

Efficacité de la nutrition minérale sur les rendements et les teneurs en minéraux P, K, Ca, Mg et Zn des grains et la paille des repousses de riz (*Oryza sp*) variété Nerica L 14 de bas-fond inondable en régime pluvial

[Mineral nutrition effectiveness on flood-prone lowland ratoon rice (*Oryza sp*) Nerica L 14 variety grain and straw minerals P, K, Ca, Mg and Zn contents and yields under rainfield regime]

Kouakou Olivier KONAN¹, Théodore Alla Kouadio², and Kouamé René N'GANZOUA³

¹Université Felix Houphouët Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire de physiologie végétale, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

²Institut Pédagogique National de l'Enseignement Technique et Professionnel, Département de Formation des Formateurs aux Métiers de l'Agriculture, 08 BP 2098 Abidjan 08, Côte d'Ivoire

³Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Agroforesterie, Département d'Agropédologie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Field fertilization trials were conducted on 15 cm high rice stubble in lowland rainfed rice to determine the effectiveness of mineral nutrition on yields and mineral contents of grain and straw of Nerica L 14 ratoon. 4 complete block design of 7 fully randomized treatments were used. N and K significantly stimulated tillering ($p = 0,05$; 419 and 407 Nbm⁻²), panicle production ($p = 0,04$; 330 and 337 Nbm⁻²), number of grains per panicle ($p = 0,00$; 66 grains / panicle) as did P, Ca, Mn and Zn. GY and SY due to N were highest by 1,7 tha⁻¹ ($p < 0,00$) and 1,4 tha⁻¹ ($p = 0,01$), respectively. However, IR_{Zn} ($p = 0,04$; 68%) was the most important. N promoted high K accumulation in straw ($p = 0,02$; 1,89% DM) as did Mg (1,72% DM) and Ca ($p = 0,01$; 0,28% Ms) in grain. 100 N kgha⁻¹ or in combination with 10 Zn kgha⁻¹ may be recommended for rainfed lowland rice ratoon cultivation.

KEYWORDS: fertilization, yields, ratoon rice, nutrients effectiveness.

RESUME: Des essais de fertilisation au champ ont été réalisés sur des chaumes de riz hauts de 15 cm en riziculture pluviale de bas-fond pour déterminer l'efficacité de la nutrition minérale sur les rendements et les teneurs en minéraux des grains et la paille des repousses de Nerica L 14. Un dispositif en 4 blocs complets de 7 traitements totalement randomisés a été utilisé. N et K ont significativement stimulé le tallage ($p = 0,05$; 419 et 407 Nbm⁻²), la production de panicules ($p = 0,04$; 330 et 337 Nbm⁻²), le nombre de grains par panicule ($p = 0,00$; 66 grains / panicule) comme P, Ca, Mn et Zn. Les RDG et RDP dus à N ont été les plus élevés respectivement de 1,7 tha⁻¹ ($p < 0,00$) et de 1,4 tha⁻¹ ($p = 0,01$). Cependant, IR_{Zn} ($p = 0,04$; 68 %) a été le plus important. N a favorisé une grande accumulation de K dans la paille ($p = 0,02$; 1,89 % MS) comme Mg (1,72 % MS) et Ca ($p = 0,01$; 0,28 % Ms) dans les grains. 100 N kgha⁻¹ ou en association avec 10 Zn kgha⁻¹ peuvent être recommandés pour une culture pluviale de repousses de riz de bas-fond.

MOTS-CLEFS: fertilisation, rendements, repousses de riz, efficacité des nutriments.

1 INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, le riz est la céréale la plus consommée. Mais la production ne couvre pas les besoins de consommation. L'Etat ivoirien a donc recouru à des importations massives [1-2]. Pour augmenter la production nationale de riz et envisager la sécurité alimentaire, en prenant en compte la riziculture pluviale qui est le mode de culture le plus pratiqué, avec 90% des superficies emblavées et 80% de la production, la culture des repousses de riz est une opportunité. En effet cette seconde récolte non fertilisée est en général très faible et ne justifie pas l'immobilisation du sol [3]. Mais des essais de fertilisation azotée [4] ont permis non seulement d'avoir des rendements en grains correspondant à 54 % de ceux des plantes non fertilisées, mais aussi de stimuler le métabolisme des repousses de riz. La présente étude a donc été réalisée pour:

- Déterminer l'efficacité de la nutrition minérale appliquée aux repousses
- D'évaluer les teneurs en minéraux des grains et la pailles des repousses

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 DESCRIPTION DU SITE EXPERIMENTAL ET CARACTERISTIQUES FLORISTIQUES

Les essais ont été réalisés sur un sol de bas-fond inondable dans une parcelle à une altitude de 29 m par rapport au niveau de la mer qui s'étend entre les coordonnées 5°19'54,3" N et 4°22'44,1" W à Dabou au Sud de la Côte d'Ivoire. Ce champ expérimental était anciennement une exploitation agricole paysanne. Sa flore de 2 années de jachère, était non seulement dominée par *Melochia corchorifolia* et *Echinochloa obtusiflora*, appartenant respectivement aux familles des Malvaceae et des Poaceae, mais aussi caractérisée par une espèce indicatrice d'un agrosystème hydromorphe, *Nymphaea lotus*.

2.2 MATÉRIEL

2.2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé a été des chaumes de riz NERICA L14. Les Nerica sont des espèces interspécifiques issus de l'hybridation entre *O. sativa* et *O. glaberrima* [5]. Cette variété fleurit entre 63 et 73 jours après germination. La durée de son cycle est comprise entre 95 et 110 jours pour des rendements potentiels en grains fluctuant entre 4 et 8 tha^{-1} [4]. Ces performances agronomiques et la durée courte de son cycle de production, ont grandement favorisé le choix de cette variété. En effet, en zone de climat bimodal, la culture des repousses de Nerica L 14 issues d'une culture principale mise en place en début de la grande saison des pluies peut coïncider avec la petite saison pluvieuse.

