

## Réponse de deux variétés de riz (*Oryza sativa* L.) à l'application de faibles doses de phosphate soluble sur les hyperdystric Ferralsols en zone forestière humide de Côte d'Ivoire

Brahima Kone<sup>\*1</sup>, Jean-Fabrice Adanve<sup>2</sup>, Rachidatou Sikirou<sup>3</sup>, Koné Aminata<sup>1,4</sup>

<sup>(1)</sup>Université Felix Houphouët-Boigny. UFR-Sciences de la Terre et des Ressources Minières. Département des Eau et du Sol Laboratoire de Pédologie et d'Agriculture Durable. 22 BP 582 Abidjan 22 (Côte d'Ivoire). E-mail : kbrahima@hotmail.com

<sup>(2)</sup>Université Felix Houphouët-Boigny. Département de Biosciences. 22 BP 582 Abidjan (Côte d'Ivoire).

<sup>(3)</sup>Institut National des Recherches Agricoles du Bénin. Laboratoire de Défense des Cultures. 01 BP 884 Cotonou (Bénin).

<sup>(4)</sup>Université Felix Houphouët-Boigny UFR-Sciences de la Terre et des Ressources Minières. Département des Eau et du Sol Laboratoire de Pédologie et d'Agriculture Durable. 22 BP 582 Abidjan 22 (Côte d'Ivoire). Interne à l'Unité de GROU à Africa Rice Center, Bouaké

Reçu le 07 juillet 2023, accepté le 05 août 2023, publié en ligne le 30 septembre 2023

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v6i3.4>

### RESUME

**Description du sujet.** La réponse du rendement des variétés de riz NERICA 1 et WAB 56-104 à de faibles doses d'engrais phosphatique soluble sur hyperdystric Ferralsol en zone forestière de la Côte d'Ivoire.

**Objectif.** Evaluer le rendement des variétés NERICA 1 et WAB 56-104 à l'engrais phosphaté soluble, différentes doses d'engrais phosphatés ont été appliquées sur hyperdystric Ferralsol en zone humide forestière.

**Méthodes.** Les réponses des variétés de riz NERICA 1 et de WAB 56-104 à l'apport du Triple-Super-Phosphate (TSP) aux doses de 0 ; 2,5 ; 5 ; 10 et 60 kg P ha<sup>-1</sup> ont été évaluées à travers le rendement en grain et l'efficacité agronomique de P en 2001 et 2002 à Man, en Côte d'Ivoire.

**Résultats.** Les rendements moyens des variétés NERICA 1 et WAB 56-104 ont varié du simple (1,78 t. ha<sup>-1</sup>) au double (3,12 t. ha<sup>-1</sup>) en 2001 suivis d'une réduction de 1,60 – 2,92 t. ha<sup>-1</sup> en 2002. Aucune différence significative n'a été observée entre les rendements de NERICA 1 alors qu'ils ont été significativement ( $P < 0,0001$ ) croissants pour WAB 56-104. Aussi, aucune différence significative n'a été observée entre les efficacités agronomiques moyennes quelle que soit la variété. Les rendements les plus élevés ont été respectivement obtenu aux doses 34,15 kg P ha<sup>-1</sup> et 57,9 kg P ha<sup>-1</sup> correspondant aux optimales de 18 kg P ha<sup>-1</sup> et de 39 kg P ha<sup>-1</sup> pour NERICA 1 et WAB 56-104.

**Conclusion.** La variété de riz NERICA 1 avec un apport de 18 kg P ha a été recommandée pour la riziculture pluviale sur sols acides des zones de forêts humides.

**Mots-clés :** Sol acide, riziculture pluviale, dose optimale, phosphore, Côte d'Ivoire.

### ABSTRACT

**Subject description.** Yield response of NERICA 1 and WAB 56-104 to low doses of soluble phosphorus fertilizer on hyperdystric Ferralsol in Côte d'Ivoire forest zone.

**Objective.** To assess two rice varieties (NERICA 1 vs. WAB 56-106) yield responses to soluble phosphate fertilizer, different rates were applied on hyperdystric Ferralsol in humid forest zone of Côte d'Ivoire.

**Methods.** The responses of rice varieties NERICA 1 and WAB 56-104 to the rates of 0; 2.5; 5; 10 and 60 kg P ha<sup>-1</sup> as Super Triple Phosphate (STP) were evaluated through grain yield and agronomic efficiency of P in 2001 and 2002 at Man, Côte d'Ivoire.

**Results.** The average yields of both varieties NERICA 1 and WAB 56-104 varied from simple (1.78 t ha<sup>-1</sup>) to double (3.12 t ha<sup>-1</sup>) in 2001 before a reduction to 1.60 – 2.92 t ha<sup>-1</sup> in 2002. No significant difference was observed between the yields of NERICA 1 while significantly ( $P < 0.0001$ ) increasing for WAB 56-104. Furthermore, no significant difference was observed between the means of agronomy efficiency whatever the variety. The highest yields were induced by 34.15 kg P ha<sup>-1</sup> and 57.9 kg P ha<sup>-1</sup> corresponding to optimum of 18 kg P ha<sup>-1</sup> and 39 kg P ha<sup>-1</sup> respectively for NERICA1 and WAB 56-104.

