

Optimisation de la qualité des composts : quel apport agronomique et économique du biochar de balles de riz ?

Bapèné Marc SOME^{1,2*}, Drissa CISSE^{2,3}, Kalifa COULIBALY^{2,4}

Titre courant : Intérêts agronomique et économique du biochar dans le compostage

Résumé

L'optimisation de la qualité des composts constitue l'une des solutions pour accroître l'utilisation des amendements organiques et améliorer la fertilité des sols des agrosystèmes. L'objectif de cette étude était de déterminer les effets du biochar de balles de riz sur les rendements de production, les cumuls d'eau utilisée pour le compostage et les caractéristiques chimiques des composts à maturité. Pour cela, un essai de compostage a été mis en place dans la commune rurale de Bama à l'Ouest du Burkina Faso. Le dispositif était un bloc comportant quatre traitements répétés trois fois sans randomisation : Pcom = pailles de riz (75%) + fumier d'étable (25%) + phosphate naturel (2% de l'ensemble) ; PcomFL = pailles de riz (50%) + résidus de fruits et légumes (25%) + fumier d'étable (25%) + phosphate naturel (2% de l'ensemble) ; PcomBio = Pcom + biochar (20% de matière organique) et PcomFLBio = PcomFL + biochar (20% de matière organique). Globalement, le PcomBio et le PcomFLBio ont significativement augmenté les quantités de matière organique ($P < 0,001$), d'azote ($P < 0,001$), de phosphore ($P = 0,03$) et du potassium ($P < 0,001$) par rapport au Pcom. Ces traitements ont enregistré les rendements les plus élevés (63,44% et 65,97%, respectivement pour le PcomBio et PcomFLBio) et les coûts de production les plus faibles. L'incorporation du biochar dans la chaîne de valorisation des résidus organiques en composts présente des intérêts agronomiques et économiques intéressants.

¹ Centre National de Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Institut de l'Environnement et de Recherche Agricoles (INERA), Ouagadougou 01 BP 476, Burkina Faso

² Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité de sol et les Systèmes de Production (LERF-SP)/Université Nazi BONI Bobo-Dioulasso BP 1091 Burkina Faso

³ Centre Universitaire de Gaoua

⁴ Institut du Développement Rural

* **Auteur correspondant :** Bapèné Marc SOME , bapenemarcsome70@gmail.com
ORCID: 0009-0008-3161-4722, <https://orcid.org/0009-0008-3161-4722>

Mots clés : résidus de fruits et légumes, compostage, fertilisants organiques, rendement, Burkina Faso.

Compost quality optimizing: what is the agronomic and economic value of rice husk biochar?

Abstract

Optimizing organic manure quality is one of the key strategies to increase the use of organic amendments and improve soil fertility in agroecosystems. This study aimed to determine the effects of rice husk biochar on compost production yields, total water use during composting, and the chemical characteristics of mature composts. A field experiment was carried out in the rural commune of Bama, in western Burkina Faso. The experimental setup consisted of a block with four treatments, each repeated three times without randomization: Pcom = 75% rice straw + 25% cattle manure + 2% rock phosphate; PcomFL = 75% biomass composed of rice straw (2/3) and fruit and vegetable residues (1/3) + 25% cattle manure + 2% rock phosphate; PcomBio = Pcom + 20% biochar; PcomFLBio = PcomFL + 20% biochar. Overall, PcomBio and PcomFLBio significantly increased the levels of organic matter ($P < 0.001$), nitrogen ($P < 0.001$), phosphorus ($P = 0.03$), and potassium ($P < 0.001$) compared to Pcom. These treatments also achieved the highest production yields (63.44% and 65.97%, respectively, for PcomBio and PcomFLBio) and the lowest production costs. Incorporating biochar into the organic waste composting process offers promising agronomic and economic benefits.

Keywords: Fruit and vegetable residues, composting, organic fertilizers, yield, Burkina Faso

Introduction

L'épandage des amendements organiques permettent d'améliorer le taux de matière organique des sols, favorisant ainsi l'amélioration de leur structure, de leur capacité à retenir l'eau et les nutriments (BACYÉ *et al.*, 2021; DUGUÉ *et al.*, 2024). Parmi la diversité d'amendements, il y a le compost qui a été promu par les travaux de recherche (BLANCHARD *et al.*, 2017). Le compost est défini comme étant un amendement organique issu du processus de compostage et destiné à être incorporé dans le sol (Francou, 2003). Le compost est obtenu par une diversité de techniques de compostage des résidus organiques. Bien que les amendements organiques présentent des avantages agronomiques (CISSÉ *et al.*, 2021; SANON *et al.*, 2021), leurs performances dépendent des substrats organiques utilisés pour leur production (Francou, 2003 ; Compaoré et Nanéma, 2010). La qualité des composts a progressivement été améliorée, par l'enrichissement avec des sources locales de fertilisation dont les phosphates naturels

(COMPAORÉ et NANÉMA, 2010 ; LOMPO *et al.*, 2018). Par ailleurs, leur production en quantité importante demeure problématique au regard des contraintes économiques liées à leur production (SANOU *et al.*, 2016) et de la compétition autour de l'utilisation des résidus de cultures (DUGUÉ *et al.*, 2024). La rareté de la ressource en eau est l'une des contraintes limitant la production des composts en milieu rural.

Pour optimiser la production des amendements organiques au Burkina Faso, la valorisation d'une diversité de substrats organiques locaux demeure une alternative viable. Les substrats locaux, tels que les résidus de fruits et légumes, sont générés quotidiennement dans les centres urbains du pays (BAGUIGNAN *et al.*, 2021; SAMANDOULOGOU, 2024). Ces résidus génèrent au cours de leur décomposition à l'air libre, des gaz à effet de serre et contribuent à la pollution de l'air et des eaux (SAMANDOULOGOU, 2024). Leur compostage, bien que difficile au regard de leur forte teneur en eau (GORIUS et SIRJEAN, 2012), présente une opportunité pour valoriser cette masse importante d'eau qu'ils contiennent et réduire la contrainte liée à la disponibilité de l'eau pour le compostage.

