



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Production artisanale de biochar à partir des tiges de cotonniers du Togo : analyse de sa qualité pour sa valorisation en amendement organiques

Magnoudéwa Bassai BODJONA*, Massama-Esso N'GOUMTETE, Dihéénane Diyakadola BAFAI, Awédéou KEDJEBA, Biritandjoma Ezékias BATAKO et Gado TCHANGBEDJI

Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD), Faculté Des Sciences, Université de Lomé ; 01 BP 1515 Lomé, Togo.

**Auteur correspondant ; E-mail: bodjonabassai@gmail.com ; Tél ; +228 90125411.*

Received: 19-09-2023

Accepted: 25-12-2023

Published: 31-12-2023

RESUME

D'après une étude menée par Institut Togolais de la Recherche Agronomiques en 2018, 300 mille tonnes de tiges de cotonniers sont produites au Togo mais ne sont pas valorisées. Ces résidus agricoles constituent un encombrement pour les espaces cultivables et voire un risque environnemental lorsqu'ils sont brûlés. L'objectif de ce travail était de valoriser les tiges de cotonniers en les transformant en biochar pour l'amendement des sols cultivables. Le biochar obtenu dans ce travail est élaboré en mettant les tiges de coton dans un réacteur artisanal pendant 3 heures. L'échantillon a été constitué en rendant en poudre le biochar élaboré. Les paramètres physico-chimiques permettant d'apprécier la qualité du matériau élaboré ont été déterminés avec des méthodes normées. Les résultats révèlent la teneur en matière organique de 82% et 47,67% en carbone organique. Le pH obtenu était basique dans l'ordre de 10,14. Ce paramètre permettra de corriger le pH des sols acides. L'analyse au spectrophotomètre d'absorption atomique a permis de trouver les teneurs suivantes : l'azote 1324,25 mg/kg ; le potassium 1054,05 mg/kg ; le magnésium 892,87 mg/kg ; le calcium 2647,64 mg/kg et l'azote 622,47 mg/kg. La présence de ces éléments dans le biochar servira d'apport minéraux aux plantes. On note la présence de quelques éléments traces métalliques dans le biochar tels que Cu ($1,54 \pm 0,33$ mg/kg) ; Ni ($0,16 \pm 0,28$ mg/kg) ; Pb ($0,34 \pm 0,20$ mg/kg) et Fe ($128,79 \pm 17,31$ mg/kg). Les teneurs des éléments traces métalliques étaient inférieures aux normes en vigueur. En se basant sur les paramètres analytiques, le biochar élaboré présente de bonnes caractéristiques pour un amendement dans les sols agricoles.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Tige de cotonniers, valorisation, biochar, dosage éléments-traces métalliques, sols, éléments fertilisants.

Artisanal production of biochar from Togo cotton stems : analysis of its quality for use in organic soil improvers

ABSTRACT

According to a study conducted by the Togolese Institute of Agronomic Research in 2018, 300 thousand tons of cotton stems are produced in Togo but are not valorized. These agricultural residues constitute a congestion for cultivable areas and even an environmental risk when burned. The aim of this work is to valorize cotton stems by into biochar that could be used in agriculture for soils improvement. The biochar obtained in this work was made after carbonization in a homemade reactor for 3 hours. The sample was formed by powdering

the biochar prepared. The physico-chemical parameters for assessing the quality of the material developed were determined using standardized methods. The results reveal the organic matter content of 82% and 47.67% organic carbon. The pH obtained was alkaline in the order of 10.14. Analysis with an atomic absorption spectrophotometer revealed the following contents: nitrogen 1324.25 mg/kg; potassium 1054.05 mg/kg; magnesium 892.87 mg/kg; calcium 2647.64 mg/kg and nitrogen 622.47 mg/kg. We noticed the presence of some metallic trace elements in biochar such as Cu (1.54 ± 0.33 mg / kg); Ni (0.16 ± 0.28 mg/kg); Pb (0.34 ± 0.20 mg/kg) and Fe (128.79 ± 17.31 mg/kg). The contents of metallic trace elements were lower than the standards in values. The prepared biochar has good characteristics for improvement of soils.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Cotton stems, valorization, metallic trace elements, soils, fertilizing elements.

