



ISSN NO. 2320-5407

Journal Homepage: www.journalijar.com

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI:10.21474/IJAR01/20389
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/20389>



INTERNATIONAL JOURNAL OF
ADVANCED RESEARCH (IJAR)
ISSN 2320-5407
Journal Homepage: <http://www.journalijar.com>
Journal DOI:10.21474/IJAR01

RESEARCH ARTICLE

L'APPLICATION DE PHOSPHO-COMPOSTS AU BIOCHAR AMELIORE LA DISPONIBILITE DES NUTRIMENTS D'UN SOL SOUS CULTURES IRRIGUEES EN CLIMAT TROPICAL AU BURKINA FASO

Bapènè Marc Somé¹, Drissa Cissé², Hassan Bismarck Nacro³ and Kalifa Coulibaly⁴

1. Université Nazi BONI, Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité de Sol et les Systèmes de Production (LERF-SP), BP 1091 Burkina Faso.
2. Université Nazi BONI, Centre Universitaire de Gaoua et Laboratoire d'Etude et de Recherche Sur la Fertilité de Sol et les Systèmes de Production (LERF-SP), BP 1091 Burkina Faso.
3. Université Nazi BONI, Institut du Développement Rural/Laboratoire d'Etude et de Recherche Sur la Fertilité de Sol et les Systèmes de Production (LERF-SP), BP 1091 Burkina Faso.
4. Université Nazi BONI, Institut du Développement Rural/Laboratoire d'Etude et de Recherche Sur la Fertilité de Sol et les Systèmes de Production (LERF-SP), BP 1091 Burkina Faso.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 08 December 2024
Final Accepted: 12 January 2025
Published: February 2025

Key words:

Irrigated Plain, Organic Fertiliser, Nutrient deficiency, Burkina Faso

Abstract

High-quality organic soil amendments are essential for improving the properties of tropical soils and enhancing agricultural production. The objective of this study, conducted in western Burkina Faso, was to assess the effect of different biochar phospho-composts on soil pH, cation exchange capacity (CEC), total and available phosphorus, as well as total and available potassium in an irrigated environment. A Fisher block design with ten treatments, randomly assigned into four replications, was set up on the irrigated plain of Bama (Houet Province) and monitored across two consecutive seasons: rice in the 2023 rainy season and maize in the 2024 dry season. The ten treatments consisted of mineral fertiliser (FMV), rice straw phospho-composts without biochar (Pcom) and with biochar (PcomBio), and fruit and vegetable residues-based phospho-composts without biochar (PcomFL) and with biochar (PcomFLBio). Overall, the CEC of soils amended with phospho-composts, both with or without biochar, was significantly ($P < 0.001$) improved compared to the control treatment. The PcomFLBio combined with 100% of mineral fertilizer (PcomFLBio-100), enhanced pH-KCl and total phosphorus, available phosphorus and available potassium by 6.72%, 41.97%, 288% and 42.73% respectively compared to the absolute control. Additionally, total potassium was significantly ($P = 0.002$) improved by PcomBio-100 and PcomFLBio-100 compared to the other treatments. The addition of rock phosphate and biochar in rice straw and fruit and vegetable residues composts improves the chemical properties of irrigated soils and ensures sustainable agricultural production.

Copyright, IJAR, 2025.. All rights reserved.

Corresponding Author: Bapènè Marc Some

Address: Université Nazi BONI, Laboratoire d'Etude et de Recherche Sur la Fertilité de sol et les Systèmes de Production (LERF-SP), BP 1091 Burkina Faso.

Introduction:

Dans de nombreux pays, des études récentes ont évoqué la baisse progressive de la fertilité des sols des agrosystèmes irrigués (Yu et al., 2019 ; Suriyagoda, 2022), parfois créée par l'irrigation excessive (Yr et al., 2022). En effet, l'irrigation excessive engendre de nombreuses pertes de quelques nutriments par lessivage avec pour conséquences, leurs carences dans le sol et la réduction de la croissance des cultures (Yr et al., 2022).

Au Burkina Faso, les sols des agrosystèmes irrigués sont carencés en azote et phosphore avec une faible minéralisation de la matière organique (Segda et al., 2013 ; Epolyste et al., 2015) et une tendance à l'acidification (Segda et al., 2014; Yaméogo et al., 2021). Aussi, leur capacité d'échange cationique (CEC) est très faible avec une toxicité ferreuse élevée (Bikienga, 2001). De plus, la biodisponibilité des nutriments y est souvent limitée du fait de l'acidité et du déficit organique des sols (Yaméogo et al., 2020a). La déficience du sol en nutriments majeurs a été également identifiée comme l'un des facteurs les plus limitants de la production rizicole (Ibrahim et al., 2021).

Dans ces conditions édaphiques, la majorité des producteurs font recours principalement aux engrais chimiques contre une minorité qui utilise les amendements organiques (Bazin, 2017; Kambou, 2019; Ouédraogo et al., 2022a). L'utilisation intensive des engrais provoque l'acidification des sols (Bazin, 2017) surtout lorsqu'elle est faite dans des conditions d'irrigation conventionnelle (Yaméogo et al., 2021) ; ce qui limite la biodisponibilité des nutriments (Yaméogo et al., 2020) et crée continuellement leur carence nécessitant à nouveau un apport d'éléments pour assurer la production agricole. Ainsi, les sols sont entretenus dans un cercle vicieux dans lequel ils peinent à satisfaire les besoins nutritionnels des cultures à court terme. Les voies d'amélioration doivent alors favoriser une diminution des pertes de nutriments et améliorer leur rétention tout en minimisant les effets défavorables des engrais chimiques. Etant donné les moyens financiers limités de la plupart des producteurs pour combler les besoins des cultures à travers les apports de nutriments (Bazin, 2017; Suriyagoda, 2022), le retour au sol des résidus de récolte sous forme d'amendements organiques doit être encouragé. En effet, les effets de ces amendements sont divers et sont visibles à travers l'amélioration de la capacité d'échanges de cations (CEC) et des teneurs en carbone organique, azote, phosphore et potassium (Mahmood et al., 2017 ; Bacyé et al., 2021). Le retour au sol de ces résidus peut également se faire sous forme de co-compost au biochar pour améliorer la réponse des sols aux besoins des cultures (Wang et al., 2019 ; Cissé et al., 2021; Gao et al., 2023). Le co-compost réduit significativement les pertes de nutriments comparativement à l'application du compost seul (Gao et al., 2023). Aussi, les résultats de Compaoré et Nanéma (2010) révèlent que les phospho-composts à base de déchets organiques et de phosphate naturel présentent des caractéristiques intéressantes pouvant améliorer la fertilité des sols. Ces amendements organiques sont alors nécessaires pour apporter une réponse adéquate au problème de disponibilité des nutriments dans les sols sous irrigation notamment de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K) qui jouent un rôle très essentiel dans la productivité des cultures (Ouédraogo et al., 2022b). Cette étude visait à déterminer les effets de différents phospho-composts au biochar sur le pH, la CEC et les teneurs en carbone, azote, phosphore et potassium totaux ainsi que sur celles du phosphore et potassium biodisponibles dans les sols sous cultures irriguées.

