

# PERFORMANCES AGRONOMIQUES DES AMENDEMENTS A BASE DE BIOCHAR EN MILIEU PAYSAN A L'OUEST DU BURKINA FASO

D. CISSE<sup>\*1,2</sup>, J. T. CORNELIS<sup>1,3</sup>, M. TRAORE<sup>2</sup>, K. COULIBALY<sup>2</sup>, F. SABA<sup>1,2</sup>, H. B. NACRO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TERRA Teaching and Research Centre, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège, Gembloux, Belgique

[Drissa.cisse@doct.uliege.be](mailto:Drissa.cisse@doct.uliege.be) / [jtcornelis@uliege.be](mailto:jtcornelis@uliege.be) / [fatimata.saba@doct.uliege.be](mailto:fatimata.saba@doct.uliege.be)

<sup>2</sup>Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du Sol (LERF), Institut du Développement Rural (IDR), Université Nazi BONI (UNB), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

[cisdibifay@gmail.com](mailto:cisdibifay@gmail.com) / [nacrohb@yahoo.fr](mailto:nacrohb@yahoo.fr) / [iritraore@yahoo.com](mailto:iritraore@yahoo.com) / [coulkal1@gmail.com](mailto:coulkal1@gmail.com) / [fati.saba@yahoo.fr](mailto:fati.saba@yahoo.fr)

<sup>3</sup> Faculty of Land and Food Systems, The University of British Columbia, Vancouver, BC, V6T 1Z4 Canada  
[jt.cornelis@ubc.ca](mailto:jt.cornelis@ubc.ca)

\*Auteur correspondant : E-mail : [cisdibifay@gmail.com](mailto:cisdibifay@gmail.com)

## RESUME

Au Burkina Faso, la baisse de la fertilité des sols représente une contrainte importante pour la durabilité de l'agriculture. Dans cette étude, l'influence du compost, du biochar et du co-compost au biochar sur les propriétés chimiques du sol, le rendement du cotonnier et du maïs a été évaluée sur un lixisol endoplinthique en milieu paysan. Le dispositif était en blocs randomisés comportant trois traitements en quatre répétitions : T= compost + NPK + Urée, T2 = biochar pristine + NPK + urée, et T3=co-compost au biochar + NPK + urée. La dose d'apport des amendements était de 2,5t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> pendant deux ans, associée à la dose recommandée d'engrais minéraux (coton : NPK = 150 kg.ha<sup>-1</sup> et urée = 50 kg.ha<sup>-1</sup> ; maïs : NPK = 200 kg.ha<sup>-1</sup> et urée = 100 kg.ha<sup>-1</sup>). L'adjonction du biochar pendant le compostage a augmenté les teneurs en azote total, magnésium total et phosphore total de l'amendement obtenu, respectivement de 48 %, 64 % et 68 % comparativement au compost. Même si les paramètres physico-chimiques du sol, deux ans après, n'ont pas été améliorés, une augmentation significative du rendement du coton graine de 14 % (biochar) et 19 % (co-compost au biochar) comparativement au compost a été observée la troisième année. Les amendements à base de biochar peuvent être suggérés aux producteurs pour l'amélioration du rendement des cultures à moyen terme.

**Mots clés** : biochar ; fertilité du sol ; Lixisols endoplinthiques ; rendement des cultures; Burkina Faso.

## ABSTRACT

### **AGRONOMIC PERFORMANCE OF BIOCHAR-BASED AMENDMENTS IN FARMERS' ENVIRONMENT IN WESTERN BURKINA FASO**

*In Burkina Faso, declining soil fertility is a major constraint to agricultural productivity and sustainability. In the present study, compost, biochar and co-composted biochar were applied to endoplinthic lixisol, and the effects on soil physicochemical properties, cotton and maize yield over three years (i.e., three cropping seasons) were investigated. The trial was a completely randomized block design included three treatments and four repetitions: T1= compost + NPK + Urea, T2= pristine biochar + NPK + Urea and T3= co-composted biochar + NPK + Urea. The amendments rate were 2.5 t.ha<sup>-1</sup> each year (2018 and 2019) combined with the recommended rate of mineral fertilizer (cotton: 150 kg.ha<sup>-1</sup> NPK, 50 kg.ha<sup>-1</sup> Urea; maize: 200 kg.ha<sup>-1</sup> NPK, 100 kg.ha<sup>-1</sup> Urea). The addition of biochar during the composting process increased the total nitrogen, total magnesium and total phosphorus contents of co-composted biochar by 48%, 64% and 68% respectively compared to compost. Although the biochar-based amendments did not improve the physico-chemical parameters of the soil, two years after their application, a significant increase in cotton yield by 14% (biochar) and 19% (co-composted biochar)*

compared to compost in the third year was observed. Biochar-based amendments can be suggested to producers for medium-term crop yield improvement.

**Keywords:** biochar; soil fertility; endoplinthic lixisol; crops yield; Burkina Faso.

## INTRODUCTION

Dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne y compris le Burkina Faso, le défi majeur du secteur agricole est de répondre à la demande croissante de nourriture de manière durable (Partey *et al.*, 2016). Les aléas climatiques contribuent au déclin de la fertilité des sols qui reste la principale contrainte biophysique rendant peu productifs les systèmes de production agricole des petits exploitants (Koulibaly *et al.*, 2009 ; Mensah et Frimpong, 2018). Les sols du Burkina Faso se caractérisent par leur pauvreté en matière organique et en éléments majeurs (N, P et K) et une très faible capacité d'échange cationique (1 à 12,5 méq/100g de sol séché (Pallo et Thiombiano, 1989). Bien que l'utilisation du compost constitue une pratique habituelle de maintien de la fertilité des sols agricoles, les doses d'application ne sont généralement pas respectées et le carbone est rapidement minéralisé (Blanchart et Trap, 2020). Toute chose qui conduit davantage à un épuisement rapide des réserves en nutriments des sols (Yemefack *et al.*, 2004).

