



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)

[Response of five varieties of rice to Tilemsi rock phosphate in acid soils of humid forest region of Man, Côte d'Ivoire]

KOTCHI Valère^{1*}, YAO Kouamé Albert^{1} et Sitapha Diatta²⁺**

¹ Laboratoire de pédologie, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université de Cocody – Abidjan (BP V34 Abidjan 22 Côte d'Ivoire ; ² Centre du Riz pour l'Afrique (Africa Rice Center) 01 B.P. 2031, Cotonou, Benin.

*Auteur correspondant : email : valere_kotchi@aries-ci.com; Cel : +225 033 933 45

Autre auteurs : Email : ** yaokouamealbert1@yahoo.fr ; + sdiatta2000@gmail.fr

Original submitted in 25th March 2010. Published online at www.biosciences.elewa.org on July 8, 2010.

RESUME

Objectif : Evaluer sur les sols acides de Man, la réponse de cinq variétés de riz du Centre de Riz pour l'Afrique, à la première année d'effet résiduel du phosphate naturel de Tilemsi (PNT).

Méthodologie et résultats: Le dispositif expérimental est un essai factoriel avec deux facteurs (sources de phosphore et variétés de riz), complètement randomisé à trois répétitions. Le semis du riz a été effectué en ligne en raison de 60 kg ha⁻¹. Le phosphate naturel de Tilemsi a été appliqué en une seule fois aux doses de 0, 150, 300, et 450 kg.ha⁻¹ de P une année auparavant en comparaison avec le triple superphosphate apporté annuellement aux doses de 0, 50, 100, 150 kg.ha⁻¹ de P. Le pH et la teneur résiduelle de P dans les parcelles avant la deuxième année de culture ont été mesurés. La concentration de P dans les organes du riz aux différents stades de développement et les rendements ont également été déterminés. La dose 300 kg de P.ha⁻¹ de PNT est optimale et engendre un effet résiduel similaire à l'apport annuel de 100 kg de P.ha⁻¹ de TSP. Trois variétés parmi les cinq utiliseraient efficacement le P disponible et auraient des rendements grains relativement élevés.

Conclusion et application: Du fait de sa disponibilité en quantité dans la sous région et de son effet résiduel, les phosphates naturels tel le PNT pourraient constituer une alternative à la carence en P des sols acides des régions forestières humides et notamment de Man. La réponse des NERICA à l'effet résiduel de P est variable d'une variété à une autre et semble être liée à leur caractère génétique. La dose 300 kg de P.ha⁻¹ de PNT pourrait être recommandée pour améliorer les rendements grains des variétés de NERICA (V1, V3 et V4) dans ces sols.

Mots clés : Bray 1, phosphore, phosphate naturel, Tilemsi, sol acide, solubilité, riz

ABSTRACT

Objective: To evaluate the response of five rice varieties to Tilemsi rock phosphate (TRP) application to the acidic soils at Man, in the wet forest region of western Côte d'Ivoire.

Methodology and results: The experimental design is a factorial trial with two factors (levels of phosphorus and varieties of rice), completely randomized in three replications. Sowing rates for rice were 60 kg.ha⁻¹. Tilemsi rock phosphate was applied once at levels of 0, 150, 300, or 450 kg.ha⁻¹, one year previously and compared to the triple superphosphate applied annually at the levels of 0, 50, 100 and 150 kg.ha⁻¹ of P. The pH and the residual content of P in the plots of land were measured before the second year of culture. The concentration of P in the rice organs at the various stages of development and the yields were also determined. The level 300 kg of P.ha⁻¹ of TRP was observed to be optimal as it gives a residual effect similar to the annual contribution of 100 kg of P. ha⁻¹ of TSP. Three of the five rice varieties effectively use the P available and give relatively high grain yields.

Conclusion and application of findings: Because of its availability in large quantity in the region, and its residual effect, rock phosphates such as the TRP could constitute an alternative solution to the P deficiency in acid soils of the wet forest regions, in particular Man. The response of the NERICA to the residual effect of P varies between varieties and it seems to be connected to genotype. The level of 300 kg of P.ha⁻¹ of TRP is recommended for improving the grains yields of the NERICA varieties in these soils.

Key words: Bray1, phosphorus, rock phosphate, Tilemsi, acid soil, solubility, rice.

INTRODUCTION

Le phosphore fait partie des éléments minéraux nutritifs essentiels aux plantes en général et au riz en particulier (Gervy, 1970 ; Fardeau & Jappe, 1980). Toute carence en cet élément entraîne une baisse des rendements (Le Buanec, 1973; Vance et al., 2000).

Dans les sols acides des régions forestières humides, les réactions du phosphore avec les cations métalliques (Al³⁺, Fe²⁺, entre autre) rendent cet élément peu disponible pour la nutrition des plantes (Lindsay, 1979 ; Sarhawat et al., 1991 – 1995 ; Uexküll & Mutert, 1995). Les engrais chimiques utilisés jusque-là, tel le triple superphosphate (TSP), bien qu'efficaces pour remédier à ce problème sont à des coûts prohibitifs pour les petits paysans africains. Les apatites ou phosphates naturels en quantité importante dans la sous région (Carthcart, 1980 ; Van Straaten, 2002) et peu coûteux pourraient constituer une alternative (Gervy, 1970).