Matériel et Méthodes:

Description du site d'étude

L'étude a été conduite dans la plaine irriguée de la Vallée du Kou à Bama (04°25'37'' longitude Ouest et 11°23'48'' latitude Nord), l'une des 33 communes de la région des Hauts-Bassins située à l'Ouest du Burkina Faso (Figure 1). Cette commune, caractérisée par un important réseau hydrologique dont le Kou, 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 (2013-2022) est comprise entre 780 et 1300 mm par an (données de la Station météorologique de Bama/ANAM, 2024). Au cours de cette étude menée d'août 2023 à mai 2024, le mois d'août était le mois le plus pluvieux (303,9 mm) suivi du mois de septembre (173,8 mm).

Les sols prédominants du site d'étude sont les gleysols avec la présence de quelques lxisols (BUNASOLS, 2002).

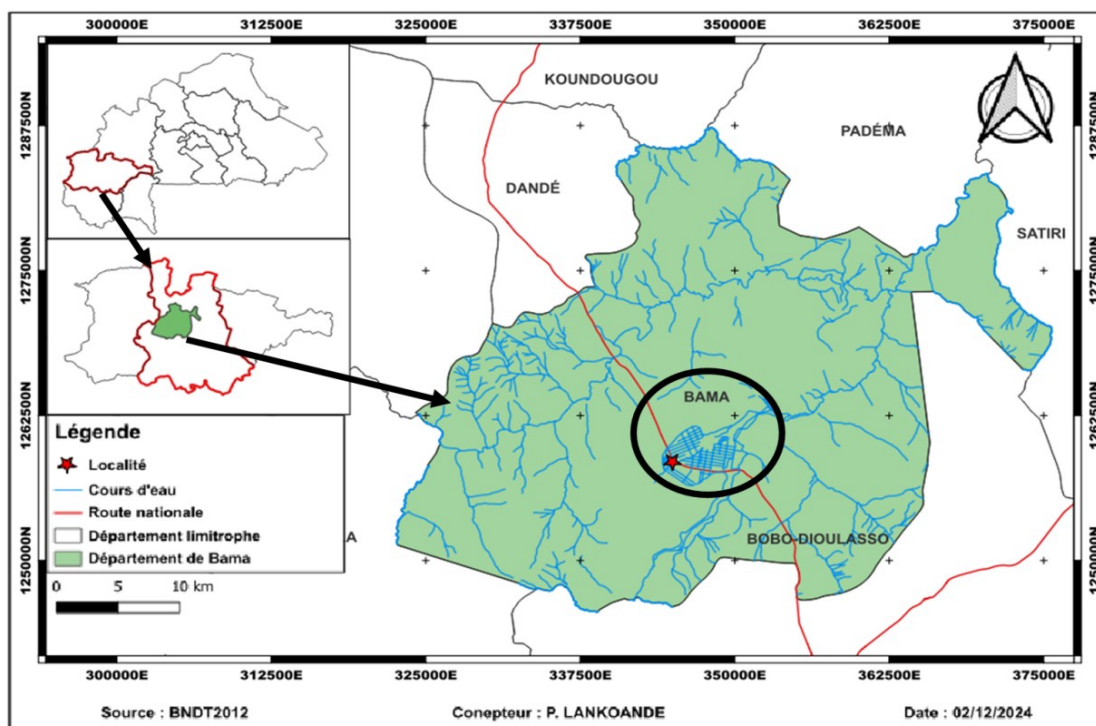


Figure 1: Site de l'étude.

Matériel:

Le matériel végétal utilisé pour la conduite de l'étude était constitué de la variété TS2 du riz (*Oryza sativa*) et de la variété Espoir du maïs (*Zeamays L.*). La variété TS2 a un cycle de 120 jours et un rendement potentiel de $6,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ tandis que le cycle de la variété Espoir varie entre 95 et 110 jours avec pour rendement potentiel de $6,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Comité National des Semences (CNS), 2014). Les semences de ces cultures ont été achetées à NAFASO.

Les fertilisants organiques étaient composés de quatre types de phospho-composts produits par un compostage d'un mélange de pailles de riz, de phosphates naturels et du fumier d'étable (Pcom) avec un ajout du biochar (PcomBio), et d'un mélange de pailles de riz et résidus de fruits et légumes, de phosphates naturels et du fumier d'étable (PcomFL) avec un ajout du biochar (PcomFLBio). Leurs caractéristiques chimiques sont consignées dans le tableau 1. Les fertilisants chimiques étaient composés d'engrais minéraux tels que le complexe NPK (16-16-16) et l'urée (46 % N) achetés sur le marché à Bama.

Tableau 1: Caractéristiques des fertilisants organiques utilisés pour l'étude.

FO	pH-eau	COT (%)	N-t (%)	C/N	P-t ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	K-t ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Pcom	$8,51 \pm 0,03$	$25,8 \pm 0,67$	$1,33 \pm 0,02$	$19 \pm 0,36$	$7079 \pm 16,7$	$19159 \pm 366,5$
PcomFL	$8,07 \pm 0,07$	$29,1 \pm 0,95$	$1,80 \pm 0,05$	$16 \pm 0,18$	$6841 \pm 10,3$	$18008 \pm 356,1$
PcomBio	$8,29 \pm 0,19$	$31,7 \pm 1,40$	$1,82 \pm 0,01$	$17 \pm 0,73$	$5489 \pm 66,3$	$19235 \pm 409,0$
PcomFLBio	$8,10 \pm 0,01$	$31,6 \pm 0,82$	$2,09 \pm 0,14$	$15 \pm 0,88$	$5456 \pm 56,1$	$18211 \pm 726,8$

Légende : FO : fertilisants organiques ; COT : carbone organique total ; N-t : azote total ; P-t : phosphore total ; K-t : potassium total ; Pcom : 75 % de biomasses à base de pailles de riz exclusives + 25 % de fumier d'étable + 2 % du burkina phosphate ; PcomFL : 75 % de biomasse à base de pailles de riz (2/3) et résidus de fruits et légumes (1/3) + 25 % de fumier d'étable + 2 % du burkina phosphate ; PcomBio : Pcom + 20 % de biochar et PcomFLBio : PcomFL + 20 % de biochar.