Des travaux ont mis en exergue l'importance de l'utilisation du biochar comme amendement des sols (Coumaravel *et al.*, 2015 ; Tian *et al.*, 2018 ; El-Naggar *et al.*, 2019). En effet, l'amendement biochar permet d'améliorer le contenu en carbone des sols (Sheng et Zhu, 2018) et certaines propriétés physico-chimiques, dont une meilleure disponibilité en nutriments et une augmentation de pH (Liu *et al.*, 2018 ; Kamran *et al.*, 2018). Cependant, il en faut de grandes quantités qui seront difficiles à produire par les petits exploitants des zones semi-arides, confrontés à la faible disponibilité de ressources et de moyens de production. Il est donc nécessaire de proposer des techniques permettant de réduire ces doses, d'où le co-compostage qui est l'adjonction du biochar au cours du processus de compostage. Le co-compostage améliore la qualité de l'amendement produit (Hagemann *et al.*, 2017 ; Sánchez-Monedero *et al.*, 2017). Cet amendement appelé co-compost au biochar, apporté au sol, permettrait de stocker le carbone dans le sol sur des périodes beaucoup plus

longues que la biomasse non pyrolysée, avec pour conséquence une amélioration des propriétés physico-chimiques et la disponibilité des nutriments (Liu *et al.*, 2018 ; Kamran *et al.*, 2018 ; Sheng et Zhu, 2018). Son intégration dans les systèmes de culture des petits producteurs, devrait donc améliorer la disponibilité des éléments nutritifs et le rendement des cultures (Major *et al.*, 2010 ; Partey *et al.*, 2016 ; Agegnehu *et al.*, 2017). C'est dans ce cadre qu'a été conduite cette étude, afin d'évaluer les effets du biochar et du co-compost au biochar sur les paramètres physico-chimiques des sols et les paramètres agronomiques du coton et du maïs dans un système de rotation coton-maïs en milieu paysan de l'ouest du Burkina Faso.

## MATERIELS ET METHODES

### SITE D'ETUDE

L'étude a été conduite en milieu paysan dans le village de Koumbia, à l'ouest du Burkina Faso. Koumbia est dans la zone agro climatique sud-soudanienne, **située** entre 3°41'46.9»latitude Ouest et 11°14'10.5»longitude Nord. Le régime pluviométrique est unimodal avec des précipitations annuelles variant entre 800 et 1100 mm (Traoré *et al.*, 2019). Les sols dominants sont de types ferrugineux tropicaux marqués par une faible CEC comprise entre 1 et 12,5 cmol+.kg<sup>-1</sup> de sol séché (Pallo et Thiombiano, 1989). L'essai a été implanté sur un lixisol endoplinthique (IUSS Working Group WRB, 2015).

### AMENDEMENTS ET ENGRAIS MINERAUX

Du biochar pristine, du compost et du co-compost au biochar ont été utilisés comme amendements organiques dans l'essai. Le biochar a été produit à partir des tiges de cotonnier à l'aide du four Kon-tiki. La température de pyrolyse était comprise entre 650 et 700°C. Le compost est issu du compostage d'un mélange de biomasse de *Pennisetum polystachion* (L.) Schult à 60 % (m/m) et du fumier d'étable à 40 % (m/m). Le co-compost

au biochar est le produit obtenu après le compostage d'un mélange de biochar à 20 % (m/m), de biomasse de *Pennisetum polystachion* (L.) Schult à 48 % (m/m), et du fumier de bovin d'étable à 34 % (m/m). Ils ont été produits sur le site de l'Université Nazi BONI de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso.

Les engrais minéraux utilisés sont le NPK (14-23-14) et l'urée (46 %). Ils ont été acquis auprès d'une association nationale de commercialisation d'intrants agricoles.

#### MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal utilisé pour tester les différents types de fertilisants était composé de la variété FK64 du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) en 2018 et 2020, et le maïs (*Zea mays* L.) de variété Barka en 2019. La FK64 a un cycle de 120 jours, et un rendement potentiel de 2,8 t.ha<sup>-1</sup> (Bourgou *et al.*, 2018). Quant à la variété de maïs Barka, elle a un cycle de semis-maturité de 80 jours, avec un rendement potentiel de 5,5 t.ha<sup>-1</sup> (Traoré *et al.*, 2020). Les semences de coton et de maïs ont été obtenues respectivement auprès programme coton de l'Institut National de l'Environnement et de la Recherche Agronomique (INERA), et d'une entreprise de commercialisation des semences.

#### DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET CONDUITE DE L'ETUDE

L'essai a été installé sur une parcelle en culture continue depuis près de 40 ans en milieu paysan à Koumbia. Le dispositif était en blocs randomisés comportant trois traitements en quatre répétitions : T = compost + NPK+ Urée considéré comme le témoin, T2 = biochar pristine + NPK + urée, et T3 = co-compost au biochar + NPK + urée. La dose d'apport des amendements était de 2,5 t.ha<sup>-1</sup> associée à la dose vulgarisée d'engrais minéraux au Burkina Faso. Ces doses vulgarisées de NPK et d'urée pour la culture du coton variété FK64 sont de 150 kg.ha<sup>-1</sup> et 50 kg.ha<sup>-1</sup> respectivement. Pour le maïs (variété « Barka »), elles sont de 200 kg.ha<sup>-1</sup> et 100 kg.ha<sup>-1</sup> respectivement. Le NPK était dosé à 10,9 % N, 10,1 % P et 11,6 % K et l'urée à 46 % N. La superficie de chaque parcelle élémentaire était de 120 m<sup>2</sup> (10 m\*12 m), et la superficie totale de chaque essai était de 2 322 m<sup>2</sup> (54 m \* 43 m).

Au cours des trois campagnes d'expérimentation (2018, 2019 et 2020), la

préparation du sol a consisté en un labour effectué à la traction animale à une profondeur moyenne de 20 cm après épandage manuel des amendements. Le biochar pristine, le co-compost au biochar et le compost ont été apportés les deux premières campagnes (2018 et 2019) en fumure de fond au labour, à la dose de 2,5 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Le cotonnier en 2018 et 2020 et le maïs en 2019 ont été semés à un écartement de 40 cm sur la ligne et 80 cm entre les lignes. Un démariage réalisé à 15 jours après semis (JAS), a permis d'ajuster le nombre de plants de cotonnier à deux par poquet, pour obtenir une densité théorique de 62.500 plants par hectare. Le NPK a été apporté à 15 JAS sur les cultures. L'urée (46 %) a été apporté à 45 JAS pour le cotonnier, et à 40 JAS pour le maïs. Deux sarclages ont été effectués respectivement à 15 et 35 JAS, suivis d'un buttage à 45 JAS pour le cotonnier en 2018 et 2020, et à 15 et 30 JAS suivi d'un buttage à 40 JAS pour le maïs en 2019. Le contrôle des bio-agresseurs du cotonnier a été réalisé par l'application de l'oxadiazine (150 g.ha<sup>-1</sup>), d'une association cyperméthrine (144 g.ha<sup>-1</sup>) + imidaclopride (200 g.ha<sup>-1</sup>), de lambda-cyhalothrine (12 g.ha<sup>-1</sup>) + profénofos (200 g.ha<sup>-1</sup>) et du Chlorpyrifos-ethyl (480 g.ha<sup>-1</sup>). Ces insecticides ont été appliqués respectivement à 46, 60, 80 et 100 JAS. L'émamectine benzoate 50 a été utilisé sur le maïs en 2019, pour contrôler *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) à la dose de 250 g.ha<sup>-1</sup>.