Des travaux récents ont préconisé le biochar comme étant un substrat adéquat pour améliorer le compostage des résidus organiques (CISSE, 2022). Le biochar est défini comme étant un produit organique poreux riche en carbone et issu de la pyrolyse de déchets agricoles et animaux sous apport limité d'oxygène (CORNELISSEN *et al.*, 2016). De nombreuses études ont révélé que le biochar présente des propriétés spécifiques liées à sa structure poreuse et ses charges sur ses parois (ARCHANJO *et al.*, 2017; SÁNCHEZ-MONEDERO *et al.*, 2018) ainsi qu'à sa récalcitrance face aux agents décomposeurs à court terme (ALLAIRE *et al.*, 2015; FISCHER *et al.*, 2018; MUNDA *et al.*, 2018).

Au regard des différentes initiatives de production du riz au Burkina Faso, des quantités significatives de balles de riz pourraient être générées. Celles-ci peuvent être converties en biochar (LOMPO *et al.*, 2021). Au vu des caractéristiques dédiées au biochar, cette étude formule l'hypothèse selon laquelle, l'adjonction du biochar de balles de riz dans le processus de compostage augmente le rendement de production des composts et améliore leur qualité tout en réduisant leurs coûts de production. L'objectif de cette étude était d'évaluer les effets du biochar de balles de riz sur i) les caractéristiques chimiques des composts à maturité, ii) les rendements et les coûts de production de phospho-composts et iii) les cumuls d'eau utilisée pour le compostage.

I. Matériel et méthodes

I.1. Description du site d'étude

L'étude a été conduite à Bama, l'une des 33 communes rurales de la province du Houet à l'Ouest du Burkina Faso. Elle est située entre la longitude 04°25'37'' Ouest et la latitude 11°23'48'' Nord. Cette commune appartient au climat du type sud soudanien caractérisé par une alternance entre une saison sèche de sept mois et une saison humide de cinq mois (FONTES et GUINKO, 1995). La pluviosité moyenne annuelle des dix dernières années (2015-2024) est comprise entre 780 et 1300 mm par an (données de la Station météorologique de Bama/ANAM, 2024). En saison sèche, la température minimale est de 17°C et la maximale de 37°C alors qu'en saison humide elles sont de 20°C et 32°C, respectivement. L'évapotranspiration est très variable et elle est de 8,7 mm/jour entre janvier et mars, de 3,7 mm/jour entre juillet et septembre et 3,96 mm/jour entre octobre et décembre an (données de la Station météorologique de Bama/ANAM, 2024).

I.2. Matériel expérimental

Les pailles de riz et les résidus de fruits et légumes constituent les substrats organiques de base utilisés pour la production des phosphocomposts. Les pailles de riz ont été prélevées dans les parcelles de production de la plaine irriguée de la Vallée du Kou à Bama tandis que les résidus de fruits et légumes ont été collectés dans le marché de fruits et légumes du secteur 21 de la commune de Bobo-Dioulasso. Les résidus frais bruts de fruits et légumes étaient composés d'un mélange de 44,40 % de matières sèches (MS) de résidus de choux, 41,87 % de MS de résidus de mangues, de 5,90 % de MS de résidus d'oignons, 2,28 % de MS de résidus d'ananas, de 1,38% de MS de résidus de tomates, de 1,35 % de MS de résidus de melons et d'environ 1% de MS de résidus d'oranges, de piments, d'avocat, de courgettes et de concombres. Au moment du ramassage de ces résidus, en mai 2023, les mangues étaient les fruits le plus dominants et le chou, le légume le plus dominant dans les marchés.

Le fumier a été collecté dans l'étable de la station de l'Institut du Développement Rural à Bama. Le biochar utilisé a été produit à partir de balles de riz à une température variant entre 200 et 400 °C pendant 8 heures à l'aide du pyrolyseur Top-lit updraft (TLUD) en présence

d'une faible quantité d'oxygène. Le phosphate naturel (PN) utilisé contient 25 % de P₂O₅ et provient de la mine de Kodjari à l'Est du Burkina Faso.

Les caractéristiques chimiques des substrats organiques utilisés sont consignées dans le tableau I. Le pH des substrats utilisés a varié de 6,55 (biochar de balles de riz) à 8,26 (pailles de riz) et le carbone de 30,98 % (fumier d'étable) à 46,71 % (pailles de riz). Les résidus de fruits et légumes et le fumier d'étable avaient des teneurs numériquement plus élevées en azote, phosphore et potassium comparé à celles du biochar de balles de riz qui ont enregistré les plus faibles valeurs.

Tableau I : caractéristiques chimiques des substrats organiques utilisés

Matériaux	pHeau	C-org. (%)	N-total (%)	C/N	P_total (g.kg ⁻¹ MS)	K_total (g.kg ⁻¹ MS)
PR	8,26	46,7	0,82	57	2,57	10,7
RFL	7,17	43,4	1,87	23	4,29	11,3
F	8,06	30,9	1,50	21	5,31	18,3
B	6,55	38,5	0,62	62	2,73	6,05

Légende : PR : Pailles de riz ; B : Biochar de balles de riz ; F : Fumier d'étable ; RFL : Résidus de fruits et légumes ; C-org. : carbone organique ; N : azote ; C/N : rapport Carbone sur azote ; P : phosphore et K : potassium

1.3. Méthode de compostage

La composition massique et les types de matériaux ont varié selon les types de phospho-composts formulés (tableau II). Le phosphate naturel (PN) a été incorporé dans toutes les formulations ; d'où l'appellation « phospho-compost » des composts produits. Les quantités relatives de matière organique (MO), d'azote total (N), phosphore total (P) et potassium total (K) des différents phospho-composts à la mise en place des tas (tableau III) ont été calculées en faisant la somme des quantités de chaque élément apporté par les différents matériaux qui composent le mélange de chaque traitement.

Tableau II : Composition massique des traitements comparés

Traitements	PR (% de MS)	RFL (% de MS)	Fumiers (% de MS)	Total MOA (%)	Biochar (% de MS de MOA)	PN (% de MS de MOA)
Pcom	75	-	25	100	-	2
PcomFL	50	25	25	100	-	2
PcomBio	75	-	25	100	20	2
PcomFLBio	50	25	25	100	20	2

Légende : PR : pailles de riz ; RFL : résidus de fruits et légumes ; PN : phosphate naturel ; MS : matière sèche ; PcomFL : phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes ; PcomBio : phospho-compost de pailles de riz enrichi au biochar ; PcomFLBio : phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes enrichi au biochar.

