

Influence des doses de roche phosphatée et/ou de triple superphosphate sur les rendements du riz de bas-fond affectés par l'acidité dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire

Kouassi Pla Adou

Konan-Kan Hippolith Kouadio

Affi Jeanne Bongoua-Devisme

Laboratoire de Pédologie, UFR Sciences de la Terre et des Ressources
Minières Université Felix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Franck Michaël Lemonou Bahan

Centre National de Recherche Agronomique-CNRA,
Station de Recherche de Man, Programme riz, Man, Côte d'Ivoire

Anselme Kan Louis Koko

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

Doi: [10.19044/esipreprint.10.2024.p158](https://doi.org/10.19044/esipreprint.10.2024.p158)

Approved: 07 October 2024

Posted: 09 October 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Adou, K. P., Kouadio, K.-K. H., Bongoua-Devisme, A. J., Bahan, F. M. L., & Koko, A. K. L. (2024). *Influence des doses de roche phosphatée et/ou de triple superphosphate sur les rendements du riz de bas-fond affectés par l'acidité dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.10.2024.p158>

Résumé

Les sols des zones tropicales subissent une baisse de productivité en partie due à leur acidification, entraînant une fixation du phosphore dans le sol. Pour remédier durablement à cette contrainte, l'utilisation d'amendements naturels s'impose comme une option viable. Ainsi, différentes formulations d'amendements phosphatés ont été développées, combinant la roche phosphatée (RP) et/ou le triple superphosphate (TSP). Cette étude a pour objectif d'évaluer l'impact de ces formulations sur le rendement du riz dans des bas-fonds acides de la région Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Huit formulations d'amendements, composées de RP et de TSP, ont été testées sur cinq parcelles durant trois années de culture consécutives, chaque parcelle étant considérée comme une répétition. Les résultats ont montré que l'application d'amendements phosphatés a significativement amélioré les rendements en grains et en paille de riz sur les

parcelles amendées (de 4,28 à 7,62 t/ha) comparativement aux parcelles non amendées (de 2,51 à 3,38 t/ha). Les traitements avec une dose plus élevée de RP ont donné les meilleurs résultats (de 5,61 à 7,62 t/ha), et en particulier la formulation 40% RP + 60% TSP (T4) s'est révélée la plus efficace, indépendamment des composantes de rendement. Ces résultats suggèrent que l'apport de phosphates naturels peut significativement améliorer les rendements du riz dans les parcelles acides de la Côte d'Ivoire.

Mots clés : Amendement phosphaté, indice de récolte, Riz, Rendement en grain et paille, Côte d'Ivoire

Influence of Phosphate Rock and/or Triple Superphosphate Dosages on Lowland Rice Yields Affected by Acidity in the Central-Western Region of Côte d'Ivoire

Kouassi Pla Adou

Konan-Kan Hippolith Kouadio

Affi Jeanne Bongoua-Devisme

Laboratoire de Pédologie, UFR Sciences de la Terre et des Ressources
Minières Université Felix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Franck Michaël Lemonou Bahan

Centre National de Recherche Agronomique-CNRA,
Station de Recherche de Man, Programme riz, Man, Côte d'Ivoire

Anselme Kan Louis Koko

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

Abstract

Soils in tropical areas experience a decline in productivity, partly due to acidification, leading to phosphorus fixation in the soil. To sustainably address this issue, the use of natural amendments presents a viable option. Various phosphate amendment formulations have been developed, combining phosphate rock (PR) and/or triple superphosphate (TSP). This study aims to evaluate the impact of these formulations on rice yields in acidic lowlands of the Central-West region of Côte d'Ivoire. Eight amendment formulations, composed of PR and TSP, were tested on five plots over three consecutive growing seasons, with each plot considered as a replication. The results showed that the application of phosphate amendments significantly improved rice grain and straw yields on amended plots (ranging from 4.28 to 7.62 t/ha) compared to unamended plots (ranging from 2.51 to 3.38 t/ha). Treatments with a higher dose of PR produced the

best results (from 5.61 to 7.62 t/ha), with the 40% PR + 60% TSP (T4) formulation being the most effective, regardless of the yield components. These findings suggest that the use of natural phosphates can significantly improve rice yields in acidic plots in Côte d'Ivoire.

Keywords: Phosphate amendment, harvest index, Rice, grain and straw yield, Côte d'Ivoire

Introduction

Le riz (*Oryza* sp.) est la deuxième céréale la plus cultivée au monde après le blé, représentant 20 % de la consommation mondiale de céréales (FAO, 2016). Il constitue l'aliment de base pour plus de la moitié de la population mondiale, avec près de 50 millions de consommateurs en Afrique (ONDR, 2012 ; Seck et al., 2013). Bien que la production de riz soit principalement concentrée en Asie (ROPPA, 2005 ; AgriAlerte, 2008 ; Ngaressseum, 2010), la Côte d'Ivoire, malgré ses ressources naturelles favorables, demeure un importateur net de riz. Cela s'explique par une urbanisation rapide, une démographie élevée et une consommation annuelle par habitant de 58 kg (MINAGRI, 2009 ; Bagal et Vittori, 2010 ; FIRCA, 2011 ; ONDR, 2012). Cependant, l'autosuffisance en riz peut être atteinte en valorisant les bas-fonds acides.

Dans ces zones de bas-fonds acides, la disponibilité des nutriments essentiels, notamment le phosphore, est limitée en raison de sa fixation par certains cations métalliques tels que le fer, l'aluminium et le manganèse (Haynes et Mokolobate, 2001 ; Graham et al., 2005). Cette carence en phosphore provoque une diminution des rendements et une dégradation de la qualité des récoltes de riz (Kotchi et al., 2010).

