

Efficiences Des Nutriments P Et K En Riziculture Irriguée Dans Un Bas-Fond Secondaire En Zone De Savane Guinéenne De La Côte d'Ivoire

Fulgence E. Akassimadou, PhD

Marie P. Hien, PhD

Felix B. Bouadou Oi, PhD

Emile B. Bolou Bi, PhD

Jeanne A. Bongoua, PhD

Jean-Baptiste D. Ettien, PhD

Albert Yao-kouame, Ingénieur, PhD

Université Felix-Houphouët Boigny d'Abidjan–Cocody
UFR des Sciences de la terre et des ressources minières, BPV 34 Abidjan,
Côte d'Ivoire

Doi: 10.19044/esj.2017.v13n36p432 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n36p432](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n36p432)

Abstract

N-nitrogen is the most limiting element in rice-growing on lowland soils in the central part of Côte d'Ivoire. In addition to its direct effect, poor management of P and K fertilizers in basic manure can induce low yields and losses of currencies. However, inappropriate use of these nutrients (P and K) in these shallows can induce other adverse effects on crops and even on the environment. So, for the efficient management of lowland rice-growing fertilization, three agronomic trials have been set up in the Central part of Côte d'Ivoire to determine the optimum P and K doses to improve fertilizer efficiency in the relevant agroecology. Three rates of P-Ca(H₂PO₄)₂H₂O [30, 60 and 90 kgPha⁻¹] as well as three of K-KCl [25, 50 and 75kgKha⁻¹] and their recommended rates (13kgPha⁻¹ and 25kgKha⁻¹) in the humid forest zone were the treatments. A total of 80kgNha⁻¹(urea) was applied in three splits to each of the micro-plots except in the control including no fertilizer. The rice variety named NERICA L19 was transplanted. An agronomic trial including eleven (11) treatments in three replications was laid out in a complete randomized blocks design. The highest K recovery rate is obtained with the 25kgKha⁻¹ rates, while the lowest rate is with 50kgKha⁻¹ in the three trials. There is a gradual decrease in P-level recovery as rates increase, regardless of the test. Increased rates of P and K induce a decrease in agronomic efficiency. The partial productivity

factor (PFP) of nutrients P and K decreases with increasing rates for all three trials. The highest grains and straw yields are obtained for 75kgKha⁻¹ doses regardless of the dose of P. However, it should be noted that the different efficiencies obtained are better for the lower rates of P and K.

Keywords: Efficiencies, nutrients, phosphorus, potassium, Côte d'Ivoire

Resume

L'azote-N est l'élément le plus limitant dans les sols rizicultivés de bas-fonds secondaires au Centre de la Côte d'Ivoire. Outre son effet direct, une mauvaise gestion des fertilisants phosphore (P) et potassium (K) en fumure de base peut induire de faibles rendements et des pertes de devises. Aussi, l'utilisation inappropriée de ces éléments nutritifs (P et K) dans ces bas-fonds peut-elle induire d'autres effets néfastes sur l'environnement. Ainsi, pour une gestion efficace de la fertilisation en riziculture de bas-fond, un essai agronomique sur trois cycles, a été mis en place au Centre de la Côte d'Ivoire en vue de déterminer les doses optimales de P et K à apporter dans cette agro-écologie concernée. Trois doses de P-Ca(H₂PO₄)₂•H₂O (30, 60, et 90 kgPha⁻¹) ainsi que trois doses de K-KCl(25, 50 et 75 kgKha⁻¹) avec une parcelle témoin (13 KgPha⁻¹ et 25 KgKha⁻¹) des doses recommandées et une autre sans fertilisant ont constitué les traitements. Un total de 80KgNha⁻¹ (urée) a été appliqué à toutes les micro-parcelles en trois fractions à l'exception du témoin à blanc. Onze traitements en trois répétitions, ont été disposés en blocs complets randomisés en utilisant la variété de riz NERICA L19 durant trois cycles culturaux. Le taux de recouvrement de K, le plus élevé a été obtenu avec la dose de 25kgKha⁻¹, alors que le plus faible taux l'est avec 50kgKha⁻¹, dans les trois cycles. On constate une diminution progressive du taux de recouvrement de P, à mesure que les doses augmentent, et ce, quel que soit l'essai. L'augmentation des doses de P et K induit une diminution de l'efficacité agronomique. Le facteur partiel de productivité (PFP) des éléments nutritifs P et K décroît avec l'augmentation des doses pour les trois essais. Les rendements grains et pailles les plus élevés ont été obtenus avec la dose de 75kgKha⁻¹ quelque soit la dose de P appliquée. Cependant, il convient de souligner que les différentes efficacités obtenues sont meilleures pour les faibles doses de P (30kgpha⁻¹) et K(25kgpha⁻¹).

Mots-clés : Efficacités, éléments nutritifs, phosphore, potassium, Côte d'Ivoire

Introduction

L'épuisement du sol en éléments nutritifs est une cause majeure des faibles rendements des cultures dans certaines parties du monde, surtout

dans les pays en développement et particulièrement en Afrique (Doberman, 2007). L'absorption des éléments nutritifs du sol par les cultures ne peut s'opérer indéfiniment. En effet, près de 100 millions d'hectares de savane auraient perdu au cours des trente dernières années, 700 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P et 450 kg ha⁻¹ de K (Pieri, 1989 ; Stoorvogel et Smaling, 1990). Il faut donc restituer au sol ce qu'il a perdu par l'apport d'engrais organiques ou inorganiques. L'utilisation des engrais organiques et minéraux devient donc un impératif pour accroître la production agricole, car l'augmentation de rendement n'est possible que si les éléments minéraux exportés du sol sont régulièrement remplacés (Agbo, 1994). Les engrais minéraux ont soutenus l'agriculture mondiale et, partant, la croissance des richesses de la population mondiale depuis plus de 100ans (Smil, 2001 ; Stewart *et al.*, 2005). Leur contribution à l'augmentation des rendements des cultures a permis d'épargner des millions d'hectares d'écosystèmes naturels qui auraient autrement été converties à l'agriculture (Balmford *et al.*, 2005). Cependant, l'utilisation déséquilibrée, inappropriée ou excessive d'éléments nutritifs dans les systèmes agricoles demeure une préoccupation pour l'agriculture mondiale.

Certaines pratiques de gestion des engrais ne parviennent pas à obtenir une bonne concordance entre l'apport des nutriments et la demande des cultures en éléments nutritifs (Van Noordwijk et Cadisch, 2002), ce qui a pour conséquence la réduction des rendements, les pertes de ressources financières significatives et des problèmes environnementaux (Struif-Bontkes, 2002). Il est donc impératif d'améliorer et de maximiser l'efficacité (efficience) de chaque unité fertilisante apportée. Par conséquent, l'augmentation de l'efficacité des engrais devient un défi majeur pour l'agriculture mondiale (Dobermann, 2007). En effet, pour les producteurs, cela présente l'intérêt d'éviter les dépenses inutiles et les mauvaises conséquences d'un déséquilibre de la nutrition sur le développement durable, notamment l'économie des ressources (énergie, ressource minière, eau) et la protection de l'environnement (eau, air, sol).

