



Original Paper

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

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

Effets combinés de la roche phosphatée et des fertilisants chimiques sur les paramètres agronomiques du riz pluvial dans trois zones agroécologiques de la Côte D'Ivoire

Wondouet Hippolyte KPAN¹, Affi Jeanne BONGOUA-DEVISME^{1*}, Brahim KONE¹,
Franck Michael Lemounou BAHAN², Konan-Kan Hippolyte KOUADIO¹,
Kouassi Pla ADOU¹ et Anselme Kan Louis KOKO³

¹Département de Pédologie et Agriculture Durable, UFR STRM, Université FHB, Cocody, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

²Centre National de Recherche Agronomique-CNRA de Man, BP 4040 Man, Côte d'Ivoire.

³Office Chérifiens des Phosphates (OCP), Africa, Côte d'Ivoire.

*Auteur correspondant ; E-mail : bongoua_jeanne@yahoo.fr ; Tel. : +225 07 58 41 50 04

Received: 08-07-2023

Accepted: 20-11-2023

Published: 31-12-2023

RESUME

En Côte d'Ivoire, la surexploitation des parcelles rizicoles induit une acidification des sols, rend le phosphore peu disponible à la nutrition des cultures. Dans le but de tester l'efficacité agronomique des amendements phosphatés sur le riz pluvial dans trois zones agroécologiques (Man, Gagnoa et Bouaké), huit traitements à base de roche phosphatée du Maroc (RP) et de triple superphosphate (TSP) [T0a (témoin absolu, sans engrais) ; T0 (Pratique paysanne, NPK) ; T1 (100 RP+ 0% TSP) ; T2 (90% RP+ 10% TSP) ; T3 (80% RP+ 20% TSP) ; T4 (40% RP+ 60% TSP) ; T5 (20% RP+ 80% TSP) ; T6 (0% RP+ 100% TSP)] ont été élaborés et appliqués au champ. Nos résultats indiquent que les sols de Man et de Gagnoa ont un RDG respectivement 2,29 t.ha⁻¹ et 1,92 t.ha⁻¹, et un RDP respectivement 3,13 t.ha⁻¹ et 2,96 t.ha⁻¹ plus élevés qu'à Bouaké (1,47 t.ha⁻¹ RDG et 2,23 t.ha⁻¹ RDP). Le taux d'augmentation relative du RDG par rapport à T0 est plus important à Man (300%) qu'à Gagnoa et Bouaké. Cette différence pourrait être liée au pH des sols des zones qui semble influencer l'efficacité agronomique des AP proposés. Toutefois, quelle que soit la zone d'étude la combinaison 80% de RP du Maroc et 20% TSP semble être le meilleur amendement.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Roche phosphatée du Maroc, Triple superphosphate, NPK, Rendement, riz, Côte d'Ivoire.

Combined effect of phosphate rock and chemical fertilizers on agronomic parameters of rainfed rice in three agro-ecological zones of Côte d'Ivoire

ABSTRACT

In Ivory Coast, the continuous exploitation of paddy soil year after year leads to long-term soil acidification, resulting in the unavailability of phosphorus and a restriction on crop production. To evaluate the agronomic effectiveness of phosphate amendment on rainfed rice cultivation in three agro-ecological zones of Côte d'Ivoire (Man, Gagnoa, and Bouaké), eight treatments were developed and applied within the fields. These

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

9466-IJBCS

DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i7.29>

treatments consisted of different combinations of Moroccan phosphate rock (PR) and triple super phosphate (TSP), namely, T0a (absolute control without fertilizer), T0 (peasant practice, NPK), T1 (100% RP + 0% TSP), T2 (90% RP + 10% TSP), T3 (80% RP + 20% TSP), T4 (40% RP + 60% TSP), T5 (20% RP + 80% TSP), and T6 (0% RP + 100% TSP). The results of our study indicate that the soils in Man and Gagnoa exhibited higher grain yields (GY), measuring 2.29 t.ha⁻¹ and 1.92 t.ha⁻¹ respectively, as well as higher straw yields (SY) of 3.13 t.ha⁻¹ and 2.96 t.ha⁻¹ respectively, in comparison to Bouaké, which had GY of 1.47 t.ha⁻¹ and SY of 2.23 t.ha⁻¹. The relative rate of increase in grain yield compared with the control was more significant in Man (300%) than in Gagnoa (262,6%) and Bouaké (187,4%). This divergence could be attributed to the soil pH, which appears to influence the agronomic efficiency. Regardless of the study zone, the combination of 80% Moroccan PR and 20% TSP demonstrated optimal effectiveness as an amendment.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Moroccan phosphate rock, Triple superphosphate, NPK, phosphate amendment, Ivory coast

INTRODUCTION

Dans les régions tropicales, notamment en Côte d'Ivoire, le riz est considéré comme l'aliment de base de la grande majorité de la population. Cependant, la production nationale ne parvient qu'à satisfaire environ 50% de la demande nationale, estimée à une moyenne annuelle d'1 500 000 tonnes de riz blanchi. Cette faible production s'explique en partie par le fait que les deux tiers des surfaces rizicoles se trouvent sur des sols ferrallitiques fortement désaturés et donc acides (Sahrawat et al., 2001). En effet, sur ces sols acides, la disponibilité des éléments nutritifs, tels que le phosphore, est limitée en raison de leur réaction avec certains cations métalliques, comme l'aluminium et le fer (Graham et al., 2005). Cette limitation entraîne une baisse de rendement et une diminution de la qualité des récoltes de riz (Kotchi et al., 2010).

Pour surmonter cette contrainte, des engrais chimiques solubles phosphatés sont utilisés de manière raisonnée afin d'accroître les rendements et d'améliorer l'acidité et la fertilité des sols (Koné et al., 2010a, 2010b). Cependant, Abbasi et al. (2015) ont révélé que seulement 1% des engrais phosphatés appliqués est utilisé par la plante en raison de la complexation de ces engrais avec les ions métalliques du sol. De plus, l'utilisation de ces fertilisants chimiques solubles, comme le triple superphosphate, est trop coûteuse pour les petits agriculteurs africains.

Dans ce contexte, des techniques plus économiques et écologiques ont été développées, telles que l'utilisation des roches

phosphatées. Ces ressources naturelles peu coûteuses sont reconnues comme étant une alternative viable pour l'agriculture durable (Reddy et al., 2002). Cependant, un des défis majeurs de l'application directe des roches phosphatées aux sols est leur faible solubilité, qui limite la libération de phosphore disponible pour les plantes (Smalberger et al., 2010). Il est donc essentiel d'améliorer la réactivité des roches phosphatées en utilisant des techniques innovantes.