Le phosphate naturel est apporté à 2% de la quantité totale en matière organique (FAO, 2005). Quant au biochar, il est incorporé à 20 % de la quantité totale de matière organique active (MOA).

Tableau III : Quantités totales de matière organique, d'azote, phosphore et potassium totaux des traitements à la mise en place

Traitements	MO (kg)	N (kg)	P (kg)	K (kg)
Pcom	134	1,98	0,65	2,52
PcomFL	144	2,51	0,74	2,55
PcomBio	180	2,29	0,79	2,83
PcomFLBio	177	2,82	0,87	2,86

Légende : MO : matière organique ; N : azote total ; P : phosphore total ; K : potassium total ; Pcom : phospho-compost de pailles de riz ; PcomFL : phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes ; PcomBio : phospho-compost de pailles de riz enrichi au biochar ; PcomFLBio : phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes enrichi au biochar.

Dispositif expérimental

La technique de compostage aérobie en tas fut adoptée pour l'expérimentation. Le compostage en tas est un processus qui consiste à décomposer les résidus organiques disposés en tas en présence d'oxygène de l'air. Les tas de capacité 3,375 m³ (longueur 1,5 m, largeur 1,5 m et hauteur 1,5 m) ont été disposés suivant un dispositif en

blocs dans un milieu ombragé. Chaque bloc regroupait les trois répétitions d'un même traitement afin d'éviter les contaminations entre les traitements pendant les opérations de retournements des tas. Les retournements ont été effectués manuellement chaque 15 jours. Les blocs étaient séparés entre eux par un écartement de 2 m et les tas y ont été séparés par un écartement de 1,5 m (figure 1). Pour chaque tas, un point d'encrage d'environ 15 cm a été excavé et le fond recouvert de feuilles fraîches de neem avant que les matériaux de compostage ne soient disposés en quatre couches. Les feuilles de neem ont été utilisées pour séparer le tas de compost à la terre. Dans chaque couche, 1 kg de PN a été dilué dans l'eau d'arrosage. Les écarts entre les blocs ont servi pour l'emplacement des tas pendant les retournements comme l'indique la figure 1 ci-contre.

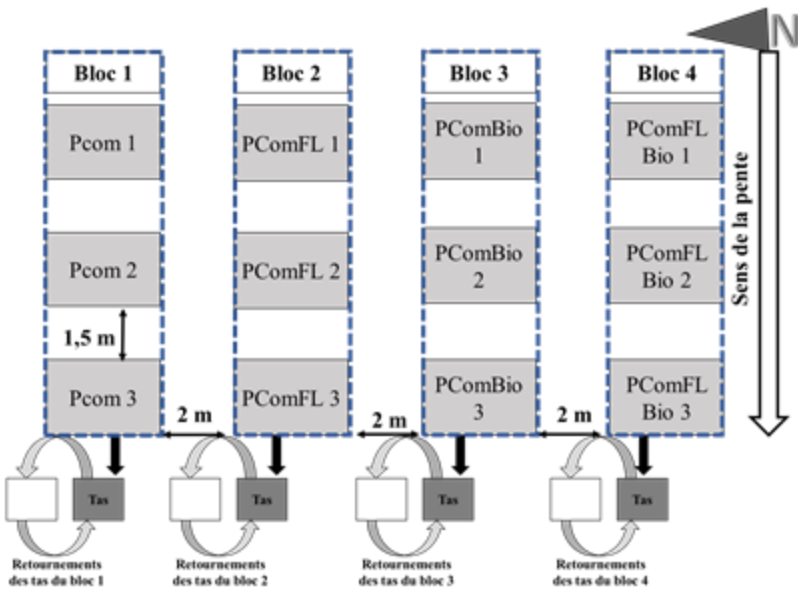


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental de compostage

I.4. Collecte des données

Evaluation des cumuls d'eau utilisée et du rendement de production

Pour l'évaluation des quantités d'eau utilisées, un seau de 16 L a servi à la mesure de l'eau utilisée pendant la mise en place et les retournements des tas. Après avoir rempli le seau, l'eau est renversée

dans un arrosoir pour être aspergée à l'ensemble du tas, couche après couche pendant la mise en place. Il en est de même pendant les retournements.

Les cumuls d'eau ont été calculés en faisant la somme des quantités d'eau utilisée de la mise en place des tas de phospho-composts jusqu'au dernier retournement. Au total, quatre retournements ont été opérés.

Pour ce qui concerne le rendement de production des phospho-composts, les quantités de substrats organiques utilisés ont été mesurées pendant la mise en place des tas pour chaque traitement. A la maturité, observée au 80^{ème} jour après la mise en place des tas (JAMP), la masse de composts de chaque tas a été pesée. Ensuite, un échantillon de 100 g a été prélevé dans chaque tas puis séché au laboratoire à 75°C pendant 72 heures pour déterminer le poids de matière sèche. Le rendement a été calculé à travers la formule suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{\text{Poids de matière sèche de composts en maturité (kg)} \times 100}{\text{Poids total en matières sèches de matériaux utilisés (kg)}}$$

Détermination du pH et des teneurs en carbone organique et en élément totaux (NPK)

Des échantillons de composts ont été prélevés dans les différents tas de phospho-composts de façon aléatoire, séchés à l'ombre puis broyés pour des analyses au laboratoire. La méthode de KJELDAHL décrite par Hillebrand *et al.* (1953) a été utilisée pour la détermination de l'azote total par la voie de minéralisation. La méthode colorimétrique décrite par Anderson et Ingram (1993) a été utilisée pour déterminer les teneurs en phosphore total tandis que la méthode au spectrophotomètre à flamme a servi à la détermination des teneurs en potassium total. La matière organique totale a été déterminée par la méthode de calcination à 550°C dans un four électrique pendant 8 heures selon la méthode décrite par Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (2000). Le pH-H₂O des phospho-composts a été déterminé par la méthode de l'Association Française de Normalisation (AFNOR) (1981).