Méthodologie:

Dispositif expérimental

Les traitements comparés étaient au nombre de dix (Tableau 2) et le plan d'expérimentation était un dispositif de Fischer avec quatre répétitions. La superficie de chaque parcelle élémentaire était de 20 m^2 . Le type de fertilisation

(traitement) est le facteur principal étudié et les facteurs secondaires, la campagne de mise en culture et la profondeur de prélèvements des échantillons.

Tableau 2: Composition des traitements comparés.

Traitements	Type de FO	Dose FO (t.ha ⁻¹)	Dose NPK (kg.ha ⁻¹)	Dose Urée (kg.ha ⁻¹)
Témoin	-	0	0	0
FMV	-	0	200	150
Pcom-50	Pcom	12	100	75
PcomFL-50	PcomFL	12	100	75
PcomBio-50	PcomBio	12	100	75
PcomFLBio-50	PcomFLBio	12	100	75
Pcom-100	Pcom	12	200	150
PcomFL-100	PcomFL	12	200	150
PcomBio-100	PcomBio	12	200	150
PcomFLBio-100	PcomFLBio	12	200	150

Légende : **FO** : fumure organique ; **FMV** : fumure minérale vulgarisée dans les plaines irriguées ; **Pcom** : phospho-composts de pailles de riz ; **PcomFL** : phospho-composts de pailles de riz et résidus de fruits et légumes ; **PcomBio** : phospho-composts de pailles de riz enrichis à 20 % de biochar de balles de riz ; **PcomFLBio** : phospho-composts de pailles de riz et résidus de fruits et légumes enrichis à 20 % de biochar de balles de riz.

Conduite de l'essai

L'essai a été mis en place sur la période d'août 2023 à mai 2024 en deux campagnes successives sur les mêmes parcelles du dispositif expérimental. La période de l'essai correspondait à la saison hivernale 2023 (culture du riz) et la saison sèche 2024 (culture du maïs). Un labour à plat et à traction animale dans la profondeur 0-20 cm du sol a été effectué pendant chaque campagne. Après la récolte du riz, les résidus organiques ont été exportés avant le labour pour la deuxième campagne. Les différents phospho-composts ont été enfouis dans les parcelles labourées uniquement en première campagne en raison de 12 t.ha⁻¹ sauf dans celles du témoin absolu et de la FMV. L'opération de mise en boue s'en était suivie avant le repiquage des plants de riz en raison d'un plant par poquet avec un écartement de 0,25 m entre les lignes et entre les poquets. Le NPK a été apporté au repiquage dans les parcelles selon les doses par traitement. L'urée a été apportée en deux fractions, soit 35 % des quantités à 20 jours après épandage des fertilisants organiques (JAE) et 65 % en début d'initiation paniculaire (55 JAE). La récolte du riz a été faite au 115^{ème} JAE puis, un mois après, un labour à plat suivi du concassage a été fait pour la deuxième campagne avec l'installation du maïs. Aucun apport organique ni minérale n'a été opéré pendant cette campagne. L'irrigation d'appoint a été faite pendant les poches de sécheresse rencontrées au cours de la première campagne tandis que le maïs, mis en place en deuxième campagne (saison sèche) a été irrigué chaque deux jours durant son cycle de développement. Le système d'irrigation gravitaire a été utilisé quelle que soit la campagne considérée.

Collecte des données

Avant le labour du sol, des fosses pédologiques ont été ouvertes pour la description du site d'étude. Au total, quatre fosses ont été décrites et des échantillons de sol ont été prélevés dans les différents horizons des profils décrits. Ensuite, après la récolte de chaque campagne, des échantillons de sol ont également été prélevés dans les profondeurs 0-20 cm et 20-40 cm du sol. La texture du sol au cours de la description des fosses pédologiques a été faite à travers les échantillons prélevés dans chaque horizon du profil à travers la méthode densimétrique. L'ensemble des échantillons de sol prélevés pendant la description des fosses pédologiques et après les récoltes de chaque campagne ont été séchés à l'ombre au laboratoire et ont été utilisés pour la détermination du pH (Méthode potentiométrique décrite par Rhoades (1982)), de la CEC (méthode de Kjeldahl) du carbone organique (méthode de Walkley et Black (1934)), de l'azote total (méthode de Kjeldahl décrite par Hillebrand et al. (1953)), du phosphore total et assimilable (Méthode Bray et Kurtz (1945) et du potassium total et disponible (méthode photométrique).

Analyse statistique

Les analyses statistiques avec le logiciel R version 4.4.2 et une analyse de variance (ANOVA) à trois facteurs ont été réalisées afin de déterminer l'effet du type de fertilisation (facteur principal), la variation entre les profondeurs et les campagnes de mise en culture sur les paramètres du sol étudiés. Le test de Fischer a permis de faire la séparation des moyennes lorsque l'ANOVA a révélé des différences significatives entre les modalités au seuil de probabilité de 5 %. Ce logiciel a été également utilisé pour une régression multiple entre les paramètres du sol.

Résultats:

Caractéristiques du sol du site d'expérimentation

Les caractéristiques du sol du site d'étude sont consignées dans le tableau 3. En général, c'est un sol peu profond (0-27 cm pour le profil 1, 0-30 cm pour le profil 2 et 0-57 cm pour le profil 3) à moyennement profond (0-78 cm pour le profil 4) avec une texture sablo-limoneuse dans les horizons superficiels à sablo-argilo-limoneuse en profondeur. Le pH, les teneurs en COS, N, P et K et la CEC ont varié d'un profil à l'autre. Les valeurs numériques du pH-eau, pH-KCl et des teneurs en COS, en éléments totaux comme le N et le P sont plus élevées dans les horizons superficiels par rapport aux horizons sous-jacents quel que soit le profil considéré tandis que le contraire est observé pour celles du K total et la CEC.

Tableau 3: Caractéristiques physico-chimiques du sol du site d'expérimentation.