La majeure partie des engrais utilisés dans le monde est orientée vers les céréales (Dobermann, 2007). Or, dans les sols rizicoles de bas-fonds secondaires au Centre de la Côte d'Ivoire l'azote-N est l'élément le plus limitant (Becker et Johnson, 2001). Outre son effet direct, une mauvaise gestion des fertilisants phosphore (P) et potassium (K) en fumure de base, peut induire de faibles rendements et des pertes de devises. C'est pourquoi, l'étude actuelle se propose de déterminer l'efficience des engrais utilisés pour la fertilisation du riz dans un bas-fond secondaire sur granito-gneiss en région de savane guinéenne. A terme, il s'agira de déterminer les doses optimales de P et K à apporter en complément de la dose de N (80kg ha⁻¹)

recommandée pour une meilleure efficacité des engrais minéraux dans cette agro-écologie.

Materiel et methodes

Milieu d'étude

L'étude a été conduite dans la vallée du M'be II (8°06N, 6°00 W, 180 m) au Centre de la Côte d'Ivoire, dans un périmètre semi-aménagé (barrage, canaux, casier non plané). Il s'agit d'une zone de savane guinéenne avec un régime pluviométrique bimodal. La température et la pluviométrie moyennes annuelles sont respectivement de 28°C et 1200 mm. Une jachère de cinq ans dominée par *Leersiahexandra* (*Poaceae*) et *Fimbrinstylis* (*Poaceae*) occupaient l'aire d'expérimentation avant sa mise en place. La roche-mère est majoritairement composée de granito-gneiss.

Sol du bas-fond étudié

Des Fluvisols caractérisent le bas-fond de façon dominante à côté des Gleysols minoritaires dans un environnement inondée, avec une tendance d'accroissement de la couche humifère. Les horizons de surface (0-20cm) sont humifères, argilo-limoneux, sans éléments grossiers avec de nombreuses racines millimétriques, tandis que ceux de profondeur sont non humifères, à texture sablo-argileuse, peu poreux et sans racines. L'analyse de la composition chimique du sol du bas-fond (tableau 1), montre qu'il s'agit d'un sol moyennement acide (pH =5,5) et riche en matière organique et en phosphore. Il a une teneur très faible en azote et est également déficient en potassium (0,08cmolk⁻¹). Ce sol contient une teneur normale en calcium (3,05cmolk⁻¹) et magnésium (2,25cmolk⁻¹) et une capacité d'échange cationique (CEC) très élevée (20,2cmolk⁻¹).

Tableau 1 : Caractéristiques chimiques du sol du bas-fond (0-20cm)

Paramètres	Teneur
pH _{eau}	5,5
Carbone organique C (%)	3,12
N-total (%)	0,31
C/N	10,06
Ptotal (ppm)	365
Pass (ppm)	150
CEC (cmolk ⁻¹)	20,2
Ca ²⁺ (cmolk ⁻¹)	3,05
Mg ²⁺ (cmolk ⁻¹)	2,26
K ⁺ (cmolk ⁻¹)	0,08
V (%)	26,68

Caractéristique de la variété de riz NERICA L19

La variété riz NERICA L 19 est un interspécifique issu du croisement du riz africain *Oryzaglaberrima* et du riz d'origine asiatique, *Oryzasativa*. C'est une variété qui a un cycle physiologique de 90 jours avec un rendement potentiel avoisinant les 8 tha⁻¹, avec une hauteur moyenne de 100 cm et des talles variant de 240 à 417 au m² (25 poquets par m² en raison de deux plants par poquet). Elle a été mise au point par le Centre du Riz pour l'Afrique et sa vulgarisation a commencé en Afrique depuis 2008.

Mise en place de l'essai

Après le défrichage d'une superficie de 1500 m² et la confection des diguettes et canaux pour la gestion de l'eau, 33 micro-parcelles de 3 m × 5 m ont été délimitées avant un labour manuel. Les traitements étaient composés de P-TSP (30, 60 et 90 kg ha⁻¹) et de K-KCl (25, 50 et 75 kgKha⁻¹) appliqués en fumure de base en combinaison avec 25 kgNha⁻¹ (urée). Un traitement témoin des niveaux respectifs déjà recommandés (13kgPha⁻¹ et 25kgKha⁻¹) constituant la pratique paysanne (PP) ainsi qu'un témoin à blanc (0 kgha⁻¹ de P et de K) ont servi de contrôle à cette expérimentation. Un dispositif de blocs complets randomisés des trente-trois (33) micro-parcelles dont onze (11) traitements en trois répétitions a été mis en place pour chacun des trois cycles culturaux successifs. Après une durée de 21 jours en pépinière, les jeunes plants de riz NERICA L19 ont été repiqués à 2 plants par poquets, avec un espacement de 20 cm x 20 cm. Un tiers (1/3) des 80kgNha⁻¹ (soit 27,5 kgNha⁻¹) a été appliqué au tallage et l'autre tiers à l'épiaison. Dix jours après le repiquage, une lame d'eau d'au moins 5cm a été recommandée jusqu'à la maturité, exceptée le moment d'application de N qui a lieu après drainage. A 21 et 45 jours après le repiquage, un sarclage manuel a été effectué. La récolte a concerné 8m² en laissant deux lignes de bordure.

Collecte des données

A la récolte, les grains de riz ont été séchés au soleil puis vannés avant de déterminer le taux d'humidité et le poids des grains pour chaque traitement. Puis, le rendement en grain (RDG) a été calculé par rapport à l'humidité standard de 14% ($RDG (t.ha^{-1}) = (Poids\ sec\ grain (kg)/8\ m^2) \times (10000/1000) \times ((100-HUM)/86)$) alors que le rendement en paille (RDP) a été calculé directement ($RDP (t.ha^{-1}) = (Poids\ sec\ paille (kg)/8\ m^2) \times (10000/1000)$). Un échantillon de grain (100g) et un échantillon de paille (300g) ont été prélevés pour les analyses en vue de déterminer les concentrations des nutriments (N, P et K), dans chaque traitement après chaque essai.

Indices agronomiques pour l'évaluation de l'efficacité des nutriments

Pour l'évaluation de l'efficacité des nutriments, plusieurs indices agronomiques ont été calculés. Il s'agit entre autre du taux de recouvrement apparent de l'application des nutriments (RE) ; de l'efficacité physiologique (PE) ; de l'efficacité interne d'utilisation des nutriments (EI) ; de l'efficacité agronomique (AE) et du facteur partiel de productivité du nutriment appliqué (PFP). Dans ce qui suit, F est la dose du nutriment appliquée (kg/ha), RDG_x, le rendement grain obtenu pour une dose x de nutriment appliquée (kg/ha), RDG₀, le rendement grain obtenu sans apport de fertilisant (kg/ha), U, l'exportation totale du nutriment à travers les grains et la paille pour une dose x de ce nutriment appliquée (kg/ha) et U₀, l'exportation totale (grain + paille) obtenu sans apport de fertilisant (kg/ha).

$$RE = (U-U_0) / F \quad [1]$$

$$PE = (RDG_x - RDG_0) / (U-U_0) \quad [2]$$

$$EI = RDG/U \quad [3]$$

$$AE = (RDG_x - RDG_0) / F \text{ ou } AE = RE \times PE \quad [4]$$

$$PFP = RDG_x / F \text{ ou } PFP = (RDG_0 / F) + AE \quad [5]$$

Analyses en laboratoire

Les échantillons composites du sol ont été séchés à l'air ambiant sous abri, puis passés au tamis (2 mm) avant d'être broyé. Le pH a été déterminé à l'aide de pH-mètre à l'électrode en verre, dans un rapport sol/solution de 1/2,5 selon Thomas (1996). La teneur du sol en C-organique a été déterminée par la méthode de Walkley et Black (Nelson et Summers, 1996). Le phosphore total et le phosphore assimilable-Bray ont été dosés par la méthode décrite par Sommers et Miller (1996). Les bases échangeables (Ca, Mg et K) ont été déterminées par l'extraction à l'acétate d'ammonium tamponné à pH 7,0 avant la lecture au spectromètre à absorption atomique (Ca, Mg) et à flamme (K). L'azote total (N_t) a été déterminé par la méthode de Kjeldahl (Bremner, 1996). L'analyse de N total dans les plantes a été réalisée par attaque à l'acide sulfurique, en présence de catalyseur tel que décrit par le principe de Kjeldahl. Le P et le K dans les plantes ont été également déterminés par minéralisation (calcination simple par élévation de la température jusqu'à 450°C) par la méthode décrite par Pinta (1968).