Les quantités totales de la matière organique et des éléments totaux des phospho-composts ont été calculées à travers la formule suivante :

$$\text{Quantité totale de } x \text{ (kg)} \\ = \frac{\text{PMS de composts en maturité (kg)} \times \text{Teneur de } x \text{ (g/kg)}}{1000}$$

x : élément considéré (matière organique, azote total, phosphore total ou potassium total) ; PMS : poids de matière sèche du phospho-composts considéré.

Détermination du coût de production d'une tonne de phospho-compost

Le tableau IV indique les coûts d'un kilogramme de chaque matériau mobilisé pour la production des phospho-composts. Le coût de 1 kg de biochar a été évalué en prenant en compte le coût d'achat de balles de riz et la main d'œuvre nécessaire pour la production d'un kg de biochar avec l'utilisation du four TLUD en raison de 191,19 FCFA (Coût HJ appliqué par l'INERA). Le coût de l'eau a été évalué en prenant en compte le coût d'une barrique d'eau à Bama (300 FCFA) où l'essai a été mis en place. Le coût du phosphate naturel est celui subventionné par l'Etat burkinabé. Quant aux autres prix, ils ont été évalués sur la base du coût de collecte et de transport depuis leurs lieux de production jusqu'au site de compostage. Pour la mise en place et les retournements des tas de composts, la main-d'œuvre a été rémunérée en raison de 191,19 FCFA pour 1 homme jour (HJ).

Tableau IV : Coût unitaire des matériaux de compostage

Matériau	Coût de 1 kg (FCFA)
Biochar	83,33
Résidus de fruits et légumes	25,07
Pailles de riz	21,43
Phosphates naturels	90
Fumier	12,14
Eau	0,70

Le coût d'une tonne de phospho-compost a été calculé à travers la formule suivante :

$$\text{Coût de 1 tonne de } t \text{ (FCFA)} = \frac{\text{Total des charges de production de } t \text{ (FCFA)} \times 1000}{\text{Poids en matière sèche de } t \text{ produit (kg)}} ;$$

avec t : type de phospho-compost

I.5. Analyse statistique

Le tableur Excel a été utilisé pour la saisie des données et le logiciel R version 4.4.3 pour les analyses statistiques. La normalité des données a été vérifiée à travers le Shapiro test puis une analyse de variance a été effectuée pour les paramètres dont les données ont suivi une distribution normale et le test de FISCHER a permis de faire la séparation des moyennes au seuil de 5 %. Le test de Kruskal-Walis a été utilisé pour les paramètres dont les données ne suivaient pas la distribution normale.

II. Résultats

II.1. Variation des cumuls d'eau des tas de phospho-composts.

La figure 2 montre que les cumuls d'eau utilisée pour la production des phospho-composts ont significativement ($P = 0,018$) varié entre 766,08 L (PcomFL) et 1048,83 L (PcomBio). Statistiquement, les cumuls d'eau obtenus avec le PcomFL et PcomFLBio sont identiques à ceux de PcomFL mais inférieurs à ceux de Pcom et de PcomBio. L'ajout de biochar n'a pas eu d'effets significatifs sur les cumuls d'eau utilisée pour la production des phospho-composts.

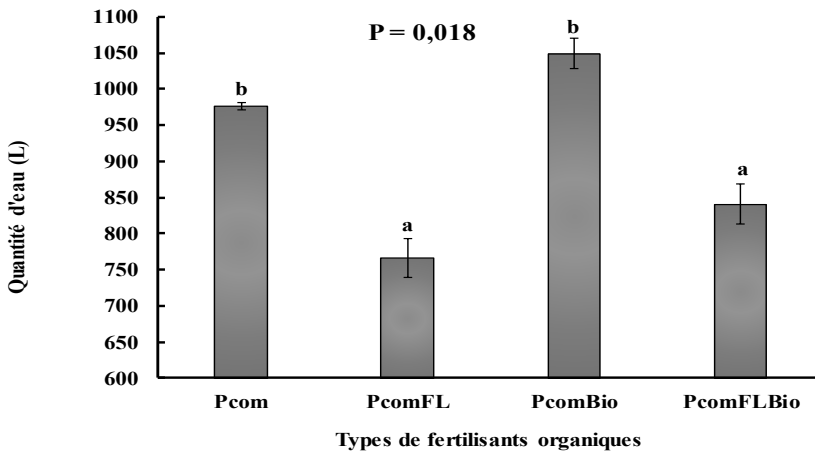


Figure 2 : variation des cumuls d'eau utilisée pour la production des phospho-composts

Légende : P : P-value ; L : litre ; Pcom : phospho-compost de pailles de riz ; PcomFL : phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes ; PcomBio : phospho-compost de pailles de riz enrichi au biochar ; PcomFLBio : phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes enrichi au biochar. Les bâtons de l'histogramme ayant la même lettre sont statistiquement identiques.

II.2. Effets du biochar de balles de riz sur le poids en matière sèche de phospho-composts et les rendements de production

Le tableau V montre que le PcomFLBio a enregistré le poids de matière sèche (164,92 kg de MS) et le rendement de production (65,97 %) les plus élevés tandis que les plus faibles ont été obtenus avec le PcomFL (116,51 kg de MS et 57,80 %). De façon générale, l'ajout du biochar a significativement augmenté le poids ($P < 0,001$) et le rendement ($P = 0,025$) de production des phospho-composts à maturité.

Tableau V : Variation du poids de matière sèche et du rendement de production de phospho-composts

Traitements	Poids de SO au J0 (kg de MS)	Poids de phospho- composts à maturité (kg de MS)	Rendement (%)
Pcom	200	116,51 ^a ± 1,20	58,25 ^a ± 0,60
PcomFL	200	115,60 ^a ± 2,25	57,80 ^a ± 1,12
PcomBio	250	158,61 ^b ± 6,82	63,44 ^b ± 2,73
PcomFLBio	250	164,92 ^b ± 4,17	65,97 ^b ± 1,67
Pr(>F)	-	< 0,001	0,025
Significativité	-	***	*

Légende : * : significatif ; *** : Très hautement significatif ; SO : Substrat Organique ; P : P-value ; Pcom : phospho-compost de pailles de riz ; PcomFL : phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes ; PcomBio : phospho-compost de pailles de riz enrichi au biochar ; PcomFLBio : phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes enrichi au biochar. Les chiffres d'une même colonne ayant la même lettre sont statistiquement identiques.