**Conclusion.** The rice variety NERICA 1 with 18 kg P ha<sup>-1</sup> were recommended for rainfed rice cropping on acid soils in humid forest zones.

**Keywords:** Acid soil, *O. sativa*, rice cultivation, phosphorus, Côte d'Ivoire.

## 1. INTRODUCTION

Le riz est la céréale la plus cultivée dans le monde après le blé et constitue la plus importante culture vivrière pour près de la moitié de la population mondiale (Fuller & Castillo, 2014; Fukagawa & Ziska, 2019). Cette céréale est cultivée dans environ 110 pays, sur plus de 140 millions d'hectare dont près de 06 millions en Afrique de l'Ouest (Diagne *et al.*, 2013; Chauhan *et al.*, 2017). Les superficies rizicoles sont en grande majorité occupées par la riziculture de plateau dans une proportion de 57 % en Afrique de l'Ouest (Oteng & Sant'Annab, 2006).

En Côte d'Ivoire, environ 72 % de la riziculture est de type pluviale de plateau avec un rendement moyen n'excédant pas 2 t ha<sup>-1</sup> (Saito *et al.*, 2019; Ouattara *et al.*, 2020). A l'instar des autres pays Ouest africains, ce faible rendement entraine un déficit de 50 % pour atteindre l'autosuffisance alimentaire (Lançon *et al.*, 2007). En effet, en Afrique de l'Ouest et du Centre, près de 70 % du riz de plateau se cultive dans la zone forestière humide sur sols acides de type hyperdystric ferralsol (Balasubramanian *et al.*, 2007). Cette acidité est favorable à la fixation du phosphore (P) par les oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium (Duputel *et al.*, 2013; Yumnam *et al.*, 2017; Mwendu Muindi, 2019). Cela induit une déficience en P dans ces sols, faisant de cette contrainte l'un des principaux facteurs limitant la production du riz (Saito *et al.*, 2019; Tsujimoto *et al.*, 2019).

L'application des engrais phosphatés a donc été vivement recommandée par Sahrawat *et al.* (2001) pour accroître le rendement du riz pluvial de plateau en Afrique de l'Ouest et notamment, en Côte d'Ivoire. Cependant, il a été noté que la réponse du riz pluvial aux doses croissantes de P est limitée à 50 kg ha<sup>-1</sup> sans différence de rendement avec les doses supplémentaires sur les hyperdystrics ferralsols en zone forestière (Koné *et al.*, 2009, 2010). Cela entraîne non seulement une stagnation du rendement du riz, mais aussi une source de pollution, notamment lors de l'application des formes de P solubles comme le triple superphosphate-TSP (Koné *et al.*, 2011). L'apport des grandes quantités de fertilisant phosphaté a été jugé responsables des déséquilibres des cations (Ca, Mg et K) dans le sol en induisant une inhibition de l'absorption de P par le riz (Liu *et al.*, 2021). De ce fait, l'apport des faibles doses de P pourrait être une solution pour améliorer la nutrition du riz en P. Toutefois, la tolérance variétale à l'acidité (Moriizumi *et al.*, 2021) doit être prise en compte pour une meilleure optimisation de P. A cet effet, parmi les variétés de

riz interspécifiques (*Oryza sativa* L × *Oryza glaberrima* Steud), NERICA1 (Nouveau Riz pour l'Afrique 1) est la plus adoptées sous l'appellation de *Bofani* en zone forestière de la Côte d'Ivoire actuelle. Il est donc opportun de valoriser les données anciennes et nouvelles pour une meilleure maîtrise de sa culture.

Ainsi, la présente étude vise à évaluer le potentiel de production de la variété de NERICA 1 en comparaison avec un de ses parents (WAB 56-104) sous l'effet de différentes doses d'engrais phosphatés soluble sur des sols acides de type hyperdystric ferralsol en zone forestière humide en Côte d'Ivoire. A terme, l'étude devrait identifier la faible dose optimale de P (TSP) tout en générant des connaissances sur la production de NERICA1 sur les sols acides de la zone forestière humide de la Côte d'Ivoire.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Site de l'expérimentation

L'expérimentation a été conduite à la Station expérimentale du Centre National de Recherche Agronomique - CNRA de Man (7° 2 N ; 7° 4 W ; 500 m), à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Ce site est localisé dans la zone de forêt humide tropicale caractérisée par un régime pluviométrique unimodal. Le site a reçu entre 1938,7 et 1735,3 mm de pluie respectivement en 2001 et 2002 au cours des expérimentations. Une végétation secondaire de cinq ans dominée par *Panicum spp.* a précédé l'expérimentation.