Traitement statistique des données

Le traitement statistique des données a été effectué à partir du logiciel GenStat-Discovery, édition 4 pour l'ANOVA et les indices de comparaison

des moyennes ont été obtenus à l'aide de XLSTAT. Le test de Student Newmann-Keuls selon la plus petite différence significative, a servi à la séparation des valeurs moyennes des paramètres étudiés. Le seuil critique des analyses a été fixé à 0.05 pour α . La conception des tableaux et figures a été possible grâce aux logiciels Word et Excel.

Resultats

Rendements grains et paille et exportations totales de N, P et K

Les tableaux 2 et 3 montrent les différents rendements (grains et paille) obtenus, ainsi que les exportations totales des différents éléments nutritifs N, P et K. L'on remarque globalement une légère baisse de rendements (grains et paille) et des exportations du premier au troisième cycle de culture. Un effet hautement significatif ($P < 0.0001$) du traitement sur les paramètres étudiés, a été constaté. Les valeurs moyennes des exportations de N et de K, sont proches, avec des valeurs comprises entre 27 à 130 kgha^{-1} . Les plus fortes exportations ont été observées avec les traitements T3, T6 et T9 alors que les exportations de P sont très faibles, variant de 3 à 16 kgha^{-1} .

Indices agronomiques pour l'évaluation de l'efficacité des nutriments

Taux de recouvrement (RE), efficacité agronomique (AE) et facteur partielle de productivité (PFP) des éléments nutritifs P et K

Les différents taux de recouvrement moyens de P et K en fonction des doses sont représentés par la figure 1. On constate une diminution progressive du taux de recouvrement de P, avec l'augmentation des doses de nutriments, et ce, quel que soit le cycle de culture (figure 1a). Le taux de recouvrement de P varie de 0,14 à 0,24 pour la dose de 30 P, tandis qu'il varie de 0,04 à 0,07 pour la dose de 90 P. Le taux de recouvrement de K, le plus élevé est obtenu avec la dose de 25 K, alors que le plus faible taux l'est avec 50 K, dans les trois cycles de l'essai (figure 1b). La dose de 75 K induit un taux de recouvrement moyen allant de 0,63 à 0,98. Le diagramme représentant l'efficacité agronomique de P (figure 2a), montre une décroissance de AE avec l'augmentation de la dose de P, durant les trois cycles de l'essai. Les valeurs les plus élevées de AE de P sont de 33,55 ; 17,83 et 11,28, respectivement pour les doses de 30P, 60P et 90P. L'augmentation de la dose de K induit une diminution de l'AE, puis se stabilise (figure 2b). En effet, durant les trois cycles de culture, l'AE varie de plus de 26 (25K) à environ 18 (50K et 75K). Le facteur partiel de productivité (PFP) des éléments nutritifs P et K décroît avec l'augmentation des doses pour les trois cycles de riz (figures 3a et 3b).

Tableau 2 : Rendements moyens en grains et en paille des différents essais

Traitements	Rendements grains (t/ha)				Rendements paille (t/ha)			
	1 ^{er} cycle	2 ^e cycle	3 ^e cycle	Moyenne	1 ^{er} cycle	2 ^e cycle	3 ^e cycle	Moyenne
T1(N80P30K25)	2,193bc	2,119c	2,105d	2,139d	4,623bc	4,542cd	3,839 e	4,334cd
T2(N80P30K50)	2,349abc	2,349b	2,291bc	2,329bc	4,978ab	4,835bc	4,825b	4,882b
T3(N80P30K75)	2,922a	2,797a	2,730a	2,816a	5,513a	5,140ab	4,964ab	5,205ab
T4(N80P60K25)	2,232bc	2,196bc	2,163d	2,197cd	4,863ab	4,542cd	4,029 e	4,478cd
T5(N80P60K50)	2,498abc	2,281bc	2,312bc	2,363b	4,909ab	4,330de	4,728bc	4,655c
T6(N80P60K75)	2,864a	2,883a	2,774a	2,840a	5,232ab	5,331a	5,208a	5,257a
T7(N80P90K25)	2,163bc	2,138c	2,190cd	2,163d	4,848ab	4,445cde	4,445cd	4,579c
T8(N80P90K50)	2,336abc	2,323b	2,346b	2,335bc	4,517bc	4,348de	4,348d	4,404cd
T9(N80P90K75)	2,740ab	2,755a	2,805a	2,767a	5,148ab	5,078ab	5,281a	5,169ab
Tf(N80P13K25)	1,481d	1,434 e	1,431f	1,448f	3,55d	3,141f	3,142f	3,277 e
T0(N0P0K0)	1,997cd	1,899d	1,840 e	1,912 e	4,057cd	4,038 e	3,923 e	4,006d
Moy. G	2,343	2,289	2,272	2,30	4,749	4,523	4,431	4,493
CV(%)	18,69	18,04	17,64	17,60	12,52	13,44	14,66	13,39
Pr>F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ppds	0,35	0,13	0,10	0,275	0,53	0,33	0,28	0,123

Moy.G : moyenne générale CV : coefficient de variation Pr>F : probabilité p pds : plus petite différence significative

NB : Les moyennes d'une colonne suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes par le test de Newmann-Keuls au seuil de 5 %

Tableau 3 : Exportations totales (grains + paille) des nutriments N, P et K

Traitements	Exportations totales (kg/ha)											
	1 ^{er} cycle			2 ^e cycle			3 ^e cycle			Moyenne		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
T1(N80P30K25)	60,03d	8,51d	64,31cd	54,04d	8,59c	62,42cd	53,33d	5,98c	52,63de	55,8d	7,69b	59,79c
T2(N80P30K50)	64,27cd	9,29cd	68,19c	60,13cd	9,45c	65,02cd	59cd	7,39b	63,82bc	61,14cd	8,71b	65,67c