2.2.2 MATÉRIEL CHIMIQUE

Le matériel chimique est essentiellement constitué de minéraux: N, P, K, Ca, Mg et Zn.

- Ca provenait du carbonate de calcium (CaCO_3) dosé à 40 % CaO. Une molécule de CaO correspond à 0,71 Ca
- K a été répandu sous la forme de sel de chlorure (KCl, 50 % K). Une molécule de K_2O correspond à 1,20 K
- N a été l'urée [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, 46 % N]
- Mg était sous forme de poudre de sulfate de magnésium ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 17 % Mg)
- Le sulfate de zinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 36 % Zn) a été utilisé comme pourvoyeur de Zn
- Le triple superphosphate [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 38 - 46 % P_2O_5] a servi de source de P

2.3 METHODES

2.3.1 MISE EN PLACE DES ESSAIS

2.3.1.1 AMÉNAGEMENT DE LA PARCELLE ET DÉSHÉBAGE

Une parcelle en jachère âgée de 2 ans de superficie égale à 1050 m^2 a été délimitée ensuite traitée avec 0,5 L équivalent acide de glyphosate (360 gL^{-1}) comme herbicide. Trois semaines plus tard, le terrain a été nettoyé manuellement. Ensuite les débris végétaux ont été enlevés et brûlés hors du site. La parcelle débarrassée des débris a été subdivisée en quatre blocs. Chaque bloc rectangulaire long de 29 m et large de 6 m a aussi été subdivisé en sept microparcelles de 5 m x 3 m. Une diguette

large de 0,5 m et haute de 0,5 m séparait deux microparcelles consécutives. Des canaux primaires et secondaires d'évacuation larges respectivement de 1 et 0,5 m ont été creusés pour délimiter l'ensemble des quatre blocs et faciliter le drainage de l'eau de submersion.

2.3.1.2 PRODUCTION DES CHAUMES

Les parcelles de la culture principale ont subi une mise à boue de deux semaines, ensuite un drainage 24 h avant l'application de 200 kg ha^{-1} de NPK en fumure de fond. Les plants ont été repiqués à 21 jours après la pépinière, selon un espacement de 20 cm entre et dans les rangs consécutifs. Le champ a été gardé inondé à partir de 10 jours après le repiquage (DAT) sauf pendant l'application d'urée (35 kg ha^{-1}) à 21 jours (stade de tallage) et 45 jours (stade d'initiation des panicules). Un désherbage manuel a également été effectué deux fois avant l'application de l'urée, complétant ainsi la gestion de la première culture. A maturité, le fauchage du riz à la faucille à 15 cm par rapport au niveau du sol a permis d'obtenir des chaumes.

2.3.2 TRAITEMENTS FERTILISANTS

Un jour après la récolte de la première culture (culture principale), des engrais N-, P-, K-, Ca-, Mg-, et Zn- ont été appliqués à 100 kg ha^{-1} , 55 kg ha^{-1} , 150 kg ha^{-1} , 33 kg ha^{-1} , 15 kg ha^{-1} et 10 kg ha^{-1} respectivement, comme recommandé par [6-7] pour la deuxième culture sous forme de repousses. Aucune application d'engrais n'a été réalisée dans les microparcelles témoins.

2.3.3 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif d'expérimentation était un plan en blocs aléatoires complets randomisés de sept traitements avec quatre répétitions. Aucune autre intervention n'a été effectuée et le champ dépendait strictement de l'humidité résiduelle du sol (provenant de l'approvisionnement en eau de la culture précédente) et de la pluviométrie.

2.3.4 DONNÉES COLLECTÉES

NOMBRES DE TALLES, DE PANICULES ET DE GRAINS PAR PANICULE

A maturité, dans 1 m² d'observation, les nombres de talles, de panicules et de grains par panicule de chacun des 36 pieds ont été comptés. La somme des 36 valeurs trouvées représente le nombre total de chaque organe et exprimé par mètre carré.

RENDEMENTS EN GRAINS (RDG), EN PAILLE (RDP) ET INDICE DE RÉCOLTE (IR)

Le riz a été fauché dans 8 m² à l'exclusion des deux lignes de bordure. La récolte a été battue, triée, vannée, séchée et pesée. Le rendement en grains (RDG) exprimé en tha⁻¹ a été déterminé à 14 % d'humidité [7] selon la formule [1].

$$\text{RDG (tha}^{-1}\text{)} = [\text{MGS/SR}] * [\text{10000/1000}] * [\text{HR/100} - \text{HRS}] \quad [1]$$

MGS: masse des grains pleins séchés en kg, SR: surface de récolte (8 m²), HR: humidité relative, HRS: humidité relative standard (14 %).

Dans chaque microparcelle, la paille de 8 m² de surface récoltée, a été rassemblée, reliée et séchée au soleil pendant 21 jours. Le poids obtenu par pesée à l'aide d'une balance à cadran a été utilisé pour le calcul du rendement en paille (RDP) exprimé en tha⁻¹ [8] selon l'équation [2].

$$\text{RDP (tha}^{-1}\text{)} = [\text{MPS/SR}] * [\text{10000/1000}] \quad [2]$$

MPS: masse de paille séchée en kg, SR: surface de récolte (8 m²).

L'indice de récolte reflète l'importance de la translocation des substances nutritives accumulées vers les organes de réserves de la plante [9]. Ce paramètre est exprimé en % et calculé selon la formule [3].

$$\text{IR (\%)} = [\text{RDG/RDG} + \text{RDP}] * 100 \quad [3]$$

IR: indice de récolte en %.