Pour pallier cette contrainte, l'utilisation raisonnée d'engrais phosphatés solubles permet d'améliorer les rendements et de corriger l'acidité ainsi que la fertilité des sols (Koné et al., 2010a, 2010b). Toutefois, Abbasi et al. (2015) ont montré que seulement 1 % des engrais phosphatés appliqués est absorbé par les plantes en raison de la complexation de ces engrais avec les cations métalliques (Al^{3+} , Fe^{3+} , et autres) présents dans le sol. De plus, l'utilisation d'engrais chimiques solubles comme le triple superphosphate reste coûteuse pour les petits exploitants agricoles en Afrique.

C'est dans ce contexte que des amendements phosphatés, associant diverses doses de roche phosphatée du Maroc et d'engrais phosphatés solubles tels que le triple superphosphate, ont été expérimentés pour lutter contre l'acidification des sols et améliorer la nutrition phosphatée dans la riziculture irriguée. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer l'impact de ces différentes formulations d'amendements phosphatés sur les rendements du riz dans les bas-fonds acides au cours de trois cycles de culture

consécutifs. Il s'agit, à terme, de déterminer les doses optimales de roche phosphatée du Maroc (RPM) et de triple superphosphate (TSP) à appliquer en complément de la fertilisation recommandée pour la riziculture.

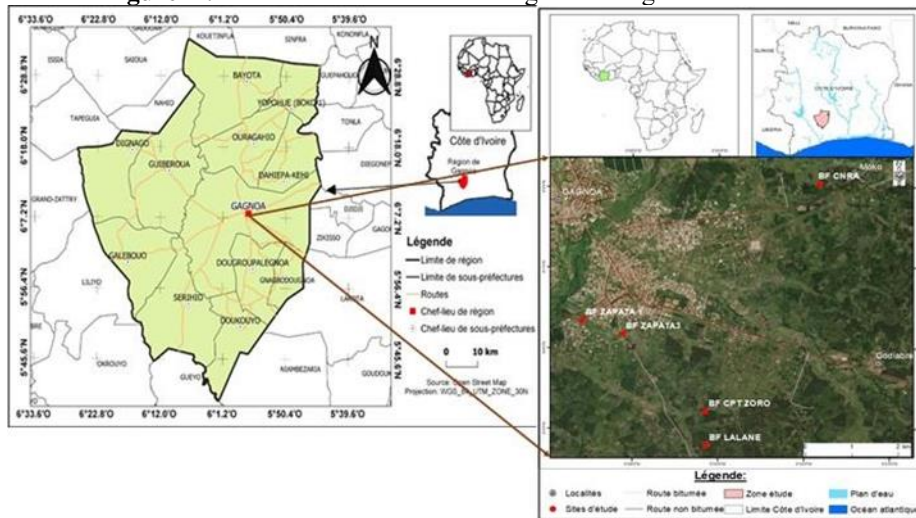
Matériel et Méthodes

Description des sites expérimentaux

Notre étude a été réalisée dans la région du Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, précisément à Gagnoa ($6^{\circ}07'54''\text{N}$, $5^{\circ}57'02''\text{O}$), qui bénéficie d'un climat tropical et possède des sols classés en Ferralsol Dystric (Bongoua-Devisme et al., 2024). Cinq parcelles rizicoles villageoises de bas-fond (Figure 1), où des problèmes d'acidité ont été constatés, ont été sélectionnées à Gagnoa au Centre de la Côte d'Ivoire: station de CNRA ($06^{\circ}08'2.0''\text{N}$, $05^{\circ}53'49.5''\text{W}$), Zapata 1 ($06^{\circ}06'10.8''\text{N}$, $05^{\circ}56'6.4''\text{W}$), Zapata 3 ($06^{\circ}06'20.8''\text{N}$, $05^{\circ}56'34.6''\text{W}$), Lalane ($06^{\circ}04'55.0''\text{N}$, $05^{\circ}55'20.0''\text{W}$), et campement Zoro ($06^{\circ}05'13.2''\text{N}$, $05^{\circ}55'8.6''\text{W}$), en considérant chaque parcelle comme une répétition.

Des 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.

Figure 1 : Carte de localisation de la région de Gagnoa et des sites d'étude



Matériel végétal

La variété de riz utilisée est WITA 9 et a été fournie par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Man. Elle a un cycle de 120 Jours, un rendement moyen de $6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, avec un rendement potentiel de $10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Les caractéristiques de la variété WITA 9 sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques de la variété de riz WITA 9

Paramètres	
Hauteur (cm)	92 cm
Talles/m ²	205
Durée 50 % floraison (jour)	80 à 85
Rendement moyen	6 t.ha ⁻¹
Rendement potentiel	10 t.ha ⁻¹
Forme des grains	3,5 g
Toxicité ferreuse	Sensible
Poids 1000 grains	23,6 g
Parents génétiques	IR 2042-178-1 × CT 19

Matériel fertilisant

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 2. 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 et apportés respectivement à la dose de 100 kg ha⁻¹, comme fumure d'entretien, et de 200 kg.ha⁻¹ comme fumure de fond dans chaque parcelle..

Tableau 2 : Composition chimique de la roche phosphatée du Maroc (RP)

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

Conduite des essais

L'expérimentation a été réalisée dans les cinq parcelles différentes de 200 m² de surface utile subdivisées en huit microparcelles de 25 m² où chaque microparcelle représente un traitement., dans un dispositif en blocs complètement randomisés. Six différents amendements phosphatés, résultant de la combinaison de roche phosphatée (RP) et de triple superphosphate (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 et qu'au début du premier cycle. 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 3). 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.