L'expérimentation a lieu sur le sommet d'un plateau de pente variant entre 0 et 2 %. Le sol est peu gravillonnaire de couleur rouge (5YR à 2,5YR) caractéristique de la présence des oxydes et hydroxydes de fer fixateurs du phosphore. C'est un sol ferrallitique fortement désaturé en bases selon CPCS (1967) appelé *hyperdystric Ferralsol* FAO (1998). L'horizon de surface qui variait de 0 – 20 cm est sablo-limono-argileux avec un pH<sub>eau</sub> de 4,8 (sol fortement acide) avec de faibles teneurs en carbone organique-C (14 g kg<sup>-1</sup>), en azote total-N (0,95 g kg<sup>-1</sup>), en phosphore assimilable de Bray I-P (6 mg kg<sup>-1</sup>) et en calcium échangeable-Ca (0,12 cmol kg<sup>-1</sup>). La teneur en potassium (K) est au seuil de la déficience avec K : CEC = 3 %. Le rapport Ca : Mg (1 : 4) indique un déséquilibre pouvant inhiber l'absorption de P. Aucune toxicité aluminique n'est notée (Al : CEC = 15 %).

## 2.2. Mise en place de l'expérimentation et dispositif expérimental

Du mois de Juin à Septembre des deux années consécutives 2001 et 2002, un essai agronomique a été mis en place sur 800 m<sup>2</sup>. Le labour et la pulvérisation ont été faits à la houe. Des micro-parcelles de 5 m × 3 m ont été délimitées pour chacun des traitements séparés une allée de 0,5 m. Dix (10) traitements ont été mis en place en considérant les facteurs variété de riz et doses d'engrais phosphaté à raison de deux (02) variétés dont un *Oryza sativa* (WAB 56-104) et un interspécifique (NERICA® 1) et cinq (05) doses d'engrais dont 0 ; 2,5 ; 5 ; 10 et 60 kg P ha<sup>-1</sup> du Triple Super phosphate (TSP). Les traitements ont été disposés dans un bloc complètement aléatoire, répété trois fois en espaçant chaque bloc de 1,5 m de l'autre. Les différentes doses de P ont été appliquées en fumure de fond associées à 50 kg K ha<sup>-1</sup> sous forme de KCl et à 100 kg N ha<sup>-1</sup> sous forme d'urée ont été appliqués annuellement à raison de 1/3 au semis, 1/3 au tallage et 1/3 à la montaison du riz. Le riz a été semé à 3 grains par poquet et à équidistant de 20 cm. Le désherbage a été manuel à 21 et 45 jours après la levée du riz. Des investigations supplémentaires ont été effectuées en 2021 et 2022 en vue d'apprécier la situation de la culture de riz dans la région.

## 2.3. Collecte des données

A la maturité des grains (environ 120 jours après germination), le rendement en grains a été évalué en considérant le poids du riz paddy sur 8 m<sup>2</sup> dans chaque micro-parcelle. Après séchage et battage, les grains et la paille ont été pesés séparément et le taux d'humidité des grains a été noté. Le rendement en grains (RDG) a été calculé en ramenant les poids de

grains à 14 % d'humidité. L'efficacité agronomique (EA) du phosphate a aussi été calculée comme suit :  
 $EA = (RG_x - RG_0) / Dose_x$  [1]

- ✓ EA représentant l'efficacité agronomique du phosphate
- ✓ RG<sub>x</sub> représentant le rendement en grains d'un traitement à la « Dose x » ;
- ✓ x désignant la dose considéré chaque année pour le fertilisant ;
- ✓ RG<sub>0</sub> est le rendement en grains du traitement témoin.

## 2.4. Analyses statistiques

A l'aide du logiciel SAS, des analyses de variance ont été faites pour déterminer les valeurs moyennes de RDG par année et par variété. Les EA moyens ont également été déterminées pour chaque variété. La comparaison des moyennes a été faite à l'aide à l'aide du test de Tukey au seuil de  $\alpha = 0,05$  ont permis de classer les différentes moyennes.

## 3. RESULTATS

### 3.1. Effet des traitements phosphatés

Les valeurs moyennes des rendements en riz paddy par doses de P appliquées durant les deux années d'expérimentation pour chacune des variétés de riz ont varié du simple (1,78 t ha<sup>-1</sup>) au double (3,12 t ha<sup>-1</sup>) à la première année (2001) avec une légère réduction (1,60 – 2,92 t ha<sup>-1</sup>) au cours de l'année suivante (2002). Cette baisse des rendements annuels s'observe également dans le traitement témoin de 0 kg P ha<sup>-1</sup> (Tableau 1) soulignant ainsi un déclin des rendements au fil des ans en dépit de l'application annuel du TSP dans tous les traitements.