II.3. Variations des coûts de production des phospho-composts

Les coûts de production d'une tonne de phospho-composts ont significativement ($P < 0,001$) varié entre les types de phospho-composts (tableau VI). Les coûts de production du PcomFL (220 147 FCFA) sont significativement plus élevés comparés à ceux de PcomBio (157 126 FCFA). L'ajout de biochar a permis une réduction des coûts de 17 066 FCFA pour les phospho-composts à base de pailles de riz, et de 38 794

FCFA pour ceux à base de pailles de riz combinées aux résidus de fruits et légumes.

Tableau VI : variation des coûts de production d'une tonne de phospho-compost

Traitements	Coût de 1 tonne (FCFA)
Pcom	175 066 ^{ab} ± 1799
PcomFL	220 147 ^c ± 4636
PcomBio	157 126 ^a ± 6764
PcomFLBio	181 353 ^b ± 4831
Pr(>F)	< 0,001
Significativité	***

Légende : *** : Très Hautement Significatif ; Pcom : phospho-compost de pailles de riz ; PcomFL : phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes ; PcomBio : phospho-compost de pailles de riz enrichi au biochar ; PcomFLBio : phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes enrichi au biochar. Les chiffres pour une même colonne ayant les mêmes lettres sont statistiquement identiques.

II.4. Effets du biochar de balles de riz sur les quantités totales de matière organique, d'azote, de phosphore et du potassium totaux des phospho-composts à maturité

La figure 3a montre que les quantités totales les plus élevées ($P < 0,001$) de MO des phospho-composts à maturité ont été enregistrées au niveau de PcomBio (86,11 kg) et PcomFLBio (89,45 kg) tandis que les plus faibles ont été obtenues avec le Pcom (51,73 kg). Toutefois ces quantités sont inférieures à celle de la situation de départ quel que soit le type de phospho compost. Les taux de baisses ont varié de 61,35 %, 59,87 %, 52,23 % et 49,59 %, respectivement pour le Pcom, le PcomFL, PcomBio et PcomFLBio.

Les quantités d'azote total (N) significativement plus élevées ($P < 0,001$) ont été enregistrées au niveau de PcomFLBio (3,45 kg). Les plus faibles ont été obtenues avec le Pcom (1,55 kg) (figure 3b). Par rapport aux quantités initiales de N, le PcomBio et le PcomFLBio à maturité (J80) ont enregistré des augmentations de l'ordre de 25,76 % et 22,56 %, respectivement. Par contre, des baisses de quantités de N ont été enregistrées avec les phospho-composts sans biochar à maturité (Pcom et PcomFL). Cette baisse est de l'ordre de 21,71 % et 16,97 % respectivement pour le Pcom et le PcomFL.

S'agissant du P, les quantités statistiquement plus élevées ($P = 0,03$) ont été enregistrées au niveau du PcomFLBio (0,90 kg) tandis que les plus faibles quantités ont été obtenues avec le PcomFL (0,79 kg) (figure 3c). Par rapport aux quantités initiales de P, on note une augmentation de l'ordre de 27,48 %, 7,19 %, 10,48 % et 3,05 %, respectivement pour le Pcom, le PcomFL, le PcomBio et le PcomFLBio à maturité (J80).

Pour ce qui concerne le potassium total, les quantités statistiquement plus élevées ($P < 0,001$) ont été enregistrées au niveau de PcomBio (3,05 kg) et PcomFLBio (3,01 kg) à maturité (Figure 3d). Les plus faibles ont été obtenues avec le PcomFL (2,08 kg). Comparées aux quantités initiales de K, celles de Pcom et PcomFL à maturité (J80) ont connu une baisse de l'ordre de 11,66 % et 18,53 % (respectivement). Par ailleurs, une légère hausse a été observée avec le PcomBio (7,91 %) et le PcomFLBio (5,41 %).

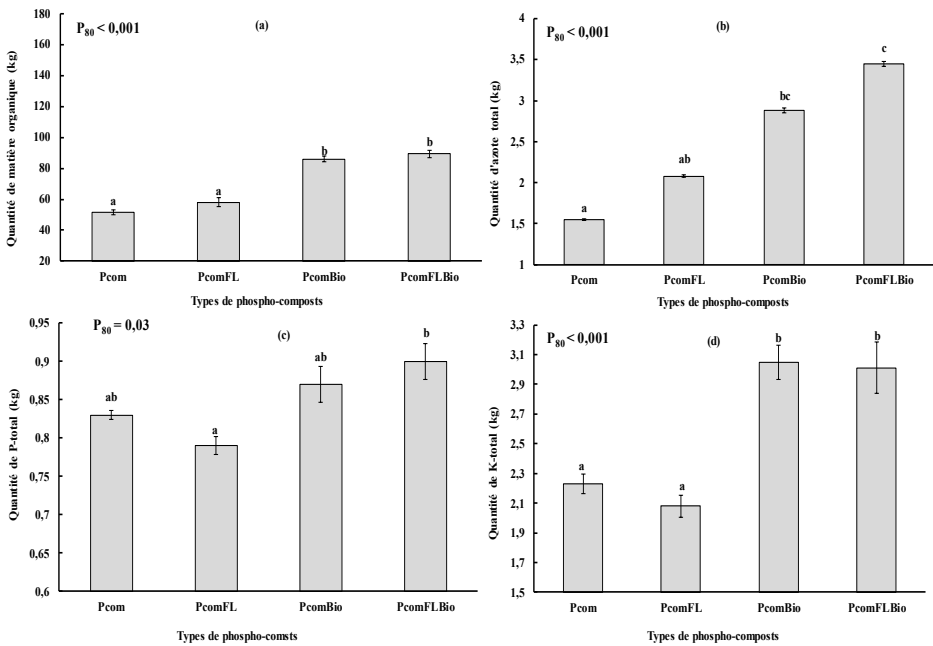


Figure 3 : Variation des quantités totales relatives de matière organique (a) d'azote total (b), du phosphore total (c) et du potassium total (d) des phospho-composts à maturité

Légende : P : P-value ; J0 : jour de la mise en place des tas ; J80 : fin du processus de compostage à 80 jours après la mise en place des tas (maturité) ; Pcom : phospho-compost de pailles de riz ; PcomFL : phospho-compost de pailles de riz et résidus de

fruits et légumes ; PcomBio : phospho-compost de pailles de riz enrichi au biochar ; PcomFLBio : phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes enrichi au biochar. Les bâtons pour un même histogramme ayant la même lettre sont statistiquement identiques.