Mesures des paramètres de maturité de la variété WITA 9

A la maturité, les plants de riz ont été récoltés dans trois carrés de rendement (1 m²) implantés dans chaque micro-parcelle afin d'éviter les effets de bordure. La biomasse (feuilles, pailles des panicules et talles) a été séchée à l'air libre pour déterminer le rendement en paille (RDP). Le taux d'humidité des grains de riz a été déterminé après séchage à l'étuve à 65°C pendant 72 heures. Le rendement en grains (RDG) a été calculé pour une humidité standard fixée à 14 % (Koné *et al.*, 2010a ; Djomo *et al.*, 2017 ; Akassimadou *et al.*, 2017). Les rendements en grains (RDG) et en paille (RDP), l'indice de récolte (IR), l'efficacité agronomique relative de l'amendement phosphaté (EAR), l'effet résiduel (ER) et l'indice d'efficacité résiduel (IER) ont constitué les paramètres de maturité. Ces paramètres ont été calculés selon les formules ci-après :

$$\text{RDG} = (\text{Masse des grains sec (g)} \times 10000 \times (100-H) / \text{Surface de récolte (m}^2) \times 1000 \times 86) \quad [1]$$

où RDG : rendement en grain en t.ha⁻¹ ; H = taux d'humidité à la récolte en % ; mf = masse des grains frais en g ; ms = masse de grains secs en g où H = 100 × (mf – ms / mf).

$$\text{RDP} = (\text{Masse paille sèche (g)} / \text{Surface de récolte (m}^2)) \times (10000/1000) \quad [2]$$

Avec RDP : rendement en paille exprimé en t.ha⁻¹.

L'indice de récolte (IR) est le degré de reconversion d'une partie de la biomasse aérienne produite en grains.

$$\text{IR (\%)} = [\text{RDG}_x / (\text{RDG}_x + \text{RDP}_x)] \quad [3]$$

où RDG_x est le Rendement en grains d'un traitement x et RDP_x Rendement aille du même traitement, RDG_x + RDP_x est la matière sèche totale (MST) en t.ha⁻¹.

L'efficacité agronomique relative (EAR) de l'amendement phosphaté des RDG de chaque traitement a été calculé par rapport au Témoin de référence

(T0). Il a permis de mieux apprécier la rentabilité de l'adoption de cette technologie par les agriculteurs.

$$EAR (\%) = [(RDG_{TX} - RDG_{T0}) / RDG_{TX}] \times 100 \quad [4]$$

RDG_x représente le RDG d'un traitement à la « Dose x » avec x = 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ considéré chaque année pour chacun des amendements. RDG₀ est le RDG du Témoin de référence.

L'effet résiduel (ER) de l'amendement phosphaté est la différence entre les rendements en grains du troisième et premier cycle de culture.

$$ER (t.ha^{-1}) = RDG_{C3} - RDG_{C1} \quad [5]$$

L'indice d'efficacité résiduel (IER en %) de l'amendement phosphaté est le rapport du rendement grain d'une année n+1 sur le rendement grain d'une année n comme décrit ci-dessous :

$$IER = \frac{RDG_{n+1}}{RDG_n} \times 100 \quad [6]$$

Analyse statistique des données

La significativité des différents traitements sur les paramètres de maturité 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%.

Resultats

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

La caractérisation des sols des cinq parcelles étudiées montre qu'ils ont une texture sablo-argilo-limoneuse (station de CNRA, et Campement Zoro) à sablo-limono-argileuse (Zapata 1, Zapata 3 et Lalane) avec 67 à 75,3% de sable, 11,2 à 19,4 % limons et 11 à 20,4 % d'argile. (Tableau 4). Quelle que soit les parcelles étudiées, les sols sont pauvres en N (1 à 2 g.kg⁻¹ sol sec), en C (10 à 27 g.kg⁻¹ sol sec) et en matière organique (20 à 54 g.kg⁻¹ sol sec) avec un rapport C/N compris entre 10 e 13,5 (Tableau 4). A l'exception de la parcelle de la station de CNRA (242,3 mg de P_{total} .kg⁻¹sol sec et 32,2 mg de P_{ass} .kg⁻¹sol sec), les sols ont une teneur en phosphore total

faible allant de 40,7 à 89,4 mg de $P_{\text{total}} \cdot \text{kg}^{-1} \text{sol sec}$ et de 2 à 8,2 mg de $P_{\text{ass}} \cdot \text{kg}^{-1} \text{sol sec}$ (Tableau 4). Quelle que soit les parcelles étudiées, les sols sont acides avec des pH compris entre $4,92 < \text{pH}_{\text{eau}} < 5,8$ et entre $3,7 < \text{pH}_{\text{KCl}} < 4,9$, ont une faible teneur en K^+ ($0,38$ à $0,42 \text{ mmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$), Ca^{2+} ($2,06$ à $4,53 \text{ mmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$), Al^{3+} ($0,1$ à $0,45 \text{ mmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$), Fe^{2+} ($293,5$ à $580,9 \text{ mmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$), Mg^{2+} ($0,73$ à $1,9 \text{ mmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$), et Na^+ ($0,08$ à $0,27 \text{ mmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$), La capacité d'échange cationique (CEC) des sols varie de $3,8$ à $5,4 \text{ mmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$