**Tableau 1.** Rendements moyens annuels par dose de P pour chacune des variétés étudiées.

Dose (kg P ha <sup>-1</sup> )	2001			2002		
	NERICA1 (t ha <sup>-1</sup> )	WAB 56-104 (t ha <sup>-1</sup> )	Moyenne (t ha <sup>-1</sup> )	NERICA1 (t ha <sup>-1</sup> )	WAB 56-104 (t ha <sup>-1</sup> )	Moyenne (t ha <sup>-1</sup> )
0	1.62 <sup>a</sup>	1.94 <sup>c</sup>	1.78 <sup>b</sup>	1.51 <sup>a</sup>	1.68 <sup>d</sup>	1.60 <sup>b</sup>
2.5	2.18 <sup>a</sup>	2.20 <sup>bc</sup>	2.19 <sup>ab</sup>	2.05 <sup>a</sup>	1.94 <sup>cd</sup>	2.00 <sup>ab</sup>
5	2.00 <sup>a</sup>	2.56 <sup>b</sup>	2.28 <sup>ab</sup>	2.15 <sup>a</sup>	2.39 <sup>b</sup>	2.30 <sup>ab</sup>
10	2.70 <sup>a</sup>	2.41 <sup>b</sup>	2.55 <sup>ab</sup>	2.34 <sup>a</sup>	2.23 <sup>bc</sup>	2.29 <sup>ab</sup>
60	2.50 <sup>a</sup>	3.73 <sup>a</sup>	3.12 <sup>a</sup>	2.31 <sup>a</sup>	3.54 <sup>a</sup>	2.92 <sup>a</sup>
Moyenne G.	2.20	2.57	2.39	2.06	2.36	2.18
ppds <sub>0.05</sub>	1.96	0.42	0.94	0.90	0.41	1.30
Pr > F	0.767	< 0.0001	0,08	0.891	< 0.0001	0.1000

Les lettres a, b, c indiquent les valeurs moyennes significativement différentes ; G : général

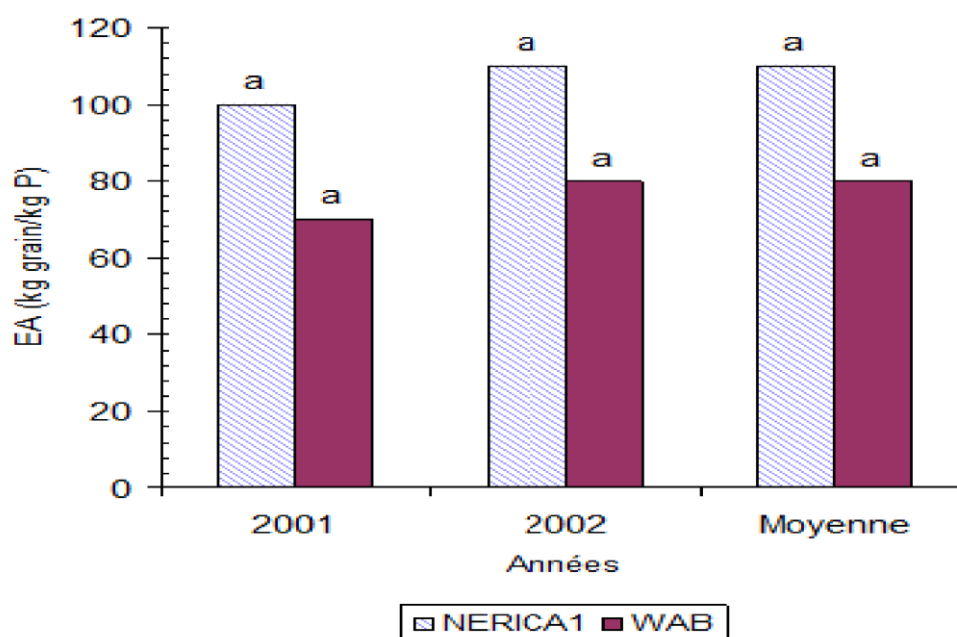
En outre, aucune différence significative n'a été notée entre les rendements en grains obtenus après application des doses avec la variété NERICA 1 alors qu'ils ont été significativement croissants pour la variété WAB 56 – 104. Ceci démontre clairement

l'importance de l'apport en phosphore (P) pour la variété WAB 56-104 comparée à la variété NERICA 1 (Tableau 1). Cette situation a été traduite par une différence variétale intra-annuelles selon les rendements obtenus à chacune des doses

d'application de P : le traitement témoin (0 kg P ha<sup>-1</sup>) a eu respectivement pour NERICA 1 et WAB 56 – 104, des rendements en grains les plus élevés (1,62 et 1,94 t ha<sup>-1</sup>) à la première année contre 1,51 et 1,68 t ha<sup>-1</sup> la seconde année.

### 3.2. Efficience agronomique du P en fonction des variétés du riz

En ce qui concerne l'efficience agronomique (EA), aucune différence significative n'a été notée chez les deux variétés quelle que soit l'année et leurs moyennes respectives comme présenté dans la Figure 1.



**Figure 1.** Efficience agronomique de NERICA 1 et de WAB56-104 en 2001 et 2002 ainsi que les moyennes obtenues respectivement durant les deux années

La variété NERICA 1 présente des valeurs plus élevées de l'ordre 47 et 54 %, respectivement en 2001 et 2002 que WAB 56-104. Cette tendance a été confirmée par les valeurs moyennes respectives qui au demeurant, n'affichent pas de différence significative soutenant une plus grande valorisation du phosphore par NERICA 1 relativement par rapport à WAB 56-104.