T3(N80P30K75)	130,36a	16,31a	126,6a	102,89b	13,95b	100,91b	98,04b	10,6a	94,71a	110,43a	13,62a	107,41a
T4(N80P60K25)	67,9d	9,09cd	69,85c	63,29cd	8,47c	64,66cd	56,7cd	6,19bc	57,68cd	62,63cd	7,92b	64,06bc
T5(N80P60K50)	72,45cd	10,65c	75,47c	63,78cd	9,33c	67,58c	68,99c	6,53bc	70,33b	68,41bc	8,84b	71,23b
T6(N80P60K75)	118,29ab	14,18b	114,35ab	112,7a	15,5a	118,26a	111,15a	11,25a	99,8a	114,05a	13,67a	110,8a
T7(N80P90K25)	74,66cd	9,77cd	71,34c	70,1c	9,18c	70,68c	65,94cd	7,12bc	67,62b	70,23bc	8,69b	69,88bc
T8(N80P90K50)	77,35c	9,74cd	79,98c	69,55c	8,63c	72c	68,69c	7,36b	69,53a	71,86b	8,58b	73,84b
T9(N80P90K75)	114,09b	14,26b	107,04b	112,62a	14,11b	108,37ab	101,9ab	11,25a	100,56a	109,54a	13,21a	105,32a
Tf(N80P13K25)	41,8 e	6,17 e	50,75de	40,14 e	5,94 d	49,85d	39,2 e	4,35d	47,64 e	40,38 e	5,49c	49,41d
T0(N0P0K0)	27,57 e	4,1 f	39,45 e	26,79f	3,56 e	35,81 e	26,91f	2,61 e	37,02f	27,09f	3,42d	37,42 e
Moy. G	77,16	10,19	78,85	70,55	9,7	74,17	66,9	7,21	67,58	71,96	9,08	74,08
CV(%)	41,17	34,93	34,24	38,99	35,97	33,55	33,01	32,17	22,13	38,72	35,24	31,83
Pr>F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
										<0,0001	<0,0001	<0,0001

Ppds	15,31	1,59	15,64	7,91	1,05	11,74	10,11	0,87	6,76	7,15	0,81	7,57
Moy.G : moyenne générale		CV : coefficient de variation			Pr>F : probabilité		ppds : plus petite différence significative					
NB : Les moyennes d'une colonne suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes par le test de Newmann-Keuls au seuil de 5 %												

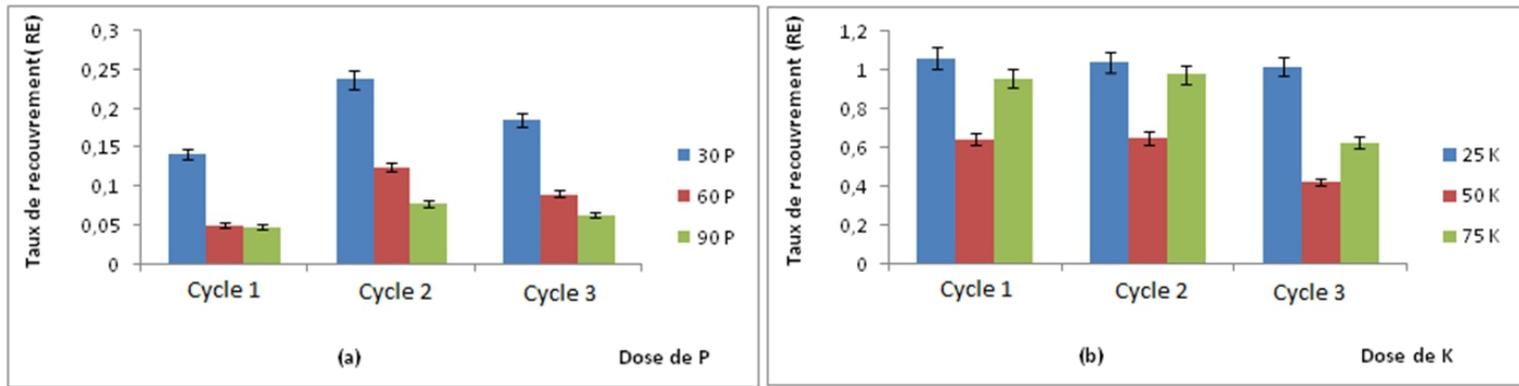


Figure 1 : Diagramme représentant les taux de recouvrement (RE) de P (a) et K(b) en fonction des doses.

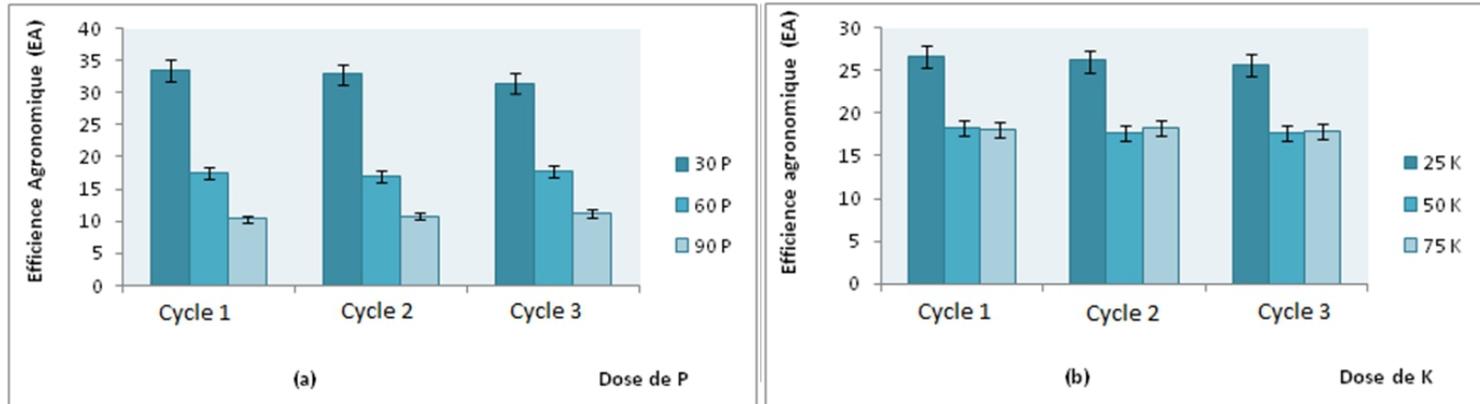


Figure 2 : Diagramme représentant l'efficacité agronomique (EA) de P(a) et K(b) en fonction des doses.

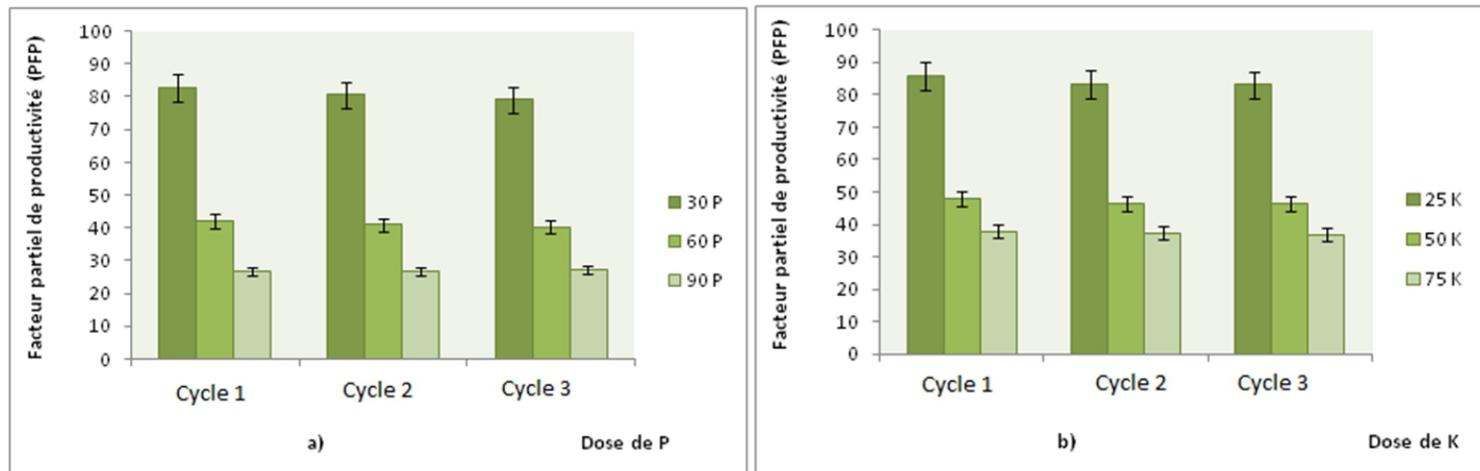


Figure 3 : Diagramme représentant le FPF de P(a) et K(b) en fonction des doses.