INTRODUCTION

D'après le rapport publié par le Groupe des Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2018), l'agriculture moderne serait responsable de 10 à 12% des émissions des gaz à effets de serre. Ces émissions proviennent en partie des énormes quantités de déchets organiques d'une part et d'autre part des résidus agricoles brûlés sur les espaces agricoles (Djousse et al., 2015). Au Togo, d'après une étude menée par l'Institut Togolais des Recherches Agronomiques (ITRA) en 2018, 300 mille tonnes de tiges de cotonniers sont produites et laissées pour compte. De nombreux travaux ont permis de démontrer la possibilité de valoriser ces résidus agricoles et déchets organiques pouvant être transformés en biochar (Diatta et al., 2019 ; Goudiaby et al., 2020). Le biochar est une fraction solide issue de la dégradation thermochimique d'une matière organique résiduelle (Fabbri et al., 2013). C'est un matériau poreux riche en carbone avec des propriétés physico-biochimiques multiformes comme la capacité de rétention et la capacité d'échange cationique (Arroyo et Ryan, 2018). Ces propriétés font donc de lui un matériau polyvalent et donc d'application divers comme dans le secteur agricole, traitement des eaux, l'industrie de ciment, environnemental etc. (Wu et al., 2012). Dans le domaine agricole, le biochar est utilisé comme amendement des sols. Sur le plan environnemental, il contribue à séquestrer le carbone contenu dans la biomasse que de le laisser pourrir et émettre le CO₂ et voire le CH₄ dans l'atmosphère, ce qui permet la réduction des émissions des gaz à effet de serre (GES). Il permet également

l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques des sols (AU-Denyes et al., 2014). Dans son rapport publié en 2018, le GIEC présente le biochar comme un matériau prometteur permettant de réduire d'une façon radicale l'émission des gaz à effet de serre. Le biochar incorporé dans les sols persiste plus longtemps et devient plus efficace au cours des temps (Wu et al., 2012; Diatta et al., 2019). Il persiste plus longtemps et permet d'absorber le mieux les actions échangeables que d'autres types d'amendements organiques (Lompo et al., 2021). L'amendement du biochar augmente la fertilité des sols et par conséquent, impacte directement sur les rendements des cultures (Tomczyk, 2020). La qualité et la quantité du biochar sont fonction du type de biomasse utilisé, du type de pyrolyse et également des conditions du réacteur. En effet, les caractéristiques des biochars dépendent de la matière première, mais également du mode opératoire de la production du matériau (Abenavoli et al., 2016). La caractérisation du biochar après production permettra de savoir dans quel domaine l'utiliser.

Au Togo, les travaux de recherches sur la production et la caractérisation du biochar en vue de leur utilisation pour améliorer la qualité des sols sont quasi inexistantes. Pourtant, d'énormes quantités de résidus agricoles et déchets organiques sont disponibles dans plusieurs régions du pays. Dans l'optique de contribuer à lutter contre les changements climatiques, ce travail a pour objectif de valoriser les tiges de cotonniers en biochar. Ce matériau élaboré pourra servir à restaurer les sols agricoles.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

Cadre d'échantillonnage

La biomasse utilisée dans ce travail a été collectée dans la banlieue de la ville de Tsévié à 40 km de la capitale Lomé au Togo (Figure 1). La ville de Tsévié est le Chef-lieu de la préfecture de ZIO située dans la partie méridionale du Togo entre 0°50'-1°20' de longitude Est et entre 6°20'-6°50' de la latitude Nord. La ville de Tsévié jouit d'un climat subéquatorial de type soudano guinéen à 4 saisons : deux saisons de pluie dont une grande d'Avril à Juillet, puis une petite de Septembre à Octobre et deux saisons sèches dont une grande de Novembre à Mars ainsi qu'une petite en août. Les tiges sont issues de la campagne agricole de 2022 et la variété du coton est *Gossypium hirsutum*. La collecte des tiges a été faite en mars 2022 dans un champ d'un hectare. Ces tiges avaient en moyenne 1 mètre de long, 20 millimètres de diamètre et une teneur en humidité de 67%. Celles-ci ont été morcelées en moyenne 30 cm de long dans le but d'avoir une biomasse de taille raisonnable pour introduire dans le réacteur (Figure 2). Ces échantillons ont été transportés par moto, et fut conservé au laboratoire à température ambiante pendant deux semaines.

Méthodes

Dispositif expérimental

Le réacteur utilisé pour ces travaux, est un réacteur conçu de façon artisanale spécifiquement pour ces travaux.

Pour sa conception, deux barils ont été utilisés ; un de 50 cm de diamètre et l'autre de 25 cm. Le grand baril a été remis au soudeur pour confectionner la cheminée et le couvercle avec une tôle payé pour permettre la canalisation des fumées.

Méthode de l'élaboration du biochar

L'élaboration du matériau a été faite par pyrolyse. Elle a consisté à chauffer dans un milieu anaérobie la biomasse. La biomasse (Tige de cotonniers) a été introduite dans un premier baril de diamètre inférieure puis sceller (Figure 3). Ce premier baril était placé dans un autre baril plus grand. L'espace vide entre les deux barils était rempli avec du combustible

(Bois) (Figure 4). Après la mise au feu de ce combustible, le grand baril est fermé avec un couvercle muni de cheminée pour permettre l'échappement des fumées (Figure 5). Le couvercle a été conçu avec le même matériau que le baril. La combustion a été faite de façon continue pendant 3 heures. Une fois refroidi, le baril est ouvert pour récupérer le biochar pour les caractérisations (Figure 6).