C'est dans ce contexte que des amendements phosphatés, composés de différentes proportions de roche phosphatée du Maroc et de fertilisants phosphatés chimiques solubles tels que le triple superphosphate, ont été développés afin de lutter contre l'acidification des sols et d'améliorer la nutrition phosphatée en riziculture pluviale dans différentes zones agroécologiques. L'efficacité de ces différents amendements phosphatés sera évaluée en termes de paramètres agro-morphologiques du riz pluvial après trois cycles de cultures successifs.

MATERIEL ET METHODES

Sites d'étude

Trois zones agroécologiques, où le pH des sols varie de faiblement acide à très acide, ont été sélectionnées dans trois localités différentes situées respectivement à l'Ouest, au Centre-Ouest et au Centre de la Côte d'Ivoire: Man (7°24'45''N, 7°33'13''O ; sol très acide), Gagnoa (6°07'54''N, 5°57'02''O; sol moyennement acide), et Bouaké (6°41'37''N, 5°01'49''O ; sol faiblement acide). Cinq

parcelles villageoises ont été choisies dans chaque zone en considérant chaque parcelle comme une répétition. Au total, l'étude a été menée dans 15 parcelles villageoises. Douze échantillons de sols ont été prélevés à la tarière à une profondeur de 0-20 cm sur chaque parcelle suivant leurs diagonales et mélangés pour obtenir un échantillon composite par parcelle. L'échantillon composite obtenu est ensuite tamisé à 2 mm et séché à l'air libre pour la caractérisation physico-chimique avant la mise en place de l'expérimentation.

Matériel

Matériel végétal

La variété de riz utilisée est IDSA 10 aussi appelée fafa fournie par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Man. Issue du croisement entre IRAT112 et Iguape Cateto, elle se cultive généralement sur les plateaux et les pentes, et est une variété à cycle court (105 jours) avec un rendement moyen de 2,5t.ha⁻¹ et un rendement potentiel de 4,8t.ha⁻¹.

Matériel chimique et naturel

La roche phosphatée (RP) utilisée provient du Maroc et a été fournie par l'OCP-Africa (Office Chérifien des Phosphates). Sa composition chimique est donnée dans le Tableau 1.

Le TSP (Triple Superphosphate) a été fourni également par l'OCP-Africa et contient 30% de P₂O₅. Le NPK 15/15/15 et l'Urée 46% N ont été achetés sur le marché local.

Méthodes

Conduite des essais

Dans chaque localité, l'expérimentation a été réalisée, dans cinq parcelles différentes, dans un dispositif en blocs complètement randomisés avec huit traitements où chaque parcelle a représenté une répétition. Six différents amendements phosphatés, résultant de la combinaison RP-TSP, ont été apportés à la dose totale de 90 kg P₂O₅. ha⁻¹ soit 300 kg.ha⁻¹ de TSP et/ou RP avant le semis. Il s'agit des combinaisons 100% RP et 0% TSP (T1) ; 90% RP et 10% TSP (T2); 80% RP et 20% TSP (T3), 40% RP et 60% TSP (T4); 20% RP et 80% TSP (T5) ; 0% RP et 100% TSP (T6)

(Tableau 2). A ces combinaisons s'ajoutent le témoin absolu (T0a, sans engrais) et la pratique paysanne (T0, NPK + Urée). Au total, l'essai comporte huit traitements 100% RP et 0% TSP (T1) ; 90% RP et 10% TSP (T2); 80% RP et 20% TSP (T3), 40% RP et 60% TSP (T4); 20% RP et 80% TSP (T5) ; 0% RP et 100% TSP (T6) ; Témoin sans engrais (T0a) et la pratique paysanne (T0, NPK). Le NPK 15-15-15 et l'Urée à 46% N ont été apportés en raison de 200 kg.ha⁻¹ et 100 kg.ha⁻¹, comme fumure de fond et fumure d'entretien respectivement pour chaque micro-parcelle sauf pour le témoin absolu.

Sur chaque parcelle, un essai de 300 m² de superficie a été mis en place et subdivisé en huit micro-parcelles élémentaires de 25m² (8 m × 3,13 m) séparées par une allée de 1,5 m. Chaque micro-parcelle délimite un traitement appliqué.

Selon le calendrier cultural de chaque zone d'étude, les semis ont été effectués directement à raison de quatre grains par poquet. Après la levée des plants de riz, un démariage a été fait en laissant deux plants par poquet avant le tallage. L'urée 46% N a été apportée à la dose de 100 kg.ha⁻¹ à la volée en raison de 50 kg.ha⁻¹ au tallage et 50 kg.ha⁻¹ à la montaison. Afin d'éviter une compétition entre le riz et les adventices, des désherbages manuels ont été réalisés au besoin. Aucun insecticide ni fongicide n'a été apporté sur les parcelles.

Collecte des données

A la maturité (105 jours après germination), les nombres de talles (Tal) et de panicules (Pan) du riz par poquet ont été déterminés par comptage pour chaque pied fertile, c'est-à-dire ayant donné des panicules, dans un cadran de 1 m² pour chaque traitement. La hauteur (cm) des plants de riz a été mesurée à l'aide d'une toise depuis la base jusqu'à la limite de la plus haute feuille. La biomasse constituée de la paille des panicules, des talles et des feuilles a été collectée dans chaque carré de rendement, séchée à l'air libre et pesée afin de déterminer le rendement paille (RDP) par m². Le rendement grains (RDG) a été déterminée après séchage des grains à l'air libre puis à l'étuve à 65°C durant 72 heures. Le

rendement grain (RDG) a été calculé en ramenant les poids des grains à 14% d'humidité selon la formule ci-dessous :

$$RDG (14\%) = \frac{P1(100-h1)}{100-14} \quad [1]$$

L'indice de récolte (IR) défini comme le rapport entre le rendement grains et la somme du RDG et du RDP a été calculé :

$$IR(\%) = \frac{RDGx}{RDGx + RDPx} \times 100 \quad [2]$$

où RDGx est le Rendement Grain d'un traitement x et RDPx Rendement Paille du même traitement.