D'origine ignée, métamorphique ou sédimentaire, les phosphates naturels sont en effet de véritables sources de phosphore surtout dans les sols acides (Gervy, 1970 ; Traoré, 1976). Contrairement au triple superphosphate au niveau duquel le phosphore

est immédiatement disponible dès son application, les phosphates naturels libèrent progressivement le phosphore dans le sol, ce qui engendre des effets résiduels les années qui suivent leur application (Lehr & McClellan, 1972 ; Kamboule, 1984). La disponibilité du phosphore au niveau des phosphates naturels est liée à la solubilité de ceux-ci (Lehr & Smith, 1966) et varie d'un phosphate à l'autre. Il a été montré (Chien & Hammond, 1978) que plus le phosphate naturel est soluble dans certaines solutions tel le citrate d'ammonium neutre, plus il libère facilement le phosphore et peut être utilisé directement en agriculture comme source de P (Khasawneh & Doll, 1978). Originaire du Mali, le phosphate naturel de Tilemsi (PNT) fait partie des phosphates directement utilisés en agriculture (Pieri, 1967 & 1971; Sanogo et al., 1978; Lompo, 1986).

La présente étude a pour objet d'évaluer la réponse de cinq variétés de riz mises au point par le Centre de Riz pour l'Afrique à l'arrière effet du PNT, une année après son application, en comparaison à un apport annuel de TSP.

MATERIEL ET METHODES

Milieu d'étude: L'essai a été conduit sur un sol ferrallitique fortement désaturé en bases dans la région de Man en zone forestière tropicale humide à l'ouest de la Côte d'Ivoire. Cette région est caractérisée par un climat de montagne avec deux saisons, (i) une saison sèche d'une durée de quatre mois (novembre – février) ; (ii) une saison de pluies d'une durée de huit mois (mars – octobre).

Le régime pluviométrique de la région est du type monomodal avec une pluviométrie annuelle de plus de 1500 mm. Sa température moyenne annuelle est de 25.2°C et varie de 23.5°C (minimum en décembre) à 26.9°C (maximum en mars) pour une évaporation moyenne mensuelle de 40.7 mm (SODEXAM, 2005).

Matériel végétal : Cinq variétés de riz dont quatre interspécifiques de l'espèce NERICA (New Rice for Africa) et un témoin (parent des interspécifiques) mises au point par le Centre de riz pour l'Afrique ont été utilisées. Ce sont: (1) V1=WAB 450-104 (variété témoin = un des parents des variétés inter spécifiques); (2) V2=WAB 450-I-B-P38-HB (variété interspécifique); (3) V3=WAB 450 -II-I-HB (variété interspécifique); (4) V4=WAB 450 -II-I-P40-I- H (variété inter spécifique); (5) V5=WAB-24-3-2-P18-HB-(variété inter spécifique).

Engrais utilisés: Le phosphate naturel de Tilemsi avec une solubilité dans le citrate d'ammonium neutre comprise entre 4,1 et 4,6 % de P_2O_5 et le triple superphosphate à 20 % de P_2O_5 ont été utilisés comme source de P. L'urée (46 % N) et le potassium (KCl à 60 % K_2O) sont apportés en complément.

Dispositif expérimental : Le dispositif expérimental est un essai factoriel avec deux facteurs (sources de phosphore et variétés de riz), complètement randomisé à trois répétitions. Le semis du riz a été effectué en ligne en raison de 60 kg ha^{-1} . Le phosphate naturel de Tilemsi a été appliqué en une seule fois aux doses de 0, 150, 300 et 450 kg ha^{-1} de P (P 0, Ma 150, Ma 300, Ma 450) une année auparavant en comparaison avec le triple superphosphate apporté annuellement aux doses de 0, 50, 100, 150 kg ha^{-1} de P (P 0, P 50, P 100, P 150). L'arrière effet de P a été évalué sur le phosphate naturel de Tilemsi. Ces engrais sont apportés au moment du semis. L'urée et le potassium ont été également apportés en complément au phosphore respectivement en raison de 20 et 40 kg ha^{-1} au semis, au tallage et à la montaison pour l'urée et 50 kg ha^{-1} au semis pour le potassium.

Observations et mesures effectuées: Afin de caractériser le sol sur lequel est implantée l'essai, un profil pédologique à proximité y a été ouvert et des échantillons de sols avant l'expérimentation y ont été prélevés et analysés au laboratoire. De même, avant le labour à la seconde année, un échantillonnage moyen constitué par dix sondages à la tarière hélicoïdale a été prélevé dans chaque parcelle élémentaire d'expérimentation à la profondeur 0-20 cm. Sur ces échantillons, a été déterminé le phosphore assimilable par la méthode Bray 1 (Bray & Kurtz, 1945).