Tableau 3 : Composition des traitements et doses d'éléments fertilisants appliquées. RP = roche phosphatée; TSP = triple superphosphate ; Engrais NPK = 15-15-15 ; Urée = 46% N ; N = azote ; P = phosphore ; K = potassium

Traitements	Doses d'engrais apportées ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)				Quantité totale de fertilisant	Quantité d'éléments fertilisants apportés ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) 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	300	200	100	300 TSP + 200 NPK + 100 Urée	76	52,8	24,9

Tableau 4 : Caractéristiques physico-chimiques des sols dans l'horizon 0 – 20 cm avant l'expérimentation. pH : potentiel hydrogène ; C : carbone ; C/N : rapport carbone/ azote ; N : azote ; MO : matière organique ; P.ass : phosphore assimilable ; P.tot : phosphore total ; CEC : capacité d'échange cationique

Paramètres	SITES				
	Station	Zapata 3	Lalane	Campement Zoro	Zapata 1
Argile (%)	13,50	11,00	16,00	20,4	12,00
Limon (%)	11,20	15,00	17,00	14,3	19,40
Sable (%)	75,30	74,00	67,00	65,30	68,60
N (%)	0,10	0,10	0,20	0,13	0,12
C (%)	1,20	1,00	2,70	1,50	1,34
C/N	12,00	10,00	13,5	11,54	11,2
MO (%)	2,40	2,00	5,4	3,00	2,68
P (ass) $\text{mg}/\text{kg sol sec}$	32,20	8,2	7,00	2,80	3,6
P (tot) $\text{mg}/\text{kg sol sec}$	242,3	73,30	89,40	40,70	68,10
K^+ ($\text{cmol kg}^{-1} \text{ sol sec}$)	0,32	0,28	0,42	0,31	0,38
Na^+ ($\text{cmol kg}^{-1} \text{ sol}$)	0,08	0,10	0,08	0,10	0,27

sec)						
Ca ²⁺ (cmol kg ⁻¹ sol	2,12	3,67	4,23	2,06	4,53	
sec)						
Mg ²⁺ (cmol kg ⁻¹ sol	0,73	1,5	0,94	1,04	1,46	
sec)						
Al ³⁺ (cmol kg ⁻¹ sol sec)	0,26	0,12	0,35	0,45	0,10	
Fe ²⁺ (ppm) mg/kg sol	410,35	400,00	580,90	809,70	293,50	
sec						
Fe (ppm) mg/kg sol	4182	3200	3850	3780	2909	
sec						
pHeau	4,92	5,83	5,5	5,70	5,8	
pKCl	3,7	4,6	4,4	4,3	4,9	
CEC (cmol kg ⁻¹)	3,2	3,7	5,3	3,7	5,4	

Effet des formulations phosphatées sur les paramètres agronomiques du riz

Rendement grain du riz

Le tableau 5 présente les rendements moyens en grains de riz au cours des trois cycles de culture. Les différentes formulations d'amendements phosphatés ont eu un effet très hautement significatif sur le rendement moyen en grains de riz ($P < 0,0001$), et ce, pour chaque cycle de culture. Lors du premier cycle, le rendement le plus élevé a été obtenu avec le traitement T6 (6,62 t/ha). En revanche, pour les cycles 2 et 3, c'est le traitement T4 qui a produit les meilleurs rendements, allant de 8,30 à 8,93 t/ha. À l'inverse, le traitement T0a a affiché les rendements moyens les plus faibles, avec seulement 2,3 t/ha sur l'ensemble des trois cycles de culture.

Tableau 5: Rendements moyens grain du riz sous différents traitements durant les cycles de culture

Traitement	Rendement grains (t ha ⁻¹)			Moyenne par traitement
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
T0a : -NPK	2,90e	2,38e	1,61d	2,30e
T0 : +NPK	3,60e	3,01e	2,84c	3,15d
T1 : 100%RP+NPK	4,69d	5,73c	7,26b	5,89b
T2 : 90%RP+10%TSP+NPK	4,73d c	5,88c	7,03b	5,88b
T3 : 80%RP+20%TSP+NPK	5,51c	7,08b	8,57ab	7,06ab
T4 : 60%RP+40%TSP+NPK	6,43ab	8,30a	8,93a	7,89a
T5 : 20%RP+80%TSP+NPK	5,84bc	4,76d	2,73c	4,44c
T6 : 0%RP+100%TSP+NPK	6,62a	4,47d	2,31cd	4,47c
MG	5,04	5,20	5,32	5,93
CV	13,25	14,44	13,24	26,64
P>F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Les lettres a et b d'une même colonne indiquent les valeurs moyennes différentes de façon significative au seuil de $\alpha = 0,05$.

Rendement paille du riz

Le tableau 6 présente les rendements moyens en paille de riz sous les différentes formulations d'amendements phosphatés au cours des trois cycles de culture. Un effet très hautement significatif des amendements phosphatés

sur le rendement en paille de riz a été observé ($P < 0,0001$), avec des rendements moyens variant de 5,61 à 8,05 t/ha. Les meilleurs rendements ont été enregistrés avec le traitement T4 (8,05 t/ha), tandis que le traitement T0a a affiché le rendement le plus faible (2,51 t/ha).