EFFICIENCES AGRONOMIQUES ET DE RECOUVEREMENTS APPARENTS

L'efficacité agronomique du fertilisant donne un aperçu de l'efficacité de la nutrition minérale. Elle traduit l'effet de l'absorption d'un nutriment sur le rendement [10]. Elle se calcule suivant l'équation [4] et s'exprime en kg de paddy / kg de fertilisant.

$$EA_x (\text{kgkg}^{-1}) = \frac{RDG_x - RDG_0}{\text{Dose de fertilisant appliqué}} \quad [4]$$

EA_x: efficacité agronomique du fertilisant x en kg de paddy/kg d'engrais x, RDG_x: rendement en grains de l'essai x, RDG₀: rendement en grains du témoin, Dose de fertilisant: quantité de fertilisant en kg par hectare

L'efficacité de recouvrement apparent correspond au taux d'accumulation dans les tissus végétaux des nutriments appliqués au sol [11]. Notée ERA_x et exprimée en %, elle a été calculée en tenant compte des teneurs du minéral dans la biomasse aérienne constituée par les grains et la paille, en fonction des traitements, par la formule [5].

$$ERA_x (\%) = \frac{TxBTC - TxTT}{\text{Dose du fertilisant appliqué}} \times 100 \quad [5]$$

ERA_x: efficacité de recouvrement apparent du nutriment x, TxBTC: teneur de x dans la biomasse (grains + paille) de l'essai, TxTT: teneur de x dans la biomasse (grains + paille) du témoin

TENEURS MINÉRALES (P, K, CA, MG ET ZN) DES GRAINS ET DE LA PAILLE DU RIZ

Les teneurs de P exprimées en pourcentage de matière de sèche (% MS) ont été déterminées selon la méthode de [12]. Les méthodes décrites par [13] ont été utilisées pour la détermination des teneurs de K, Ca et Mg exprimées en pourcentage de matière sèche (% MS), et de celles de Zn en ppm.

2.4 ANALYSE STATISTIQUE

Les valeurs moyennes des données relatives aux nombres de talles, de panicules, de grains par panicule, aux rendements en grains et en paille, à l'indice de récolte, aux efficacités agronomiques et de recouvrements apparents ont été générées et séparées en groupes homogènes à partir d'une analyse de variance grâce au test de Student-Newman-Keuls au seuil α de 0,05 par SAS for Windows version 9.1.

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DE L'HORIZON 0 – 20 CM DU SOL

L'horizon 0 – 20 cm (**Tableau 1**) était acide relativement aux valeurs optimales. Le pH_{Eau} enregistrés de 5,19 était supérieur au pH_{KCl} (4,07). Les teneurs en carbone de 5,14 g.kg⁻¹ ont été faibles. De même celles de la matière organique, de 8,86 g.kg⁻¹ ont été basses. Cet horizon a été particulièrement pauvres en K, Mg, Ca, P assimilable, et très riches en oligoéléments que sont Zn, Fe et Cu en comparaison aux valeurs seuils. Celles-ci sont respectivement de 0,1 cmol.l⁻¹, 0,5 à 4 cmol.l⁻¹, 4 cmol.l⁻¹, 0,3 à 0,4 cmol.l⁻¹, 0,5 à 2,2 ppm, 1 à 300 ppm et 200 à 300 ppm. Relativement aux équilibres chimiques, les rapports Ca/Mg > 10 et Mg/K < 2 ont été respectivement supérieurs à 10 et inférieurs à 2. Les valeurs du rapport Ca/K qui ont été incluses dans l'intervalle des normes. Les rapports K/CEC et K/(Ca + Mg) ont été inférieurs à 2. Le taux de saturation en bases de 13,29 % a été inférieur aux valeurs optimales comprises entre 60 et 90 %.

3.2 EFFETS DES TRAITEMENTS FERTILISANTS SUR LES PARAMETRES AGROMORPHOLOGIQUES

Les nombres de talles, de panicules et de grains par panicule des repousses ont été évalués en fonction des traitements fertilisants. Les résultats sont consignés dans le tableau 2. Les effets des fertilisants sur ces paramètres, ont été significatifs ($p \leq 0,05$). N et K ont induit des nombres de talles (419 et 407 Nbm⁻²) et de panicules (330 et 337 Nbm⁻²) plus élevés que ceux du témoin respectivement de 313 et 261 Nbm⁻². Les traitements fertilisants effectués ont produit des résultats statistiquement identiques, fluctuant entre 58 et 66 grains par panicule, et supérieurs à celui du témoin non fertilisé (42 grains par panicule).

Tableau 1. Caractéristiques chimiques de l'horizon 0 – 20 cm du sol de bas-fond après deux années de jachère

Paramètres	Valeurs	Valeurs optimales
pH _{Eau}	5,19	6,5 < VO < 7
pH _{KCl}	4,07	
N (gkg ⁻¹)	0,86	1,26 – 2,25
C (g kg ⁻¹)	5,14	10,26 – 20,5
C / N	5,97	11 – 15
MO (gkg ⁻¹)	8,86	20,1 – 40,2
K (cmol kg ⁻¹)	0,18	0,1
Mg (cmol kg ⁻¹)	0,10	0,5 – 4
Ca (cmol kg ⁻¹)	1,14	> 4
CEC (cmol kg ⁻¹)	10,68	12 – 15
P _{ass} (gkg ⁻¹)	0,04	0,3 – 0,4
Zn (mg kg ⁻¹)	6,76	0,5 – 2,2
Fe (ppm)	174	1 – 300
Cu (ppm)	7,20	
Ca / Mg	11,40	2 – 10
Ca / K	6,33	4 – 17
Mg / K	0,55	2 – 4
K / CEC (%)	2	> 2
K / Ca + Mg	0,14	> 2
TS (%): (k+Mg+Ca+ / CES)	13,29	60<TS<90