II.5. Effets du biochar de balles de riz sur le pH-eau et le rapport C/N des phospho-composts en maturité

Le tableau VII présente les résultats sur le pH-eau et le rapport C/N des différents phospho-composts en maturité. La valeur moyenne du C/N la plus élevée ($P = 0,01$) a été obtenue avec le phospho-composts à base de pailles de riz (Pcom). Cependant, la plus faible a été notée avec le phospho-compost à base paille de riz et résidus de fruits et légumes enrichis au biochar (PcomFLBio). Il ressort de ce tableau que l'ajout du biochar de balles de riz (PcomBio et PcomFLBio) n'a pas eu d'effet significatif sur le pH-H₂O ($P = 0,06$).

Tableau VII : Variation du pH-H₂O et du rapport C/N

FO	pH-H ₂ O	C/N
Pcom	8,51 ± 0,03	19 ^b ± 0,36
PcomFL	8,07 ± 0,07	16 ^a ± 0,18
PcomBio	8,29 ± 0,19	17 ^{ab} ± 0,73
PcomFLBio	8,10 ± 0,01	15 ^a ± 0,88
Pr(>F)	0,06	0,01
Significativité	NS	*

Légende : * : Significatif ; NS : non significatif ; Pcom : phospho-compost de pailles de riz ; PcomFL : phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes ; PcomBio : phospho-compost de pailles de riz enrichi au biochar ; PcomFLBio : phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes enrichi au biochar. Les chiffres pour une même colonne ayant la même lettre sont statistiquement identiques.

III. Discussion

III.1. Variations des cumuls de quantités d'eau, des rendements et des coûts de production des phospho-composts

Les résultats ont montré que l'incorporation des résidus de fruit et légumes (PcomFL et PcomFLBio) réduit significativement les quantités d'eau utilisée pour le compostage des résidus organiques. Ces résultats sont imputables à la nature des substrats organiques notamment à leur taux d'humidité pendant la mise en place des tas de compost. En effet, les résidus de fruits et légumes, au regard de leur forte teneur en eau (GORIUS et SIRJEAN, 2012), auraient libéré plus d'eau dans les tas au cours de leur décomposition par rapport aux pailles de riz exclusives. L'ajout du biochar de balles de riz n'a eu aucun effet significatif sur les cumuls d'eau utilisée pour la production des phospho-composts. Au regard de ce résultat, recycler les résidus de fruits et légumes par le procédé de compostage résout simultanément la problématique de gestion des déchets urbains et de celle des quantités d'eau à mobiliser pour le compostage des résidus de cultures.

Les rendements et les poids en matières sèches des phospho-composts enrichis au biochar de balles de riz ont été significativement plus élevés par rapport à ceux des phospho-composts sans biochar. En effet, l'ajout du biochar a contribué à augmenter la masse de substrats soumise à la décomposition. Aussi, le biochar est difficilement décomposable à court terme par les microorganismes du fait de la récalcitrance des composés carbonés qu'il contient (ALLAIRE *et al.*, 2015; MUNDA *et al.*, 2018). De ce fait, les tas dans lesquels il est incorporé auraient moins perdu leur masse au cours du compostage par rapport à ceux sans le biochar. Cette faible diminution augmente la masse de compost à maturité, et par conséquent le rendement de production des composts. L'ajout du biochar dans le procédé de compostage constituerait une opportunité pour les producteurs tendant à augmenter les quantités produites de composts pour la commercialisation.

Les résultats ont également montré que le PcomFL, ayant le plus faible rendement, a enregistré les coûts de production significativement plus élevés. Les plus faibles coûts de production sont obtenus avec le PcomBio. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'en augmentant le poids de phospho-composts avec l'ajout du biochar, cela engendre une quantité supplémentaire de compost ; ce qui n'est pas le cas pour les phospho-composts sans biochar. Cette augmentation aura tendance à

diminuer le rapport Coût/Quantité de composts ; d'où la réduction des coûts de production engendrée par l'ajout du biochar. La conséquence de l'augmentation de la quantité de composts est l'amélioration des revenus permettant de couvrir l'investissement qui a été fait pour la mobilisation des substrats de départ. Ce qui pourrait constituer une alternative économiquement viable pour les producteurs en général et les unités de production de composts en particulier.

III.2. Effets du biochar sur les paramètres chimiques des phospho-composts

Les phospho-composts enrichis au biochar de balles de riz (PcomBio et PcomFLBio) ont enregistré des quantités de MO significativement plus élevées par rapport aux phospho-composts sans biochar (Pcom et PcomFL). Ce résultat est lié au biochar qui, en plus d'être une source supplémentaire de MO, fournit surtout du carbone récalcitrant difficilement attaquant par les microorganismes à court terme (NAISSE, 2014 ; ALLAIRE *et al.*, 2015 ; MUNDA *et al.*, 2018) ; ce qui stabilise les composés carbonés au cours du compostage (FISCHER *et al.*, 2018). Nos résultats sont en adéquation avec ceux de ABBAN-BAIDOO *et al.* (2024) qui ont notifié que l'ajout du biochar au processus de compostage réduit les pertes de carbone organique et par conséquent celles de la MO. Ces caractéristiques du biochar permettent également d'expliquer le fait que les phospho-composts au biochar ont enregistré les faibles taux de pertes de MO par rapport à ceux sans le biochar.