Tableau 6: Rendement moyen paille du riz des différentes doses d'amendement phosphaté par cycle

Traitement	RDP (t ha ⁻¹)			Moyenne par traitement
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
T0a : -NPK	3,11d	2,57f	1,84e	2,51f
T0 : +NPK	4,08c	3,16f	2,91d	3,38e
T1 : 100%RP+NPK	4,83bc	5,06cd	6,94c	5,61c
T2 : 90%RP+10%TSP+NPK	4,93bc	5,68c	7,38bc	6,00bc
T3 : 80%RP+20%TSP+NPK	5,51ab	6,81b	7,93b	6,75b
T4 : 60%RP+40%TSP+NPK	6,24a	7,68a	10,24a	8,05a
T5 : 20%RP+80%TSP+NPK	5,61ab	4,44de	3,01d	4,36d
T6 : 0%RP+100%TSP+NPK	6,06a	4,34e	2,46de	4,28d
MG	5,05	4,97	5,34	5,12
CV	17,08	12,03	17,59	25,15
P>F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Les lettres a et b d'une même colonne indiquent les valeurs moyennes différentes de façon significative au seuil de $\alpha = 0,05$

Indice de récolte du riz

Le tableau 7 présente l'indice de récolte du riz sous les différentes formulations d'amendements phosphatés au cours des trois cycles de culture. Les résultats montrent un effet significatif des formulations d'amendements phosphatés sur l'indice de récolte du riz ($P < 0,05$). Les indices de récolte les plus élevés ont été obtenus dans les parcelles traitées avec les amendements T6, T1 et T4 tout au long de l'expérimentation.

Tableau 7: Indice de récolte du riz des différentes doses d'engrais phosphaté par année

Traitement	Indice de récolte du riz IR (%)			Moyenne par traitement
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
T0a : -NPK	0,48ab	0,48ab	0,47ab	0,48b
T0 : +NPK	0,47ab	0,49ab	0,49ab	0,48ab
T1 : 100%RP+NPK	0,49 a	0,53 a	0,51 a	0,51 a
T2 : 90%RP+10%TSP+NPK	0,49 a	0,51 a	0,49ab	0,50a
T3 : 80%RP+20%TSP+NPK	0,50 a	0,51 a	0,52a	0,51 a
T4 : 60%RP+40%TSP+NPK	0,51 a	0,52 a	0,47ab	0,49ab
T5 : 20%RP+80%TSP+NPK	0,51 a	0,52 a	0,48ab	0,51 a
T6 : 0%RP+100%TSP+NPK	0,52a	0,51 a	0,48ab	0,51 a
MG	0,50	0,51	0,49	0,5
CV	0,04	0,09	0,02	0,05
P>F	0,06	0,06	0,03	0,001

Les lettres a et b d'une même colonne indiquent les valeurs moyennes différentes de façon significative au seuil de $\alpha = 0,05$

Efficacité agronomique relative de l'amendement phosphaté (EAR)

Le tableau 8 présente l'efficacité agronomique relative (EAR) des différentes formulations d'amendements phosphatés sur trois cycles de culture. Il existe un effet hautement significatif de la dose de RP et/ou de TSP dans l'amendement sur leur efficacité agronomique relative ($P = 0,001$). Comparé au témoin de référence (T0), l'efficacité agronomique relative des amendements est nettement supérieure lorsque la formulation contient 40 % de RP et 60 % de TSP, avec une augmentation moyenne des rendements de 150 % par rapport au témoin (T0). Les résultats montrent une diminution de l'EAR du cycle 1 au cycle 3 lorsque l'amendement phosphaté est riche en TSP, passant de 62,22 % à -3,87 % sous T5, et de 83,88 % à -18,66 % sous T6. En revanche, lorsque l'amendement est plus riche en RP, une augmentation de l'EAR est observée du cycle 1 au cycle 3, passant de 30,28 % à 155,6 % sous T1, de 31,38 % à 147,5 % sous T2, de 53,05 % à 201,76 % sous T3, et de 78,61 % à 214,43 % sous T4.

Tableau 8: Efficacité agronomique relative (EAR) de l'amendement phosphaté des différents traitements par rapport au témoin de référence

Traitement	EAR (%)			Moyenne par traitement
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
T0a : -NPK	--	--	--	--
T0 : +NPK (T0 de référence)	0	0	0	0
T1 : 100%RP+NPK	30,28bc	90,36b	155,6b	87,08b
T2 : 90%RP+10%TSP+NPK	31,38bc	95,34b	147,5b	86,66b
T3 : 80%RP+20%TSP+NPK	53,05b	135,21ab	201,76ab	123,91ab
T4 : 60%RP+40%TSP+NPK	78,61a	175,75a	214,43a	150,5a
T5 : 20%RP+80%TSP+NPK	62,22ab	58,14c	-3,87d	41,05c
T6 : 0%RP+100%TSP+NPK	83,88a	48,50c	-18,66c	41,79c
MGC	56,57	100,55	116,14	88,5
CV	17,04	40,05	61,96	23,10
P>F	0,001	0,0003	<0,0001	<0,0001

Les lettres a et b d'une même colonne indiquent les valeurs moyennes différentes de façon significative au seuil de $\alpha = 0,05$

Effet résiduel de l'amendement phosphaté

Le tableau 9 présente l'effet résiduel des amendements phosphatés sur le rendement en grains de riz. Un effet résiduel positif (2,29 à 3,06 t ha⁻¹) significatif est observé du cycle 1 au cycle 3 lorsque la dose de roche phosphatée (RP) est élevée dans l'amendement. À l'inverse, un effet résiduel négatif (-3,12 à -4,31 t ha⁻¹) est constaté sur la même période lorsque la dose de triple superphosphate (TSP) est plus élevée. Globalement, l'effet résiduel des amendements phosphatés a eu un impact positif sur le rendement en grains de riz.