#### ECHANTILLONNAGE DES AMENDEMENTS ET SOL ET ANALYSES

Les échantillons d'amendements ont été collectés en 2018 et 2019. Trois replicats d'échantillons composites de chaque amendement (compost, biochar pristine et co-compost au biochar) ont été constitués. Chaque replicat est constitué d'un mélange de 100g d'amendement de 2018 et 100 g de 2019.

Les échantillons de sols ont été prélevés dans chaque parcelle élémentaire avant la mise en place des essais et à la fin de la deuxième campagne d'essai en 2019. Les prélèvements avant la mise en place de l'essai ont été effectués à l'aide d'une tarière en neuf (09) points suivant une diagonale, aux profondeurs de 0-10 cm et 10-20 cm. Trois échantillons composites par profondeur de prélèvement ont été constitués pour les besoins d'analyse des paramètres physico-chimiques de la situation de référence. Les prélèvements à la fin de la deuxième campagne

d'essai ont été effectués aussi à l'aide d'une tarière aux profondeurs de 0-10 cm et 10-20 cm sur chacune des douze parcelles élémentaires de l'essai. Au total neuf (09) échantillons d'amendement et trente (30) échantillons de sol dont 6 avant la mise en place de l'essai (3 de 0-10 cm et 3 de 10-20 cm) et 24 échantillons à la fin de la deuxième campagne en 2019 (12 de 0-10 cm et 12 de 10-20 cm) ont été analysés.

Les paramètres physico-chimiques suivants ont été déterminés : le pH-H<sub>2</sub>O, le carbone organique (C<sub>org</sub>), l'azote total (N<sub>tot</sub>), le phosphore total (P<sub>tot</sub>), le magnésium total (Mg<sub>tot</sub>) et le potassium total (K<sub>tot</sub>) dans les amendements et la granulométrie 3 fraction, le pH-H<sub>2</sub>O, le C<sub>org</sub>, le N<sub>tot</sub>, le phosphore assimilable (P<sub>ass</sub>) et le potassium disponible (K<sub>disp</sub>) du sol.

La granulométrie a été déterminée par la méthode de sédimentation par gravité (NF X 31-07) (Dumer *et al.*, 2017). La teneur en C<sub>org</sub> a été déterminée par combustion sèche selon la méthode Dumas (FAO, 2019). Le N<sub>tot</sub> a été déterminé par la méthode Kjeldhal (Kjeldahl, 1883). Les teneurs en éléments totaux (K, et P) des amendements ont été déterminées après dissolution des cendres des échantillons dans une solution de HNO<sub>3</sub> et quantification par absorption atomique pour le K et le Mg et par spectrophotométrie pour le P (Lakanen et Erviö, 1971). Les teneurs des éléments biodisponibles (P et K) ont été obtenues par extraction à l'acétate d'ammonium-EDTA 1M (pH = 4,65) (Lakanen et Erviö, 1971) et quantification par spectrophotométrie d'absorption atomique pour le K et par spectrophotométrie pour P (de Oliveira *et al.*, 2000). Le pH-H<sub>2</sub>O a été obtenu dans un rapport de 1/5 (v/v) en utilisant de H<sub>2</sub>O déminéralisée (AFNOR, 2005).

#### PARAMETRES DE CROISSANCE ET RENDEMENTS MESURES CHEZ LE COTONNIER ET LE MAÏS

La croissance du cotonnier et du maïs a été suivie par des mesures de hauteur et de diamètre, effectuées sur 20 plants choisis sur les 3 lignes centrales de chaque parcelle élémentaire. Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un mètre ruban et d'un pied à coulisse à lecture automatique, à 30 et 80 JAS sur le cotonnier, et à 30 et 60 JAS sur le maïs. Les récoltes ont été effectuées manuellement sur des parcelles utiles de 20 m<sup>2</sup> (5 m\*4 m), préalablement délimitées au semi au milieu de

chaque parcelle élémentaire. Sur chaque parcelle utile, le coton-graine a été récolté et pesé pour la détermination du rendement. Le rendement grain du maïs a été obtenu après égrainage manuel des épis, et séchage des grains à l'air libre pendant 21 jours afin d'atteindre un taux d'humidité de 15 % à l'aide d'un humidimètre de type « DRAMINSKI grain moisture meter ». Le rendement en biomasse sèche a été déterminé après séchage à l'étuve à 75°C pendant 72 h, des échantillons des parcelles utiles dont le poids frais a été préalablement déterminé.

#### ANALYSES STATISTIQUES

L'analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée pour évaluer les variations des paramètres physico-chimiques des amendements et du sol ainsi que le diamètre, la hauteur et les rendements des cultures à l'aide du logiciel R version 4.0.3. Le test Honest Significant Difference (HSD) de Tukey a été utilisé pour les comparaisons multiples, afin de séparer les moyennes au seuil de 5 %.

## RESULTATS

#### CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES AMENDEMENTS

L'analyse des données montre une différence significative entre les amendements quel que soit l'élément chimique mesuré (Tableau I). Le pH-H<sub>2</sub>O n'a pas significativement varié entre le compost (9,6) et le co-compost au biochar (9,3) mais ces valeurs étaient significativement inférieures au pH-H<sub>2</sub>O du biochar pristine (10,3). La teneur d'azote total (N<sub>tot</sub>) a été significativement différente entre les traitements avec une valeur plus élevée dans le co-compost au biochar (12,3 g.kg<sup>-1</sup>) et une valeur plus faible dans le biochar pristine (6,3 g.kg<sup>-1</sup>). Le C<sub>org</sub> et le K<sub>tot</sub> ont été significativement différents entre les traitements, avec des valeurs plus élevées chez le biochar pristine (respectivement 314 g.kg<sup>-1</sup> et 24872 mg.kg<sup>-1</sup>) et des valeurs plus faibles chez le co-compost au biochar (respectivement 136 g.kg<sup>-1</sup> et 11016 mg.kg<sup>-1</sup>). Le P<sub>tot</sub> et Mg<sub>tot</sub> n'ont pas été significativement différents entre le compost (respectivement 2843 mg.kg<sup>-1</sup> et 3695 mg.kg<sup>-1</sup>) et biochar pristine (respectivement 2867 mg.kg<sup>-1</sup> et 4361 mg.kg<sup>-1</sup>) mais ces valeurs étaient significativement inférieures au P<sub>tot</sub> et Mg<sub>tot</sub> du co-compost au biochar (respectivement 2867 g.kg<sup>-1</sup> et 4361 mg.kg<sup>-1</sup>).