Le taux d'augmentation relative (TAR) des RDG de chaque traitement calculé par rapport à la pratique paysanne (T0) a été déterminé selon la formule décrite par Koné et

al. (2010). Il permettra de mieux apprécier la profitabilité de l'adoption de cette technologie par les agriculteurs

$$TAR = \frac{RDGx - RDG T0}{RDG T0} \times 100 \quad [3]$$

Analyses statistiques

La significativité des différents traitements sur les différents paramètres agronomiques du riz a été faite selon le test de Student Newman-Keuls (SNK) à l'aide du logiciel SAS. Le test de Student Newman Keuls (SNK) a servi pour la comparaison des moyennes selon la méthode de la plus petite différence significative (ppds) au seuil de significativité de 5%.

Tableau 1 : Composition chimique de la roche phosphatée du Maroc.

Éléments chimique	P ₂ O ₅	CO ₂	SO ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	F ₂ O	H ₂ O
Teneur (%)	30	6,44	1,29	6,64	49,54	1,16	0,2	0,41	2,21	2,13

Tableau 2 : Composition des traitements et doses d'éléments fertilisants apportés.

Traitements	Doses d'engrais apportées (kg.ha ⁻¹)				Quantité totale de fertilisant	Quantité d'éléments fertilisants apportés (kg.ha ⁻¹) par les différents traitements		
	RP	TSP	NPK	Urée		N	P	K
T0a	0	0	0	0	0	0	0	0
T0	0	0	200	100	200 NPK + 100 Urée	76	13,2	24,9
T1	300	0	200	100	300 RP + 200 NPK + 100 Urée	76	52,8	24,9
T2	270	30	200	100	270 RP + 30 TSP + 200 NPK + 100 Urée	76	52,8	24,9
T3	240	60	200	100	240 RP + 60 TSP + 200 NPK + 100 Urée	76	52,8	24,9
T4	180	120	200	100	180 RP + 120 TSP + 200 NPK + 100 Urée	76	52,8	24,9
T5	60	240	200	100	60 RP + 240 TSP + 200 NPK + 100 Urée	76	52,8	24,9
T6	0	100	200	100	300 TSP + 200 NPK + 100 Urée	76	52,8	24,9

RESULTATS

Caractéristiques des sols avant la mise en place de l'expérimentation

La caractérisation des sols des trois localités étudiées montre qu'ils ont une texture sablo-argilo-limoneuse (Man et Gagnoa) à sablo-limono-argileuse (Bouaké) avec 49,45 à 58,5% de sable. Quelle que soit la localité, les sols ont une teneur en phosphore total élevée (Man : 180,3 mg.kg⁻¹ ; Gagnoa: 188,21 mg.kg⁻¹; Bouaké : 106,7 mg.kg⁻¹). Les sols de Man sont plus acides (pH = 4,52) que ceux de Gagnoa (pH = 5,81) et de Bouaké (pH = 6,25) (Tableau 3). La teneur en phosphore assimilable est plus faible à Man et à Gagnoa avec respectivement 7,61 g.kg⁻¹ et 8,36 g.kg⁻¹ qu'à Bouaké (21 g.kg⁻¹). Les teneurs en K⁺ (0,45 à 1,32 mmol⁺.kg⁻¹), Ca²⁺ (29,7 à 36,4 mmol⁺.kg⁻¹) et Al³⁺ (3,12 à 6,2 mmol⁺.kg⁻¹) sont plus élevées à Gagnoa et Man que celles de Bouaké avec 2,5 mmol⁺.kg⁻¹ K⁺, 22,15 mmol⁺.kg⁻¹ Ca²⁺ et 0,75 mmol⁺.kg⁻¹ Al³⁺. La capacité d'échange cationique (CEC) des sols de Man (55,6 mmol⁺.kg⁻¹) et Gagnoa (52,8 mmol⁺.kg⁻¹) est plus élevée que celle de Bouaké (32,1 mmol⁺.kg⁻¹). Les sols de Man et de Gagnoa sont plus riches en C (14,3 à 16,6 g.kg⁻¹ sol sec), N (120 à 150 g.kg⁻¹ sol sec) et en matière organique (24 à 28 g.kg⁻¹ sol sec) que ceux de Bouaké avec 55 g.kg⁻¹ sol sec C, 100 g.kg⁻¹ sol sec N et 9,4 g.kg⁻¹ sol sec MO.

Effet des amendements phosphatés sur les paramètres agro-morphologiques du riz pluvial

Le Tableau 4 montre les paramètres agro-morphologiques (hauteur, nombre de talles ou de panicules.m²) moyens du riz pluvial en fonction des amendements phosphatés. On note des différences très hautement significatives ($p < 0,0001$) entre les valeurs moyennes obtenues sous les sols amendés et celles sous les sols non amendés (T0a et T0). Aussi, quelle que soit la zone d'étude, les paramètres agro-morphologiques (hauteur, nombre de talles et de panicules.m²), sont-ils significativement plus élevés lorsque l'amendement phosphaté est riche en RP (40 à 100% RP), c'est-à-dire sous les traitements T3, T4, T2 et T1 (Tableau 4) où on note 112,5 à 124,35 cm de hauteur, 162,5 à 250 talles.m² et

129,6 à 197 panicules.m²(Tableau 4). Toutefois, A Man et à Gagnoa où les sols sont plus acides, les paramètres agro-morphologiques (hauteur, nombre de talles ou de panicules.m²) moyens du riz pluvial sont significativement plus élevés avec en moyenne 83 à 100,6 cm, 134 à 168 talles.m² et 103 à 123 panicules.m², quel que soit le traitement appliqué. Par contre, à Bouaké où les sols sont faiblement acides, on note en moyenne 92,7 cm, 125,9 talles.m² et 122 panicules.m² quel que soit le traitement appliqué (Tableau 4).

Par ailleurs, quel que soit la zone agroécologique, les plantes sous les traitements où l'amendement phosphaté (AP) est riche en RP (T1; T2; T3 et T4) présente des hauteurs plus élevées (103 à 124 cm) que celle sous les traitements où l'AP est pauvre en RP et riche en TSP (T5 et T6) avec 62,4 à 95,4 cm (Tableau 4). De plus, les sols de Man et de Gagnoa ont produit plus de talles respectivement 168,04 talles.m² et 134,79 talles.m², comparativement au sol de Bouaké (125,93 talles.m²).