Paramètres	Profil 1		Profil 2		Profil 3		Profil 4	
	0-23 cm	23-27 cm	0-16 cm	16-30 cm	0-23 cm	23-57 cm	0-34 cm	34-78 cm
Texture	SL	SL	SAL	SAL	SL	SAL	SL	SAL
pH _{eau}	6,2	5,92	6,21	5,85	6,09	5,98	6,25	6
pH _{KCl}	4,79	4,64	4,95	4,88	4,72	4,51	4,79	4,72
C _{-org.} (%)	0,65	0,47	1,08	0,5	0,9	0,73	0,89	0,44
N _{-total} (%)	0,11	0,07	0,09	0,06	0,06	0,04	0,14	0,07
C/N	6	7	11	8	15	18	6	6
P _{-total} (mg/kg de sol)	370	220	318	243	316	227	316	229
P _{-ass} (mg/kg de sol)	2,91	2,02	2,66	0,81	3,39	1,94	1,86	1,45
K _{-total} (mg/kg de sol)	2439	2642	2638	3222	2347	2539	2245	2637
K _{-disp} (mg/kg de sol)	116	90,8	94,71	124	101	98,7	80,9	88,8
CEC (cmolc.kg ⁻¹)	4,29	4,67	5,09	4,69	5,59	6,22	5,80	5,93

Légende: SL: sablo-limoneux; SAL: sablo-argilo-limoneux; C: carbone; N: azote; P-ass: Phosphore assimilable; K-disp: potassium disponible; CEC: Capacité d'échange cationique

Variation des teneurs en carbone, en azote, phosphore et potassium totaux du sol en fonction de la fertilisation, la profondeur du sol et la campagne de mise en culture

Le tableau 4 présente la variation des teneurs en carbone organique du sol (COS), N, P et K et le C/N du sol en fonction de la fertilisation, de la profondeur de prélèvement du sol et de la campagne de mise en culture. Il ressort de ce tableau que seules les teneurs en P et K total ont significativement varié entre les différents traitements. Les teneurs en P total et K total significativement plus élevées ont été enregistrés respectivement avec le traitement PcomFLBio-100 (438 mg/kg de sol) et le PcomBio-100 (1653 mg/kg de sol) tandis que les plus faibles ont été obtenues avec le témoin absolu (308 et 1306 mg/kg de sol, respectivement pour le P et le K total). En considérant le facteur profondeur du sol, les résultats montrent que les teneurs en COS, en N et P sont statistiquement plus élevées dans la couche 0-20 cm que dans 20-40 cm du sol tandis que celles en K total sont significativement plus élevées dans la couche 20-40 cm du sol. S'agissant du facteur campagne de mise en culture, l'on note une tendance haussière mais non significative du C/N et des teneurs en COS, N total et K total après la récolte du maïs en deuxième campagne et seules celles du P total du sol ont connu une baisse significative ($P < 0,001$).

Les interactions entre les différents facteurs ne sont significatives que pour les teneurs en phosphore ($P < 0,001$) et potassium total ($P < 0,001$) et le rapport C/N ($P = 0,01$). L'interaction entre la profondeur de prélèvement des échantillons du sol et la campagne de mise en culture est significative pour l'ensemble de ces paramètres du sol.

Entre la profondeur de prélèvement et la fertilisation, l'interaction n'est significative que pour les teneurs en azote ($P < 0,001$), phosphore total ($P < 0,001$) et potassium total ($P < 0,001$). L'interaction entre la campagne de mise en culture et la fertilisation n'est significative que sur les teneurs en P total ($P = 0,004$) et K total ($P < 0,001$).

Tableau 4: Variation du C/N et des teneurs en COS, en N, P et K totaux.

Facteurs	Modalités	COS (%)	Nt (%)	C/N	P-t (mg/kg)	Kt (mg/kg)
Fertilisation (F)	Témoin	1,09 ± 0,08	0,12 ± 0,01	9,35 ± 0,26	308 ^a ± 12,6	1306 ^a ± 86,2
	FMV	1,10 ± 0,09	0,12 ± 0,01	9,22 ± 0,27	349 ^{ab} ± 19,5	1322 ^a ± 70,2
	Pcom-50	1,12 ± 0,10	0,12 ± 0,01	8,62 ± 0,42	359 ^{ab} ± 24,2	1425 ^{ab} ± 89,5
	PcomFL-50	1,12 ± 0,09	0,13 ± 0,01	9,13 ± 0,31	363 ^{ab} ± 25,0	1418 ^{ab} ± 61,9
	PcomBio-50	1,13 ± 0,10	0,12 ± 0,01	9,29 ± 0,22	358 ^{ab} ± 22,9	1363 ^{ab} ± 77,8
	PcomFLBio-50	1,17 ± 0,09	0,13 ± 0,01	9,28 ± 0,17	371 ^{ab} ± 23,1	1495 ^{ab} ± 56,4
	Pcom-100	1,11 ± 0,09	0,12 ± 0,01	8,97 ± 0,19	404 ^{ab} ± 30,0	1464 ^{ab} ± 51,0
	PcomFL-100	1,15 ± 0,08	0,13 ± 0,01	8,85 ± 0,29	410 ^{ab} ± 33,8	1481 ^{ab} ± 47,8
	PcomBio-100	1,20 ± 0,10	0,13 ± 0,01	9,16 ± 0,22	424 ^{ab} ± 39,6	1653 ^b ± 68,7
	PcomFLBio-100	1,22 ± 0,11	0,14 ± 0,01	8,95 ± 0,22	438 ^b ± 40,2	1647 ^b ± 66,6
	Pr(>F)	0,98	0,96	0,66	0,05	0,002
	Significativité				*	**
Profondeur (P)	0-20 cm	1,47 ± 0,01	0,17 ± 0,00	8,75 ± 0,09	467 ± 10,9	1412 ± 35,7
	20-40 cm	0,81 ± 0,02	0,09 ± 0,00	9,42 ± 0,13	290 ± 4,72	1503 ± 28,3
	Pr(>F)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,04
	Significativité	***	***	***	***	*
Campagne de mise en Cultures	CC1-Riz	1,10 ± 0,05	0,12 ± 0,01	9,07 ± 0,12	418 ± 14,2	1449 ± 39,5
	CC2-Maïs	1,19 ± 0,03	0,13 ± 0,00	9,09 ± 0,12	339 ± 9,92	1466 ± 23,8
	Pr(>F)	0,11	0,21	0,88	< 0,001	0,72
	Significativité	NS	NS	NS	THS	NS
P*CC		***	***	***	***	***
F*P			***		***	***
F*C					**	***
F*P*CC				*	***	***

Légende : * : significatif ; ** : hautement significatif ; *** : très hautement significatif ; COS : Carbone Organique du Sol ; Nt : azote total ; P-t : phosphore total ; K-t : potassium total ; FMV : fumure minérale vulgarisée ; Pcom-50 : 12 t/ha de phospho-composts de pailles de riz (Pcom) + 50% FMV ; PcomFL-50 : 12 t/ha de phospho-composts de pailles de riz et résidus de fruits et légumes (PcomFL) + 50% FMV ; PcomBio-50 : 12 t/ha de phospho-composts de pailles de riz enrichis au biochar (Pcom-Bio) + 50% FMV ; PcomFLBio-50 : 12 t/ha de phospho-composts de pailles de riz et résidus de fruits et légumes enrichis au biochar (PcomFL-Bio) + 50% FMV ; Pcom-100 : 12 t/ha de Pcom + FMV ; PcomFL-100 : 12 t/ha de PcomFL + FMV ; PcomBio-100 : 12 t/ha de Pcom-Bio + FMV et PcomFLBio-100 : 12 t/ha de PcomFL-Bio + FMV. Les valeurs suivies de la même lettre dans la même colonne sont statistiquement identiques.