Tableau 2. Nombres de talles, de panicules et de grains par panicule à la maturité des repousses de riz du bas-fond en fonction des traitements fertilisants

Traitements fertilisants	Talles (Nbm ⁻²)	Panicules (Nbm ⁻²)	Nombre de grains par panicule
Te	313 b	261 b	42 b
N	419 a	330 a	66 a
P	363 ab	300 ab	62 a
K	407 a	337 a	66 a
Ca	348 ab	293 ab	61 a
Mg	377 ab	296 ab	61 a
Zn	380 ab	304 ab	58 a
P > F	0,05	0,04	0,00
CV (%)	38,15	7,32	9,02
Moyenne	374	303	59

Dans la colonne les moyennes affectées des lettres a et b sont significativement différentes au seuil de 5 % (test Student-Newman-Keuls), Te: témoin non fertilisé.

3.3 EFFETS DES TRAITEMENTS FERTILISANTS SUR LES RENDEMENTS EN GRAINS, EN PAILLE ET L'INDICE DE RECOLTE

Les valeurs moyennes relatives aux rendements en grains et en paille de riz en fonction des traitements fertilisants ainsi qu'aux indices de récolte des fertilisants appliqués ont été consignées dans le tableau 3. Les différences entre les valeurs de chaque paramètre ont été significatives au seuil de 5 %. N a permis d'avoir les meilleurs rendements en grains (1,7 tha⁻¹) et en paille (1,4 tha⁻¹). Mais son indice de récolte généré (55 %) a été faible comme celui du témoin (58 %) de P et de Ca. Toutefois Zn (68 %) a induit l'indice de récolte le plus élevé.

Tableau 3. Rendements en grains et en paille de riz (tha^{-1}) des repousses et IR (%) des traitements fertilisants

Traitements fertilisants	RDG (tha^{-1})	RDP (tha^{-1})	IR (%)
Te	1,1 d	0,8 b	58 b
N	1,7 a	1,4 a	55 b
P	1,2 cd	0,8 b	57 b
K	1,5 b	0,8 b	65 ab
Ca	1,1 d	0,8 b	55 b
Mg	1,1 d	0,7 b	61 ab
Zn	1,3 c	0,5 b	68 a
P>F	<0,00	0,01	0,04
CV (%)	6	30,39	11
Moyenne	1,28	0,8	60

Dans une même colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Student-Newman-Keuls), Te: témoin non fertilisé.

3.4 EFFICACITES DES ENGRAIS ET TENEURS EN MINERAUX DES GRAINS ET DE LA PAILLE DE RIZ DES REPOUSSES EN FONCTION DES TRAITEMENTS FERTILISANTS

3.4.1 EFFICIENCES AGRONOMIQUES DES FERTILISANTS

Les efficacités agronomiques des fertilisants ont été illustrées par la figure 1. Les différences entre les traitements ont été significatives au seuil de 5 %. Le fertilisant à base de Zn a permis l'efficacité agronomique la plus élevée (22 kg de grains paddy.kg⁻¹ de fertilisant) comparativement aux autres nutriments dont les valeurs, statistiquement identiques, ont été les plus faibles.

3.4.2 TENEURS EN MINERAUX DES GRAINS ET DE LA PAILLE DE RIZ DES REPOUSSES EN FONCTION DES TRAITEMENTS FERTILISANTS

Selon les valeurs consignées dans le tableau 4, les traitements n'ont pas eu d'effet significatif sur les teneurs en P, K, Mg et Zn des grains de riz. Les valeurs moyennes relevées ont été de 0,20 % (P et K), 0,11 % (Mg) et 0,00 ppm (Zn). Par contre, dans ces mêmes organes, les teneurs en Ca ont fluctué selon le fertilisant apporté (P = 0,01). La valeur la plus élevée (0,28 %) a été conséquente à la fertilisation azotée, et les plus faibles, à l'application de Ca, Mg et Zn aux repousses. Egalement, les variations des teneurs de la paille en P, Ca et Zn n'ont pas été significatives. Les valeurs moyennes obtenues ont été de 0,13 % (P), 0,72 % (Ca) et 0,01 ppm (Zn). Par contre, les teneurs en K et Mg ont varié significativement en fonction des fertilisants appliqués (P = 0,02 et 0,01). Les traitements fertilisants ont tous induit des valeurs de Mg les plus élevées et statistiquement similaires dans la paille des repousses. La teneur la plus faible a été observée chez le témoin non traité. Concernant le potassium, les valeurs les plus importantes ont été relevées chez les repousses traitées avec l'azote (1,89 %) et le magnésium (1,72 %), tout comme chez le témoin (1,77 %). La teneur la moins élevée (1,13 %) a été inhérente à l'application de Ca.