**Tableau I :** Propriétés chimiques des amendements.*Chemical properties of amendments.*

Amendement	pH- H <sub>2</sub> O	N_tot (g.kg <sup>-1</sup> )	C_org (g.kg <sup>-1</sup> )	P_tot (mg.kg <sup>-1</sup> )	Mg_tot (mg.kg <sup>-1</sup> )	K_tot (mg.kg <sup>-1</sup> )
Compost	9,6 a	8,3 b	136 a	2843 a	3695 a	11016 a
Co-compost au biochar	9,5 a	12,3 c	177 b	4766 b	6060 b	18906 b
Biochar pristine	10,3 b	6,3 a	314 c	2867 a	4361 a	24872 c
<i>Probabilité</i>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>Signification</i>	S	S	S	S	S	S

Les valeurs suivies de lettres différentes dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil à <0,05 selon le test HSD de Tukey. S : significatif.

*Values followed by different letters in each column are significantly different at 5% of probability according to HSD test of Tukey. S: significant.*

#### CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS

Les caractéristiques physico-chimiques des sols avant la mise en place de l'essai sont consignées dans le Tableau II. Les données granulométriques montrent que le taux d'argile passe de 7,8 % en surface (0-10 cm) à 9,8 % en profondeur (10-20 cm). Les taux de limons et de sables sont passés de 17,4 % et 74,8 % respectivement en surface (0-10cm) à 15,6 % et 74,6 % en profondeur (10-20 cm). On note des valeurs de pH neutre (7) en surface (0-10 cm), et proche du neutre (6,5) en profondeur (10-20 cm). Les teneurs en C<sub>org</sub> et en N<sub>tot</sub> en surface

(0-10 cm) sont de 4,14 g.kg<sup>-1</sup> et 0,2 g.kg<sup>-1</sup> respectivement. En profondeur (10-20 cm), la teneur en C<sub>org</sub> est de 2,2 g.kg<sup>-1</sup> et celle en N<sub>tot</sub> est de 0,2 g.kg<sup>-1</sup>. Les teneurs en K<sub>disp</sub> et en P<sub>ass</sub> dans la profondeur 0-10 cm sont de 81,8 mg.kg<sup>-1</sup> et 2,0 mg.kg<sup>-1</sup> respectivement. En profondeur (10-20 cm), les teneurs en K<sub>disp</sub> et P<sub>ass</sub> sont de 41,6 mg.kg<sup>-1</sup> et 0,2 mg.kg<sup>-1</sup> respectivement. Une analyse comparative entre les différents horizons montre que les taux de limon et de sable ainsi que les teneurs en C<sub>org</sub>, K<sub>disp</sub> et P<sub>ass</sub> ont baissé en profondeur (10-20 cm) tandis que le taux argile d'argile augmente. La teneur en N<sub>tot</sub> (0,2 g.kg<sup>-1</sup>) n'a pas variée (Tableau II).

**Tableau II :** propriétés physico-chimiques du sol avant la mise en place de l'essai.*Physico-chemical properties of soil before experiments.*

Profondeur (cm)	A (g.kg <sup>-1</sup> )	L (g.kg <sup>-1</sup> )	S (g.kg <sup>-1</sup> )	pH- H <sub>2</sub> O	C <sub>org</sub> (g.kg <sup>-1</sup> )	N <sub>tot</sub> (g.kg <sup>-1</sup> )	P <sub>ass</sub> (mg.kg <sup>-1</sup> )	K <sub>disp</sub> (mg.kg <sup>-1</sup> )
0-10	78	174	748	7,0	4,1	0,2	2,0	81,8
10-20	98	156	746	6,5	2,2	0,2	0,2	41,6

A : Argile ; L : Limon ; S : Sable ; A : Clay ; L : Limon ; S : Sable

L'analyse des données n'a pas révélé de différences significatives entre les traitements, quel que soit le paramètre chimique du sol après 2 ans d'expérimentation (Tableau III). A la profondeur 0-10 cm, le pH-H<sub>2</sub>O le plus élevé (6,5) a été observé dans les parcelles traitées avec le biochar pristine alors que le plus bas (6,3) a

été observé dans celles traitées avec le co-compost au biochar. A 10-20 cm, le pH- H<sub>2</sub>O le plus élevé a été observé dans les parcelles traitées avec le biochar pristine (6,6) et le plus bas pH- H<sub>2</sub>O a été observé dans celles traitées avec le co-compost au biochar (6,3).

**Tableau III :** effets des traitements sur les paramètres chimiques du sol deux ans après l'apport des amendements.*Effect of treatment application on soil chemical parameters after 2 years of soil amendment.*

Profondeur (cm)	Traitement	pH-H <sub>2</sub> O	C <sub>org</sub> (g.kg <sup>-1</sup> )	N-tot (g.kg <sup>-1</sup> )	P <sub>ass</sub> (mg.kg <sup>-1</sup> )	K <sub>disp</sub> (mg.kg <sup>-1</sup> )
0-10	Compost	6.4 a	4.04 a	0,3 a	3,1 a	29,4 a
	Biochar pristine	6.5 a	3.72 a	0,3 a	3,0 a	31,1a
	Co-compost au biochar	6.2 a	4.65 a	0,4 a	4,0 a	45,8 a
	<i>Probabilité</i>	<i>0.6</i>	<i>0.4</i>	<i>0.4</i>	<i>0.5</i>	<i>0.3</i>
	<i>Signification</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
10-20	Compost	6.4 a	3.35 a	0,3 a	2,2 a	22,6 a
	Biochar pristine	6.6 a	3.86 a	0,3 a	3,6 a	31,4 a
	Co-compost au biochar	6.3 a	3.60 a	0,3 a	2,4 a	34,3 a
	<i>Probabilité</i>	<i>0.8</i>	<i>0.8</i>	<i>0.8</i>	<i>0.4</i>	<i>0.1</i>
	<i>Signification</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$  selon le test HSD de Tukey ; NS : non significatif ;

*Values followed by the same letter in each column are not significantly different at 5% of probability according to HSD test of Tukey. NS: non-significant.*