Variation du pH, de la CEC et des teneurs en P-ass et K-disp du sol en fonction de la fertilisation, la profondeur du sol et la campagne de mise en culture

Le pH (eau et KCl), la CEC et les teneurs en P-ass et K-disp du sol ont varié en fonction de la profondeur de prélèvement du sol, la campagne de mise en culture et la fertilisation (Tableau 5). Les valeurs moyennes de ces paramètres statistiquement plus élevées ont été enregistrées dans la profondeur 0-20 cm du sol exceptée la CEC. Il ressort de ce tableau que le pH-KCl, la CEC et les teneurs en P assimilable et en K disponible ont significativement varié entre les différents traitements. Les valeurs moyennes de pH-KCl (4,92) et les teneurs en P-ass (1,94 mg/kg de sol) et K-disp (116,2 mg/kg de sol) significativement plus élevées ont été obtenues avec le traitement PcomFLBio-100 tandis que le PcomFL-100 a enregistré la CEC (7,73 CmolC.kg⁻¹) la plus élevée. Les plus faibles valeurs moyennes de ces paramètres ont été obtenues avec le témoin absolu. La CEC des traitements PcomBio-100, PcomFLBio-100, Pcom-100, PcomBio-50 et PcomFL-50 sont statistiquement identiques à celle du PcomFL-100. Ces paramètres sont significativement plus élevés dans la couche 0-20 cm du sol que dans 20-40 cm exceptée la CEC qui est identique entre les deux couches. En considérant le facteur campagne de mise en culture, l'on note une tendance significativement haussière du pH-eau, de la CEC et des teneurs en K disponible après la récolte du maïs

en deuxième campagne et seules celles du P assimilable du sol ont connu une baisse significative ($P < 0,001$). Les interactions entre les différents facteurs ne se sont révélées significatives que sur les teneurs en P-ass et la CEC du sol. Excepté le pH-KCl, l'interaction entre la profondeur de prélèvement des échantillons du sol et la campagne de mise en culture est significative. Les interactions entre la profondeur de prélèvement et la fertilisation, et celle entre la campagne de mise en culture et la fertilisation ne sont significatives que sur les teneurs en P-ass.

Tableau 5: Variation du pH, de la CEC et des teneurs en P-ass et K-disp.

Facteurs	Modalités	pH-eau	pH-KCl	P-ass (mg.kg ⁻¹)	K-disp (mg.kg ⁻¹)	CEC (cmolC.kg ⁻¹)
Fertilisation (F)	Témoin	5,85 ± 0,07	4,61 ^a ± 0,07	0,50 ^a ± 0,07	81,4 ^a ± 3,94	5,88 ^a ± 0,28
	FMV	5,97 ± 0,05	4,70 ^{ab} ± 0,06	0,90 ^{ab} ± 0,16	88,9 ^{ab} ± 4,75	6,69 ^{ab} ± 0,22
	Pcom-50	5,97 ± 0,07	4,65 ^{ab} ± 0,05	1,31 ^{ab} ± 0,31	104,7 ^{bc} ± 4,44	6,98 ^{ab} ± 0,32
	PcomFL-50	6,07 ± 0,08	4,77 ^{ab} ± 0,07	1,30 ^{ab} ± 0,31	100,2 ^{ac} ± 5,30	7,46 ^b ± 0,29
	PcomBio-50	6,09 ± 0,06	4,77 ^{ab} ± 0,05	1,18 ^{ab} ± 0,22	95,6 ^{ac} ± 3,88	7,26 ^b ± 0,27
	PcomFLBio-50	6,04 ± 0,07	4,76 ^{ab} ± 0,07	1,62 ^{ab} ± 0,32	103,8 ^{bc} ± 3,75	7,65 ^b ± 0,31
	Pcom-100	6,06 ± 0,09	4,78 ^{ab} ± 0,07	1,39 ^{ab} ± 0,24	109 ^{bc} ± 6,10	7,28 ^b ± 0,21
	PcomFL-100	6,10 ± 0,07	4,86 ^{ab} ± 0,06	1,63 ^{ab} ± 0,34	108,4 ^{bc} ± 5,44	7,73 ^b ± 0,22
	PcomBio-100	6,04 ± 0,06	4,76 ^{ab} ± 0,05	1,61 ^{ab} ± 0,27	108,9 ^{bc} ± 5,40	7,63 ^b ± 0,28
	PcomFLBio-100	6,15 ± 0,06	4,92 ^b ± 0,05	1,94 ^b ± 0,40	116,2 ^c ± 5,68	7,64 ^b ± 0,28
	Pr(>F)	0,12	0,023	0,028	< 0,001	< 0,001
	Significativité		*	*	***	***
Profondeur (P)	0-20 cm	6,17 ± 0,02	4,86 ± 0,03	2,02 ± 0,14	109,9 ± 2,36	7,29 ± 0,16
	20-40 cm	5,90 ± 0,03	4,65 ± 0,02	0,65 ± 0,03	93,5 ± 18,87	7,15 ± 0,10
	Pr(>F)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,462
	Significativité	***	***	***	***	
Campagne de mise en Cultures (CC)	CC1-Riz	5,98 ± 0,03	4,76 ± 0,03	1,71 ± 0,17	97,0 ± 2,03	6,51 ± 0,09
	CC2-Maïs	6,09 ± 0,03	4,76 ± 0,03	0,97 ± 0,05	106,4 ± 2,66	7,93 ± 0,12
	Pr(>F)	0,0131	0,9	< 0,001	0,006	< 0,001
	Significativité	*		***	**	***
P*CC		***		***	*	***
F*P	Pr(>F)			***		
F*CC	Pr(>F)			***		
F*P*CC	Pr(>F)			***		**

Légende : * : significatif ; ** : hautement significatif ; *** : très hautement significatif ; CEC : capacité d'échange cationique ; P-ass : phosphore assimilable ; K-dsp : potassium disponible ; FMV : fumure minérale vulgarisée ; Pcom-50 : 12 t/ha de phospho-composts de pailles de riz (Pcom) + 50% FMV ; PcomFL-50 : 12 t/ha de phospho-composts de pailles de riz et résidus de fruits et légumes (PcomFL) + 50% FMV ; PcomBio-50 : 12 t/ha de phospho-composts de pailles de rizenrichis au biochar (Pcom-Bio) + 50% FMV ; PcomFLBio-50 : 12 t/ha de phospho-composts de pailles de riz et résidus de fruits et légumes enrichis au biochar (PcomFL-Bio) + 50% FMV ; Pcom-100 : 12 t/ha de Pcom + FMV ; PcomFL-100 : 12 t/ha de PcomFL + FMV ; PcomBio-100 : 12 t/ha de Pcom-Bio + FMV et PcomFLBio-100 : 12 t/ha de PcomFL-Bio + FMV. Les valeurs suivies de la même lettre dans la même colonne sont statistiquement identiques.