Les résultats ont montré que l'ajout du biochar de balles de riz pendant le compostage a significativement augmenté les quantités d'éléments totaux tels que l'azote, le phosphore et le potassium des phospho-composts à maturité. En effet, le biochar de balles de riz, ayant des caractéristiques conformes aux normes internationales (LOMPO *et al.*, 2021), aurait favorisé une meilleure rétention des nutriments libérés au cours du compostage. Son rôle de régulation et de protection des éléments chimiques libérés pendant le processus de compostage est révélé par plusieurs travaux (SCHULZ et GLASER, 2012 ; SCHULZ *et al.*, 2013). Ce qui permet de réduire les pertes de nutriments par volatilisation ou par lessivage (KAMMANN *et al.*, 2015 ; LÓPEZ-CANO *et al.*, 2016 ; HAGEMANN *et al.*, 2017) ; d'où l'augmentation des quantités d'azote, de phosphore et du potassium dans les phospho-

composts enrichis au biochar (PcomBio et PcomFLBio). L'amélioration significative des quantités d'éléments totaux serait également liée aux charges spécifiques du biochar (ARCHANJO *et al.*, 2017), notamment à sa forte capacité d'échange cationique, permettant une interaction avec les principaux cycles de nutriments (SCHMIDT *et al.*, 2014 ; SÁNCHEZ-MONEDERO *et al.*, 2018). Ces caractéristiques permettent au biochar de piéger et adsorber dans ses parois les nutriments dissous (ARCHANJO *et al.*, 2017 ; DAS *et al.*, 2021) améliorant la valeur fertilisante des phospho-composts qui en sont enrichis (CISSÉ *et al.*, 2022).

L'azote libéré serait retenu dans les parois du biochar limitant ainsi ses pertes au cours du processus de compostage (ARCHANJO *et al.*, 2017 ; DAS *et al.*, 2021) par rapport aux phospho-composts sans biochar. Ce qui pourrait également expliquer les rapports C/N plus faibles observés avec les traitements au biochar.

Au regard des résultats obtenus, les résidus de fruits et légumes auraient libérés une quantité importante de nutriments au cours de leur décomposition ; d'où les quantités d'éléments totaux, notamment celles d'azote et du phosphore significativement plus élevées au niveau de PcomFLBio. Le recyclage des résidus de fruits et légumes par co-compostage avec le biochar serait alors une opportunité pour améliorer la valeur fertilisante des amendements organiques.

Conclusion

Aux termes de cette étude, les résultats ont montré que l'ajout des résidus de fruits et légumes réduit l'apport d'eau par rapport aux pailles de riz exclusives ; ce qui présente un intérêt pour les producteurs face à la contrainte d'eau liée à la production du compost.

Bien que l'ajout du biochar n'a pas eu d'effets significatifs sur les cumuls d'eau utilisée, il permet d'augmenter de façon significative les rendements de 63,44 % et 65,97 % (respectivement pour le PcomBio et le PcomFLBio) par rapport aux phospho-composts sans biochar (57,80 % et 58,25 %, respectivement pour le Pcom et PcomFL). L'ajout du biochar dans le procédé de compostage constituerait une opportunité pour les producteurs d'augmenter les quantités de composts à commercialiser.

Les résultats ont également montré que l'ajout du biochar a significativement augmenté les quantités de matière organique, d'azote,

du phosphore et du potassium des phospho-composts par rapport au témoin Pcom sans biochar. Le phospho-compost de pailles de riz et résidus de fruits et légumes enrichis au biochar (PcomFLBio) s'est avéré meilleur par rapport aux autres types de formulations. Il est suivi par le phospho-compost de pailles de riz enrichi au biochar (PcomBio).

Ainsi, l'incorporation du biochar dans le processus de compostage est une alternative viable pour les producteurs et vendeurs désirant optimiser la qualité des composts et réduire leurs coûts de production. Cette étude suggère l'investigation des effets de phospho-composts de pailles de riz et de résidus de fruits et légumes enrichis au biochar sur les paramètres agro-pédologiques dans les agrosystèmes cultivés.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le technicien du Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la fertilité du sol et les Systèmes de Production (LERF/SP) ainsi que les stagiaires qui ont contribué à la conduite de cette étude.

Conflits d'intérêts

Tous les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts.

Contributions des auteurs

BMS : conduite des travaux de terrain, collecte et analyses statistiques des données, rédaction du manuscrit. DC, KC : encadrement, orientation de l'étude et correction du manuscrit.

Références bibliographiques

ABBAN-BAIDOO E., MANKA'ABUSI D., APURI L., MARSCHNER B. et FRIMPONG K. A., 2024. Biochar addition influences C and N dynamics during biochar co-composting and the nutrient content of the biochar co-compost. *Sci. Rep.* 14, 23781. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67884-z>

ALLAIRE S., LANGE S. F., AUCLAIR I., QUINCHE M. et GREFFARD L., 2015. Analyses of biochar properties. Centre de Recherche sur les Matériaux Renouvelables, Université Laval. ed. Québec, Canada. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2789.4241>

ANDERSON J. et INGRAM J., 1993. A handbook of methods. *CAB International* 221, 62-65.

ARCHANJO B. S., MENDOZA M. E., ALBU M., MITCHELL D. R., HAGEMANN N., MAYRHOFER C., MAI T. L. A., WENG Z., KAPPLER A. et BEHRENS 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.

Association Française de Normalisation (AFNOR), 1981. Détermination du pH. (*Association Française de Normalisation*) NF ISO 10390.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 2000. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, *International, Arlington*.

BACYÉ B., KAMBIRE H. S. SAWADOGO M. O. et ZONGA A. M., 2021. Effets des modes de gestion des résidus du bananier et d'options de fumure minérale sur le rendement du maïs et les caractéristiques chimiques du sol dans un système de rotation bananier /maïs à l'Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 15, 1208-1221. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i3.26>

BAGUIGNAN Y., VILLARD S., ARTIGAS-SANCHO J. et SACLA-AÏDE M., 2021. Capitalisation des technologies innovantes de valorisation des biodéchets. Agence Régionale de Développement des Hauts-Bassins, Burkina Faso.

BLANCHARD M., VALL É., TINGUERI LOUMBANA B. et MEYNARD J.-M., 2017. Identification, caractérisation et évaluation des pratiques atypiques de gestion des fumures organiques au Burkina Faso : sources d'innovation ? *Autrepart* 81, 115-134. <https://doi.org/10.3917/autr.081.0115>

CISSÉ D., 2022. Effets des amendements à base de biochar sur les paramètres agro-pédologiques dans une rotation coton-maïs à l'ouest du Burkina Faso (thèse de doctorat). Cotutelle Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liege, Belgium and University Nazi BONI of Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Bobo-Dioulasso.