Caractérisation du biochar.

Le biochar obtenu a été séché à l'étuve pendant 24 heures à 105°C et broyé manuellement avec un mortier de laboratoire afin d'obtenir une poudre fines de quelques micromètre pour les analyses.

Détermination de la matière organique et carbone organique.

La matière organique a été déterminée en utilisant la méthode de perte au feu décrite par Aziablé (2017) et Bodjona et al. (2010) en utilisant un four électrique. A l'aide d'une balance électrique, mesurée une masse m de biochar préalablement séché à l'étuve à 105°C. Faire chauffer le four à 450°C puis mettre ensuite les échantillons pendant 4 heures. Après, la matière organique du biochar est oxydé et transformé sous forme de gaz carbonique et de vapeur d'eau. Après combustion, il ne reste que la fraction minérale du biochar dans le creuset. La teneur en matière organique est calculée théoriquement par la relation :

$$\text{M} \quad \text{O} \quad = \\ \frac{\text{poids de l'échantillon initial} - \text{poids de l'échantillon final}}{\text{poids de l'échantillon initial}}$$

x 100

Potentiel d'Hydrogène (pH).

Le pH est mesuré en utilisant la méthode décrite par international biochar initiative (IBI, 2020) avec un pH-mètre multifonctionnel selon le rapport 1/5 (biochar/eau distillée). Mesuré une masse $m = 20$ g du biochar sec à l'aide d'une balance puis dissoudre dans un volume de 100 ml d'eau distillée selon le rapport 1/5 (m/v). Soumettre le tout à une agitation pendant 1 heure sur un agitateur magnétique. La suspension est ensuite laissée pour décantation durant 2 heures puis passer à la filtration. Mesuré le pH de la solution aqueuse obtenue à l'aide d'un

pH-mètre. Le pH du biochar est égal au pH de la solution ainsi obtenue.

Dosage des éléments chimiques. Voir (Tableau 4)

La détermination de l'azote total a été faite en utilisant la Méthode 10071 de la procédure DR3800.

La teneur en calcium (Ca) est déterminée en utilisant la méthode décrite par la norme NF EN ISO 7980.

Le sodium (Na) et le potassium(K) sont déterminés par la méthode décrite par la norme NF T 90-020.

Le magnésium (Mg) est déterminé par la méthode décrite par la norme NF EN ISO 7980.

Les teneurs en plomb (Pb), en cuivre (Cu) et en nickel (Ni) ont été déterminées en utilisant la méthode décrite par la norme FD T 90-112.

La porosité du biochar.

La porosité du biochar a été déterminée en utilisant la méthode décrite par International Biochar Initiative (IBI). Il a consisté à remplir dans une éprouvette graduée une quantité de biochar poudre de volume V_1 connu. À l'aide d'une balance, mesurée la masse m_1 correspondante au volume prélevé. Ajouter ensuite de l'eau sur le biochar contenu dans l'éprouvette jusqu'à absorption du liquide par le matériau. Repesée le contenu de l'éprouvette puis noter la masse trouvée m_2 équivalent au volume total du mélange. La différence des masses est attribuable à la masse d'eau ajoutée ce qui est équivalent en même temps au volume du liquide ou volume du vide. Le rapport des volumes des vides sur le volume total donne la

$$\text{porosité du matériau } \varnothing = \frac{\text{volume des vides}}{\text{volume total}}$$