Les amendements phosphatés apportés ont considérablement augmenté très hautement significative ($p < 0,0001$) les rendements en grain (RDG) et en paille (RDP) ainsi que l'indice de récolte (IR) dans toutes les zones étudiées, par rapport aux traitements témoins (T0 et T0a), selon le tableau 5. Les rendements en RDG et RDP sont significativement plus élevés lorsque l'amendement phosphaté contient une forte proportion de RP, comme dans les traitements T3 et T4, avec des valeurs allant de 4,13 à 4,45 t.ha⁻¹ pour RDP et 3,04 à 3,36 t.ha⁻¹ pour RDG (tableau 6). Les résultats montrent que le riz cultivé sur les sols faiblement acides (Bouaké) a des rendements moyens en RDG (1,47 t.ha⁻¹) et RDP (2,23 t.ha⁻¹) plus faibles que ceux cultivés sur les sols plus acides. À Gagnoa, les rendements en RDP et RDG sont respectivement de 2,96 t ha⁻¹ et 2,23 t.ha⁻¹, tandis qu'à Man, on note 3,13 t.ha⁻¹ pour le RDP et 2,29 t.ha⁻¹ pour le RDG (Tableau 5).

L'analyse de variance (ANOVA) révèle une différence très significative entre les indices de récolte (IR) de tous les traitements dans les trois zones (Tableau 5). Dans chaque zone, les traitements amendés (T1 à T6) ont des

valeurs d'IR plus élevées que les traitements témoins (T0a et T0). Gagnoa affiche les valeurs d'IR les plus élevées, suivie de Man et de Bouaké. Cependant, le traitement T3 présente un IR plus élevé que les autres traitements, avec des valeurs de 0,43, 0,44 et 0,4 respectivement à Man, Gagnoa et Bouaké (Tableau 5).

Le taux d'Augmentation Relative (TAR) calculé en comparant les rendements des traitements avec le témoin T0 indique que dans toutes les zones étudiées, le TAR le plus

élevé a été observé dans le traitement T3 avec des valeurs de 319% suivie des traitements T4, T1, T2, T5 T6 avec des valeurs respectivement de 269,7%, 196%, 195%, 108% et de 102% (Tableau 6). Il est important de noter que les sols plus acides (Man et Gagnoa) présentent un TAR plus élevé par rapport au témoin T0 que les sols faiblement acides (Bouaké). Les TAR moyens dans chaque zone sont de 398,3% à Man, 262,6% à Gagnoa, et 187,4% à Bouaké (Figure 1).

Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques des sols dans la strate 0 - 20 cm avant expérimentation.

Paramètres	Man	Gagnoa	Bouaké
Argile (%)	27,22	24,43	17,5
Limon (%)	23,33	20,33	24
Sable (%)	49,45	55,24	58,5
pHeau	5,52	6,01	6,25
pH _{KCl}	4,5	5,6	5,9
P total (mg.kg ⁻¹ sol sec)	180,3	188,21	106,7
P assi (mg.kg ⁻¹ sol sec)	7,61	7,36	21
P assi / Ptotal (%)	4,22	3,91	19,68
C organique (g.kg ⁻¹ sol sec)	14,3	16,6	5,5
N total (g.kg ⁻¹ sol sec)	1,20	1,50	1,00
MO ((g.kg ⁻¹ sol sec))	24,73	28,71	9,51
C/N	11,92	11,07	05,50
K ⁺ (mmol ⁺ .kg ⁻¹)	2,78	2,85	2,5
Na ⁺ (mmol ⁺ .kg ⁻¹)	0,45	1,32	0,4
Ca ⁺⁺ (mmol ⁺ .kg ⁻¹)	29,67	36,4	22,15
Mg ⁺⁺ (mmol ⁺ .kg ⁻¹)	5,25	9,48	6,6
Al ⁺⁺⁺ (mmol ⁺ .kg ⁻¹)	6,20	3,12	0,75
CEC (mmol ⁺ .kg ⁻¹)	49,11	54,35	21,49

Tableau 4 : Hauteur moyenne (cm) du riz, le nombre de talles et de panicules moyens / m² sous les différents traitements durant les trois cycles de culture.

Traitement	Hauteur des plants (cm)			Nombre de talles/m ²			Nombre de panicules/m ²		
	Man	Gagnoa	Bouaké	Man	Gagnoa	Bouaké	Man	Gagnoa	Bouaké
T0a : -NPK	36,84 ^f	73,11 ^e	52,51 ^d	81,93 ^e	68,79 ^b	67 ^c	49,65 ^f	53,73 ^d	64,4 ^c
T0 : +NPK	51,99 ^e	91,64 ^d	71,75 ^c	109,01 ^d	148,51 ^a	76,45 ^c	69,77 ^{ef}	86,75 ^c	73,13 ^c
T1 : 100%RP+NPK	108,22 ^{bc}	110,11 ^{ba}	106,5 ^a	196,13 ^b	145,91 ^a	150 ^{ba}	151,07 ^c	119,53 ^{ba}	148,7 ^{ba}
T2 : 90%RP+10%TSP+NPK	107,68 ^{bc}	105,54 ^{bc}	103,5 ^a	200,11 ^b	138,69 ^a	143,5 ^{ba}	156,56 ^{bc}	112,83 ^{ba}	141,05 ^{ba}
T3 : 80%RP+20%TSP+NPK	124,35 ^a	121,26 ^a	112,5 ^a	250,34 ^a	167,2 ^a	162,5 ^a	196,69 ^a	129,63 ^a	160,96 ^a
T4 : 60%RP+40%TSP+NPK	115,29 ^{ba}	113,94 ^{ba}	110,15 ^a	232,94 ^a	158,57 ^a	142 ^{ba}	176,24 ^{ba}	124,72 ^a	140,6 ^{ba}
T5 : 20%RP+80%TSP+NPK	69,05 ^d	95,37 ^{dc}	93 ^b	140,28 ^c	126,41 ^a	126,83 ^b	97,63 ^d	101,1 ^{bc}	121,73 ^b
T6 : 0%RP+100%TSP+NPK	62,36 ^{ed}	94,07 ^{dc}	92 ^b	133,62 ^c	124,28 ^a	139,19 ^{ba}	133,62 ^c	99,84 ^{bc}	137,12 ^{ba}
Moy. G	83,97	100,63	92,73	168,04	134,79	125,93	123,42	103,51	122,31
CV (%)	32,02	22,1	13,27	28,36	62,69	24,99	34,63	38,51	25,67
ppds	14,19	12,67	14,79	25,57	48,12	86,76	22,93	22,7	78,58
Pr > F	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	0,004 [*]	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}

Les valeurs dans la même colonne, suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls $p < 0,05$. *** très hautement significatif au seuil de $p < 0,05$; * significatif au seuil de $p < 0,05$; ns : non significatif au seuil de $p < 0,05$.