### 3.3. Expression de la réponse du riz

Le tableau 2 présente les caractéristiques de la réponse de chacune des deux variétés étudiées en

termes de rendement selon la dose de P. On note que tous les paramètres d'une allure quadratique sont significatifs pour NERICA 1 bien plus que WAB 56-104 dont l'erreur  $\beta$  (0.10) est requise pour le degré supérieur. Les doses optimales de 34,15 (NERICA 1) et 57,9 kg P ha<sup>-1</sup> (WAB 56-104) ont induit respectivement les rendements de 2,13 t ha<sup>-1</sup> et 2,46 t ha<sup>-1</sup> qui au demeurant, n'affichent aucune différence significative pour NERICA 1 et WAB 56 – 104 (Tableau 2).

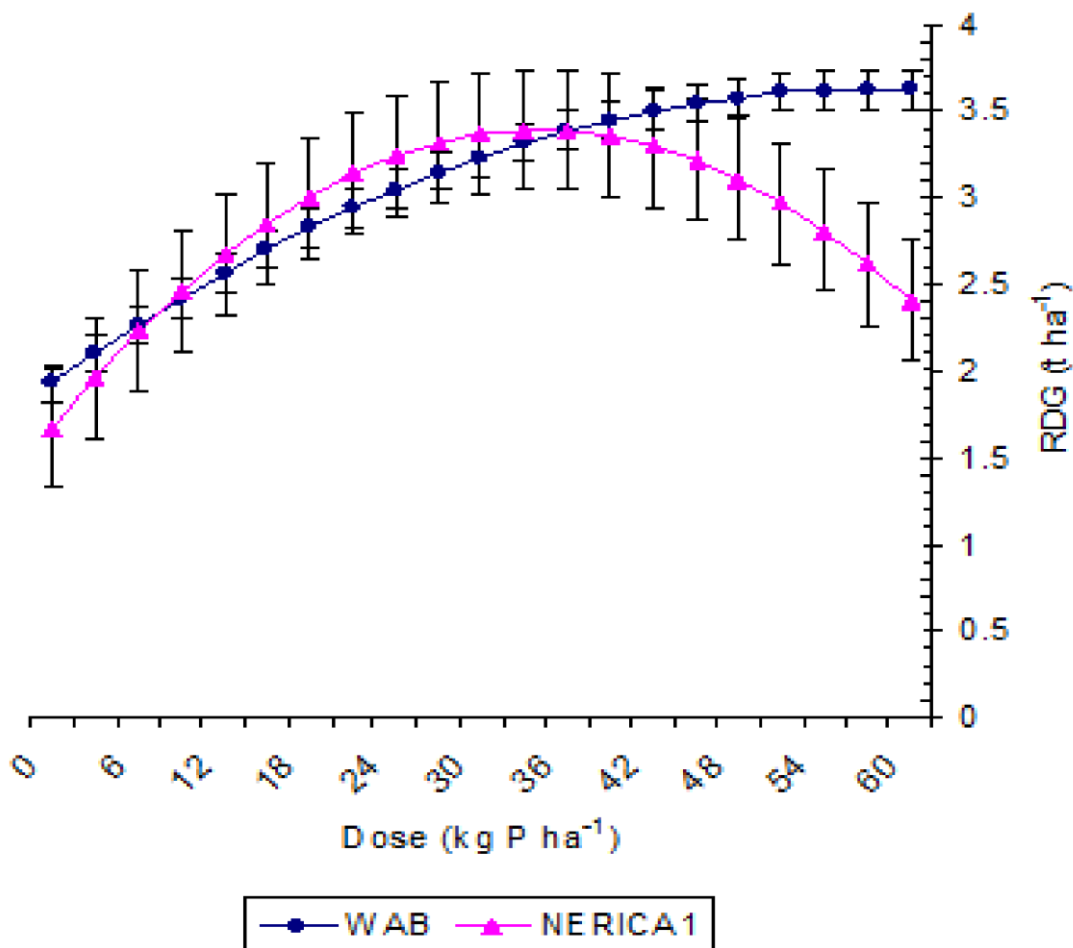
**Tableau 2.** Caractéristiques de l'allure quadratique de la réponse des variétés de riz NERICA 1 et WAB 56-104 aux doses d'application de P

	NERICA 1		WAB 56-104	
	Valeur	Pr >  t	Valeur	Pr >  t
Constante	1,67	< 0,0001	1,93	< 0,0001
Dose	0,10	0,0122	0,05	0,003
Dose × Dose	-0,0014	0,0150	-0,0005	0,086
Dose critique (kg ha <sup>-1</sup> )	34,15		57,9	
RDG (t ha <sup>-1</sup> )	2,13 a		2,46 a	

a : valeurs en ligne sans aucune différence significative.