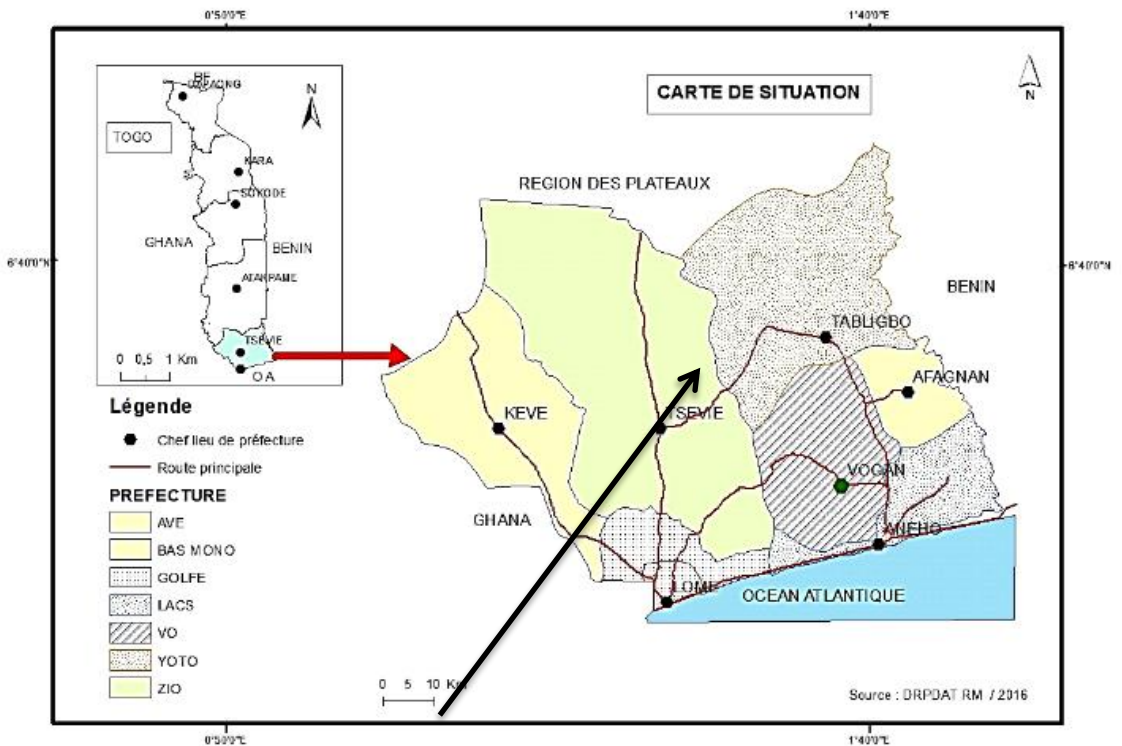


Figure 1: Lieu d'échantillonnage.



Figure 2 : Biomasse utilisée (N'GOUMTETE, 2022).



Figure 3 : Remplissage du baril inférieur (N'GOUMTETE, 2022).



Figure 4 : Remplissage du combustible (N'GOUMTETE, 2022).



Figure 5 : Allumage et scellage (N'GOUMTETE, 2022).



Figure 6 : Descellage du baril (N'GOUMTETE, 2022).

RESULTATS

Paramètres physico-chimiques du biochar

Le biochar obtenu (Figure 7) a été caractérisé en déterminant la teneur de quelques paramètres physico-chimiques.

Le Tableau 1 présente les teneurs en matière organique, carbone organique, pH et de la porosité. La teneur en matière organique obtenu est de 82% soit 47,67% en carbone organique. Le pH du biochar est de 10,15. Ce pH alcalin permettra de corriger les sols trop acides. La porosité du biochar est de 51,31%.

Les caractéristiques chimiques des éléments fertilisants contenus dans le biochar sont consignées dans le Tableau 2. Les résultats montrent que la teneur en azote (N) est de 1324,25 mg/kg et celui de potassium (K) de

1054,05 mg/kg. Les teneurs en calcium (Ca), le magnésium (Mg) et du sodium (Na) sont respectivement de 2647,64 mg/kg ; 892,87 mg/kg et 622,47 mg/kg.

Eléments traces métalliques

Le Tableau 3 présente les teneurs de quelques éléments trace métalliques dans le matériau. La teneur en fer (Fe) est de 128,79 mg/kg ; celle du cuivre (Cu) est de 1,54 mg/kg ; plomb (Pb) est de 0,34 mg/kg et nickel (Ni) est de 0,16mg/kg. Par contre, l'arsenic et le cadmium n'ont pas été détectés par le spectrophotomètre d'absorption atomique. Le seuil de détection de l'arsenic (As) et celui du cadmium (Cd) est < 1 mg/kg.



Figure 7 : Biochar élaboré (N'GOUMTETE, 2022).

Tableau 1 : Teneur en matière organique, carbone organique, pH et porosité du biochar.

Paramètres	Teneurs
Matière organique (%)	82,00±0,60
Carbone organique (%)	47,67±0,32
pH	10,15±0 ,02
Porosité (%)	51,31

Tableau 2 : Teneur en éléments fertilisant dans le biochar élaboré.

Eléments	Teneurs (mg/Kg)
N	1324,25±981,00
K	1054,05±11,17
Mg	892,87±27,00
Ca	2647,64 ±346,88
Na	622,47±14,90

Tableau 3 : Teneur en éléments trace métalliques.

Eléments	Teneurs	valeur maximales admises par
	(mg/kg)	IBI et EBC (mg/kg)
Cd	nd	1,5
As	nd	12
Fe	128,79±17,10	-
Cu	1,54±0,33	100
Pb	0,34±0,20	120
Ni	0,16±0,08	30

nd = non détecté (Inférieur à la limite de détection de l'appareil utilisé).

Tableau 4 : Résumé des techniques et normes utilisées pour la détermination des paramètres analytiques.