Tableau 9: Effet résiduel (ER) de l'amendement phosphaté sur le rendement grain du riz

Traitements	Rendement grain du riz (t ha ⁻¹)			
	Cycle 1	Cycle 3	ER	Pr > t
T0a : -NPK	2,90	1,61	-1,29	0,0003
T0 : +NPK	3,60	2,84	-0,76	0,007
T1 : 100%RP+NPK	4,69	7,26	2,57	<0,0001
T2 : 90%RP+10%TSP+NPK	4,73	7,03	2,29	0,0001
T3 : 80%RP+20%TSP+NPK	5,51	8,57	3,06	<0,0001
T4 : 60%RP+40%TSP+NPK	6,43	8,93	2,50	<0,0001
T5 : 20%RP+80%TSP+NPK	5,84	2,73	-3,12	<0,0001
T6 : 0%RP+100%TSP+NPK	6,62	2,31	-4,31	<0,0001

Indice d'efficacité résiduel (IER) de l'amendement phosphaté

Quel que soit le cycle de culture, nos résultats montrent des indices d'efficacité résiduelle (IER) des amendements phosphatés sur le rendement en grains de riz entre les différents cycles (cycle 1 et cycle 2, cycle 2 et cycle 3, ainsi que cycle 1 et cycle 3, voir Tableau 10). Ces indices sont plus élevés pour les traitements T1, T2, T3 et T4, c'est-à-dire lorsque l'amendement phosphaté contient entre 40 % et 100 % de roche phosphatée (RP), avec des IER dépassant 100 %.

Tableau 10: Indice d'efficacité résiduel % (IER) de l'amendement phosphaté sur le rendement grain du riz

Traitements	C2/C1	C3/C1	C3/C2
T0a : -NPK	82,07	55,52	67,65
T0 : +NPK	83,61	78,89	94,35
T1 : 100%RP+NPK	122,17	154,80	126,70
T2 : 90%RP+10%TSP+NPK	124,31	148,63	119,56
T3 : 80%RP+20%TSP+NPK	128,49	155,54	121,05
T4 : 60%RP+40%TSP+NPK	129,08	138,88	107,59
T5 : 20%RP+80%TSP+NPK	81,51	46,75	57,35
T6 : 0%RP+100%TSP+NPK	67,52	34,89	51,68

Discussion

Effet des caractéristiques des sols sur l'efficacité des amendements phosphatés élaborés

L'analyse des cinq parcelles rizicoles a mis en évidence une teneur importante en phosphore total dans les sols, mais une très faible proportion sous forme assimilable par les plantes. Ce phénomène confirme les résultats d'études antérieures en Côte d'Ivoire, qui ont montré que le phosphore est souvent immobilisé par les argiles et les oxydes et hydroxydes métalliques présents dans le sol (Kpan et al., 2023 ; Koné et al., 2010). Le pH des sols, variant entre 4,9 et 5,9 avec une moyenne de 5,5, indique une acidité modérée (Bassole et al., 2023). Cette acidité est probablement la cause de la faible disponibilité en phosphore assimilable, mesurée entre 7,00 et 32,2 mg P/kg de sol sec, ce qui limite son absorption par les cultures (Drouet, 2010 ;

Ablede et al., 2020). L'acidité du sol peut également avoir un impact significatif sur la dissolution des amendements phosphatés appliqués. Les roches phosphatées, en particulier, sont beaucoup plus réactives en milieu acide, facilitant leur dissolution et la libération du phosphore qu'elles contiennent (Bongoua-Devisme et al., 2024 ; Kpan et al., 2023 ; Koné et al., 2014). Cependant, les teneurs en carbone organique des sols des parcelles étudiées sont inférieures à la moyenne des sols agricoles, estimée à 18,2 g/kg (Liang et al., 2019), ce qui pourrait réduire l'assimilation des nutriments essentiels, notamment le phosphore (Koné et al., 2011).

En somme, la caractérisation des sols révèle que l'acidité élevée, associée à une teneur modérée en matière organique, jouera un rôle crucial dans la dissolution des amendements phosphatés. Ces conditions pourraient soit améliorer, soit limiter l'efficacité des apports en phosphore, influençant directement les rendements des cultures dans les parcelles rizicoles étudiées.

Effet des amendements phosphatés sur les paramètres de rendements

Les amendements phosphatés (AP) à base de roche phosphatée naturelle du Maroc (RP) et/ou de Triple Super Phosphate (TSP) ont induit des différences significatives sur plusieurs paramètres agronomiques du riz, notamment les rendements en grain (RDG) et en paille (RDP), ainsi que l'efficacité agronomique relative (EAR). Les résultats de cette étude montrent que les rendements de riz dépendent fortement des proportions de RP et de TSP dans les formulations des amendements phosphatés appliqués. L'analyse des données révèle un effet très hautement significatif des amendements phosphatés sur les rendements en grain et en paille. Les meilleures performances ont été observées sous les traitements T1, T2, T3, et T4, qui sont riches en RP, en comparaison avec T5 et T6, qui sont majoritairement composés de TSP. Ces observations sont cohérentes avec les travaux de Koné et al. (2010), qui ont constaté des augmentations de rendement avec des traitements à base de RP par rapport au TSP dans les systèmes rizicoles des zones forestières semi-montagneuses de Côte d'Ivoire. De même, Kotchi et al. (2010) ont évalué la réponse de différentes variétés de riz à des doses croissantes de RP et de TSP, et ont obtenu des résultats similaires. Des études récentes, menées par Sanogo et al. (2020) et Kpan et al. (2023) à Gagnoa, confirment également ces tendances.