Relation entre les éléments disponibles, la CEC et les autres paramètres du sol

Le tableau 6 présente la relation entre le pH, le COS, la CEC, le P (total et assimilable) et le K (total et disponible). Le modèle indique que le K-disp est positivement et significativement ($P < 0,001$) corrélé à la CEC, au pH (eau et KCl), et à la teneur en COS et K total du sol. Le coefficient de détermination R^2 du modèle est de 0,5203, ce qui signifie que 52,03 % de la variance de K-disp est expliquée par ces variables.

S'agissant du P-ass, il est positivement et significativement corrélé au pH-eau, au C/N et aux teneurs en P total. Toutefois, sa corrélation avec la CEC du sol est négative et significative. Le coefficient de détermination R^2 du modèle est de 0,7145, ce qui signifie que 71,45 % de la variance de de P-ass est expliquée par la CEC, le pH-eau, le rapport C/N et les teneurs en COS et en P total du sol. Pour la CEC, le modèle indique qu'elle est positivement et significativement ($P < 0,001$) corrélée à la teneur en COS, en K total et disponible et négativement et significativement à celle en P assimilable qui expliquent sa variance à seulement 32,35 %.

Tableau 5: Régression linéaire entre le P, le K disponible et la CEC et les autres paramètres du sol.

Paramètres dépendants	Variables explicatives	Estimation	Erreur standard	Pr(> t)
K-disponible	Intercept	-206	30,9	***
	CEC	5,04	1,07	***
	COS	9,50	4,12	*
	K_total	0,01	0,00	*
	pH.eau	15,6	6,94	*
	pH.KCl	32,0	6,96	***
	$R^2 = 0,5203$		Pr(>F) < 0,001	
P-assimilable	Intercept	-6,34	1,46	***
	C/N	0,13	0,05	*
	CEC	-0,18	0,04	***
	COS	0,41	0,25	
	P_total	0,01	0,00	***
	pH.eau	0,81	0,22	***
	$R^2 = 0,7145$		Pr(>F) < 0,001	
CEC	Intercept	3,46	0,55	***
	K-disponible	0,02	0,00	***
	K-total	0,00	0,00	***
	COS	1,36	0,32	**
	P-assimilable	-0,55	0,09	***
	$R^2 = 0,3235$		Pr(>F) < 0,001	

Légende: * : significatif ; ** : hautement significatif ; *** : très hautement significative ; P : phosphore ; K : potassium ; COS : carbone organique du sol ; CEC : capacité d'échange cationique

Discussion:

La comparaison des données de la caractérisation du sol du site d'étude aux normes du Bureau National des Sols (BUNASOLS, 1990) montre que les teneurs en COS, en N, P et K du sol sont moyennement élevées avec un sol fortement à moyennement acide. Toutefois, sa capacité d'échange cationique et ses teneurs en P-ass et K-disp sont très faibles. Ces résultats seraient imputables à l'irrigation excessive associée aux modes inadéquates de gestion de la fertilité des sols quotidiennement opérés par les producteurs dans la plaine irriguée. En effet, l'irrigation excessive peut créer un lessivage de la matière organique et des nutriments (Yr et al., 2022) et une accumulation de sels (Bazin, 2017) qui à leur tour, impactent négativement la fertilité des sols irrigués (Fairhurst, 2015). Ces résultats sont en adéquation avec ceux de Yaméogo et al. (2021) qui ont lié cette tendance à l'acidification, à l'irrigation conventionnelle et à la fertilisation inappropriée. Par ailleurs, les résultats ont montré qu'après deux campagnes successives de mise en culture, les CEC des sols amendés aux phospho-composts avec ou sans le biochar sont

statistiquement identiques et significativement plus élevées que celles du sol du témoin absolu. En effet, les phospho-composts auraient fourni au sol de la matière organique qui, en raison des charges négatives de ses composés humiques et fulviques, aurait amélioré la capacité de rétention du sol en cations K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} et de ce fait, contribuerait à augmenter la CEC du sol. Ce qui n'est pas le cas dans les parcelles du témoin absolu et de la FMV. Aussi, les résultats indiquent que les phospho-composts au biochar lorsqu'ils sont issus des résidus de fruits et légumes (PcomFLBio-100) améliorent significativement le pH-KCl (4,92) et les teneurs en P total (438 mg.kg^{-1}), en P-ass ($1,94 \text{ mg.kg}^{-1}$) et en K-disp ($116,2 \text{ mg.kg}^{-1}$) par rapport au témoin absolu et à la FMV. L'incorporation des phospho-composts à base de résidus de fruits et légumes et du biochar aurait mieux fourni au sol des composés organiques stables enrichis en nutriments au regard des caractéristiques des résidus de fruits et légumes révélées par des travaux antérieurs (Traoré et al., 2016). De plus, en apportant des phospho-composts enrichis au biochar qui est lui-même un composé organique stable (Allaire et al., 2015; Fischer et al., 2018) possédant des charges spécifiques et des groupes fonctionnels chargés positivement (Sohi et al., 2010 ; Khan et al., 2016 ; Archanjo et al., 2017), le pouvoir tampon du sol et sa capacité de rétention en nutriments augmentent limitant ainsi leur perte dans le sol (Nain et al., 2022). Ce qui explique l'amélioration significative du pH-KCl et, des teneurs en P et K total et leurs formes disponibles observée avec les phospho-composts au biochar surtout lorsqu'ils sont combinés à 100% de FMV (PcomBio-100 et PcomFLBio-100).

Le pH (eau et KCl) et les teneurs en COS, en éléments totaux (NP), en P-ass et K disp baissent de façon significative avec la profondeur du sol. Les amendements incorporés ont dû contribuer à la formation d'agrégats stables dans la couche 0-20 cm et favoriser une accumulation de la matière organique et des nutriments dans cette couche. Aussi, les racines des cultures notamment celles du maïs auraient prélevé des nutriments libérés dans les couches un peu plus profondes après minéralisation de la matière organique. Contrairement à ces résultats, Segda et al. (2014) ont notifié une accumulation de carbone organique et d'azote plus important dans la couche 20-50 cm par rapport à celle de 0-20 cm du sol dans la plaine irriguée de Bagré. Ces résultats suggèrent que l'incorporation des co-composts au biochar améliore le statut organique et nutritionnel des sols irrigués dans les horizons superficiels victimes quotidiennement des phénomènes de lessivage et de lixiviation.