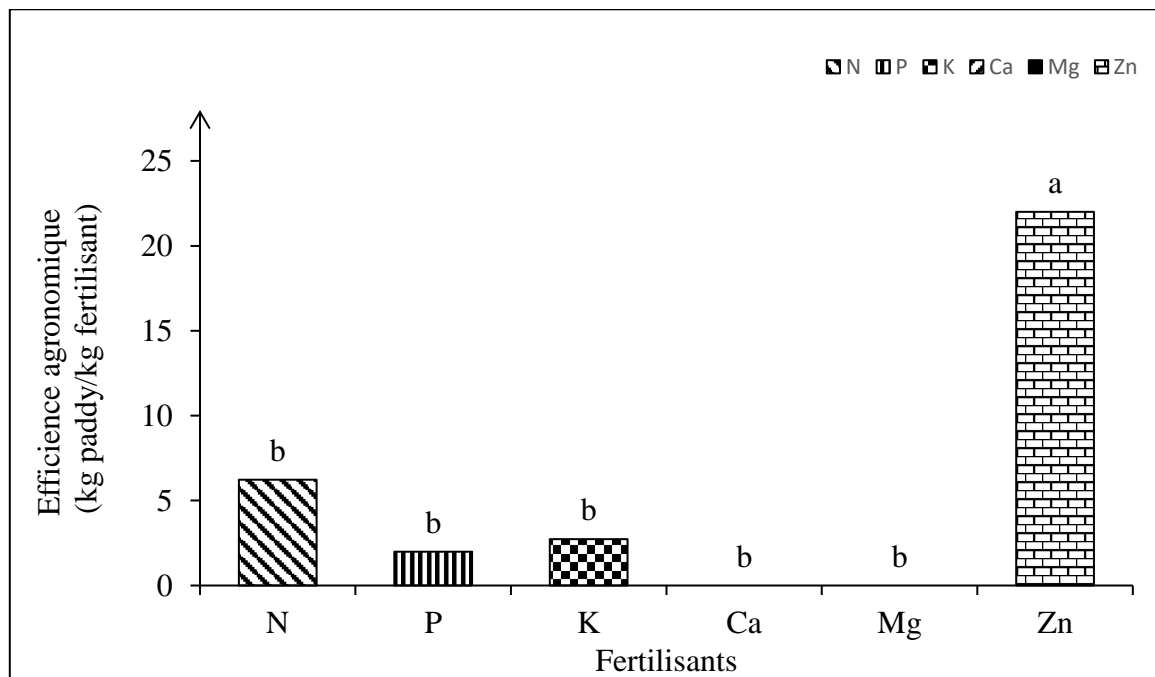


Fig. 1. Efficacités agronomiques des fertilisants appliqués aux repousses de riz

Sur l'histogramme, les bandes affectées des lettres a et b sont significativement différentes au seuil de 5% (test de Student-Newman-Keuls), $p = 0,04$.

3.4.3 EFFICACITES DE RECOUVREMENT APPARENT DES NUTRIMENTS

Les efficacités de recouvrement apparent des nutriments, à la maturité des repousses, déterminées dans le site d'étude, ont été illustrées par la figure 2. Les différences entre les traitements ont été significatives. Les taux de recouvrement apparent de l'azote (23,02 %) et du zinc (24,18 %) ont été les plus élevées tandis que ceux du phosphore (3,16 %), du calcium (3,34 %) et du magnésium (0,3 %) ont été les plus faibles.

Tableau 4. Teneurs en minéraux des grains et de la paille de riz issus des repousses de riz en fonction des traitements fertilisants

Traitements fertilisants	Teneurs en minéraux des différents organes									
	Grains					Paille				
	P (% MS)	K (%MS)	Ca (% MS)	Mg (% MS)	Zn (ppm)	P (% MS)	K (%MS)	Ca (% MS)	Mg (% MS)	Zn (ppm)
Te	0,18 a	0,19 a	0,17 ab	0,11 a	0,00 a	0,14 a	1,77 a	0,69 a	0,15 b	0,06 a
N	0,22 a	0,18 a	0,28 a	0,11 a	0,00 a	0,11 a	1,89 a	0,70 a	0,26 a	0,04 a
P	0,20 a	0,21 a	0,13 ab	0,12 a	0,00 a	0,16 a	1,62 ab	0,67 a	0,25 a	0,00 a
K	0,22 a	0,20 a	0,10 ab	0,11 a	0,00 a	0,11 a	1,60 ab	0,86 a	0,25 a	0,00 a
Ca	0,21 a	0,21 a	0,01 b	0,11 a	0,00 a	0,17 a	1,13 b	0,72 a	0,29 a	0,00 a
Mg	0,22 a	0,21 a	0,03 b	0,11 a	0,00 a	0,13 a	1,72 a	0,67 a	0,27 a	0,01 a
Zn	0,21 a	0,21 a	0,02 b	0,12 a	0,00 a	0,14 a	1,49 ab	0,73 a	0,26 a	0,00 a
P> F	0,10	0,24	0,01	0,67	0,95	0,41	0,02	0,13	0,01	0,84
CV (%)	7,62	7,25	15,24	8,17	26,12	29,14	14,69	22,13	14,19	34,47
Moyenne	0,20	0,20	0,10	0,11	0,00	0,13	1,6	0,72	0,24	0,01

Dans une même colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Student-Newman-Keuls), Te: témoin non fertilisé.