En particulier, la formulation contenant 60 % de RP et 40 % de TSP (T4) a montré une amélioration notable des rendements, ce qui corrobore les conclusions de Taktek (2015), qui a démontré qu'une réduction de 50 % des fertilisants chimiques, combinée à l'utilisation d'amendements phosphatés biologiques, optimise les résultats en termes de production agricole. Ainsi, la combinaison RP-TSP apparaît comme une solution prometteuse pour maximiser les rendements dans les systèmes rizicoles. Ces conclusions

renforcent également les travaux de Sanogo et al. (2020), qui ont observé une amélioration du développement végétatif et des rendements en grain avec une fertilisation combinant phosphore et azote. En somme, l'intégration des RP dans les formulations d'amendements phosphatés offre une alternative durable et efficace pour améliorer les rendements du riz, en particulier dans les zones acides où le phosphore est moins disponible.

Nos résultats mettent en évidence l'efficacité agronomique relative (EAR) des amendements phosphatés, qui augmente significativement du cycle 1 au cycle 3, particulièrement sous les traitements enrichis en roche phosphatée (RP), notamment le traitement T4. À l'inverse, les traitements contenant du superphosphate triple (TSP) montrent une EAR moins marquée. Cette observation souligne la lente solubilisation de la RP par rapport au TSP, comme l'indiquent Kotchi et al. (2010). La solubilisation progressive de la RP permet une libération graduelle de phosphore dans le sol au fil des années, ce qui contribue à l'augmentation des rendements. Sanogo et al. (2020) confirment cette dynamique en expérimentant différentes doses de phosphore et d'azote sur le riz. Ainsi, le traitement T4, affichant la plus forte EAR, s'avère être le plus bénéfique pour améliorer le rendement du riz (bongoua -Devisme et al., 2024 ; Kotchi et al., 2010 ; Sossa, 2012 ; Sanogo et al., 2020).

L'indice d'efficacité résiduelle (IER) des traitements contenant de la RP (T1, T2, T3 et T4) est particulièrement élevé, suggérant que la RP possède une longévité d'efficacité résiduelle supérieure, en raison de sa capacité à libérer le phosphore de manière prolongée. En revanche, le TSP, en tant que fertilisant soluble, libère rapidement le phosphore, ce qui peut limiter ses effets à court terme.

Le traitement T4 présente non seulement le meilleur IER, mais également la plus haute EAR des amendements phosphatés, indiquant qu'il reste le plus efficace après trois cycles de culture de riz bas-fond en comparaison aux autres traitements. Ces résultats corroborent les travaux de Sahrawat et al. (1997) et 2001, qui ont étudié l'effet direct et l'effet résiduel du TSP sur le rendement du riz, renforçant ainsi notre compréhension des dynamiques de fertilisation en agriculture.

Conclusion

L'étude a clairement montré l'efficacité différenciée des amendements phosphatés, notamment entre la roche phosphatée (RP) et le superphosphate triple (TSP). Les résultats indiquent que les traitements riches en RP, en particulier le traitement T4, se distinguent par leur capacité à améliorer durablement les rendements du riz bas-fond. Cette supériorité est attribuée à la solubilisation progressive de la RP, qui permet une libération continue de phosphore dans le sol sur plusieurs cycles de culture,

contrairement au TSP, dont l'effet est plus rapide mais de plus courte durée. L'indice d'efficacité résiduelle (IER) et l'efficacité agronomique relative (EAR) des traitements à base de RP confirment leur avantage à long terme, avec des effets résiduels positifs après trois cycles de culture. Le traitement T4, qui a affiché les meilleurs résultats tant pour l'EAR que l'IER, s'avère être le plus prometteur pour optimiser les rendements du riz dans les systèmes de culture de bas-fonds.

En conclusion, cette étude met en lumière l'importance de choisir des fertilisants adaptés aux dynamiques temporelles et aux besoins spécifiques des cultures. L'utilisation de la RP, notamment dans des traitements comme T4, se révèle être une stratégie agronomique viable et durable pour améliorer la productivité des systèmes rizicoles, tout en minimisant les pertes de phosphore et en assurant une fertilité à long terme.

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.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Abbasi, M. K., Musa N., Manzoor M., 2015. Mineralization of soluble P fertilizers and insoluble rock phosphate in response to phosphate-solubilizing bacteria and poultry manure and their effect on the growth and P utilization efficiency of chilli (*Capsicum annum* L.). *Biogeosciences*, 12(15), pp. 4607–4619. <https://doi.org/10.5194/bg-12-4607-2015>
2. 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/artic>