Efficiences interne (EI) et efficiences physiologiques (PE)

Les tableaux 4 et 5 présentent respectivement les valeurs de l'efficiences interne et physiologiques de N, P et K. L'efficiences interne de N et K sont sensiblement les mêmes et varie entre 26 et 53 pour N et entre 27 et environ 40 pour K. L'efficiences interne de P est très élevée comparativement à ceux de N et K et varie entre 257 et 522 (figure 4). On note un effet très hautement significatif entre les traitements et l'efficiences interne, traduit par la valeur de la probabilité ($p < 0,0001$).

L'efficiences physiologiques de P est très élevée et varie entre 200 et 298, contrairement à celles de N et K qui varient respectivement de 14,14 à 36,38 et de 17,96 à 73,83. Il est également à noter un effet hautement significatif des traitements sur ces paramètres calculés ($p < 0,0001$).

Relation entre paramètres agronomiques et efficiences des nutriments

Les différentes relations entre les paramètres agronomiques (rendements grains, exportation totales des éléments nutritifs), les doses de P et K, et les différentes efficiences calculées (RE, AE, PFP, EI, PE), sont représentées par les figures 4, 5 et 6.

L'efficacité de l'utilisation de nutriments P et K diminue généralement avec l'augmentation de doses des éléments nutritifs (Figure 4, 5, et 6). La plus haute efficacité des nutriments s'observe donc toujours, à la partie inférieure de la courbe de réponse de rendement, où les doses d'engrais sont les plus bas.

Tableau 4 : Efficience interne des éléments N, P et K suivant les traitements

Traitements	Efficience interne (EI)											
	1 ^{er} cycle			2 ^e cycle			3 ^e cycle			Moyenne		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
T1(N80P30K25)	36,68c	437,08 b	36,61ab	39,41c	246,93c	34bcd	34,29cde	308,17cd	31,13a	36,79c	330,72	33,91bc
T2(N80P30K50)	36,33c	430,9 b	36,93ab	39,21c	248,41c	36,11abc	38,84c	310,33cd	35,89a	38,13 c	329,88	36,31ab
T3(N80P30K75)	22,51d	306,62 d	25,03b	27,19ef	200,43d	27,81ef	28,68 e	264,42d	30,34a	26,13f	257,16	27,69d
T4(N80P60K25)	32,87c	423,4 b	34,34ab	34,68cd	260,15c	33,93bcd	36,03cd	330,25cd	33,77a	34,53cd	337,94	34,02bc
T5(N80P60K50)	34,67c	399,8bcd	35,59ab	35,78cd	246,43c	33,71bcd	33,49cde	355,77c	33,28a	34,65cd	334,02	34,19bc
T6(N80P60K75)	24,39d	351,1bcd	26,82b	25,57f	186,48d	24,53f	28,35 e	274,09d	34,07a	26,1f	270,58	28,47d
T7(N80P90K25)	28,99cd	370,9bcd	32,25ab	30,71de	252,31c	30,33de	33,21cde	308,25cd	32,52a	30,97 e	304,01	31,7bcd
T8(N80P90K50)	30,12c	421,19bc	31,02ab	33,6d	270,81c	32,44cd	34,21cde	319,22cd	33,81a	32,64de	337,07	32,42bcd
T9(N80P90K75)	24,33d	316,36cd	27,34b	24,56f	195,33d	25,75f	29,91de	264,77d	34,89a	26,27f	258,82	29,32cd
Tf(N80P13K25)	47,9b	564,42a	42,4a	47,3b	320,42b	38,14ab	45,59b	410,97b	36,57a	46,93b	431,94	39,04a
T0(N0P0K0)	53,83a	614,16a	40,47a	53,54a	403,32a	40,09a	53,16a	551,19a	38,65a	53,51a	522,89	39,73a
Moy. G	33,88	421,46	33,53	35,60	255,59	32,43	35,98	336,13	34,08	35,15	337,75	33,35
CV(%)	29,06	23,34	19,73	25,07	24,16	15,68	21,00	24,99	10,02	24,98	4,88	15,59
Pr>F	<0,0001	0,001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,109	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Moy.G : moyenne générale CV : coefficient de variation Pr>F : probabilité

NB : Les moyennes d'une colonne suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes par le test de Newmann-Keuls au seuil de 5 %

Tableau 5 : Efficience physiologique de N, P et K suivant les traitements

Traitements	Efficience physiologique (PE)											
	Essai 1			Essai 2			Essai 3			Moyenne		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
T1(N80P30K25)	22,49b	268,87b	34,39b	25,52bc	135,91ab	25,86abc	19,72b	160,4a	22,31a	22,58bc	188,39b	27,52b
T2(N80P30K50)	22,41b	202,25b	35,06b	27,79b	154,79ab	31,39ab	26,84ab	181,77a	32,14a	25,68b	202,87ab	32,86b
T3(N80P30K75)	14,14b	261,7b	17,96b	17,91cd	131,02ab	20,92bc	19,05b	168,5a	24,54a	17,03c	167,29b	21,14b
T4(N80P60K25)	18,67b	261,7b	27,7b	20,78bcd	156,81ab	26,28abc	21,98ab	189,5a	27,24a	20,48bc	202,67a	27,07b
T5(N80P60K50)	22,66b	268,2b	30,45b	23,02bcd	149,19ab	26,86abc	21,16ab	239,14a	29,65a	22,28bc	218,84ab	28,99b
T6(N80P60K75)	15,31b	240,77b	20b	16,86cd	122,04b	17,72c	19,15b	180,64a	30,59a	17,11c	181,55b	22,77b
T7(N80P90K25)	14,42b	200,93b	25,24b	16,64cd	124,95ab	20,61bc	19,49b	172,14a	25,16a	16,83c	166,00ab	23,67b
T8(N80P90K50)	17b	272,11b	22,45b	21,17bcd	178,87ab	25,37bc	22ab	194,72a	28,5a	20,06c	215,23ab	25,44b
T9(N80P90K75)	14,83b	201,62b	19,89b	15,52d	125,37ab	18,85bc	20,59ab	172,95a	32,08a	16,98c	166,65b	23,61b
Tf(N80P13K25)	36,38a	471,72a	73,53a	35,12a	201,29a	34,41a	30,17a	222,54a	31,3a	33,89a	298,52a	46,42a
T0(NOP0K0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Moy. G	19,83	266,02	30,67	22,03	148,02	24,83	22,01	188,24	28,35	21,29	200,76	27,95
CV(%)	40,55	36,60	74,99	29,95	22,78	26,47	21,49	24,76	24,15	31,00	25,50	51,55
Pr>F	0,003	0,011	0,109	<0,0001	0,029	0,007	0,025	0,620	0,7180	<0,0001	0,0160	0,008

Moy.G : moyenne générale CV : coefficient de variation Pr>F : probabilité

NB : Les moyennes d'une colonne suivies de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes par le test de Newmann-Keuls au seuil de 5 %