La plus faible teneur en C<sub>org</sub> a été obtenue avec le biochar pristine (3,72 g.kg<sup>-1</sup>) et la plus forte teneur a été obtenue avec le co-compost au biochar (4,65 g.kg<sup>-1</sup>) dans la couche 0-10 cm du sol. Dans la couche 10-20 cm, la plus faible teneur en C<sub>org</sub> a été obtenue avec le compost (3,35 g.kg<sup>-1</sup>) et la plus forte avec le biochar pristine (3,86 g.kg<sup>-1</sup>). Le N<sub>tot</sub> a varié de 0,3 g.kg<sup>-1</sup> (Compost) à 0,4 g.kg<sup>-1</sup> (Co-compost au biochar) à la profondeur de 0-10 cm. Dans la profondeur 10-20 cm, les teneurs étaient identiques (0,3 g.kg<sup>-1</sup>) dans tous les traitements. Pour le P<sub>ass</sub>, la plus faible teneur a été observée dans les parcelles ayant reçu le biochar pristine (3 mg.kg<sup>-1</sup>) et la plus forte teneur a été observée dans celles ayant reçu le co-compost au biochar (4 mg.kg<sup>-1</sup>) dans la profondeur 0-10 cm. A 10-20 cm la plus faible teneur a été observée dans les parcelles ayant reçu le compost (2,2 mg.kg<sup>-1</sup>) et la plus forte teneur a été observée dans celles ayant reçu le biochar pristine (3,6 mg.kg<sup>-1</sup>). Pour le K<sub>disp</sub>, la plus faible teneur a été obtenue avec le compost (29,4 mg.kg<sup>-1</sup>) et la plus forte teneur a été obtenue avec le co-compost au biochar (45,8 mg.kg<sup>-1</sup>) dans la profondeur 0-10 cm. Dans la profondeur 10-20 cm, la plus faible teneur a été enregistré au niveau du compost (22,6 mg.kg<sup>-1</sup>) alors que la plus forte teneur a été observée sur les

parcelles traitées avec le co-compost au biochar (34,3 mg.kg<sup>-1</sup>).

#### CROISSANCE ET RENDEMENTS DU COTONNIER DE 2018 ET 2020

En 2018, le type d'amendement a significativement affecté le diamètre moyen du cotonnier à 30 JAS mais pas à 80 JAS. A 30 JAS, le diamètre moyen était plus élevé avec le traitement co-compost au biochar (0,41 cm) et plus faible avec le compost (0,29 cm). A 80 JAS, le diamètre moyen du cotonnier était de 1,24 cm avec le Compost et de 1,36 cm avec le co-compost au biochar. Le type d'amendement n'a pas significativement affecté la hauteur des plants de cotonnier à 30 et 80 JAS (Tableau IV). Les hauteurs des plants atteignaient 22 cm pour le compost et 24 cm pour le co-compost au biochar à 30 JAS et 83 cm pour le compost et 89 cm pour le co-compost au biochar à 80 JAS. Les rendements en coton graine et en biomasse aérienne n'ont pas non plus été significativement affectés par le type d'amendement (Tableau IV). Le rendement en coton-graine le plus bas a été enregistré au niveau du compost (764 kg.ha<sup>-1</sup>) et le plus élevé a été enregistré au niveau du co-compost au biochar (872 kg.ha<sup>-1</sup>).

**Tableau IV** : Effet des traitements sur la croissance et le rendement du cotonnier en 2018 et 2020.*Effect of treatment application on cotton growth and yield parameters in 2018 and 2020.*

Année	Traitement	Dm	Dm	Ht	Ht	Rdt	Rdt
		30JAS (cm)	80JAS (cm)	30JAS (cm)	80JAS (cm)	coton graine (kg/ha)	biomasse (kg/ha)
2018	Compost	0,29 a	1,24 a	22 a	83 a	764 a	2158 a
	Biochar pristine	0,35 ab	1,35 a	24 a	89 a	842 a	2414 a
	Co-compost au biochar	0,41 b	1,36 a	24 a	89 a	872 a	2722 a
	<i>Probabilité Signification</i>	0,01 S	0,05 NS	0,4 NS	0,2 NS	0,5 NS	0,7 NS
2020	Compost	0,56 a	1,04 a	27 a	88 a	1493 a	2931 a
	Biochar pristine	0,64 a	1,30 a	38 ab	100 b	1746 b	3963 b
	Co-compost au biochar	0,65 a	1,27 a	39 b	102 b	1772 b	4244 b
	<i>Probabilité Signification</i>	0,3 NS	0,07 NS	0,03 S	0,006 S	0,001 S	0,002 S

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$  selon le test HSD de Tukey ; NS : Non significatif ; S : significatif ; Dm : diamètre ; Ht : Hauteur ; Rdt=rendement.

*Values followed by the same letter in each column are not significantly different at 5% of probability according to HSD test of Tukey. NS : non-significant ; S : significant ; Dm : diameter ; Ht : Height ; Rdt=yield.*

En 2020, le diamètre des plants de cotonnier n'a pas été affecté par le type d'amendement quel que soit la période d'observation (Tableau IV). Le diamètre moyen était de 0,56 cm avec le compost et de 0,65 cm avec le co-compost au biochar à 30 JAS. Il était de 1,04 cm avec compost et de 1,30 cm avec le biochar pristine à 80 JAS. En revanche, le type d'amendement a significativement affecté la hauteur, les rendements en coton-graine et en biomasse aérienne. A 30 JAS, la hauteur la plus élevée a été observée dans les parcelles traitées avec le co-compost au biochar (39 cm) et la hauteur la plus faible au niveau de celles traitées avec le compost (27 cm). A 80 JAS, la hauteur la plus élevée a été obtenue dans les parcelles traitées avec le co-compost au biochar (102 cm) et la hauteur la plus faible a été obtenue dans celles traitées avec le compost (88 cm). Les rendements en coton-graine et en biomasse ont aussi été significativement affectés par le type d'amendement. En effet, les rendements coton-graine et biomasse aérienne n'étaient pas significativement différents entre le biochar pristine (respectivement 1746 et 3963 kg.ha<sup>-1</sup>) et le co-compost au biochar (respectivement 1772 et 4244 kg.ha<sup>-1</sup>) mais ces rendements étaient significativement plus élevés que les rendements enregistrés avec le compost

(respectivement 1493 et 2931 kg.ha<sup>-1</sup>).

