travaux de Temmerman et al. (2019) ont révélé que l'utilisation d'une technologie améliorée au rendement massique de 35% permettrait l'élimination du méthane, évitera l'émission de 13 tonnes de CO₂-e par tonne de charbon de bois produit, si elle est utilisée en remplacement d'une carbonisation au rendement de 12%. Schure et al. (2022), Dossou (2014) et Fontodji et al. (2013) ont quant eux montré que l'amélioration de l'efficacité du processus de carbonisation peut permettre à la fois de sauver des arbres et de réduire les émissions de GES. Ces auteurs indiquent qu'en réduisant la quantité de bois nécessaire pour produire la même quantité de charbon de bois, davantage d'arbres et d'arbustes sont conservés (ainsi que le

carbone qu'ils stockent), permettant ainsi d'atténuer le changement climatique. Etant donné que les pays de l'Afrique sub-saharienne (surtout les populations urbaines) vont dépendre encore pendant longtemps du charbon de bois pour satisfaire leur besoin en énergie de cuisson (Louvel and de Gromard 2017), la vulgarisation des technologies améliorées de carbonisation est donc indispensable. Les intérêts que présentent ces technologies constituent de grands atouts pour leur vulgarisation à grande échelle.

5. Conclusion

La MCAC constitue un moyen de lutte contre les changements climatiques et particulièrement une action qui contribue à l'atteinte des Contributions Déterminées au niveau National. C'est aussi un atout pour l'implémentation des politiques et programmes de réduction des émissions due à la déforestation et à la dégradation des forêts dans le cadre du processus REDD+. Il devient alors nécessaire de prendre des mesures idoines allant dans le sens de la vulgarisation à grande échelle des technologies améliorées de carbonisation en vue de la gestion durable de la filière bois-énergie au Togo. Ce qui permettra d'accomplir la transition énergétique vers une économie à faible émission de carbone.

Remerciement

Les auteurs remercient les responsables des coopératives de charbonniers pour avoir facilité la collecte des données dans le cadre de la présente étude. Les auteurs remercient également les évaluateurs dont les propositions et suggestions ont permis d'améliorer ce manuscrit.

Contribution des auteurs

Rôle du contributeur	Noms des auteurs
Conceptualisation	Nabine Waké Aziz, Fontodji Kokou Jérémie
Gestion des données	Nabine Waké Aziz
Analyse formelle	NABINE Waké Aziz, Fontodji Kokou Jérémie, Kokutse Adzo Dzifa
Enquête et investigation	Nabine Waké Aziz
Méthodologie	Nabine Waké Aziz, Fontodji Kokou Jérémie
Supervision Validation	Kokutse Adzo Dzifa, Fontodji Kokou Jérémie, Kokou Kouami
Écriture – Préparation	Nabine Waké Aziz
Écriture – Révision	Nabine Waké Aziz, Fontodji Kokou Jérémie

Références

- Dossou K (2014) Les technologies à haute performance énergétique: La carbonisation efficace en Afrique de l'Ouest - Fiche technique PRISME n° 9. doi: <https://urlr.me/tewEU>
- Ern H (1979) Die Vegetation Togos. Gliederung, Gefährdung, Erhaltung. Willdenowia 9:295–312. <https://www.jstor.org/stable/3995654>
- FAO (2017) The charcoal transition: greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods. Rome, Italy, FAO, 178 p. <http://www.fao.org/publications/card/en/c/a19084da-53ca-4ec8-a0dc-0200d8390d65>
- Fontodji KJ, Mawussi G, Nuto Y, Kokou K (2009) Effects of charcoal production on soil biodiversity and soil physical and chemical properties in Togo, West Africa. International Journal of Biological and Chemical Sciences 3 (5). doi: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v3i5.51051>
- Fontodji KJ, Atsri H, Adjonou K, Radji AR, Kokutse AD, Nuto Y, Kokou K (2011) Impact de la production de charbon de bois sur la biodiversité au Togo (Afrique de l'Ouest). L'importance des interactions biologiques dans l'étude de la biodiversité 978-953. doi: <http://dx.doi.org/10.5772/22969>
- Fontodji KJ, Tagba MS, Akponikpe PBI, Adjonou K, Akossou AYJ, Akouehou G, Kokou K (2013) Diagnostic analysis of the techniques of carbonization in Togo (West Africa). Scientific Journal of Environmental Sciences 2:106–117. doi: [10.14196/sjes.1012](http://dx.doi.org/10.14196/sjes.1012)
- Fontodji KJ, Kokou K (2014) Drivers of the choice of biomass energy by households in Togo. Scientific Journal of Pure and Applied Sciences, 3: 135-144. doi: <http://dx.doi.org/10.14196/sjpas.v3i3.1241>