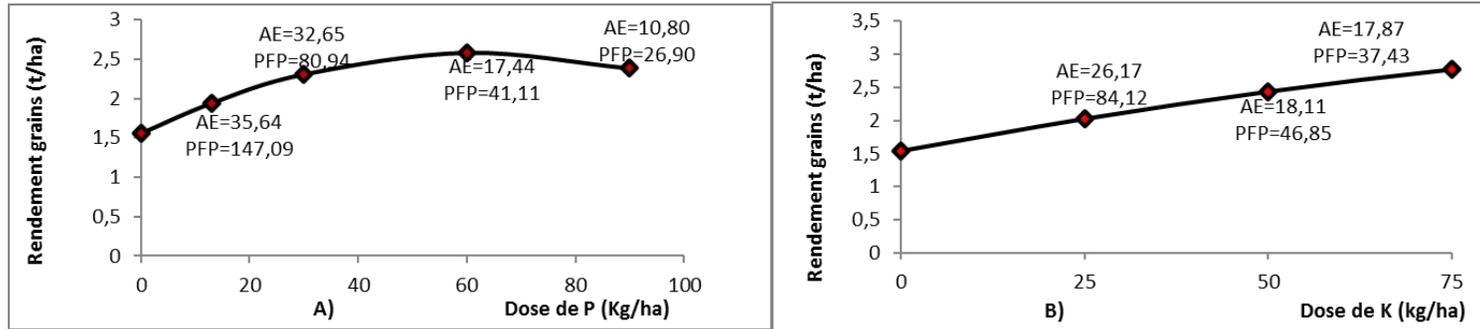


Figure 4: Reponse du riz aux doses de P et K : A)Relation entre le rendement grain et les doses de P et l'efficience agronomique (AE) et le facteur partiel de productivite (PFP). B)Relation entre le rendement grain et les doses de K et l'efficience agronomique (AE) et le facteur partiel de productivite (PFP)

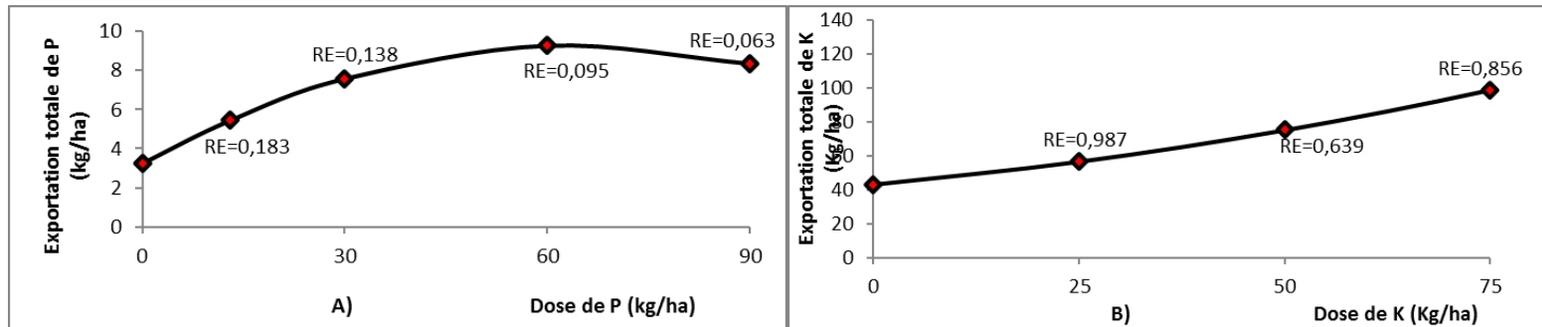


Figure 5: Reponse du riz aux doses de P et K : A)Relation entre l'exportation totale et les doses de P et le taux de recouvrement. B) Relation entre l'exportation totale et les doses de K et le taux de recouvrement.

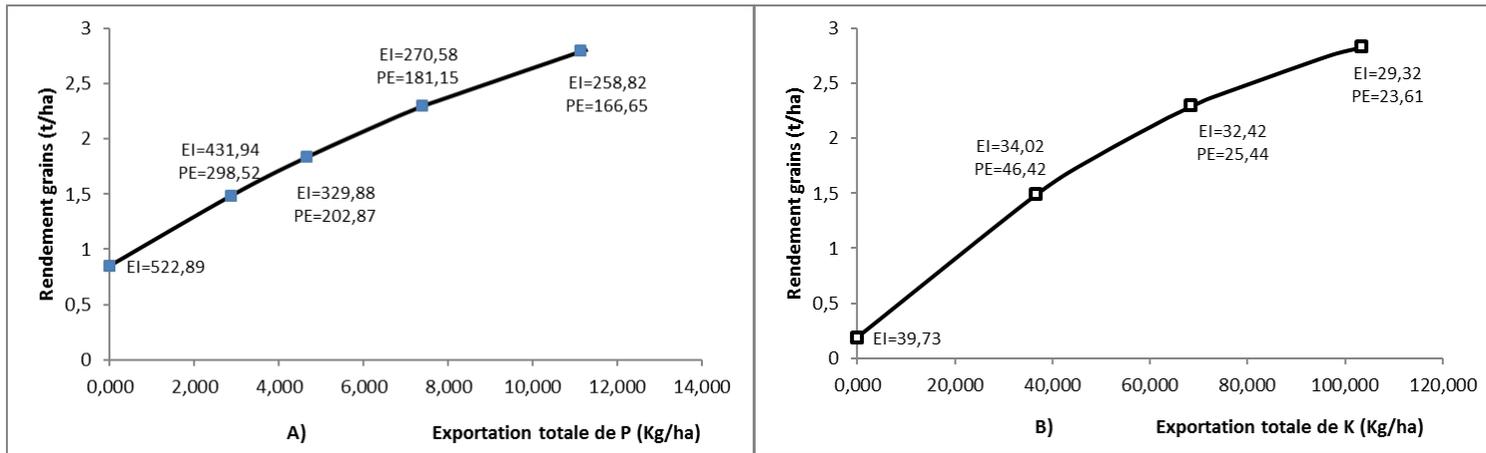


Figure 6: Reponse du riz aux doses de P et K : A)Relation entre le rendement grain et l'exportation totale de P, l'efficience interne et l'efficience physiologique. B)Relation entre le rendement grain et l'exportation totale de K, l'efficience interne et l'efficience physiologique.

Discussion

Effets des doses croissantes de P et K

Les doses croissantes de P ont permis d'obtenir un taux moyen d'exportation de P (0,14 p.c. de m.s), qui est conforme à celui de Bielecki (1973) et Ragothama (1999) (entre 0,05 et 0,30 p.c. de m.s). Contrairement à l'azote, le phosphore, dans les plants de riz, provient entièrement du sol, par le canal du système racinaire. Son exportation dépend de plusieurs facteurs, dont la disponibilité de P dans le sol, les besoins en P des plants de riz, eux-mêmes, fonctions des stades de développement et des variétés. La teneur de P croît, des pailles aux grains ; cela montre effectivement la migration du phosphore, de feuille en feuille, des plus âgées vers les plus jeunes, et son accumulation, en définitive, dans les grains (Gervy, 1970). Les taux de P accumulés dans les grains, représentant environ 2/3 de P exporté, confirment les travaux de Sarhawat *et al.* (1997) selon lesquels les grains de riz concentrent l'essentiel de phosphore exporté au niveau des plants de riz. Ils sont aussi en accord avec les résultats de Castillon *et al.* (1993), qui soutiennent que lorsqu'une espèce est cultivée pour ses grains (blé, maïs, riz, colza, tournesol ...) l'essentiel du phosphore prélevé par la culture est présent dans le grain, et donc exporté.