Tableau 5 : Rendement en grain du riz (RDG) moyen, Rendement en paille (RDP) moyen, indice de récolte (IR) moyen sous les différents traitements après les trois cycles de culture.

Traitement	RDP (t ha ⁻¹)			RDG (t ha ⁻¹)			IR		
	Man	Gagnoa	Bouaké	Man	Gagnoa	Bouaké	Man	Gagnoa	Bouaké
T0a : -NPK	0,99 ^e	1,22 ^e	1,14 ^d	0,63 ^e	0,61 ^c	0,55 ^d	0,31 ^e	0,38 ^c	0,34 ^b
T0 : +NPK	1,54 ^d	2,19 ^d	1,79 ^c	0,94 ^e	0,97 ^c	0,84 ^c	0,32 ^e	0,38 ^c	0,3 ^b
T1 : 100%RP+NPK	3,76 ^b	3,13 ^c	2,33 ^{ba}	2,78 ^c	2,06 ^b	1,67 ^b	0,41 ^{ba}	0,42 ^{ba}	0,39 ^a
T2 : 90%RP+10%TSP+NPK	4,02 ^b	3,21 ^{bc}	2,51 ^{ba}	2,78 ^c	2,07 ^b	1,76 ^b	0,41 ^{bac}	0,4 ^{bc}	0,39 ^a
T3 : 80%RP+20%TSP+NPK	4,65 ^a	4,11 ^a	2,73 ^a	4,05 ^a	2,89 ^a	2,11 ^a	0,43 ^a	0,44 ^a	0,4 ^a
T4 : 60%RP+40%TSP+NPK	4,65 ^a	3,91 ^{ba}	2,67 ^a	3,54 ^b	2,79 ^a	1,82 ^b	0,4 ^{bc}	0,42 ^{ba}	0,4 ^a
T5 : 20%RP+80%TSP+NPK	2,53 ^c	2,84 ^{dc}	2,23 ^b	1,79 ^d	2,01 ^b	1,47 ^b	0,39 ^{dc}	0,42 ^{ba}	0,41 ^a
T6 : 0%RP+100%TSP+NPK	2,42 ^c	3,05 ^c	2,40 ^{ba}	1,8 ^d	1,99 ^b	1,54 ^b	0,38 ^d	0,44 ^{ba}	0,4 ^a
Moy. G	3,13	2,96	2,23	2,29	1,92	1,47	0,38	0,41	0,38
CV (%)	31	42,75	20,709	33,17	46,33	27,89	17,69	14,35	18,57
ppds	0,52	0,72	1,14	0,4	0,508	1,001	0,022	0,032	0,04
Pr > F	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	0,0004 ^{**}	<0,0001 ^{***}

Les valeurs dans la même colonne, suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls $p < 0,05$. *** très hautement significatif au seuil de $p < 0,05$.

Tableau 6 : Synthèse des résultats quelle que soit la zone d'étude.

Traitement	Hauteur (cm)	Talles /m ²	Panicule /m ²	RGD (t ha ⁻¹)	RDP (t ha ⁻¹)	IR	TAR
T0a	70,77 ^e	74,82 ^c	52,92 ^f	0,61 ^f	1,10 ^f	0,36 ^d	-
T0	53,76 ^f	122,21 ^c	77,27 ^e	0,94 ^e	1,84 ^e	0,34 ^e	-
T1	104,09 ^c	170,13 ^b	137,53 ^c	2,36 ^c	3,34 ^c	0,41 ^b ^c	196,24 ^c
T2	103,97 ^c	168,29 ^b	136,51 ^c	2,37 ^c	3,52 ^c	0,40 ^c	194,99 ^c
T3	121,8 ^a	206,08 ^a	164,69 ^a	3,36 ^a	4,45 ^a	0,42 ^a	319,01 ^a
T4	114,18 ^b	192,05 ^a	150,8 ^b	3,04 ^a	4,13 ^a	0,41 ^{ba}	269,72 ^b
T5	82,65 ^d	133,02 ^c	101,63 ^d	1,85 ^d	2,63 ^d	0,41 ^{ba}	108,45 ^d
T6	78,83 ^d	130,27 ^c	99,02 ^d	1,86 ^d	2,68 ^d	0,41 ^{ba}	102,10 ^d
Moy. G	91,26	149,61	115,05	2,05	2,96	0,4	156,71
CV (%)	28,48	45,99	38	42,24	38,67	26,18	38,79
Ppds	5,51	14,6	9,27	0,18	0,24	0,013	49,28
Pr > F	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}

Les valeurs dans la même colonne, suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls p<0,05. *** très hautement significatif au seuil de p<0,05

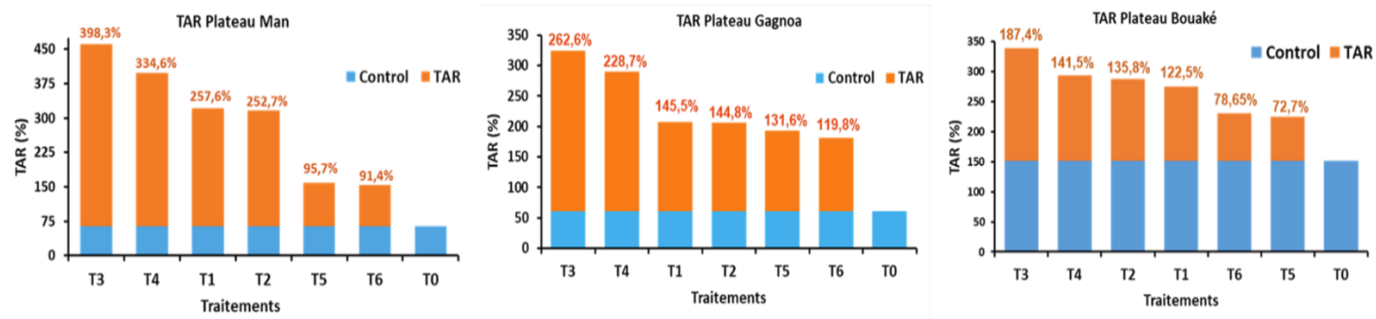


Figure 1 : Taux d'augmentation du RGD par rapport au témoin après 03 cycles de cultures en fonction des traitements.