- Fontodji KJ, Akponikpè PBI, Kokou K (2014) Modélisation de la vulnérabilité du sous-secteur « biomasse énergie » au changement climatique au Togo. *Scientific Journal of Review*, 3 (1), 34-45. ISSN 2322-2433. doi: <http://sjournals.com/index.php/SJR/article/view/1069>
- Folega AA, Folega F., Woegan YA, Wala K, Akpagana K (2021). Dynamique des émissions de gaz à effet de serre liées au secteur foresterie et autres affectations des terres (FAT) dans le paysage du socle Eburnéen au Togo. *Rev Écosystèmes et Paysages*, 1, 58-72.
- Fontodji KJ (2015) Déterminants de la production/consommation du charbon de bois au Togo et vulnérabilité aux changements climatiques. PhD Thesis, Thèse de doctorat, Université de Lomé, FDS, LBEV.
- Girard P (1992) Techniques et matériels de carbonisation. Contrôle de performances. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES* 232:53–65. doi: <https://doi.org/10.19182/bft1992.232.a19747>
- GIZ (2015) ProDRA Volet 3 / GIZ. Entrepreneuriat forestier pour le bois-énergie au Togo. Cahier du formateur, 94 p.
- Hounlonon MC (2010) Contribution à l'optimisation du rendement de la carbonisation du bois. Mémoire d'Ingénieur, Univ. Abomey-Calavi, Bénin, 95 p.
- INADES (2022) Répartition par région des charbonniers formés sur la meule casamançaise améliorée entre 2018 et 2022 [Communication personnelle].
- INSEED (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques et Démographiques) (2015) Perspectives démographiques du Togo 2011-2031.
- Kaina A, Dourma M, Diwediga B, Folega F, Wala K, Akpagana K (2021a) Analyse systémique des modèles de production de bois énergie dans la Région Centrale du Togo, Afrique de l'Ouest. *Afrique Science* 19:151–161. ISSN 1813-548X. doi: <https://urlr.me/UCF89>
- Kaina A, Dourma M, Diwediga B, Folega F, Wala K, Akpagana K (2021b) Localisation des bassins de production de bois énergie et typologie des acteurs de la filière dans la région centrale du Togo. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, (37): 196 – 211 ISSN 1813-3290. doi: <https://urlr.me/Z8t5k>
- Krejcie RV, Morgan DW (1970) Determining sample size for research activities. *Educational and psychological measurement* 30:607–610. doi: <https://doi.org/10.1177/001316447003000308>
- Lohri RC, Mtoro RH, Sweeney DJ, Zurbrügg C (2016) Char fuel production in developing countries. A review of urban biowaste carbonization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59: 1514-1530. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.088>
- Louvel R, de Gromard C (2017) De la biomasse à la bioéconomie, une stratégie énergétique pour l'Afrique? *Afrique contemporaine* 261-262(1): 223. doi: <http://dx.doi.org/10.3917/afco.261.0223>
- MDEM (2022) Etude sur la consommation d'énergies dans les sous-secteurs domestique et artisanal, de l'agriculture et des transports au Togo (ECE-DAAT). Rapport de synthèse, 51 p.
- MERF (2017) Etude approfondie sur la dynamique de l'utilisation du bois-énergie au Togo. Rapport, 112 p.
- MERF (2021) Contributions Déterminées au niveau National (CDN-Togo). République Togolaise, Rapport définitif, 44p.
- Mundhenk P, Gomis O, Sy MC (2010) Comparaison des rendements de production de charbon de bois entre la meule traditionnelle et la meule Casamance dans la forêt communautaire de Sambandé. Dakar, Sénégal, PERACOD, 22 p. *Peracod GTZ Août*. 15 p. doi: <https://urlr.me/KE2f6>
- ONG AJA (2022) Répartition par région des charbonniers formés sur la meule casamançaise améliorée entre 2018 et 2022 [Communication personnelle].
- République Togolaise (2019) République du Togo. Quatrième Communication Nationale sur les Changements climatiques. Rapport final, 7p.
- Sanogo CA, Elhadji ML, Khennas S, et al (2006) Techniques améliorées de carbonisation au Sahel. Ouagadougou, Burkina Faso, PREDAS, 40 p.
- Schenkel Y, Bertaux P, Vanwijnsberghe S, Carré J (1997) Une évaluation de la technique de carbonisation en meule. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 1 (2) : 113-124. doi: <https://urlr.me/Sr2DZ>
- Schure J, Hubert D, Ducenne H, Kirimi M, Awono A, Mpuruta-Ka-Tito R, Njenga M (2022) Carbonisation 2.0: Comment produire plus de charbon de bois tout en réduisant la quantité de bois et d'émissions de gaz à effet de serre? *Sustainable Woodfuel Brief*. doi: <https://hdl.handle.net/10568/119554>
- Schure J, Pinta F, Cerutti PO, Kasereka-Muvatsi L (2019) Efficiency of charcoal production in Sub-Saharan Africa: solutions beyond the kiln. *Bois & Forêts des Tropiques* 340: p. 57-70. doi: <https://doi.org/10.19182/bft2019.340.a31691>
- Segbefia KM, Wala K, Atakpama W, Lare Y, Bawana N, Folega F, Akpagana, K (2018) Comparaison de la performance de deux types de foyers améliorés traditionnels : foyer à argile du Togo et foyer Malgache. 20 (1) :13–22 eISSN: 2413-354X. doi: <https://urlr.me/wFbtK>

Temmerman M, Andrianirina R, Richter F (2019) Performances techniques et environnementales du four de carbonisation Green Mad Retort à Madagascar. Bois & forets des tropiques, 340: 43-55. doi: <https://doi.org/10.19182/bft2019.340.a31700>