La teneur de K dans les pailles est significativement supérieure à celle des grains. Cette teneur évolue en fonction de l'augmentation de la dose de K apportée. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Slaton *et al.* (2004) sur la réponse du riz à la fertilisation phosphatée et potassique, en Arkansas. L'interaction entre N et K pourrait expliquer les fortes teneurs de K dans les organes de la plante. En effet, l'apport d'azote augmente les besoins de la plante en K, et, par conséquent, la teneur en cet élément dans le végétal (Halilat, 1993 ; Loué, 1970)

Les apports de doses de P et K induisent une réponse du riz (augmentation de rendements) d'environ $0,6\text{tha}^{-1}$ à $1,5\text{tha}^{-1}$. En effet, l'on passe de $1,4\text{tha}^{-1}$, pour le témoin, sans fertilisant, à environ 2tha^{-1} , pour les faibles apports de P et K (13P-25K), et à environ 3tha^{-1} pour les fortes doses. Ces résultats corroborent ceux de Sanago *et al.* (2010), qui ont obtenu un gain de rendement d'environ une tonne par rapport au témoin sans fertilisant, dans un bas-fond, à Gagnoa (centre-ouest de la Côte d'Ivoire). Le rôle prépondérant de l'azote dans cette zone, très souvent facteur limitant à la production de riz, pourrait expliquer ces résultats. En effet, des études antérieures (Diatta et Koné, 2001 ; Becker et Johnson, 2001) ont montré que l'azote était le facteur limitant de la production du riz dans la zone de la présente étude.

Konan (2013) a obtenu des résultats similaires, à partir d'un essai de diagnostic minéral sur le même site, et dans les mêmes conditions que les nôtres. Cependant, nos résultats montrent que les rendements grains et

pailles augmentent avec les doses croissantes de P et K, et, ce, malgré la dose unique de 80kg ha^{-1} , appliquée à toutes les parcelles. Cela signifierait que les apports de P et K jouent un rôle important dans l'assimilation de N par le riz, et pourraient s'expliquer par l'interaction qui existe entre les différents éléments N, P et K. En effet, l'alimentation minérale des végétaux nécessite un équilibre entre les éléments nutritifs (Halilat, 1993). Plusieurs travaux (Belaid, 1987 ; Hafsi, 1990 ; Halilat, 1993 et Aissa et Mhiri, 2001) ont montré qu'il existe une synergie entre les différents éléments nutritifs N, P et K. D'après Hafsi (1990), il existe des interactions entre les engrais azotés et phosphatés, qui font augmenter le rendement, améliorent la solubilité et l'absorption du phosphore. Steineck (1974) a aussi montré que les fonctions physiologiques de l'azote et du potassium, dans la production végétale, sont étroitement liées. L'augmentation du rendement en grains s'accompagne systématiquement d'une augmentation de la production de paille. Cette étroite liaison entre les deux paramètres est signalée par Kotchi *et al.* (2010), pour le riz, et par Masle-Meynard (1980), Mekliche (1983), Belaid (1987) et Halilat (1993), pour le blé.

Efficiences des engrais P et K

Nos résultats montrent que le taux de recouvrement apparent de P est très faible. Toutefois, il est important de souligner que le faible taux de recouvrement de P ne signifie, en aucune manière, une grande disponibilité de ce nutriment dans le sol. En effet, bon nombre d'auteurs ont montré que l'indisponibilité du phosphore est due, entre autre, à sa séquestration par les sesquioxides de Fe et Al du sol (IFA, 1992 ; Dobermann *et al.*, 2002 ; Wopereis, 2004). Nos résultats diffèrent de ceux obtenus par Haefele *et al.* (2003), au Sahel (26-43 %), et de Kotchi *et al.* (2010), à Man en Côte d'Ivoire (2,2-4,12%). En effet, l'efficacité des engrais varie en fonction des régions, des pays, des agriculteurs et, aussi, du type de sol (Prudencio, 1993 ; Manlay *et al.*, 2002 et Pypers, 2010 ; Sanginga et Woomer, 2009). Dans les sols qui répondent aux engrais, la limitation due à la déficience en éléments nutritifs peut être résolue d'une façon durable en appliquant les engrais (Alley et Vanlauwe, 2009). Dans les sols qui ne répondent pas, les engrais seuls, sans mesure de correction, ne suffisent pas pour accroître l'efficacité agronomique et le rendement (Zingore *et al.*, 2007, Vanlauwe *et al.*, 2006).

. De plus, une bonne efficacité des engrais améliore, non seulement, le rendement des cultures, mais aussi, les résidus des cultures, qui peuvent être utilisés comme engrais organiques pour d'autres cultures (Bationo *et al.*, 2004).

Conclusion

Les apports de doses de P et K induisent une réponse du riz (augmentation de rendements) d'environ $1,5\text{tha}^{-1}$ et jouent un rôle important dans l'assimilation de N par le riz, et pourraient s'expliquer par l'interaction qui existe entre les différents éléments N, P et K. En effet, les rendements grains et pailles augmentent avec les doses croissantes de P et K, et, ce, malgré la dose unique de $80\text{kg}\text{ha}^{-1}$. Les rendements les plus élevés ont été obtenus avec les doses de $75\text{kg}\text{ha}^{-1}$ K. Par ailleurs, les faibles doses des éléments nutritifs P et K ont induit les fortes valeurs des différentes efficacités calculées. Nos résultats révèlent que les faibles doses des éléments nutritifs P et K ont induit les fortes valeurs des différentes efficacités calculées. Il est donc impératif d'améliorer et de maximiser chaque unité fertilisante apportée. La connaissance de ses différentes valeurs pourrait permettre de réduire les coûts des engrais et préserver ainsi l'environnement des pollutions liées à l'utilisation excessive des engrais.

References:

1. Agbo, K. 1994. *Etude des effets des résidus de récolte sur quelques propriétés physico- chimiques des sols et sur le rendement du maïs, Mémoire d'Ingénieur Agronome*, UBESA, Lomé, 104 p.
2. Aissa AD., et Mhiri A., 2001 : Fertilisation phospho-potassique du blé dur en culture intensive en Tunisie. 5p.
3. Alley MM., and Vanlauwe B, 2009, the role of fertilizer in integrated plant nutrient management, *IFA and TSBF-CIAT*, Paris, France, 59p.
4. Balmford, A., R. Green and J.P.W. Scharlemann. 2005. Spring land for nature: exploring the potential impact of changes in agricultural yield on the area needed for crop production. *Global Change Biol.* 11, 1594-1605.
5. Bationo A., Kimetu J., Ikeru S., Kimani S., Mugenda D., Odendo M., Silver M., Swift MJ. and Sanginga N., 2004. The Africa Network for soil biology and fertility. New challenge and opportunities. In Bationo A, 2004, *Managing of Nutrient Cycles to sustain soil fertility in Sub-Saharan Africa*. Academy of science publishers, Nairobi, Kenya, pp. 1-23
6. Belaid D., 1987. Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé du (Hedba 3) en condition de déficit hydrique. Mémoire de magister. I.N.A 108p.
7. Bielecki RL., 1973. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Ann.Rev. Plant Physiol.* 24: pp. 225-252
8. Becker M. and Johnson DE., 2001. Improved water control and crop management effect on lowland rice productivity in West Africa. *Nutr Cycl Agroecosyst.* ; 59:pp. 119 - 127.