La comparaison des résultats de 2018 et 2020 révèle une augmentation du diamètre à 30 JAS, des hauteurs à 30 et 80 JAS. Les augmentations du diamètre à 30 JAS sont respectivement de 93 %, 83 % et 53 % pour le compost, le biochar pristine et le co-compost au biochar. Les augmentations de la hauteur à 30 JAS sont respectivement de 23 %, 58 % et 63 % pour le compost, le biochar pristine et le co-compost au biochar. Celles de la hauteur à 80 JAS sont respectivement de 6 %, 12 % et 15 % pour le compost, le biochar pristine et le co-compost. Une augmentation des rendements en coton graine et en biomasse aérienne ont été enregistrées au niveau de tous les traitements. Les augmentations du rendement en coton graine sont respectivement de 95 %, 107 % et 103 % pour le compost, le biochar pristine et le co-compost au biochar. Celles du rendement en biomasse aérienne sont respectivement de 39 %, 64 % et 56 % pour le compost, le biochar pristine et le co-compost au biochar.

#### CROISSANCE ET RENDEMENTS DU MAÏS

Le type d'amendement a significativement affecté le diamètre du maïs à 30 JAS et 60 JAS

(Tableau V). En effet, le diamètre n'a pas significativement varié pour le biochar pristine (1,6 cm) et le co-compost au biochar (1,7 cm) qui ont induit des diamètres de plants significativement plus élevés que ceux des plants sous influence du compost (1,44 cm). Le type d'amendement a significativement affecté la hauteur des plants à 30 JAS mais pas à 60 JAS (Tableau V). A 30 JAS, la hauteur des plants n'était pas significativement différente pour le biochar pristine (60,5 cm) et le co-compost au biochar (61 cm) mais ces plants étaient significativement plus hauts que ceux du

compost (5,4 cm). A 60 JAS, la hauteur des plants la plus élevée a été obtenue avec le co-compost au biochar (174 cm) et la hauteur la plus faible a été obtenue avec le compost (136 cm). Le type d'amendement a significativement affecté le rendement de la biomasse aérienne mais pas le rendement en grain (Tableau V). En effet, le rendement maximum de biomasse aérienne a été observé avec le traitement co-compost au biochar (4629 kg.ha<sup>-1</sup>) et le rendement le plus faible a été obtenu avec le compost (3614 kg.ha<sup>-1</sup>).

**Tableau V** : effet des traitements sur la croissance et le rendement du maïs en 2019.

*Effect of treatment application on maize growth and yield parameters in 2019.*

Traitement	Dm 30JAS (cm)	Dm 60JAS (cm)	Ht 30JAS (cm)	Ht 60JAS (cm)	Rdt maïs grain (kg/ha)	Rdt biomasse (kg/ha)
Compost	1,44 a	2,1 a	54,4 a	136 a	2758 a	3614 a
Biochar pristine	1,6 b	2,41 ab	60,5 b	145 a	3396 a	4398 ab
Co-compost au biochar	1,7 b	2,5 b	61 b	174 a	3197 a	4629 b
<i>Probabilité</i>	<i>0,005</i>	<i>0,03</i>	<i>0,01</i>	<i>0,08</i>	<i>0,1</i>	<i>0,02</i>
<i>Signification</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>S</i>

Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil  $\alpha < 0,05$  selon le test HSD de Tukey ; NS : Non significatif ; S : significatif ; Dm : diamètre ; Ht : Hauteur ; Rdt = rendement.

*Values followed by the same letter in each column are not significantly different at 5% of probability according to HSD test of Tukey. NS: non-significant; S : significant ; Dm : diameter ; Ht : Height ; Rdt=yield*

## DISCUSSION

### AMENDEMENTS A BASE DE BIOCHAR ET PROPRIETES CHIMIQUES DU SOL

Les analyses chimiques ont été faites pour évaluer l'effet des amendements à base biochar sur les caractéristiques du sol, au bout de deux ans d'expérimentation. Comparés au compost conventionnel, les traitements à base de biochar n'ont pas eu d'effets sur les propriétés chimiques du sol. Ce qui contraste avec la plupart des résultats obtenus par d'autres auteurs (Sheng et Zhu, 2018 ; Kamran *et al.*, 2018 ; El-Naggar *et al.*, 2019), qui montrent que l'apport du biochar et du co-compost au biochar comme amendement permet une amélioration

significative des propriétés du sol. Nos résultats pourraient s'expliquer par les différences de température de pyrolyse, de doses d'amendement apportées et de durée d'expérimentation. En effet, les travaux de Lee *et al.* (2010) ont montré que du biochar obtenu à une température de 450°C avait une CEC de 26,36 cmol<sup>+</sup>.kg<sup>-1</sup>, deux fois plus élevée que celle d'un biochar obtenu à 700°C qui avait une CEC de 10,28 cmol<sup>+</sup>.kg<sup>-1</sup>. Dans notre cas, la température de pyrolyse du biochar a été comprise entre 650 et 700°C ; ce qui peut donc expliquer l'absence d'effets significatifs sur les paramètres chimiques. De même, Martinsen *et al.* (2015) et Pandit *et al.* (2018) ont obtenu des effets significatifs en utilisant des doses de 30 et 40 t.ha<sup>-1</sup> respectivement. La dose d'application de 2,5 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> utilisée à dessein dans la



présente étude pour tenir compte de la disponibilité en biomasse pour la production du biochar, mais aussi parce que le biochar apporté à dose élevée (> 10 t/ha) n'est pas économiquement viables pour les petits producteurs Hagemann *et al.* (2017), pourrait aussi expliquer nos résultats. La courte durée de l'essai pourrait aussi expliquer en partie l'absence d'effets sur les propriétés physico-chimiques du sol. En effet, les travaux de Cheng *et al.* (2008) sur des échantillons de biochar vieux de 130 ans en moyenne dans le sol, ont montré que le vieillissement du biochar augmente la CEC suite à l'oxydation de sa surface. Nos échantillons de sol ont été prélevés au bout de 2 campagnes après l'application des amendements.

#### EFFET DE L'APPLICATION DES AMENDEMENTS A BASE DE BIOCHAR SUR LES PARAMETRES DE CROISSANCE ET LE RENDEMENT DES CULTURES

Les amendements à base de biochar ont amélioré significativement ( $p < 0,05$ ) le rendement de biomasse du maïs en 2<sup>ème</sup> année et les rendements coton-graine et biomasse du cotonnier en 3<sup>ème</sup> année d'expérimentation, mais pas en première année. Pandit *et al.*, (2018) ont observé des résultats similaires au Népal, avec un effet significatif du biochar sur le rendement en grain du maïs et de la moutarde à la deuxième et troisième année d'expérimentation, mais pas à la première année. De même Major *et al.* (2010), après un apport de 20 t ha<sup>-1</sup>, ont constaté au bout de 4 années, que le rendement du maïs a augmenté de 28, 30 et 140% pour la deuxième, troisième et quatrième année, respectivement, alors qu'aucune amélioration significative n'avait été observée en première année sur un oxisol de savane colombienne dans un système de culture de maïs-soja. Haider *et al.* (2016) ont aussi rapporté que le biochar vieilli était plus efficace que le biochar frais pour l'adsorption et la désorption et la mise en solution des nutriments. Cette propriété, qui peut conduire à une augmentation du rendement des cultures au fil du temps, est une bonne chose pour les petits producteurs. En effet, le biochar apporté au sol peut y rester sur des périodes beaucoup plus longues que la biomasse non pyrolysée (Sheng et Zhu, 2018), et ne nécessite pas d'apports répétés. Ces résultats indiquent que l'apport d'amendement à base de biochar nécessite au moins 1 à 2 ans pour améliorer significativement

les rendements cultureux (Pandit *et al.*, 2018).