CISSÉ D., CORNELIS J., TRAORÉ M., SABA F., COULIBALY K., LEFEBVRE D., COLINET G., et NACRO H. B., 2021. Co-composted

biochar to decrease fertilization rates in cotton–maize rotation in Burkina Faso. *Agronomy Journal* 113, 5516–5526. <https://doi.org/10.1002/agj2.20867>

CISSÉ D., CORNELIS J.-T., TRAORÉ M., COULIBALY K., SABA F. et NACRO H. B., 2022. Performances agronomiques des amendements à base de biochar en milieu paysan à l’ouest du Burkina Faso. *Agronomie Africaine* 34, 179–190.

COMPAORÉ E. et NANÉMA L. S., 2010. Compostage et qualité du compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Tropicultura* 28, 232–237.

CORNELISSEN G., PANDIT N.R., TAYLOR P., PANDIT B.H., SPARREVIK M. et SCHMIDT H. P., 2016. Emissions and Char Quality of Flame-Curtain “Kon Tiki” Kilns for Farmer-Scale Charcoal/Biochar Production. *PLOS ONE* 11, e0154617. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154617>

DAS S., GHOSH G., AVASTHE R., KUNDU M., CHOUDHURY B., BARUAH K. et LAMA A., 2021. Innovative biochar and organic manure co-composting technology for yield maximization in maize-black gram cropping system. *Biomass Conversion and Biorefinery* 13. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01519-5>

DUGUÉ, P., ANDRIEU N. et BAKKER T., 2024. Pour une gestion durable des sols en Afrique subsaharienne. *Cah. Agric.* 33, 6. <https://doi.org/10.1051/cagri/2024003>

FISCHER D., ERBEN G., DUNST G. et GLASER B., 2018. Dynamics of labile and stable carbon and priming effects during composting of sludge and lop mixtures amended with low and high amounts of biochar. *Waste Manag* 78, 880-893. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.056>

FONTES J. et GUINKO S., 1995. Carte de la végétation et de l’occupation du sol du Burkina Faso (Notice explicative No. Projet campus). Ministère de la coopération française, Toulouse, France.

FRANCOU C., 2003. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé (Thèse de doctorat). Institut national agronomique paris-grignon-INA PG.

GORIUS E., SIRJEAN L., 2012. Composter les déchets agricoles de la filière fruits et légumes : des références techniques complètes. *ECHO-MO* 3-6.

HAGEMANN N., KAMMANN C. I., SCHMIDT H.-P., KAPPLER A. et BEHRENS S., 2017. Nitrate capture and slow release in biochar amended compost and soil. *PloS one* 12, e0171214. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171214>

HILLEBRAND W.F., LUNDEL G. E. F., BRIGHT H.A., HOFFMAN J. I., 1953. Applied Inorganic Analysis, 2nd Edition. ed. *John Wiley & Sons, Inc., New York, USA*.

KAMMANN C.I., SCHMIDT H.-P., MESSERSCHMIDT N., LINSEL S., STEFFENS D., MÜLLER C., KOYRO H.-W., CONTE P. et JOSEPH S., 2015. Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar. *Scientific reports* 5, 11080. <https://doi.org/10.1038/srep11080>

LOMPO D. J. P., YE L., OUEDRAOGO S., SORI S. I. et NACRO H. B., 2021. Caractérisation chimique d'un biocharbon de balles de riz destiné à l'amendement des sols au Burkina Faso. *Afrique SCIENCE* 18, 216–222.

LOMPO FRANÇOIS BATIONO A., SEDOGO M. P., BADO V. B. et HIEN V., OUATTARA, B., 2018. Role of Local Agro-minerals in Mineral Fertilizer Recommendations for Crops: Examples of Some West Africa Phosphate Rocks, *in*: BATIONO A., NGARADOUM D., YOU, S., LOMPO FRANCOIS FENING J. O. (Eds.), Improving the Profitability, Sustainability and Efficiency of Nutrients Through Site Specific Fertilizer Recommendations in West Africa Agro-Ecosystems: Volume 1. *Springer International Publishing, Cham*, pp. 157–180. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58789-9_9

LÓPEZ-CANO I., ROIG A., CAYUELA M. L., ALBURQUERQUE J. A. et SÁNCHEZ-MONEDERO M. A., 2016. Biochar improves N cycling during composting of olive mill wastes and sheep manure. *Waste Management* 49, 553–559. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.031>

MUNDA S., BHADURI D., MOHANTY S., CHATTERJEE D., TRIPATHI, R., SHAHID M., KUMAR U., BHATTACHARYYA P., KUMAR A., ADAK T., JANGDE H. K. et NAYAK A. K., 2018. Dynamics of soil organic carbon mineralization and C fractions in

paddy soil on application of rice husk biochar. *Biomass and Bioenergy* 115, 1–9.

NAISSE C., 2014. Potentiel de séquestration de carbone des biochars et hydrochars, et impact après plusieurs siècles sur le fonctionnement du sol (Thèse de doctorat). Université Pierre et Marie Curie - Paris VI.

SAMANDOULOGOU R., 2024. Quantification et Caractérisation des déchets de Mangue au Burkina Faso. *ESI Preprints*.

SÁNCHEZ-MONEDERO M. A., CAYUELA M. L., ROIG A., JINDO K., MONDINI C. et BOLAN N., 2018. Role of biochar as an additive in organic waste composting. *Bioresource Technology* 247, 1155–1164. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.193>

SANON A., GOMGNIMBOU A. P. K., COULIBALY K. et NACRO, H.B., 2021. Effets de biodéchets et de fertilisants inorganiques sur la production du riz pluvial strict en zone Sud-Soudanienne du Burkina Faso. *Afrique SCIENCE* 18, 230-241.

SANOU A. G., DEMBÉLÉ K. D., OUÉDRAOGO I. et DAKOUO D., 2016. Problématique de mise en œuvre du système de riziculture intensif dans les périmètres rizicoles irrigués de Karfiguéla et de la vallée du Kou au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 10, 2693-2709.

SCHMIDT H.-P., KAMMANN C., NIGGLI C., EVANGELOU M. W. H., MACKIE K. A. et ABIVEN S., 2014. Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 191, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.04.001>

SCHULZ H., DUNST G. et GLASER B., 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agron. Sustain. Dev.* 33, 817-827.

SCHULZ H. et GLASER B., 2012. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175, 410–422. <https://doi.org/10.1002/jpln.201100143>