Paramètres analytiques	Technique	Matériel spécifique utilise	Normes et références
Calcium	Spectrométrie d'absorption atomique à flamme	SAA iCE 3000 SERIES THERMO FISCHER	NF EN ISO 7980
Sodium	Spectrométrie d'absorption atomique à flamme	SAA iCE 3000 SERIES THERMO FISCHER	NF T90-020
Potassium	Spectrométrie d'absorption atomique à flamme	SAA iCE 3000 SERIES THERMO FISCHER	NF T90-020
Fer	Spectrométrie d'absorption atomique à flamme	SAA iCE 3000 SERIES THERMO FISCHER	FD T 90-112
Magnésium	Spectrométrie d'absorption atomique à flamme	SAA iCE 3000 SERIES THERMO FISCHER	NF EN ISO 7980
Cadmium	Spectrométrie d'absorption atomique à flamme	SAA iCE 3000 SERIES THERMO FISCHER	NF EN ISO 5961
Plomb	Spectrométrie d'absorption atomique à flamme	SAA iCE 3000 SERIES THERMO FISCHER	FD T 90-112
Cuivre	Spectrométrie d'absorption atomique à flamme	SAA iCE 3000 SERIES THERMO FISCHER	FD T 90-112
Nickel	Spectrométrie d'absorption atomique a flamme	SAA iCE 3000 SERIES THERMO FISCHER	FD T 90-112
Arsenic	Hydure de vapeur	SAA iCE 3000 +VP 100	NF EN ISO 11969
Azote total	Colorimétrie	HACH DR 3800	Méthode 10071 de la procédure DR3800

DISCUSSION

Les résultats révèlent que le biochar élaboré contient une teneur en carbone organique de 47,67% (Tableau 1). La teneur en carbone organique dans le biochar dépendant étroitement du type de biomasse utilisé. Le biochar élaboré par Lompo et al. (2021) à base des balles de riz a révélé 35% en carbone organique tandis que le biochar élaboré par Djousse et al. (2015) à base des branches de l'eucalyptus et du concombre ont révélé respectivement 27,8% et 29,7% en carbone organique. De même, les biochars élaborés par Abenavoli et al. (2016) en utilisant des branches de hazelnut et des oliviers contiennent respectivement 75,9% et 89,8% en carbone organique. Les biochars présentent des teneurs en carbone organique variables. D'après une étude menée par Wu et al. (2012), la teneur en carbone organique dans les biochars est comprise entre 40 et 50% pour les biochars provenant des résidus agricoles contre 70 à 90% pour les biochars élaborés à base de bois, des coques ou des écorces. Les résultats trouvés sont en accord avec cette affirmation. Le carbone organique des biochars est un paramètre important pour la simple raison qu'il est un bon indicateur de la teneur en carbone des biochars. Par ce paramètre, les biochars contribueraient efficacement au stockage du carbone dans le sol (Luan et al., 2021). Cela confère au biochar la capacité à réduire les émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. La présence du carbone organique dans ce biochar de 47,67% est un paramètre important puisqu'il permettrait d'améliorer l'agrégation du sol, la rétention du sol, la disponibilité des éléments nutritifs et par conséquent les rendements des cultures. Ceci justifie l'attention particulière accordée par la communauté scientifique au biochar. L'utilisation de ce biochar comme amendement pour les sols améliorerait le statut des sols agricoles togolais qui généralement sont pauvres en matières organiques, impactant ainsi leur capacité de rétention en eau et la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes.

Le pH du biochar élaboré est alcalin de 10,15 (Tableau 1). Ces résultats sont bien en

accord avec les résultats trouvés par d'autres chercheurs comme Goudiaby et al. (2020) qui affirmaient que le pH de la majorité des biochars est alcalin. Le biochar élaboré en utilisant la balle de riz par Lompo et al. (2021) avait un pH de 7,8 tandis que le biochar élaboré en utilisant du concombre par Merlain et al. (2015) avait un pH de 9,3. Cette différence de valeur de pH observée, serait due à la différence de nature de la biomasse utilisée (Diatta et al., 2019). D'après Fabbri et al. (2013), la biomasse fortement ligneuse comme le bois, lorsqu'elle est utilisée pour l'élaboration des biochars donnent des pH à valeur élevée que des biochars obtenus en utilisant des résidus agricoles. La valeur élevée du pH du biochar élaboré à base des tiges de coton, est une caractéristique importante. Cette caractéristique lui conférerait une qualité d'être utilisé pour restaurer les sols. Celui-ci permettra de corriger le pH des sols acides, puisque l'acidité excessive des sols empêche la croissance végétale et augmente la disponibilité des toxines. La plupart des sols togolais étant acides (ITRA, 2016), ce biochar est donc adapté pour relever le pH de ces sols.