La figure 2 présente les allures quadratiques des rendements respectifs en fonction de la dose de P. Les barres erreurs types permettent d'ajuster les doses optimales respectivement à 18 kg P ha<sup>-1</sup>

(NERICA 1) et de 39 kg P ha<sup>-1</sup> (WAB 56 – 104) d'un manque de différence significative entre 34,15 et 18 kg P ha<sup>-1</sup> pour NERICA1 d'une part et 54,9 et 39 kg P ha<sup>-1</sup> pour WAB 56-104 d'autre part.



**Figure 2.** Courbes de réponse de WAB56-104 et de NERICA1 aux doses croissantes de P (les barres représentent l'erreur standard).

En outre, on note à travers les résultats que la réponse de NERICA 1 est parfaitement quadratique avec des paramètres hautement significatifs ( $P < 0,01$ ) alors que l'interaction entre les différentes doses ne l'est qu'à 10 % d'erreur pour WAB 56-104 (Tableau 2; Figure 2).

Enfin, on note selon la figure 2, une allure presque linéaire de la réponse de WAB 56-104 à l'apport des différentes doses de P. De ce fait, on peut croire que WAB 56-104 a une réponse peu limitée à l'apport des doses croissantes de P mieux que NERICA 1.

#### 4. DISCUSSION

Cette étude dénote un manque de réponse de la variété NERICA 1 contrairement à la réponse croissante observée pour la variété WAB 56-104

suite à l'apport des différentes doses de P (TSP) sur sol déficient en P (6 mg P kg<sup>-1</sup> de terre) comparé aux normes standards (Li *et al.*, 2011). Ce résultat indique une plus grande tolérance de la variété NERICA 1 à l'acidité par rapport à la variété WAB 56-104 qui a pourtant été identifiée comme une variété tolérante à ces contraintes (Sahrawat *et al.*, 2000). La différence variétale face à ces contraintes est donc confirmée par les résultats actuels qui montrent qu'une teneur de 5-6 mg P kg<sup>-1</sup> dans le sol n'est pas à un niveau déficient pour des variétés interspécifiques du riz de plateau comme NERICA 1 alors qu'il l'est pour *Sativa* sp. (WAB 56-104). Même la baisse des rendements en 2001, probablement due à la baisse consécutive de la fertilité du sol suite à la mise en culture (Diatta et Sibani, 1997) n'a pas induit une différence significative chez la variété NERICA 1 au cours des années

malgré les apports de P. De plus, pour les rendements moyens presque identiques, NERICA 1 reste préférable pour l'adoption de l'apport des faibles doses de P que WAB 56-104 en riziculture de plateau. Ceci pourrait être dû à la plus grande aptitude de la variété NERICA 1 à optimiser le phosphore sur les hyperdystrics Ferralsols en zone forestière humide de la Côte d'Ivoire.

En outre, la plus grande tolérance de NERICA 1 à l'acidité du sol telle que notée a été confirmée par les travaux de Kone *et al.* (2009 ; 2011) qui ont démontré le renforcement de la tolérance à l'acidité du parent africain *O. glaberrima* grâce à l'introduction du parent asiatique *O. sativa*. Ainsi, la combinaison des caractéristiques autochtones d'*O. glaberrima* et de la capacité d'*O. sativa* à tolérer les sols acides a joué un rôle déterminant dans le développement des variétés interspécifiques (NERICA) de riz, spécialement adaptées à l'environnement acide des Ferralsols de la zone forestière humide de la Côte d'Ivoire, comme le justifie la présente étude.

Toutefois, les faibles efficacités agronomiques observées pour les deux variétés (<20 kg grain par kg de P) renchérissent les travaux de Koné *et al.* (2010) qui ont recommandé l'enfouissement de la paille du riz annuellement récoltée pour constituer une nouvelle source de matière organique afin d'assurer un meilleur équilibre physique et chimique du sol (Ganry *et al.*, 2001; Islam *et al.*, 2022) et aussi pour induire l'amélioration de la disponibilité et l'absorption de P selon Akinrinde (2006). Cette pratique devra ainsi améliorer l'efficacité agronomique et induire un meilleur effet cumulatif de TSP.

Bien que la variété WAB 56-104 n'ait pas eu une réponse quadratique, sa réponse linéaire présumée au cours de cette étude et démontrée par Sahrawat *et al.* (1998), ne constitue pas une solution économiquement viable pour la riziculture. En effet, le rendement 2,46 t ha<sup>-1</sup> atteint par WAB 56-104 à 57,9 kg P ha<sup>-1</sup> n'est pas significativement différent des rendements progressifs obtenus jusqu'à la dose de 60 kg P ha<sup>-1</sup> et celui obtenu avec 34,15 kg P ha<sup>-1</sup> sous NERICA 1. Ceci préconise la recommandation de l'usage de la variété NERICA 1 avec 18 kg P ha<sup>-1</sup> et l'enfouissement de la paille de riz pour une meilleure gestion de la fertilisation phosphatée du riz pluviale de plateau en zone forestière humide de la Côte d'Ivoire, sur hyperdystric Ferralsol. La dose de 18 kg P ha<sup>-1</sup> recommandée pour NERICA 1 est assez proche des 13 kg P ha<sup>-1</sup> récemment recommandée pour la riziculture dans les bas-fonds de la savane Guinéenne (Koné *et al.*, 2023). En tout état de cause, cette étude vient consolider les acquis agronomiques et renforcer le paquet technologique nécessaire pour une variété populaire qu'est *Bofani* ou NERICA 1.