- le_22_pg_brab_n_sp_cial_itra_oct_2019_ablede_et_al_am_lioration_solubilisation.pdf
3. AgriAlerte. 2008. Restrictions à l'exportation du riz : risque de pénuries dans les pays fortement importateurs. Alerte sur la situation de la campagne agricole des régions – Burkina Faso. No. 021. [www.reliefweb.int/rw/RWFiles2008.nsf/FilesByRWDocUnidFilename/LRON-7DJD5Drapport_complet.pdf/\\$File/rapport_complet.pdf](http://www.reliefweb.int/rw/RWFiles2008.nsf/FilesByRWDocUnidFilename/LRON-7DJD5Drapport_complet.pdf/$File/rapport_complet.pdf) (21 March 2011).
 4. Akassimadou, F. E., Hien, M. P., Bouadou Oi, F. B., Bolou Bi, E. B., Bongoua, J. A., Ettien, J.-B. D., & Yao-kouame, A. 2017. Efficiences Des Nutriments P Et K En Riziculture Irriguée Dans Un Bas-Fond Secondaire En Zone De Savane Guinéenne De La Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(36), 432. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n36p432>
 5. Bagal M. et Vittori M. (2010). Les indications géographiques en Côte d'Ivoire, produits potentiels et cadre juridique pertinent. ACPEU Trade Com Facility in the context of the ACP regional workshops on Geographical Indications, April-May 2010, 43 p.
 6. 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 GoundiDjoro (Burkina Faso). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 17(1): 247-266 DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v17i1.18>
 7. Bongoua-Devisme, A. Jeanne, W. Hippolyte Kpan, F.M. Lemounou Bahan, Brahim Koné, K-K. Hippolyte Kouadio, K. Pla Adou, and A.K. Louis Koko. 2024. "Residual Effect of Phosphate Amendments on Agronomic Parameters of Rainfed Rice in Three Agroecological Zones of Côte d'Ivoire". *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 10 (3):57-71. <https://doi.org/10.9734/ajsspn/2024/v10i3319>.
 8. Djomo S.H., Mbong G. A., Malla D. K., Suh C., 2017. Effect of different doses of NPK fertilizer on the growth and yield of rice in Ndop, North West of Cameroon. *AJAR* 12, 1244–1252.
 9. Drouet T. (2010). Pédologie BING-F-302,137.
 10. FAO. (2016). Production/consommation du riz en Côte d'Ivoire. FAOSTAT en ligne. (Voir <http://faostat.fao.org>). Rome. (Consulté le 10 juin 2018).
 11. FIRCA (2011), Acte 7: Filière riz. Disponible auprès de "<https://firca.ci/wp-content/uploads/2019/02/LaFiliereDuProgres07.pdf>". Consulté en février 2022.
 12. Graham S. A., C. B. CRAFT, P. V. MCCORMICK and A. ALDOUS (2005), " Forms and accumulation of soil P in natural and recently

- restored peatlands-upper Klamath Lake, Oregon, USA" *Wetlands*, 25 (2005)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)
13. Haynes, R.J. et Mokolobate, M.S. 2001. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: A critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 59, 47–63.
 14. Kpan W. H., Bongoua-Devisme A.J., Kouadio K.-K.H., Koné B., And Bahan F. M. L., 2023. Response of lowland rice to phosphate amendments in three acidics agroecological zones of Côte d'Ivoire: Man-Gagnoa-Bouaké. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 8(5): 135-144. DOI: [10.22161/ijeab.85.18](https://doi.org/10.22161/ijeab.85.18)
 15. 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/wpcontent/uploads/2017/10/EGS_17_1_EG_S_17_1_web_Kone.pdf
 16. 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>
 17. 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>
 18. 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>
 19. Kotchi V., Yao-Kouamé A., et 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). pp. 1895–1905.
 20. 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>

21. MINAGRI, (2009). Rapport national sur l'état des ressources phythogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, Ministère de l'Agriculture, Octobre 2009, 64 p.
22. NGARESSEUM DKT: 2010. Évolution de la production et des importations de riz en Côte d'Ivoire de 1965 à 2008. Bulletin de politique Économique et développement (BUPED) N°08/2009 de la Cellule d'Analyse de Politique Économique du Cires (CAPEC). 29p.
23. Ngarasseum D. K. T. 2010. Evolution de la production et des importations de riz en Côte d'Ivoire de 1965 à 2008 BUPED N° 08/2009, 29 p.
24. ONDR 2012-2020. Stratégie Nationale de Développement de la Riziculture en Côte d'Ivoire (SNDR 2012-2020), www.ondr.ci/sndr_2012-2020.php, consulté le 05 février 2017
25. ROPPA, 2005, Bilan d'étape du parcours du ROPPA 2000-2005, Ouagadougou, 92 pp
26. Sahrawat K. L., Jones M., Diatta S. and A. Adam. 2001. Response of Upland Rice to fertilizer Phosphorus and its Residual Value in an Ultisol. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*32 (15 & 16) : 2457 - 2468.
27. Sahrawat, K. L., Jones, M. P., Diatta, S., Africa, W., Development, R., Warda, A., ... Coast, I. (1997). Direct and residual fertilizer phosphorus effects on yield and phosphorus efficiency of upland rice in an Ultisol. 209–215.
28. Sanogo, S., Paul, A. K., Zoumana, K., & Mameri, C., 2020. Evaluation de l'effet de doses d'azote et de phosphore sur des paramètres agromorphologiques et du rendement du riz : cas de la variété Djoukèmin dans un bas-fond de la région de Gagnoa. *Evaluation of the effect of nitrogen and phosphorus doses on*. 1, 8–16.
29. SECK, P. A., TOURE, A. A., COULIBALY J. Y., DIAGNE. A. ET WOPEREIS, M. C. S. (2013), Impact of rice research on income, poverty and food security in Africa : an ex – ante analysis. In : Wopereis, M. C. S., Johnson, D. E., Ahmadi, N., Tollens, E., et Jalloh, A. (Eds.), *Realizing Africa's Rice Promise*. CAB international, Wallingford, R-U. pp. 24-33
30. SOSSA E. L. (2012), Arrières effets de la fertilisation et des résidus de récoltes du niébé (*vigna unguiculata*) sur le rendement du riz de bas-fond dans un système de culture riz-maraîchage. Thèse de Doctorat, 14-18.
31. Taktek. S. (2015). Dissolution biologique des phosphates : Interaction bactéries - mycorhizes. Université LAVAL. Québec. Canada