DISCUSSION

La caractérisation des quinze parcelles rizicoles a montré dans l'ensemble que les sols contiennent une grande quantité de phosphore total mais la forme assimilable par les plantes est très faible surtout à Man et Gagnoa comme déjà indiqué dans divers travaux réalisés en côte d'Ivoire affirmant une complexation du P par les argiles, les oxydes et les hydroxydes métalliques (Koné et al., 2010a, 2010b ; Kotchi et al., 2010). De plus, le pH des sols des différentes parcelles de Man variant de 4 et 5,1 avec une moyenne de 4,6 est très fortement acide et ceux de Gagnoa variant de 4,3 et 5,7 avec une moyenne de 5,2 est fortement acide (Bassole et al., 2023). Cette forte acidité dans les deux localités (Gagnoa et Man) pourrait rendre le phosphore peu disponible et limiter les cultures, justifiant ainsi les très faibles teneurs en P assimilable observé à Man (7,61 g.kg⁻¹sol sec) et à Gagnoa (7,37 g.kg⁻¹sol sec). Par contre, à Bouaké le pH des sols des parcelles varie de 5,9 à 6,8 avec une moyenne de 6,4 et révèle que ces derniers sont faiblement acides à neutre traduisant une bonne disponibilité du P dans ces conditions justifiant la forte teneur en P assimilable (41,61 g.kg⁻¹sol sec) analysé. En effet, divers travaux ont montré que dans les sols acides, l'aluminium (Al³⁺) et le fer (Fe³⁺) peuvent réagir avec les anions phosphates pour former des composés fortement insolubles, sous formes de phosphates ferriques et phosphates alumineux, inaccessibles pour les plantes, (Drouet, 2010), et à l'origine de la déficience en P des sols, qui est l'une des principales contraintes à l'augmentation des rendements des cultures (Ablede et al., 2020). De plus, la bonne décomposition de la matière organique se traduisant par un rapport C/N élevé (C/N>11) à Man et Gagnoa expliquerait les plus fortes teneurs en matière organique observées à Man (2,46%) et à Gagnoa (2,83%). A Bouaké, la décomposition rapide à cause du rapport C/N<8 justifierait le plus faible taux de matière organique (0,94%).

Ces différences observées au niveau du pH, de la teneur en MO pourrait influencer la biodisponibilité du P comme suggéré par Fan et al. (2019) qui affirment que la disponibilité

du P biodisponible est intrinsèquement liée aux caractéristiques chimiques du sol. Cependant, les teneurs en carbone des sols des zones étudiées Man (14,3 g/kg), Gagnoa (16,6 g/kg) et Bouaké (5,5 g/kg) sont inférieures à la moyenne de la teneur en carbone des sols agricoles (18,2 g/kg) selon les travaux de Liang et al. (2019). Ce qui pourrait être des facteurs limitant dans l'assimilation des éléments majeurs, notamment du P (Koné et al., 2011 ; Liang et al., 2019). Il ressort de cette caractérisation des sols des trois localités étudiées que les sols diffèrent de par leurs paramètres chimiques dont certains paramètres comme le pH et la teneur en MO vont beaucoup influencer la dissolution des amendements phosphatés élaborés car selon Koné et al. (2010a) les roches phosphatées ont une forte réactivité à pH acide. Ainsi de par leurs paramètres chimiques les sols de Man et de Gagnoa auront une plus forte réactivité que ceux de Bouaké, et par conséquent l'efficacité agronomique des amendements proposés pourrait varier en fonction des paramètres de sols de chaque zone.

Nos résultats ont montré que l'apport d'amendements phosphatés a augmenté très significativement ($p < 0,0001$) les hauteurs, le nombre de panicules et de talles par m² des plants du riz pluvial, comparativement au témoin T0. Cette augmentation est plus prononcée au niveau des amendements où plus de 40% la roche phosphatée du Maroc (RP) est combinée au TSP c'est-à-dire sous les traitements T1, T2, T3 et T4. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Kotchi et al. (2010), Sanogo et al. (2020) qui ont observé une augmentation de la taille des plants de riz en faisant croître les doses combinées de N et P. Les plants sont moins grands sous les traitements riches en TSP (T5 et T6) comparativement aux traitements riches en RP (T1, T2, T3 et T4), de même que le nombre de panicules et talles par m² après trois cycles de cultures. Cela pourrait être lié à la baisse du P mis à disposition des plants par le TSP. En effet, la disponibilité rapide du P à la première année engendrait une baisse du P libéré pour les plants au fil des années de culture (Alam et al., 2009 ; Smalberger et al., 2010), puisqu'une

baisse de P disponible impacterait l'assimilation de N et induirait une baisse de la croissance végétative et de la production de matière sèche (Sanogo et al., 2020 ; Zhong et al., 2022) du riz.

Par ailleurs, les rendements de riz et de paille plus élevés à Man et Gagnoa, comparativement à Bouaké, quel que soit le traitement appliqué, serait lié au pH des sols de Man et Gagnoa qui sont plus acides que ceux de Bouaké car l'acidité des sols permet d'améliorer la solubilité et l'efficacité agronomique de la roche phosphatée (Kotchi et al., 2018). En effet, en condition acide, les ions H^+ vont réagir avec les ions PO_4^{3-} et se transformer hâtivement en ions $H_2PO_4^-$ et HPO_4^{2-} . Cette interaction entre le pH et les ions PO_4^{3-} favorise la libération et la mise à disposition de P pour les plantes. Aussi, les teneurs en Ca^{2+} , K^+ et C plus élevées dans ces deux zones qu'à Bouaké pourraient-ils également influencer le développement végétatif et la productivité (Bihari et al., 2021). Ainsi, la faible teneur de Ca^{2+} , K^+ et C à Bouaké comparativement à Man et Gagnoa, associées aux différents pH, sont responsables du fait que les rendements (RDG, RDP, TAR) de Bouaké soient inférieurs à ceux de Man et Gagnoa (Koné et al., 2011). Ces résultats démontrent que le pH faiblement acide des sols de Bouaké n'a pas favorisé l'efficacité des différentes combinaisons de la roche phosphatée du Maroc et du TSP (Gharous et al., 1997). L'analyse de nos résultats a montré un effet très hautement significatif ($p < 0,0001$) des traitements sur le RDG et RDP. Cependant les RDG et RDP sont plus élevés sous T1, T2, T3 et T4 où l'amendement phosphaté contient plus de 60% de RP, comparativement aux traitements T5 et T6 qui eux contiennent plus de 60% de TSP. Aussi, la valeur des coefficients de variation (CV) contenus dans les Tableaux montre qu'en moyenne 30% des paramètres agronomiques mesurées dépendent des traitements et donc des différentes proportions de RP. Ces résultats sont conformes à ceux de Koné et al. (2010a) qui ont constaté une hausse des rendements sous des traitements composés de la roche phosphatée de diverses origines

comparativement au TSP sous la culture du riz de plateau en zone de forêt semi-montagnaise de Côte d'Ivoire sous climats tropicaux, et à ceux de Kotchi et al. (2010) qui ont testé les réponses de différentes variétés de riz sur différentes doses croissantes de roche phosphatée et de TSP. Des résultats similaires ont été obtenus par Sanogo et al. (2020) à Gagnoa. La hauteur des plants, le nombre de talles, le rendements grain et paille plus élevés à Man comparativement à Gagnoa et Bouaké confirment l'hypothèse selon laquelle les sols à pH acides améliorent l'efficacité agronomique des roches phosphatées naturelles comme l'ont démontré les recherches de Koné et al. (2010a), Koné et al. (2011), Koné et al. (2014) et Kotchi et al. (2018).