Le biochar élaboré a une porosité de 51,31% (Tableau 1). Cette valeur est légèrement différente des autres rencontrés dans la revue bibliographique. Le biochar élaboré à base des écorces d'eucalyptus dans un four traditionnel amélioré par Biopterre avait une porosité de 72% tandis que le biochar élaboré à base des résidus de charbonnerie érable par Masria et al. (2020) a révélé une porosité de 86%. De même, celui produit à base de la fibre de coco dans un four de type de Missouri avait pour porosité 71% (AU Denyes et al., 2014). Ce résultat confirme les études antérieures qui affirmaient que les biochars sont des matériaux poreux (Diatta et al., 2019). La différence de valeur de porosité constatée avec le biochar élaboré à base des tiges de coton serait due à la nature de la matière première. Cette différence pourrait également s'expliquer par la teneur en humidité dans la biomasse utilisée puisque la formation des pores est liée au départ des molécules d'eau. Ce paramètre de la porosité est une caractéristique importante, puisqu'elle permettra

l'augmentation de la porosité du sol lorsqu'il sera utilisé pour amender les sols. Il va permettre de réduire la force de tension du sol définie comme étant la résistance du sol à une charge mécanique (Wu et al., 2012). Grâce à cette caractéristique, le biochar favorise l'augmentation de la capacité de rétention des eaux des sols (Suzanne et Lange., 2014) . La porosité du biochar est un paramètre important dans le cas où ce dernier serait utilisé pour amender les sols. La porosité du biochar permet la réserve des éléments nutritifs. La nature poreuse du biochar impacterait aussi la vie des microorganismes du sol (Luan et al., 2021). Ce dernier, grâce à sa structure poreuse, augmenterait aussi la porosité du sol, en augmentant un approvisionnement en oxygène pour les microorganismes (Diedhiou-Sall et al., 2021).

L'analyse au spectrophotomètre d'absorption atomique a révélé les teneurs en élément majeur tels que l'azote 1324,25 mg/kg et le potassium 1054,05 mg/kg. Ces teneurs varient d'un élément à un autre et ces résultats corroborent avec ceux de beaucoup de chercheurs qui avaient eu à souligner que le biochar ne pouvait pas s'apparenter à l'engrais chimique (NPK) à cause de sa teneur égale en éléments N, P et K (Denyes et al., 2014). Comparativement à ces résultats, le biochar élaboré par Lompo et al. (2021) à base des balles de riz sont de 5100 mg/kg pour l'azote ; 5200 mg/kg pour le phosphore et 2,18 mg/kg en potassium. Le biochar à base de hazelnut élaboré par Abenavoli a révélé la présence de ces éléments en des teneurs suivantes : phosphore 590 mg/kg ; potassium 2900 mg/kg. Cette différence de teneur constatée dépendrait de la nature des biomasse utilisée (Zambon et al, 2016; Nyami et al., 2016). Nyami et al. (2016) ont eu a déclaré que la teneur en N, P et K dans les biochars provenant des cultures maraichères est légèrement inférieure à ceux provenant des biomasses ligneuses.

En ce qui est des éléments secondaires comme le calcium, le magnésium et le sodium, les tests au spectrophotomètre ont révélé des teneurs en calcium de 2647,64 mg/kg; magnésium 892,87 mg/kg et sodium 622,47 mg/kg (Tableau 2). Le biochar élaboré par

Kanouo à base du concombre a révélé : Ca 324 mg/kg ; Na 115 mg/kg et Mg 187,2 mg/kg tandis que le biochar à base des écorces d'eucalyptus élaboré par Boris Merlain sont de façon respective : Ca 3028 mg/kg ; K 374,4 mg/kg ; Na 234,6 mg/kg et Mg 5817,6 mg/kg. La présence des éléments nutritifs dans les biochars est tributaire de la biomasse utilisée. Ces éléments formeraient des agrégats avec les argiles et l'humus présents dans les sols, ce qui permettra de retenir à leur surface une grande quantité de cations (Goudiaby et al., 2020). Les études menées par Boris Merlain ont rapporté que le maïs pour boucler son cycle mobilise approximativement 240 kg par hectare d'azote, 90 kg par hectare de phosphore, 270 kg par hectare de potassium, 40 kg par hectare de magnésium et 60 kg par hectare de calcium. Cette information vient reconforter à quel point les plantes ont besoin de ses éléments pour leur développement et pour un bon rendement (Wijitkosum et Jiwnok., 2019).

La détermination de certains éléments traces métalliques Cu, Pb, Fe, Ni, Cd et As dans le biochar sur base des études antérieures menées par Kossi et al. (2022) ont permis d'obtenir les résultats suivants : Cu 0,34 mg/kg; Fe 1,54 mg/kg ; Ni 128,79 mg/kg (Tableau 3). Par contre, le cadmium (Cd) et l'Arsenic (As) n'ont pas pu être détectés par nos appareils compte tenu de la limite de détection. Le seuil de détection de l'arsenic et du cadmium est de 10 µg/kg pour l'appareil utilisé. Ces résultats sont en accords aux études menées par Kokou et al. (2022) qui ont signalé la présence de ses éléments dans les sols agricoles du Kolo-copé (Togo) où se pratique la culture du coton. La présence de ces éléments dans les sols par ricochet dans les tiges de coton serait due à l'utilisation des engrais chimiques, des pesticides et des hydrocarbures des engins (Wang, 2019 ; Faye et al., 2021). D'autres auteurs ont également prouvé la présence des éléments traces métalliques dans le biochar élaboré comme Duku et al. (2011) qui a élaboré le biochar à base des branches d'olivier qui montre la présence de : Fe 1500 mg/kg ; Pb 20 mg/kg ; Cu 6 mg/kg ; Ni 8 mg/kg ; Zn 84 mg/kg et Cr 16 mg/kg. Les teneurs des éléments traces

métalliques dans notre biochar élaboré sont inférieures aux teneurs maximales admises par International Biochar Initiative (IBI, 2020). Ce biochar peut être utilisé sans danger pour amender les sols.