9. Bremner JM., 1996. Nitrogen-total. In *Methods of soil analysis. Part 3 - Chemical Methods*. Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A. and Loeppert R.H. (Ed.). American Society of Agronomy, Madison, USA. SSSA Book Series 5: 1085-1122.
10. Castillon P., Villemin P. et Fardeau JC., 1993. Résidus de culture à intégrer dans le raisonnement. *Perspectives Agricoles*, n°181-juin, pp.33-34.
11. Diatta S. et Kone B., 2001. Etude de quelques petits bas-fonds dans la vallée du Bandama. *Projet PBF, PAM-ADRAO*. 17p.
12. Doberman A., Witt C., Dawe D., 2002. *Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia*, *Field Crops Research*, Vol 74, IRRI, pp. 37-66.
13. Dobermann A., 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. . Part 1: General principles of fertilizersbest management practices. 30 p.
14. Gervy R., 1970. Les phosphates et l'agriculture. Edition DUNOD, Paris. 298p.
15. Haefele SM., Wopereis MCS., Ndiaye MK., Barro SE., OuldIsselmou M., 2003. "Internal Nutrient Efficiencies, Fertilizer Recovery Rates and Indigenous Soil Nutrient Supply of Irrigated Lowland Rice in the Sahel and the Sudan Savanna," *Field Crops Research*, 80(1): pp. 19-32.
16. Hafsi M., 1990 : Influence de la fertilisation phospho-azotée sur la variété de blé dur « Mohamed benbachir » (*Triticum durum*) cultivée dans les conditions des hautes plaines sétifiennes. I.N.A. 124p.
17. Halilat MT., 1993. Etude de la fertilisation azotée et potassique sur blé dur (variété Aldura) en zone saharienne (région de Ouargla). Mémoire de magister. I.N.E.S. Batna. 130p.
18. IFA, 1992. *World fertilizer. Use manual*. IFA. Paris. 632p.
19. Konan KF., 2013 : Diagnostic minéral d'un sol de bas-fond secondaire sur granito-gneiss pour la riziculture irriguée en zone de savane guinéenne: les contraintes nutritionnelles et fumure de base. Mémoire de master. Université FHB. Abidjan (Côte d'Ivoire). 65 p.
20. Kotchi V., Yao-Kouamé A. Diatta S., 2010. Réponse de cinq variétés de riz à l'apport de phosphate naturel de Tilemsi (Mali) sur les sols acides de la région forestière humide de Man (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* 31: pp. 1895 – 1905, ISSN 1997–5902.
21. Loué A., 1970. *Importance de l'interaction azote x potassium dans l'appréciation de la réponse à la potasse. Academie d'agriculture de France.*, pp. 721-730.
22. Manlay RJ., Kiarries M., Masse D., Chotte JL., Ciornei G., Floret C., 2002. Carbon, nitrogen and phosphorus allocation in agroecosystems

- of West African savanna, *Agriculture, Ecosystem and environnement*, 88: pp. 215-232.
23. Masle-Meynard I., 1980 : L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière. Thèse docteur ingénieur. I.N.A. Paris-Grignon. France. 274p.
 24. Mekliche A., 1983 : Contribution à l'établissement de la fertilisation azotée du blé d'hiver dans le haut chéelif. Mémoire de magister. I.N.A. Alger. 81p.
 25. Nelson DW. and Summers LE., 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Dans *Methods of soil analysis. Part 3 - Chemical Methods*. Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A. and Loeppert R.H. (Ed.). American Society of Agronomy, Madison, USA. SSSA Book Series 5 : 961-1010
 26. Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara. Paris. Ministère de la coopération et CIRAD – IRAT. 444p.
 27. Pinta M., 1968. Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux. ORSTOM. B 16085, septembre 1968. 20 p.
 28. Prudencio CF., 1993. Ring management of soils and crops in West African semi-arid tropics: The case of the Mossi farming system in Burkina Faso. *Agriculture Ecosystems and Environnement* 47: pp. 237-264.
 29. Pypers P., 2010. Integrated soil fertility management: The TSBF definitions, seminar at UEA, 11th May 2010. Bukavu, DRC, 73 p.
 30. Ragothama KG., 1999. Phosphate acquisition. *Annual Rev Plant Physiol. Plant mol Biol* 50: pp. 665-693.
 31. Sanginga N., Woomer P., 2009. Integrated soil fertility management in Africa: principles, practices and process development, *TSBF-CIAT and FORMAT*, Nairobi Kenya, pp. 23-67.
 32. Sanogo S., Camara M., Zouzou M., Keli., Messoum F., Sekou A., 2010. Effets de la fertilisation minérale sur des variétés améliorées de riz en condition irriguée à Gagnoa, Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 35: pp. 2235 - 2243 ISSN 1997–5902
 33. Sarhawat KL., Monty PJ., Diatta S., 1997. Réponse variétale au P résiduel sur sol acide fortement désaturé en zone forestière humide ; dans : Rapport annuel ADRAO / WARDA. 55 p.
 34. Slaton NA., DeLong RE., Baquireza C., Norman RJ., Wilson CE. and Golden BR., 2004. Rice Response to Phosphorus and Potassium Fertilization in Arkansas. B.R. Wells Rice Research Studies 2004; Rice culture. 22p.

35. Smil V., 2001. Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production. The MIT Press, Cambridge, MA, USA.pp. 7-9
36. Sommers ME.and Miller WP., 1996.Cation exchange capacity and exchange coefficients.In Methods of soil analysis. Part 3 - Chemical Methods.Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A. and Loeppert R.H. (Ed.).American Society of Agronomy, Madison, USA. SSSA Book Series 5: pp. 1201-1230.
37. Steineck PL., 1974. Foraminiferal paleoecology of the Montpelier and Lower Coastal groups (Eocene-Miocene), Jamaica, West Indies.Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 16, pp. 217-242.
38. Stewart W.M., DibbD.W., JohnstonA.E. and Smyth T.J., 2005. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. Agron. J. 97, pp 1-6.
39. Stoorvogel JJ, Smaling EM. 1990. Assessment of soil nutrient depletion in sub-Saharan Africa: 1983-2000. Main report.Vol.1. 2nd ed. Wageningen: The Netherlands, Winand Staring Centre.1990: 574 p.
40. Thomas G.W., 1996.Soil pH and soil acidity. In Methods of soil analysis.Part 3 - Chemical Methods.Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A. and Loeppert R.H. (Ed.).American Society of Agronomy, Madison, USA. SSSA Book Series 5: pp 475-490
41. Van Noordwijk M. and Cadisch G., 2002. Access and excess problems in plant nutrition.Plant Soil 247, pp 25-40.
42. Vanlauwe B., Tittonell P., Mukalama J., 2006. Within-farm soil fertility gradients affect response of maize to fertilizer application in western Kenya. *Nutrient Cycling Agroecosystem* 76: pp. 171-182p.
43. Wopereis MCS., 2004. *La gestion intégrée de la fertilité des sols*,Curriculum APRA-GIR : Manuel technique, Référence 15. 11p.
44. Zingore S., Murwira HK., Delve RJ., Giller KE., 2007. Soil type, management history and current resource allocation: Three dimensions regulating variability in crop productivity on African smallholder farms. *Field Crops Research*, 101: pp. 296-305.