## 5. CONCLUSION

Au terme de cette étude, il y a lieu de conclure que les variétés de riz NERICA 1 et WAB 56-104 répondent différemment à l'apport de TSP sur hyperdystric Ferralsol en zone forestière humide. NERICA 1 et WAB 56-104 ont respectivement présenté des meilleurs rendements, de 2,13 et 2,46 t ha<sup>-1</sup> pour des apports de 34,15 kg P ha<sup>-1</sup> et 57,9 kg P ha<sup>-1</sup> avec des optimales de 18 kg P ha<sup>-1</sup> et de 39 kg P ha<sup>-1</sup>.

Ainsi, il est recommandé l'usage de NERICA 1 avec 18 kg P ha<sup>-1</sup> et l'enfouissement de la paille du riz après chaque récolte pour non seulement accroître le rendement de riz à plus de 2 t ha<sup>-1</sup> mais aussi améliorer la riziculture sur sols acides en zone forestière humide. Un nouvel axe de recherche du seuil critique de P assimilable pour les variétés interspécifiques (NERICA) a été proposé pour une maîtrise de la production du riz dans l'écosystème étudié.

## Remerciements

Notre respect et remerciement à Feu Dr. Sitapha Diata ex-chercheur à WARDA aujourd'hui Africa Rice Center pour ses initiatives à cette étude.

## Références

- Akinrinde E. A., 2006. Strategies for improving crops' use-efficiencies of fertilizer nutrients in sustainable agricultural systems. *Pakistan Journal of Nutrition*, 5(2), 185–193. <https://doi.org/10.3923/pjn.2006.185.193>
- Balasubramanian V., Sie M., Hijmans R. J. & Otsuka K., 2007. Increasing Rice Production in Sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities. *Advances in Agronomy*, 94(06), 55-133. Elsevier Masson SAS. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(06\)94002-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)94002-4)
- Chauhan B. S., Jabran K. & Mahajan G., 2017. Rice Production Worldwide. *Rice Production Worldwide*, pp. 1–563. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5>
- Diagne A., Amovin-Assagba E., Futakuchi K. & Wopereis M. C. S., 2013. Estimation of cultivated area, number of farming households and yield for major rice-growing environments in Africa. *Realizing Africa's Rice Promise*, November, pp. 35–45. <https://doi.org/10.1079/9781845938123.0035>
- Duputel M., Van Hoyer F., Toucet J. & Gérard F., 2013. Citrate adsorption can decrease soluble phosphate concentration in soil: Experimental and modeling evidence. *Applied Geochemistry*, 39, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.09.017>
- Fukagawa N. K. & Ziska L. H., 2019. Rice: importance for global nutrition. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 65, S2–S3. <https://doi.org/10.3177/jnsv.65.S2>
- Fuller D. Q. & Castillo C., 2014. *Rice: Origins and Development BT - Encyclopedia of Global Archaeology* (C. Smith (ed.); pp. 6339–6343). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0465-2\\_2185](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0465-2_2185)