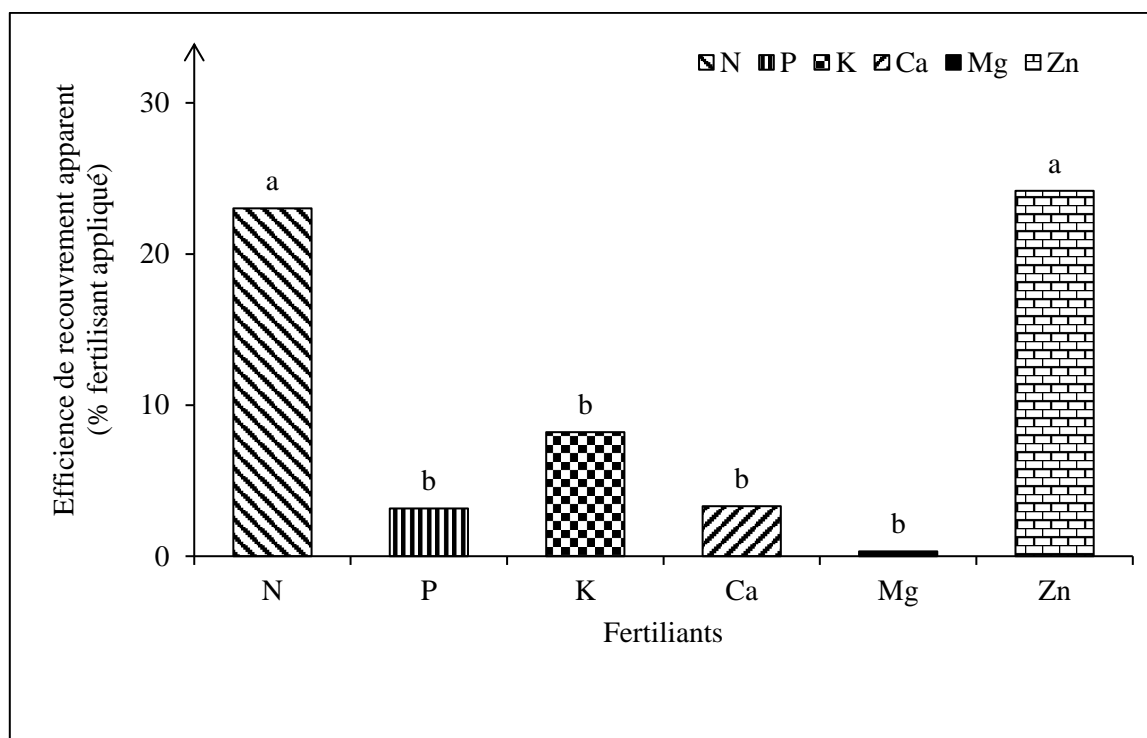


Fig. 2. Efficacités de recouvrement apparent des nutriments appliqués aux repousses de riz

Sur l'histogramme, les bandes affectées des lettres a et b pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Student-Newman-Keuls), $p = 0,04$.

4 DISCUSSIONS

Les proportions en sables fins élevées (53,7 %) et la présence de *Nymphaea lotus* montrent que le sol de bas-fond est colluvionnaire et hydromorphe avec la présence d'une lame d'eau de submersion [14]. La facilité de drainage de ce sol aurait entraîné les particules d'argile vers les horizons de profondeur appauvrissant (0,1 % argile) ainsi les couches superficielles. L'étude de la composition chimique de l'horizon 0 – 20 cm a en outre indiqué un caractère très acide [15], une pauvreté en cations échangeables, en azote et en phosphore. Les valeurs faibles de C/N seraient dues à un blocage de la minéralisation de la matière organique en condition d'anaérobiose [16]. L'accumulation de cette dernière sous forme plus ou moins évoluée entraîne une acidification du sol de nature organique avec une capacité d'échange cationique faible. Les rapports $Ca / Mg > 10$; $4 < Ca / K < 17$ et $Mg / K < 2$ indiquent que le calcium a été excédentaire par rapport au magnésium et au potassium pendant que le magnésium a présenté une déficience par rapport au potassium. En outre, les rapports $K / CEC < 2$ et $K / Ca + Mg < 2$ ont été très faibles permettant de conclure que le potassium était déficient par rapport à la somme du calcium et du magnésium sur le complexe adsorbant du sol [17].

Le tallage des repousses a été stimulé de façon importante par l'apport d'azote. Des observations similaires ont été faites sur le riz [18]. L'estimation du nombre de panicules a signalé que les effets de l'azote ont été plus élevés. Ces résultats confirment les observations de [19] en riziculture pluviale. Par ailleurs, de nos expérimentations, il ressort que l'azote a eu un effet stimulant sur le nombre de grains par panicule. Toutefois, les autres minéraux appliqués (P, K, Mg et Zn) ont aussi augmenté de façon similaire ce paramètre comme l'azote. Les caractéristiques floristiques et physico-chimiques du sol de l'étude ont révélé la présence persistante d'une lame d'eau de submersion, une déficience en base échangeables, en azote. Cet élément minéral peut être considéré comme celui qui est susceptible de limiter la croissance des plantes [20] car sa disponibilité est souvent faible alors que les besoins sont importants, notamment pour la photosynthèse [21]. C'est un constituant essentiel des acides nucléiques, des acides aminés, des protéines enzymatiques et de structure, des chlorophylles, molécules indispensables à la croissance et au développement des plantes. La nutrition azotée du fait de son application et la présence de l'eau de submersion du bas-fond d'étude auraient influer sur la distribution des photoassimilats entre les organes aériens et racinaires des plantes herbacées [22]. Les proportions importantes allouées aux organes aériens pourraient expliquer le fort tallage, comme déjà observée chez le blé [23]. Le transit des métabolites induits par l'azote (glucides,

protéines, amino acides etc.) vers les zones méristématiques en vue d'initier la transformation des bourgeons végétatifs en structures florales serait à la base d'une formation plus importante de panicules. Les effets stimulants de P, K, Ca, Mg et Zn comme de N sur le nombre de grains par panicule pourraient être liés à une différence de réponse des repousses de riz [24] et à leurs implications dans le métabolisme des cytokinines au stade de l'initiation paniculaire. En effet, cette hormone aurait grandement influencé les divisions cellulaires.