## CONCLUSION

Cette étude a montré que les teneurs en N<sub>tot</sub>, P<sub>tot</sub> et Mg<sub>tot</sub> des amendements co-compost au biochar et biochar pristine étaient nettement plus élevées que celles du compost conventionnel. Même si l'application de ces amendements à base de biochar à la dose 2,5 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> n'a pas d'effets significatifs sur les paramètres chimiques du sol en zone tropicale semi-aride, un effet positif a été observé sur le rendement de la biomasse du maïs en 2<sup>ème</sup> année et sur les rendements du coton graine et de la biomasse du cotonnier en 3<sup>ème</sup> année dans un système de rotation coton-maïs. Ainsi, à la dose de 2,5 t.ha<sup>-1</sup> des amendements à base de biochar, l'efficacité sur le rendement des cultures n'est visible qu'à partir de la troisième campagne. D'autres études sont nécessaires pour proposer des options de gestion de cette période transitoire (à l'image de la transition agroécologique), et pour étudier les effets à long terme des amendements à base de biochar sur les processus physicochimiques et biologiques des sols tropicaux.

## REFERENCES

- Agegnehu G., Srivastava A.K. and Birda M.I. 2017. The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Applied Soil Ecology* 119: 156 -170
- Amonmidé I., Fayalo G.D. et Dagbenonbakin G.D. 2020. Effet de la période et densité de semis sur la croissance et le rendement du cotonnier au Bénin. *J. Appl. Biosci.* 152: 15676 - 15697
- Archanjo B.S., Mendoza M.E., Albu M., Mitchell D.R.G., Hagemann N., Mayrhofer C., Mai T.L.A., Weng Z., Kappler A., Behrens S., Munroe P., Achete C.A., Donne S., Araujo J.R., Van Zwieten L., Horvat J., Enders A. and Joseph S. 2017. Nanoscale analyses of the surface structure and composition of biochars extracted from field trials or after co-composting using advanced analytical electron microscopy. *Geoderma* 294 : 70-79
- Bilal M.F., Saleem M.F., Wahid M.A., Saeed A. and Anjum S.A. 2015. Varietal comparison of Bt and non Bt cotton (*Gossypium hirsutum L.*)

- under different sowing dates and nitrogen rates. *Soil and Environment* 34(1): 34-43
- Blanchart E. et Trap J. 2020. Intensifier les fonctions écologiques du sol pour fournir durablement des services écosystémiques en agriculture. *Étude et Gestion des Sols* 27 : 121-134
- Bourgou L., Tarpaga W.V., Sidiki K. Diané S. et Sanfo D. 2020. Evaluation et sélection d'une variété de cotonnier (FK64, *Gossypium hirsutum* L.) au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14 (3) : 869-882
- Cheng C-H., Lehmann J., Mark H. and Engelhard M-H. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72: 1598-1610
- Cornelissen G., Pandit N.R., Taylor P., Pandit B.H., Sparrevik M. and Schmidt H.P. 2016. Emission and char quality of flame-curtain «Kon Tiki» kilns for farmer-sacle charcoal/biochar production. *PLoS One* 11: e0154617.
- Coumaravel K., Santhi R. and Maragatham S. 2015. Effect of biochar on yield and nutrient uptake by hybrid maize and on soil fertility. *Indian Journal of Agricultural Research* 49 (2) :185-188
- Dumas J.B.A. 1831. Procédés de l'analyse organique. *Annales de Chimie et de Physique* 247 : 198-213.
- Dumer W., Iden S.C. and Von Unold G. 2017. The integral suspension pressure method (ISP) for precise particle-size analysis by gravitational sedimentation. *Water Resour. Res.* 53: 33-48
- El-Naggar A., Lee S.S., Rinklebe J., Farooq M., Song H., Sarmah A.K., Zimmerman A.R., Ahmad M., Shaheen S.M. and Ok Y.S. 2019. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma* 337: 536-554
- FAO. 2020. A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes - GSOC-MRV Protocol. Rome, 105 p.
- Hagemann N., Kammann C. I., Schmidt H. P., Kappler A. and Behrens S. 2017. Nitrate capture and slow release in biochar amended compost and soil. *PLoS one* 12(2): e0171214.
- Hagemann N., Joseph S., Schmidt H.P., Kammann C.I., Harter J., Borch T., Young R.B., Varga K., Taherymoosavi S., Elliott K.W., McKenna A., Albu M., Mayrhofer C., Obst M., Conte P., Dieguez-Alonso A., Orsetti S., Subdiaga E., Behrens S. and Kappler A. 2017. Organic coating on biochar explains its nutrient retention and stimulation of soil fertility. *Nat. Commun.* 8(1), 11p.
- Hailegnaw NS., Mercl F., Praëke K., Száková J. and Tlustoš P. 2019. Mutual relationships of biochar and soil pH, CEC, and exchangeable base cations in a model laboratory experiment. *Journal of Soils and Sediments* 19: 2405–2416
- IUSS Working Group WRB. 2015. Base de référence mondiale pour les ressources en sols 2014. Mise à jour 2015. Système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques. Rapport sur les ressources en sols du monde N° 106. FAO. Rome, Italie, 203 p.
- Kameyama K., Yukiyoishi Iwata Y. and Miyamoto T. 2017. Review: Biochar Amendment of Soils According to their physicochemical properties. *JARQ* 51 (2): 117-127
- Kamran M.A., Jiang J., Li J.Y., Shi R.Y., Mehmood K., Abdulaha-Al Baquy M. and Xu R.K. 2018. Amelioration of soil acidity, Olsen-P, and phosphatase activity by manure- and peat-derived biochars in different acidic soils. *Arab. J. Geosci.* 11: 272.
- Khan N., Clark I., Sánchez-Monedero M.A., Shea S., Meier S., Qi F., Kookana R.S. and Bolan N. 2016. Physical and chemical properties of biochars co-composted with biowastes and incubated with a chicken litter compost. *Chemosphere* 142: 14-23.
- Kjeldahl J. 1883. New method for the determination of Nitrogen. *Chem. News* 48(1240): 101-102.
- Koulibaly B., Traoré O., Dakuo D. et Zombré P.N. 2009. Effets des amendements locaux sur les rendements, les indices de nutrition et les bilans culturaux dans un système de rotation coton-maïs dans l'ouest du Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 13 (1) : 103-111.
- Lakanen E. and Ervio R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soil. *Acta Agr. Fennica* 123: 223-232.
- Liu Q., Zhang Y., Liu B., Amonette J.E., Lin Z., Liu G., Ambus P. and Xie Z. 2018. How does biochar influence soil N cycle? A meta-analysis. *Plant and Soil* 426: 211-225.
- Major J., Rondon M., Molina D., Riha S.J. and Lehmann J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and soil*