Les teneurs des éléments totaux n'ont varié significativement d'une campagne à une autre. Par contre, le pH, la CEC et les teneurs en K-disp ont significativement augmenté durant la deuxième campagne par rapport à la première. Ces résultats sont imputables aux variations des conditions de cultures entre les deux campagnes et les prélèvements opérés par les cultures. En effet, les conditions de submersion des parcelles au cours de la première campagne auraient créé une restriction de l'aération du sol ; ce qui diminue le taux de décomposition de la matière organique du sol (FAO et ITPS, 2015) et par ricochet, sa minéralisation pour libérer les éléments disponibles (Montaigne et al., 2018). Les cultures se contenteraient des éléments minéraux disponibles en fonction des types de fertilisation. L'effet inverse s'observerait avec la culture du maïs en deuxième campagne sans submersion des parcelles ; ce qui augmenterait la libération des nutriments sous leur formes disponibles dans le sol. Ces résultats sont en adéquation avec les travaux de Trolard et al. (2018) qui notifiaient que les agrosystèmes irrigués sont particulièrement dynamiques au plan biogéochimique marqué par une mobilisation d'éléments chimiques pour assurer la croissance végétative des cultures.

L'interaction entre la fertilisation, la profondeur de prélèvement et la campagne de mise en culture est significative pour les paramètres tels que la CEC, le P (total et assimilable) et le K total du sol. Cette interaction indique que les types de fertilisation opérés auraient induit une variabilité dans la disponibilité des nutriments du sol, qui diffère considérablement entre la culture du riz et celle du maïs en deuxième campagne. Elle pourrait également découler des modifications des propriétés du sol induites par les conditions édaphiques pendant chaque campagne et de la différence dans les besoins en nutriments et la capacité d'absorption des deux cultures. Ainsi, la variations du pH, de la CEC, du P total et assimilable et du K total ne dépendent pas seulement des prélèvements par les cultures en rotation (riz et maïs), mais aussi de l'impact des différents traitements administrés.

L'analyse de régression multiple a montré une relation linéaire significativement positive entre la CEC et le COS ($P = 0,002$) et entre le K-disp et le COS ($P = 0,02$). Ces résultats indiquent que le COS a un impact sur la CEC et la disponibilité du K dans le sol. Le P-ass est également corrélé négativement à la CEC et positivement au pH-eau du sol de façon significative. Quant au K-disp, la relation entre le pH (eau et KCl), la CEC et ce paramètre est positive et significative. Ces résultats nous indiquent que la CEC et le pH du sol ont un impact sur les teneurs en P et K disponibles dans le sol et l'ensemble de ces paramètres sont contrôlés par la teneur en COS du sol. Ces résultats sont en cohérence avec les travaux de Houben et al. (2017) ; Yang et Lu (2022) qui révèlent une relation étroite entre le

P-ass et le pH du sol, et de Stockmann et al. (2024) qui lient la disponibilité du phosphore à la capacité de rétention du sol elle aussi influencée par le carbone organique du sol. En améliorant le pH et la CEC du sol, cela contribue à augmenter les teneurs en éléments nutritifs disponibles et leur prélèvement par les cultures serait plus accru surtout le P assimilable du sol.

Conclusion:

L'objectif de la présente étude consistait à déterminer les effets de différents phospho-composts au biochar sur le pH, la CEC et les teneurs en COS, azote total, phosphore (total et assimilable) et potassium (total et disponible) du sol. Globalement, la CEC du sols amendés aux phospho-composts avec ou sans biochar a été significativement plus élevée que celle du témoin absolu. Aussi, le traitement PcomFLBio-100 a amélioré significativement les teneurs en P (total et assimilable) et en K disponible par rapport au témoin et à la FMV.

Ainsi, l'utilisation des composts de pailles de riz et de résidus de fruits et légumes produits avec l'ajout de phosphate naturel et du biochar permet d'améliorer les caractéristiques chimiques des sols sous irrigation. Ces co-composts présentent également un bénéfice environnemental en limitant les pertes de nutriments dans les conditions irriguées. Des investigations sont par ailleurs nécessaires pour évaluer leurs effets à long terme sur les rendements des cultures.

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. Les auteurs tiennent à remercier le Projet d'Appui à l'Enseignement Supérieur (PAES) du Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, un des projets de l'Etat Burkinabé financé par la Banque Mondiale.

Conflits d'intérêts

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 et HBN : encadrement, orientation de l'étude et correction du manuscrit.

Références Bibliographiques:

1. Allaire, S., Lange, S.F., Auclair, I., Quinche, M., 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>
2. Archanjo, B.S., Mendoza, M.E., Abu, M., Mitchell, D.R., Hagemann, N., Mayrhofer, C., Mai, T.L.A., Weng, Z., Kappler, A., 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.
3. Bacyé, B., Kambire, H.S., Sawadogo, M.O., 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>
4. Bazin, F., 2017. Analyse des systèmes de production du périmètre irrigué de Bagré (Burkina Faso).
5. Bikienga, M., 2001. Etude de faisabilité d'électrification rurale de quatre localités (Bama, Gayeri, Seytenga, Sebba) du Burkina Faso (Rapport final). Burkina Faso.
6. Bray, R.H., Kurtz, L.T., 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59, 39–46. <https://doi.org/10.1097/00010694-194501000-00006>
7. Bureau National des Sols (BUNASOLS), 1990. Manuel pour l'évaluation des terres.
8. Cissé, D., Cornelis, J., Traoré, M., Saba, F., Coulibaly, K., Lefebvre, D., Colinet, G., 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>
9. Comité National des Semences (CNS), 2014. Catalogue national des espèces et des variétés agricoles au Burkina Faso.