Egalement les effets stimulateurs de l'azote ont été observés au niveau du rendement en grains et en paille. Les données révélées sont similaires à celles obtenues par [25-19]. La nutrition azotée aurait ainsi favorisé la bonne translocation des nutriments vers leurs sites d'action dans la plante (zones méristématiques) ou contribué à la production de métabolites utiles au développement [26]. Relativement à l'indice de récolte, celui dû à l'application de Zn a été le plus important, contrairement aux résultats présentés par [27] sur les repousses de riz en culture irriguée. Ainsi, la fertilisation des repousses par le zinc semble avoir un effet favorable sur l'indice de récolte. Le sol du bas-fond a été caractérisé par de fortes teneurs de zinc, une CEC faible avant la mise en place des cultures. Cette faible teneur de CEC a certainement favorisé un appauvrissement du sol en zinc à la culture précédant celle des repousses. Ainsi, le zinc apporté en fumure de fond, par son adsorption sur le complexe argilo-humique, aurait induit une grande efficacité physiologique. Celle-ci provient d'un synergisme d'absorption de l'azote, du phosphore avec le calcium capable de modifier les balances minérales au niveau de la plante et intervenant dans divers processus biologiques [28]. Ces modifications du métabolisme des repousses seraient en faveur du remplissage des grains à partir des photoassimilats issus des organes végétatifs.

Les teneurs les plus élevées en éléments minéraux évaluées dans les organes aériens, ont été celles du Ca dans les grains de riz après fertilisation azotée, du K de la paille après apport de Mg aux repousses des repousses. Les situations décrites pourraient s'expliquer par le fait que le sol du site expérimental est relativement pauvre en azote et en magnésium, avec des ratios peu favorables entre les nutriments apportés. Dans ces conditions, la fertilisation à base d'azote en quantité adéquate aurait induit l'absorption de Ca et K et l'assimilation préférentielle de Ca. Toutefois, en quantité excédentaire, un effet de limitation aurait été perçu, comme l'admet [29]. Il en est probablement de même pour le potassium dans la paille des repousses cultivées, après application du magnésium. L'azote a donc permis d'améliorer les qualités minérales spécifiquement en calcium des grains.

Concernant l'efficacité de recouvrement, l'azote et le zinc, ont été mieux recouverts parmi tous les minéraux appliqués. Selon [30], le recouvrement des oligoéléments est de 5 à 10 % de la dose appliquée, celui des macroéléments étant comprise entre 10 et 50 %. La grande efficacité de recouvrement du zinc pourrait s'expliquer par le pH acide du sol et la faible teneur en argile du sol. En effet, selon [31-32], à pH 5,19, l'absorption du zinc sur ce complexe argilo-humique aurait été plus optimale par les repousses engendrant une efficacité de recouvrement plus élevée. Quant à l'efficacité de recouvrement de l'azote, il serait dû à une grande absorption de l'azote aussi bien à pH 5,19 qu'à 6,35 parce que sa disponibilité est moins directement affectée par les variations de pH [33].

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

N améliore non seulement le tallage, la production et le nombre de grains de panicule comme le K, mais aussi les rendements en grains et en paille des repousses de bas-fond. Toutefois, l'efficacité agronomique et l'indice de récolte les plus élevés ont obtenu avec l'apport de Zn. N favorise, comme K, une grande accumulation de K dans la paille et Ca dans les grains de riz.

100 N kg ha^{-1} ou en association avec 10 Zn kg ha^{-1} peuvent être recommandés pour une culture pluviale de repousses de riz de bas-fond inondable.

REMERCIEMENTS

Nos sincères remerciement vont à l'endroit de Dr. Sitapha Diatta donateur des semences de Nerica L 14, et au Dr. Brahim Koné initiateur du projet de recherche.