- 333:117-128.
- Marshall C. L., Ronald B. S. and Christopher L. B. 2018. Crop response to biochar under differing irrigation levels in the southeastern USA, *Journal of Crop Improvement*, 32(3): 305-317.
- Martinsen V., Alling V., Nurida N.L., Mulder J., Hale S.E., Ritz C., Rutherford D.W., Heikens A., Breedveld G.D. and Cornelissen G. 2015. pH effects of the addition of three biochars to acidic Indonesian mineral soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 61:821-834.
- Mensah A.K., Frimpong K.A., 2018. Biochar and/or Compost Applications Improve Soil Properties, Growth, and Yield of Maize Grown in Acidic Rainforest and Coastal Savannah Soils in Ghana. *International Journal of Agronomy*: 1-8.
- Mia S., Dijkstra, F.A., Singh B., 2017. Long-Term Aging of Biochar: A Molecular Understanding with Agricultural and Environmental Implications. *Advances in Agronomy* 141: 1-51.
- Pallo F. J. et Thiombiano, L., 1989. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions du Burkina Faso : caractéristiques et contraintes pour l'utilisation agricole. *SOLTOP* 89: 307-327.
- Pandit N.R., Mulder J., Hale S.E., Zimmerman A.R., Pandi, B.H., Cornelissen, G., 2018. Multi-year double cropping biochar field trials in Nepal: Finding the optimal biochar dose through agronomic trials and cost-benefit analysis. *Science of the Total Environment* 637-638: 1333-1341.
- Partey S.T., Saito K., Preziosi R. F., Robson G.D., 2016. Biochar use in a legume-rice rotation system: effects on soil fertility and crop performance. *Archives of Agronomy and Soil Science* 62 (2):199-215.
- Purakayastha T.J., Bera T., Bhaduri D., Sakar B., Mandal S., Wade P., Kumari S., Biswas S., Menon M., Pathak, H., Tsang D.C.W., 2019. A review on biochar modulated soil condition improvements and nutrient dynamics concerning crop yields: pathways to climate change mitigation and global food security. *Chemosphere* 227: 345-365.
- Sánchez-Monedero M.A., Cayuela M.L., Sánchez-García M., Vandecasteele B., D'Hose T., Guadalupe López G., Martínez-Gaitán C., Kuikman P.J., Sinicco T. and Mondini C., 2019. Agronomic Evaluation of Biochar, Compost and Biochar-Blended Compost across Different Cropping Systems: Perspective from the European Project FERTIPLUS. *Agronomy* 9(5), 225.
- Sánchez-Monedero M. A., Cayuela M. L., Roig A., Jindo K., Mondini C., Bolan N. S., 2017. Role of biochar as an additive in organic waste composting. *Bioresource Technology* 247: 1155-1164.
- Shaaban M., Van Zwieten L., Bashir S., Younas A., Núñez-Delgado A., Chajro M.A., Kubar K.A., Ali U., Rana M.S., Mehmood M.A., Hu R., 2018. A concise review of biochar application to agricultural soils to improve soil conditions and fight pollution. *Journal of Environmental Management* 228: 429-440.
- Schulz H., Dunst G., Glaser B., 2014. No effect level of co-composted biochar on plant growth and soil properties in a greenhouse experiment. *Agronomy* 4: 34-51.
- Schulz H., Dunst G., Glaser B., 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agron. Sustain. Dev.* 33: 817-827.
- Sheng Y. et Zhu L., 2018. Biochar alters microbial community and carbon sequestration potential across different soil pH. *Sci. of the Total Environ.* 622: 1391-1399.
- Traoré M., Koulibaly B., Pousga S., Kambou A., Ouédraogo S., Coulibaly K., Nacro H. B. 2019. Variation of carbon and major nutrients contents in two types of soil under stone bunds management in cotton-based cropping systems in the Sudanese zone of Burkina Faso. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology* 4 (6): 1896-1904.
- Traoré A., Yaméogo L.P., Da I.A.N., Traoré K., Bazong, P., et Traoré O., 2020. Effet de la formule unique d'engrais 23-10-05 +3,6S+2,6Mg+0,3Zn sur le rendement du maïs Barka dans la zone Sud-soudanienne du Burkina Faso. *Afrique SCIENCE* 16(1) : 260-270.
- Useni S.Y., Chukiyabo K.M., Tshomba K.J., Muyambo M.E., Kapalanga K.P., Ntumba N.F., Kasangi K.P., Kyungu K., Baboy L.L., Nyembo K.L. et Mpundu M. M., 2013. Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (*Zea mays* L.) sur un ferralisol du sud-est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences* 66: 5070 - 5081.
- Wisnubroto E, Utomo U., Soelistyari H., 2017. Biochar as a carrier for nitrogen plant nutrition the release of nitrogen from biochar enriched with ammonium sulfate and nitrate acid. *International Journal of Applied Engineering and Research* 12 (6):1035-1042.
- Yemefack M., Nounamo L., Njomgang R. et Bilong

- P., 2004. Influence des pratiques agricoles sur la teneur en argile et autres propriétés agronomiques d'un sol ferrallitique au sud du Cameroun. *Tropicultura* 22 (1) : 3-10.
- Zhang D, Yan M., Niu Y., Liu X., Van Zwieten L., Chen D., Bian, R., Cheng K., Li L. and S Joseph, S., 2016. «Is current biochar research addressing global soil constraints for sustainable agriculture?» *Agriculture, ecosystems & environment*, 226:25-32.
- Zhao R., Coles N., Wu, J., 2015. Carbon mineralization following additions of fresh and aged biochar to an infertile soil. *Catena* 125:183-189.