En outre, il a été révélé que quelle que soit la zone étudiée, le traitement T3, c'est-à-dire 80% de RP et 20% de TSP donne le plus fort TAR et serait celui qui améliore le mieux le rendement du riz de plateau dans toutes les zones agroécologiques, comparativement aux travaux réalisés par Kotchi et al. (2010), Sossa et al. (2012) et Sanogo et al. (2020). Il a été constaté qu'une augmentation du RDG est accompagnée d'une augmentation du RDP comme le démontrent les travaux de Sossa et al. (2012). Le traitement T3 (80% RP+ 40% TSP) ayant favorisé une plus forte augmentation des paramètres mesurés (nombre de talles, de panicules, RDG, RDP) et calculés (TAR et IR) corrobore les résultats de Taktek (2015) qui a montré qu'il faudrait réduire d'environ 50% l'ajout de fertilisants chimiques en ajoutant un engrais phosphaté écologique pour avoir de meilleurs résultats. Les variations des valeurs des paramètres suivant la zone agroécologique, observées confirment que l'efficacité agronomique des engrais phosphatés varie en fonction des paramètres du sol (Prudencio, 1993; Sanginga et Woomer, 2009; Pypers, 2010 ; Fan et al., 2019).

Toutefois, la dose de $240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de la roche phosphatée naturelle du Maroc (RP) est la meilleure dose (T3) qui a donné une forte augmentation de tous les paramètres agronomiques du riz quel que soit la zone agroécologique étudiée. Mais cette dose de 240

kg.ha⁻¹ du phosphate naturel du Maroc qui a produit 4,1 t.ha⁻¹ RDG à Man est inférieure à celle de phosphate naturel de Tilemsi (300 kg.ha⁻¹) qu'il a produit 1,9 t.ha⁻¹ de RDG à Man (Kotchi et al., 2010a). De même, Koné et al. (2010a) ont obtenu un RDG de 2,5 t.ha⁻¹ à la troisième année de culture avec 300 kg P₂O₅ ha⁻¹ de phosphate du Togo (Tg) contre 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ proposé dans notre étude. Le traitement T3 s'avère donc être rentable économiquement à cause de sa richesse en roche phosphatée naturelle qui est à faible coût pour les paysans. Il est agronomiquement rentable du fait des rendements plus élevés.

Conclusion

L'apport d'engrais phosphatés en riziculture pluvial améliorent non seulement les rendements mais aussi favorisent l'assimilation du P par les plants de riz surtout sur les sols très fortement acides (Man) à fortement acides (Gagnoa) comparativement aux sols faiblement acides (Bouaké). Les engrais contenant plus de 60% de la roche phosphatée naturelle du Maroc ont induit une meilleure réponse du riz contrairement aux traitements riches en TSP. La variation des paramètres agronomiques mesurés et des efficacités calculées dans chaque zone agroécologique suggère l'influence de facteurs aléatoires tels que le pH, MO, K⁺, Al³⁺, Ca²⁺ et N du sol. La combinaison de 80% RP et 20% TSP (T3) est celui qui a augmenté plus le RDG et RDP quelle que soit la zone agroécologique et s'avère donc être rentable économiquement et agronomiquement.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

AJB-D, WHK, BK, et KPA ont participé à la réalisation des travaux sur le terrain, à la conception, puis à la rédaction et à la mise en forme de l'article. K-KHK, FMLB étant les superviseurs à la réalisation de toutes les étapes de ce travail.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier sincèrement l'Office Chérifien du Phosphate (OCP-Africa) pour le soutien financier et le Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA) de Man et Gagnoa pour le soutien technique apporté à la réalisation du projet de recherche ASORPRI. Nous remercions également chaque paysan ayant prêté sa parcelle pour réaliser les essais sur le terrain.

REFERENCES

- Ablede KA, Koudjega K, Ganyo KK. 2020. Amélioration de la solubilisation des phosphates naturels de faible réactivité par phosphocompostage à base de fumier. *Bul. Rech. Agro. Ben.*: 175-181. http://www.slire.net/download/2583/article_22_pg_brab_n_sp_cial_itra_oct_2019_ablede_et_al_am_lioration_solubilisation.pdf
- Alam MM, Ali MH, Ruhul AAKM, Mirza H. 2009. Yield attributes, yield and harvest index of three irrigated rice varieties under different levels phosphorus. *Advan. Biol. Res.*, 3(3-4): 132-139. https://www.researchgate.net/publication/264829347_Yield_Attributes_Yield_and_Harvest_Index_of_Three_Irrigated_Rice_Varieties_Under_Different_Levels_P_hosphorus
- Bassole Z, Yanogo IP, Idana FT. 2023. Caractérisation des sols ferrugineux tropicaux lessivés et des sols bruns eutrophes tropicaux pour l'utilisation agricole dans le bas-fond de Goundi-Djoro (Burkina Faso). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 17(1): 247-266 DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v17i1.18>
- Bihari B, Singh YK, Shambhavi S, Mandal J, Kumar S, Kumar R. 2021. Nutrient use efficiency indices of N, P and K under rice-wheat cropping system in LTFE after 34th crop cycle. *J. Plant Nutr.*, 45(1): 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1943674>