REFERENCES

- [1] A. Amancho, A. Diallo, K. Kouassi, A. Bouet & N'guessan K. Criblage de quelques variétés de riz de Côte d'Ivoire pour la résistance à la panachure jaune du riz: incidence de la maladie sur quelques caractères agronomiques. *Sciences et Nature*, Vol. 6 (1), pp. 27 – 37, 2009.
- [2] N. Kouablé. Transmission des fluctuations et calcul des prix de parité du riz et du maïs à l'importation en Côte d'Ivoire. Michigan State University, CILSS, RESIMAO, Syngenta Foundation. 56 p. (http://www.aec.msu.edu/fs2/srai/RAPPORT_RCI-MSU-PROMISAM_10052010_revue.pdf), 2010.
- [3] F. A. Bahar & S. K. De Datta. Prospects of increasing tropical rice production through ratooning. *Agronomy Journal*, Vol. 69, pp. 536-540, 1977.
- [4] O. Kouakou, C. Mamadou, B. Kone, E. Dick & K. F. Konan. Growth, yields and ratooning performance of lowland rice Nerica L14 as affected by different fertilizers. *International Journal of Science and Technology*, Vol. 2 (2), pp. 20-22, 2014.
- [5] E. A. Somado, R. G. Guei & S. O. Keya. NERICA: the New Rice for Africa - a Compendium. 52 p, 2008.
- [6] B. Koné, G. L. Amadji, A. M. Igue & A. Ogunbayo. Rainfed upland rice production on derived savannah soil in West Africa. *Journal of Animal & Plant Sciences*, Vol. 3 (1), pp. 156-162, 2009.
- [7] B. Koné, J. B. Ettien, G. L. Amadji, S. Diatta & M. Camara. 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. *Etude et Gestion des Sols*, Vol. 17 (1), pp. 7-18, 2010.
- [8] B. Koné, S. Fatogoma & M. Chérif. Diagnostic of mineral deficiencies and interactions in upland rice yield declining on foot slope in a humid forest zone. *International Network for Natural Sciences*, pp. 11-19, 2013.
- [9] M. Unkovich, J. Baldock & M. Forbes. Variability in harvest index of grain crops and potential significance for carbon accounting: Examples from Australian agriculture. *Advances in Agronomy*, Vol. 105, pp. 173-219, 2010.
- [10] A. Muhammad, K. A. Lal, J. Amanullah, S. Zahir, R. Hidayatur & K. K. Shad. Agronomic efficiency and profitability of P-fertilizers applied at different planting densities of maize in northwest Pakistan, *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 35 (3), pp. 331-341, 2012.
- [11] A. Dobermann. Nutrient use efficiency-measurement and management. Fertilizer best management practices. General principles strategy for their adoption and voluntary initiatives vs regulations. *International fertilizer industry association Paris, France*, pp. 1 – 28, 2007.
- [12] AOAC. Official method of Analysis. Food composition, official analytical chemists, additives natural contaminant. *Adrich RC (éd) Vol. 2, 15e éd. Association des officiels chimistes analytiques, Inc USA*, 1990.
- [13] M. Pinta. Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux. Détermination des éléments Ca, Mg, Fe, Mn, Zn et Cu par absorption atomique. *Oléagineux*, Vol. 2, pp. 87-92, 1973.
- [14] I. O. Akobundu & C. W. Agyakwam. A handbook of West African weeds. *International Institute of Tropical Agriculture (I.I.T.A) Ibadan, Nigeria*. 194 p, 1987.
- [15] LANO. Analyses des terres <http://www.lano.asso.fr/web/analysEssai.html>, 2008. [Consulté en 2017].
- [16] D. Lavigne, L. Boucher & L. Vidal. Les bas-fonds en Afrique tropicale humide: stratégies paysannes, contraintes agronomiques et aménagements in Pichot et al eds. *Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides, actes du séminaire international, CIRAD*, pp. 148 – 161, 1996.
- [17] E. F. Akassimadou & A. Yao-Kouamé. Caractéristiques morpho-pédologiques et potentiels d'un sol de bas-fond secondaire développe sur granito-gneiss en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, Vol. 79, pp. 6968 – 6982, 2014.
- [18] R. B. Negular, G. S. Yadahalli, B. M. Chittapur, G. S. Guruprasad & G. Narappa. Ratoon Rice: A Climate and Resource Smart Technology. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Vol. 6 (5), pp. 1638-1653, 2017.
- [19] J. M. Jonathan, S. Hironobu, T. Hisamitsu & I. Kenji. Nutrient deficiencies and symptoms in upland rice. *Journal of the International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences*, Vol. 17 (1), pp. 59-67, 2011.
- [20] R. Aerts & F. S III Chapin. The mineral nutrition of wilds plants revisited: A re-evaluation of processes and patterns. *Advances in ecological research*, Vol. 30, pp. 1-67, 2000.
- [21] K. Hikosaka & T. Hirose. Nitrogen uptake and use by competing individuals in a *Xanthium canadense* Stand., *Oecologia*, Vol. 126, pp. 174-181, 2001.
- [22] G. Bélanger, F. Gastal & F. R. Warembourg. The effects of nitrogen fertilisation and the growing season on carbon partitioning in a sward of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb). *Annals of Botany*, Vol.70, pp. 239-244, 1992.
- [23] M. Arif, M. Tasneem, F. Bashir, G. Yaseen & A. Anwar. Evaluation of Different Levels of Potassium and Zinc Fertilizer on the Growth and Yield of Wheat. *International Journal of Biosensors & Bioelectronics*, Vol. 3 (2), pp. 1-5, 2017.
- [24] M. Ghosh, B. Mandal, B. Mandal, S. Lodh & A. Dash. The effect of planting date and nitrogen management on yield and quality of aromatic rice (*Oryza sativa*). *Journal of Agricultural Sciences*, Vol. 142, pp. 183-191, 2004.

- [25] V. K. Srivastava, S. Govind, J. S. Bohra, S. Avijit, J. P. Singh & S. K. Gouda. Response of hybrid rice to the application of nitrogen, magnesium and boron. *Annal of Agricultural Research New Series*, Vol. 27 (4), pp. 392-396, 2006.
- [26] J. M. G. Carvalho, E. M. Bonfim-Silva, T. J. A. Silva, H. H. F. Sousa, S. L. Guimarães & A. B. Pacheco. Nitrogen and potassium in production, nutrition and water use efficiency in wheat plant. *Ciencia e investigacio*.
- [27] M. S. Islam, M. Hasanuzzaman & Md. Rokonzaman. Ratoon rice response to different fertilizer doses in irrigated condition. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, Vol. 73 (4), pp. 197- 202, 2008.
- [28] Z. Rengel. Genotypic differences in micronutrient use efficiency in crops. *Comm. Soil Science and Plant Analysis*, Vol. 32, pp. 1163-1186, 2001.
- [29] A. C. Le Gall. Effets des dépôts atmosphériques de soufre et de l'azote sur les sols et les eaux douces en France. Unité de modélisation et analyse économique pour la gestion des risques. Direction des risques chroniques, INERIS. 116 p, 2004.
- [30] N. K. Fageria & V. C. Baligar. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, Vol. 88, pp. 97-185, 2005.
- [31] B. Hafeez, Y. M. Khanif & M. Saleem. Role of Zinc in Plant Nutrition. *American Journal of Experimental Agriculture*, Vol. 3 (2), pp. 374-391, 2013.
- [32] H. Ali, Z. Hasnain, A. N. Shahzad, N. Sarwar, M. K. Qureshi, S. Khaliq & M. F. Qayyum. Nitrogen and zinc interaction improve yield and quality of submerged basmati rice (*Oryza sativa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj - Napoca*, Vol. 42 (2), pp. 372 – 379, 2014.
- [33] B. G. Bekele. Review on nitrogen: Forms, functions and effects on potato growth performance. *World Scientific News*, Vol. 101, pp. 44-54, 2018.