10. Compaoré, E., 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.
11. Epolyeste, A., Yacouba, H., Zombre, P., 2015. Etat de fertilité des sols du périmètre irrigué gravitaire de Gouran dans la vallée du Sourou au Burkina Faso: Constats et perspectives. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 8, 2119. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i5.17>
12. Fairhurst, T., 2015. Manuel de gestion intégrée de la fertilité des sols. CTA / CABI.
13. FAO, ITPS, 2015. État des ressources mondiales en sols (Résumé technique), Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et Groupe technique intergouvernemental sur les sols. Rome, Italie.
14. Fischer, D., Erben, G., Dunst, G., 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>
15. Fontes, J., 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.
16. Gao, S., Harrison, B., Thao, T., Gonzales, M., An, D., Ghezzehei, T., Diaz, G., Ryals, R., 2023. Biochar co-compost improves nitrogen retention and reduces carbon emissions in a winter wheat cropping system. *GCB Bioenergy* 15. <https://doi.org/10.1111/gcbb.13028>
17. 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.
18. Houben, D., Hardy, B., Faucon, M.-P., Cornelis, J.-T., 2017. Effet du biochar sur la biodisponibilité du phosphore dans un sol limoneux acide. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* <https://doi.org/10.25518/1780-4507.13539>
19. Ibrahim, A., Saito, K., Bado, V.B., Wopereis, M.C.S., 2021. Thirty years of agronomy research for development in irrigated rice-based cropping systems in the West African Sahel: Achievements and perspectives. *Field Crops Research* 266, 108149. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108149>
20. Kambou, D., 2019. Évaluation des performances techniques de l'irrigation au Burkina Faso (Thèse de doctorat unique en sciences agronomiques et ingénierie biologique). Université de Liège - Gembloux Agro - Bio Tech, Gembloux, Belgium.
21. Khan, N., Clark, I., Sánchez-Monedero, M.A., Shea, S., Meier, S., Qi, F., Kookana, R.S., Bolan, N., 2016. Physical and chemical properties of biochars co-composted with biowastes and incubated with a chicken litter compost. *Chemosphere* 142, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.05.065>
22. Mahmood, F., Khan, I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Abid, M., Ullah, S., 2017. Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. *Journal of soil science and plant nutrition* 17, 22–32. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000002>
23. Montaigne, W., Debon, H., Domenach, A.-M., Roggy, J.-C., 2018. Gestion durable de la fertilité des sols par l'utilisation de matières organiques: retours d'expérience en Guyane française. *Innovations Agronomiques* 64, 71-82.
24. Nain, P., Purakayastha, T.J., Sarkar, B., Bhowmik, A., Biswas, S., Kumar, S., Shukla, L., Biswas, D.R., Bandyopadhyay, K.K., Agarwal, B.K., Saha, N.D., 2022. Nitrogen-enriched biochar co-compost for the amelioration of degraded tropical soil. *Environmental Technology* 1-16. <https://doi.org/10.1080/09593330.2022.2103742>
25. Ouédraogo, A., Kabore, F., Kabore, O., 2022a. Perception de la fertilité des sols et stratégies d'adaptation des producteurs agricoles à Samandéni (Burkina Faso): Soil fertility perception and adaptation strategies of farmers in Samandéni (Burkina Faso). *Int. J. Bio. Chem. Sci* 16, 1536–1553. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v16i4.15>
26. Ouédraogo, J., Kpoda, K.C., Pouya, M., Serme, I., 2022b. Diagnostic de la fertilité chimique des principaux sols rizicoles de la Vallée du Sourou au Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies* 38, 470-480.
27. Rhoades, J.D., 1982. In *Methods of Soil Analysis, Part 2, Second Edition* (A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney, Eds.), ed. American Society of Agronomy. Madison, USA.
28. Segda, Z., Yameogo, L.P., Bonzi, M., Sedogo, M.P., 2014. Le carbone et l'azote dans les différentes fractions granulométriques d'un sol bruneutrophe tropical sous irrigation de Bagré au Burkina Faso: effets de modes d'apports différents de matières organiques et minérales. *J. App. Bioscience*. 78, 6743-6752. <https://doi.org/10.4314/jab.v78i1.6>
29. Segda, Z., Yameogo, P.L., Gnankambary, Z., Sedogo, P.M., 2013. Effets induits du type de fumure sur les paramètres chimiques du sol et sur le rendement paddy dans la plaine rizicole de Bagré au Burkina Faso. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* 36, 35-46.

30. Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E., Bol, R., 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy* 105, 47-82. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)
31. Stockmann, U., Farrell, M., Carter, T., Krawitz, S., Wong, V.N.L., Minoneti, V., Finau, D., Sharma, A., Barringer, J., Manu, V.T., Karunaratne, S., Macdonald, B.C.T., 2024. State and trend of surface soil organic carbon stocks and associated nutrients in Tongatapu, Kingdom of Tonga. *Soil Res.* 62. <https://doi.org/10.1071/SR23071>
32. Suriyagoda, L.B.D., 2022. Rice production in nutrient-limited soils: Strategies for improving crop productivity and land sustainability. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka* 50. <https://doi.org/10.4038/jnsfsr.v50i3.10601>
33. Traoré, D., Nikiema, M., Somda, M., Sawadogo, J., Dianou, D., Traore, A., 2016. Contribution à la biométhanisation de la biomasse végétale: cas des résidus de légumes au Burkina Faso. *International Journal of Biologicals and chemical Sciences* 10, 35-47. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i1.4>
34. Trolard, F., Irfan, K., Shahzad, T., Bourrié, G., 2018. Dynamiques bio-géochimiques en rizière - les apports du monitoring in situ. *Le riz et la Camargue: vers des agro-systèmes durables.*
35. Walkley, A., Black, I.A., 1934. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science* 37, 29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>
36. Wang, Y., Villamil, M.B., Davidson, P.C., Akdeniz, N., 2019. A quantitative understanding of the role of co-composted biochar in plant growth using meta-analysis. *The Science of the total environment* 685, 741-752. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.244>
37. Yaméogo, L., Yanogo, P.I., Sanou, K., 2020. Dynamiques spatiale et enjeux stratégiques de la riziculture au Burkina Faso. *L'Espace Politique. Revue en ligne de géographie politique et de géopolitique.* <https://doi.org/10.4000/espacepolitique.7608>
38. Yaméogo, P.L., Traore, A., Bandaogo, A.A., 2021. Influence des modes de gestion de l'eau et de la fumureminérale sur quelquesparamètreschimiques du sol et le rendement du riz à la Vallée du Kou au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences* 165, 17099-17110.
39. Yang, C., Lu, S., 2022. Straw and straw biochar differently affect phosphorus availability, enzyme activity and microbial functional genes in an Ultisol. *Science of the Total Environment* 805, 150325. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.150325>
40. Yr, H.S.R., Vishnu, P., Ysasvi, B., Changade, D.N.M., 2022. Effect on soil fertility under different cropping sequences, irrigation levels and fertilizer doses: A review. *Pharma Innovation* 11, 2189-2193.
41. Yu, H., Xie, B., Khan, R., Shen, G., 2019. The changes in carbon, nitrogen components and humic substances during organic-inorganic aerobic co-composting. *Bioresource Technology* 271, 228-235. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.088>.