- Carpenter SR, Bennett EM. 2011. Reconsideration of the planetary boundary for phosphorus. *Environ. Res. Lett.*, **6**(1): 1-30. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2F6%2F1%2F014009>
- Drouet T. 2010. Pédologie. BING-F-302 Vol. 302: 1-138. Retrieved from <http://www.ulb.ac.be/sciences/lagev>
- El Gharous M, Ouatmane A, Hafidi M. 1997. Efficacité agronomique des phosphates naturels marocains dans différents sols. *Al. Aw.*, **1**(95): 53-63. DOI: <https://www.inra.org.ma/fr/content/efficacite-agronomique-des-phosphates-naturels-marocains-dans-differents-sols>
- Fan Y, Zhong X, Fang L, Liu C, Yang L, Wang M, Chen C, Chen Y, Yang Y. 2019. Responses of soil phosphorus fractions after nitrogen addition in subtropical forest ecosystem: insights from decreased Fe and Al oxides and increased plant roots. *Geoderma.*, **337**: 246-255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.028>
- Graham SA, Craft CB, McCormick PV, Aldous A. 2005. Forms and accumulation of soil P in natural and recently restored peatlands-upper Klamath Lake, Oregon, USA. *Wetlands.*, **25**(3): 594-606. DOI: [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2005\)025\[0594:FAAOSP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2005)025[0594:FAAOSP]2.0.CO;2)
- Koné B, Konan-Kan HK, Cherif M, Oikeh S, Felix AE, Fernand YG, Firmin KK. 2014. Rice Grain Yield Gap and Yield Declining as Affected by Different Phosphorus Fertilizers in Acid Soil Over Successive Cropping Seasons. *I. J. Biol. Sci.*, **01**(01): 40-53. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/2.14008.7684>
- Koné B, Ettien JB, Amadji GL, Diatta S, Camara M. 2010a. Effets d'engrais phosphatés de différentes origines sur la production rizicole pluviale sur des sols acides en zone de forêt semi-montagneuse sous climats tropicaux Cas des hyperdystric ferralsols sous jachères en Côte d'Ivoire. *Etu. Gest. Sols.*, **17**(1): 7-18. DOI: https://www.afes.fr/wp-content/uploads/2017/10/EGS_17_1_EG_S_17_1_web_Kone.pdf
- Koné B, Saidou A, Camara M, Diatta S. 2010b. Effet de différentes sources de phosphate sur le rendement du riz sur sols acides. *Agro. Afr.*, **22**(1): 55-63. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/aga.v22i1.62318>
- Koné B, Sylvester O, Diatta S, Somado E, Valere K, Sahrawat KL. 2011. Response of interspecific and sativa upland rices to mali phosphate rock and soluble phosphate fertilizer. *Arch. Agro. Soil Sci.*, **57**(4): 421-434. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340903563382>
- Kotchi V, Charlotte TD, Faustin SD. 2018. Influence of the Use of Spent Mushroom Substrates of *Pleurotus Eous* var. on the Availability of Phosphorus in Acid Soils of Humid Forest Regions of Côte d'Ivoire. *I. Res. J. Adv. Engi. Sci.*, **3**(4): 256-261. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.2540416>
- Kotchi V, Yao-Kouamé A, Diatta S. 2010. Réponse de cinq variétés de riz à l'apport de phosphate naturel de Tilemsi (Mali) sur les sols acides de la région forestière humide de Man (Côte d'Ivoire). *J. Appl. Biosci.*, **31**(07): 1895-1905. DOI: <https://www.m.elewa.org/JABS/2010/31/3.pdf>
- Liang C, Wulf A, Johannes L, Matthias K. 2019. Quantitative assessment of microbial necromass contribution to soil organic matter. *Glo. Ch. Biol.*, **25**(11): 3578-3590. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14781>
- Prudencio CF. 1993. Ring management of soils and crops in West African semi-arid tropics: The case of the Mossi farming system in Burkina Faso. *Agric. Ecos. Environ.*, **47**(3): 237-264. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(93\)90125-9](https://doi.org/10.1016/0167-8809(93)90125-9)
- Pypers P, Sanginga JM, Kasereka B, Walangululu M, Van Lauwe B. 2010. Increasing Productivity through

- integrated soil Fertility Management in Cassava-Legumes intercropping system in highlands of Sud-Kivu, DR, Congo. *Fie. Cro. Res.*, **120**(1): 76-85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.09.004>
- Reddy MS, Kumar S, Babita K, Reddy MS. 2002. Biosolubilization of poorly soluble rock phosphates by *Aspergillus tubingensis* and *Aspergillus Niger*. *Biores. Tech.*, **84**(2): 187-189. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00040-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00040-8)
- Sahrawat KL, Jones M, Diatta S, Adam A. 2001. Response of Upland Rice to fertilizer Phosphorus and its Residual Value in an Ultisol. *Com. Soil Sci. Plant Anal.*, **32**(15-16): 2457-2468. DOI: <https://doi.org/10.1081/CSS-120000384>
- Sanginga N, Woomer PL. 2009. Integrated soil fertility management in Africa: principles, practices and developmental process (eds.). *Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF)*; International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), Nairobi, KE.
- Sanogo S, Diarrassouba M, Doumbouya M., Camara M. 2020. Evaluation des performances agromorphologiques de neuf variétés améliorées de riz de bas-fond (05 nERICA et 04 sativa) au sud-ouest de la Côte d'Ivoire (Département de Gagnoa, région de Goh). *Agr. Afr.*, **32**(2): 239-250. DOI: <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/199631>
- Siemens J, Ilg K, Lang F, Kaupenjohann M. 2004. Adsorption controls mobilization of colloids and leaching of dissolved phosphorus. *Eur. J. Soil Sci.*, **55**(2) : 254-263. DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2389.2004.00596.x>
- Smalberger S, Chien SH, Singh U, Henao J. 2010. Relative agronomic effectiveness of phosphate rock compared with triple superphosphate for initial canola, wheat, or ryegrass, and residual wheat in two acid soils. *Soil Sci.*, **175**(1): 36-43. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/SS.0b013e3181c752dd>
- Sossa EL. 2012. Arrière effet de la fertilisation et des résidus de récolte du niébé (*vigna unguiculata*) sur la production du riz de bas-fond dans un système de culture riz-maraîchage. Mémoire de DEA, Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin, p35.
- Taktek S. 2015. Dissolution biologique des phosphates : Interaction bactéries - mycorhizes. PhD thesis, Université Laval, Canada, p.150.
- Vitousek PM, Porder M, Houlton BJ, Chadwick OA. 2010. Terrestrial phosphorus limitation: mechanisms, implications, and nitrogen-phosphorus interactions. *Ecol. Appl.*, **20**(1): 5-15. DOI: <http://dx.doi.org/10.1890/08-0127.1>
- Zhong YT, Xinxin L, Hong L. 2022. Cooperative interactions between nitrogen fixation and phosphorus nutrition in legumes. *New Phyt.*, **237**(3): 734-745. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.18593>