Conclusion

Le développement d'une agriculture durable implique l'identification et le développement de nouvelles stratégies permettant de limiter le recours aux engrais phosphatés minéraux. La valorisation des tiges de cotonniers en biochar va contribuer dans la lutte contre le changement climatique et permettra de restaurer les sols agricoles. Les tests de caractérisation du biochar élaboré ont révélé une teneur en matière organique de 82% soit 47,67% en carbone organique avec un pH alcalin de 10,14. Ce biochar présente au vu des analyses théoriques toutes les caractéristiques pour être utilisé pour amender les sols. Il permettra l'augmentation de la porosité du sol ce qui favoriserait l'oxygénation du sol. La présence des éléments minéraux et oligo-éléments aidera à renforcer les défenses immunitaires des plantes. Le dosage des éléments traces métalliques a permis de détecter le fer, le cuivre, le nickel et le zinc. Par contre le cadmium et l'arsenic n'ont pas été détectés compte la limite de détection de l'appareil supposée élevée (1 mg/kg). Ces teneurs des éléments traces métalliques sont inférieures aux normes en vigueur notamment l'International Biochar Initiative (IBI). Ces paramètres physicochimiques déterminés dans le biochar élaboré favorisent l'utilisation de ce dernier comme amendement pour restaurer les sols agricoles. Ces paramètres pourront permettre l'augmentation de la porosité des sols en favorisant l'oxygénation du sol et en augmentant l'agrégation du sol. Mais la poursuite de cette étude en utilisant un réacteur bien adapté est envisageable afin de relever le défi du suivi de l'évolution de la température de chauffe.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs ont déclaré n'avoir aucuns conflits d'intérêt

CONTRIBUTION DES AUTEURS

MBB : A dirigé et participé à la rédaction de ce manuscrit

MN : A effectué ces travaux et rédigé ce manuscrit

DDB : A lu et corrigé ce manuscrit

AK : Aider lors de l'échantillonnage et la manipulation au laboratoire

BEB : Aider lors de l'échantillonnage et la manipulation au laboratoire

GT : A conseiller et superviser ces travaux

Tous les auteurs ont lu et approuvé le document final

REMERCIEMENTS

Je remercie tous ceux qui ont participé à la réalisation de ces travaux.

Je remercie particulièrement la direction de la Formation en Génies des Procédés (FGéPro) siège en Côte d'Ivoire pour le financement de ce travail.

Je tiens à remercier Dr Magnoudéwa Bassaï BODJONA pour avoir accepté de diriger ce travail.

Je remercie le professeur TCHANGBEDJI Gado pour avoir accepté que les travaux se fassent dans son laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD) de l'Université de Lomé et d'avoir superviser ce travail

REFERENCES

- Abenavoli LM, Longo L, Proto AR, Gallucci F, Ghignoli A, Zimbalatti G, Russo D, Colantoni A. 2016. Characterization of Biochar Obtained from Olive and Hazelnut Prunings and Comparison with the Standards of European Biochar Certificate (E.B.C.). *Procedia - Social and Behavioral Sciences.*, **223**: 698-705. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.244>
- Arroyo J, Ryan C. 2018. Incorporation of Carbon Nanofillers Tunes Mechanical and Electrical Percolation in PHBV:PLA Blends. *Polymers.*, **10**(12): 1371. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym10121371>
- Bodjona BM, Sabi K, Tcheguani S, Bafai DD, Koledzi E, Koriko M, Tchangbedji G.