- Ganry F., Feller C., Harmand J. M. & Guibert H., 2001. Management of soil organic matter in semiarid Africa for annual cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61(1–2), 105–118. [https://doi.org/ 10.1023/A:1013320800721](https://doi.org/10.1023/A:1013320800721)
- Islam M. R., Singh B. & Dijkstra F. A., 2022. Stabilisation of soil organic matter: interactions between clay and microbes. *Biogeochemistry*, 160(2), 145–158. <https://doi.org/10.1007/s10533-022-00956-2>
- Koné B., Bongoua-Devisme A. J., Hien M. P., Coulibaly K. D. & Koné A., 2023. Combined Effect of Morocco Rock Phosphate and Chemical Fertilizer in Low-Land Rice Production in Guinea Savanna Zone of Côte D'Ivoire: Replenishment of Degraded Fluvisol for Boosting Rice Production. *Journal of Waste Management & Recycling Technology*, 1(3), 2-7. [https://doi.org/10.47363/JWMRT/2023\(1\)112](https://doi.org/10.47363/JWMRT/2023(1)112)
- Koné B., Diatta S., Ettien J. B., Amadji G. L. & Camara M., 2010. 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. *Étude et Gestion Des Sols*, 17(1), 7–18. <http://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/62318>
- Koné B., Diatta S., Saïdou A., Akintayo I. & Cissé B., 2009. Réponses des variétés interspécifiques du riz de plateau aux applications de phosphate en zone de forêt au Nigeria. *Canadian Journal of Soil Science*, 89(5), 555–565. <https://doi.org/10.4141/CJSS08086>
- Kone B., Sylvester O., Diatta S., Somado E., Valere, K., & Sahrawat, K. L. (2011). Response of interspecific and sativa upland rices to mali phosphate rock and soluble phosphate fertilizer. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 57(4), 421–434. [https://doi.org/ 10.1080/03650340903563382](https://doi.org/10.1080/03650340903563382)
- Lançon F. & David Benz H., 2007. Rice imports in West Africa: trade regime and food policy formulation. *106th Seminar of the EAAE Pro-Poor Development in Low Income Countries: Food, Agriculture, Trade, and Environment, October*, 1–16.
- Li H., Huang G., Meng Q., Ma L., Yuan L., Wang F., Zhang W., Cui Z., Shen J., Chen X., Jiang R. & Zhang F., 2011. Integrated soil and plant phosphorus management for crop and environment in China. A review. *Plant and Soil*, 349(1–2), 157–167. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0909-5>
- Liu L., Zheng X., Wei X., Kai Z. & Xu Y., 2021. Excessive application of chemical fertilizer and organophosphorus pesticides induced total phosphorus loss from planting causing surface water eutrophication. *Scientific Reports*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02521-7>
- Moriizumi M., Ae N., Ozawa K., Yoshida Y., Hamano R. & Numadate K., 2021. Effects of weathering and silicic acid uptake by rice plants on weathered products - Quantitative changes in potassium, silica, and aluminum in granitic Fluvisol-. *Soil Science and Plant Nutrition*, 67(4), 439–445. [https://doi.org/ 10.1080/00380768.2021.1944307](https://doi.org/10.1080/00380768.2021.1944307)
- Mwende Muindi E., 2019. Understanding Soil Phosphorus. *International Journal of Plant & Soil Science, December 2019*, 1–18. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2019/v31i230208>
- Oteng J. W. & Sant'Annab R., 2006. Rice production in Africa: current situation and issues. *Agriculture and Consumer Protection*, 55, 1–14. [https://www.fao.org /3/X2243T/x2243t05.htm](https://www.fao.org/3/X2243T/x2243t05.htm)
- Ouattara N., Xiong X., Traoré L., Turvey C. G., Sun R., Ali A. & Ballo Z., 2020. Does credit influence fertilizer intensification in rice farming? empirical evidence from côte D'ivoire. *Agronomy*, 10(8), 1–16. [https://doi.org/ 10.3390/agronomy10081063](https://doi.org/10.3390/agronomy10081063)
- Sahrawat K. L., Jones M. P. & Diatta S., 1998. Plant phosphorus and rice yield in an ultisol of the humid forest zone in West Africa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29(7–8), 997–1005. [https://doi.org/ 10.1080/00103629809370002](https://doi.org/10.1080/00103629809370002)
- Sahrawat K. L., Jones M. P. & Diatta S., 2000. The role of tolerant genotypes and plant nutrients in the management of acid soil infertility in upland rice. In *Management and Conservation of Tropical Acid Soils for Sustainable Crop Production. Proceedings of a Consultants Meeting Organized by the Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture (IAEA-TECDO)*, pp. 29–43). International Atomic Energy Agency (IAEA).
- Sahrawat K. L., Jones M. P., Diatta S. & Adam A., 2001. Response of upland rice to fertilizer phosphorus and its residual value in an ultisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(15–16), 2457–2468. <https://doi.org/10.1081/CSS-120000384>
- Saito K., Touré A., Arouna A., Fiamohe R., Silué D., Manful J., Bèye A., Efisue A. A. & Fiamohe R., 2019. Multidisciplinary assessment of agricultural innovation and its impact : a case study of lowland rice variety WITA 9 in Côte d'Ivoire. *Plant Production Science*, 00(00), 1–15. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2019.1667834>
- Saito K., Vandamme E., Johnson J. M., Tanaka A., Senthilkumar K., Dieng I., Akakpo C., Gbaguidi F., Segda Z., Bassoro I., Lamare D., Gbakatchette H., Abera B. B., Jaiteh F., Bam R. K., Dogbe W., Sékou K., Rabeson R., Kamissoko N. et al., 2019. Yield-limiting macronutrients for rice in sub-Saharan Africa. *Geoderma*, 338, 546–554. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.11.036>
- Tsujimoto Y., Rakotoson T., Tanaka A. & Saito K., 2019. Challenges and opportunities for improving N use efficiency for rice production in sub-Saharan Africa. *Plant Production Science*, 22(4), 413–427. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2019.1617638>
- Yumnam J. S., Rai M. & Tyagi W., 2017. Allele mining across two low-P tolerant genes PSTOL1 and PupK20-2 reveals novel haplotypes in rice genotypes adapted to acidic soils. *Plant Genetic Resources: Characterisation and Utilisation*, 15(3), 221–229. <https://doi.org/10.1017/S1479262115000544>