2018. Analysis of GHG emission reduction options for the Waste sector by 2035 in Togo on the basis of trend data from the time series 1995-2015. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, **8**(1): 001-012. DOI: 10.24214/jcbps.D.8.1.00112
- Denyes M, Parisien M, Rutter A, Zeeb B. 2014. Physical, Chemical and Biological Characterization of Six Biochars Produced for the Remediation of Contaminated Sites. *Journal of Visualized Experiments (JoVE)*. DOI: <https://doi.org/10.3791/52183>
- Diatta Y, Diedhiou S, Goudiaby AOK, Sagna YP, Diallo MD, Ndoye I. 2019. Effet des amendements organiques sur la tolérance à la salinité du riz (*Oryza sativa* L) dans les bas-fonds en zone sud-soudanienne au Sénégal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **13**(6): 2691-2703. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i6.21>
- Diedhiou-Sall S, Assigbetsee KB, Badiane AN, Diedhiou I, Khouma M, Dick RP. 2021. Spatial and Temporal Distribution of Soil Microbial Properties in Two Shrub Intercrop Systems of the Sahel. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, **5**: 621689. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.621689>
- Djousse KBM, Allaire S, Munson A. 2015. Production et utilisation du biochar pour la restauration d'un oxisol tropical. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16568.34562>
- Duku MH, Gu S, Hagan EB. 2011. Biochar production potential in Ghana—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**(8): 3539-3551. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.05.010>
- Fabbri D, Rombolà AG, Torri C, Spokas K A. 2013. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in biochar and biochar amended soil. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.*, **103**: 60-67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.10.003>
- Faye A, Stewart Z P, Diome K, Edward CT, Fall D, Ganyo DKK, Akplo TM, Prasad PVV. 2021. Single Application of Biochar Increases Fertilizer Efficiency, C Sequestration, and pH over the Long-Term in Sandy Soils of Senegal. *Sustainability*, **13**(21): 11817. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132111817>
- Goudiaby AOK, Diedhiou S, Diatta Y, Adiane A, Diouf P, Fall S, Dalanda M, Ndoye I. 2020. Soil properties and groundnut (*Arachis hypogea* L.) responses to intercropping with *Eucalyptus camaldulensis* Dehn and amendment with its biochar. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **10**. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i6.21>
- Kossi K, Diheenane B D, Sanonka T, Agbegnigan DK, Koriko M, Gado T. 2022. Inventory of Soil Pollution by Chemical Fertilizers in the Cotton Growing Area of Togo: Case of Kolo-Kope. *American Journal of Applied Chemistry*, **7**: 7. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ajac.20221005.17>
- Lele Nyami B, Kachaka Sudi C, Lejoly J. 2016. Effet du biochar et des feuilles de *Tithonia diversifolia* combiné à l'engrais minéral sur la culture du maïs (*Zea mays* L.) et les propriétés d'un sol ferrallitique à Kinshasa (RDC). *BASE*. DOI: <https://doi.org/10.25518/1780-4507.12592>
- Lompo DJP, Ye L, Ouedraogo S, Sori SI. 2021. Caractérisation chimique d'un biocharbon de balles de riz destiné à l'amendement des sols au Burkina Faso. *Journal of Agricultural Studies*, **9**(1): 130. DOI: <https://doi.org/10.5296/jas.v9i1.17890>
- Lompo DJP, Yé L, Ouédraogo S, Sori SI, Nacro HB. 2021. Production and Characterization of Crop Residues Derived Biochars for Soil Amendment and Carbon Sequestration. *Journal of Agricultural Studies*, **9**(1): 130.

- DOI:<https://doi.org/10.5296/jas.v9i1.17890>
- Luan C, He W, Su X, Wang X, Bai Y, Wang L. 2021. Effects of biochar on soil water and temperature, nutrients, and yield of maize/soybean and maize/peanut intercropping systems. *International Agrophysics*, **35**(4): 365-373. DOI: <https://doi.org/10.31545/intagr/144133>
- Nyami BL, Sudi CK, Lejoly J. 2016. Effet du biochar et des feuilles de *Tithonia diversifolia* combiné à l'engrais minéral sur la culture du maïs (*Zea mays* L.) et les propriétés d'un sol ferrallitique à Kinshasa (RDC). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **11**. DOI: <https://doi.org/10.25518/1780-4507.12592>
- Suzanne A, Lange S. 2014. Biochar-vecteur environnement-Allaire Lange-Septembre 2013. pdf. The world Bank : Pearson.
- Tomczyk A, Sokołowska Z, Boguta P. 2020. Biochar physicochemical properties : Pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, **19**(1): 191-215. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>.
- Wang J, Wang S. 2019. Preparation, modification and environmental application of biochar : A review. *Journal of Cleaner Production*, **227**: 1002-1022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>
- Wijitkosum S, Jiwnok P. 2019. Elemental Composition of Biochar Obtained from Agricultural Waste for Soil Amendment and Carbon Sequestration. *Applied Sciences*, **9**(19): 3980. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9193980>.
- Wu W, Yang M, Feng Q, McGrouther K, Wang H, Lu H, Chen Y. 2012. Chemical characterization of rice straw-derived biochar for soil amendment. *Biomass and Bioenergy*, **47**: 268-276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.034>
- Zambon I, Colosimo F, Monarca D, Cecchini M, Gallucci F, Proto A, Lord R, Colantoni A. 2016. An Innovative Agro-Forestry Supply Chain for Residual Biomass : Physicochemical Characterisation of Biochar from Olive and Hazelnut Pellets. *Energies*, **9**(7): 526. DOI: <https://doi.org/10.3390/en9070526>.