RESULTATS

Le sol de la zone d'étude : Le sol de l'essai fait partie de la classe des sols ferrallitiques. Il est fortement désaturé en bases avec un pH acide ($\text{pH} < 4,5$). La teneur du sol en aluminium est élevée ($^1\text{m} > 50$); il en

Vingt feuilles paniculaires par traitement aux stades de tallage, de floraison et dix touffes à la floraison et avant la récolte ont été prélevées au hasard dans chaque parcelle. Sur ces échantillons, a été déterminée la concentration de P au niveau de chaque organe. Ces concentrations au stade de récolte couplées au poids des différents organes ont permis d'évaluer l'exportation total de P par traitement et suivant chaque variété.

En outre, la densité de tallage (Dt) (nombre de talles / m^2) a été déterminée au niveau de chaque variété de riz. Par ailleurs, à partir d'un profil pédologique par traitement, réalisé au bord de chaque parcelle, le nombre d'impacts racinaires suivant la profondeur du sol à intervalle i de 10 centimètres a été déterminé. La différence d'impacts entre deux intervalles successifs (i et $i + 1$) nous a renseigné sur la densité de racines exploitant le sol au niveau i .

Paramètres calculés : A la maturité des plants de riz, 8 m^2 à l'intérieur de chaque parcelle ont été récoltés. Les rendements agricoles obtenus ont été évalués à 14 % d'humidité. Ces données associées aux exportations de P ont permis d'établir les ratios suivants : (1) l'indice de récolte I_R ou fraction de grains de riz produite relativement à la matière sèche totale; (2) le ratio R1 ou rapport du rendement grains relativement au rendement paille par traitement; (3) l'efficacité d'utilisation de P (E_u) ou quantité de riz produite par unité de phosphore exportée; (4) les taux apparents d'utilisation de P (T_{AU}) ou fraction de P exportée relativement à la dose de P appliquée;

De façon spécifique, a été déterminé au niveau du TSP :

- l'efficacité agronomique (E_a) ou quantité de riz (en kg ha^{-1}) par unité de P appliqué au sol pour chaque traitement ;

et au niveau du PNT :

- l'indice d'efficacité résiduelle du PNT à la seconde année (IER) :

$$\text{IER} = \left(\frac{\text{Rendement à la 2}^{\text{ième}} \text{ année}}{\text{Rendement à la 1}^{\text{ère}} \text{ année}} \right) \times 100$$

Traitement statistique des données : Le traitement statistique des données a été effectué à partir du logiciel Statistix version 9.0, les tableaux et figures ont été élaborés à partir du tableur Microsoft Excel.

est de même pour le fer extractible (53 ppm) (tableau 1).

Phosphore assimilable et sol : Bien que le niveau de phosphore total soit moyennement élevé, le sol

présente une carence en phosphore assimilable. La teneur résiduelle en P augmente quelle que soit la source d'engrais phosphorique avec la dose de P. Elle atteint un maximum (14,5 et 10,5 ppm pour le PNT et le TSP, respectivement) puis baisse malgré tout apport supplémentaire (tableau 2). Toutefois, les teneurs résiduelles en P assimilable sont relativement plus élevées au niveau des sols des parcelles ayant reçu du PNT que ceux où a été appliqué le TSP. Les traitements P 100 et Ma 300, respectivement du TSP et du PNT, donnent les teneurs résiduelles en P assimilable plus élevées.

Rendement grains et pailles : Le rendement grains varie entre 1,6 et 1,9 t.ha⁻¹ pour le PNT et entre 1,7 et 2 t.ha⁻¹ pour le TSP (tableau 3). Les rendements paille sont en moyenne de 1,9 et de 2 t.ha⁻¹, respectivement,

pour le PNT et le TSP (tableau 4). L'analyse de variances des rendements montre une différence hautement significative aux niveaux des traitements et des variétés ainsi que pour leur combinaison. Les traitements P 100 et Ma 300 ont les rendements grains les plus élevés ; il en est de même des traitements P 100 et Ma 450 pour les rendements paille. Quelle que soit la source de phosphore, les rendements grains et paille sont en moyenne plus élevés, respectivement, aux niveaux des variétés 3 et 2.

Densité de tallage : Les densités de tallage varient entre 411 et 885 talles / m². Elles peuvent être regroupées en trois catégories: (i) les variétés de riz à faible densité (Dt<500) de tallage (variété 5); (ii) moyenne densité (500≤Dt<700) (variété 1, 3 et 4); et (iii) à forte densité (Dt ≥700) (variété 2).

Tableau 1: Caractéristiques physico – chimiques des différents horizons du profil pédologique.

Analyses	Horizons de sol				
	0 - 20	20 – 50	50 – 70	70 – 155	>155
<i>Granulométrie (%)</i>					
Argile	37	42	44	43	29
Limon fin	3	3	1	4	4
Limon grossier	20	16	14	15	20
Sable fin	24	23	21	19	23
Sable grossier	15	16	19	18	23
<i>pH</i>					
Eau	4,4	4,6	4,6	4,6	5,2
Kcl	3,8	3,8	3,9	3,9	4,5
<i>pF</i>					
4,2	12,2	13,2	14,6	15	13,4
2,5l	17,2	17,5	18,6	19,4	18,1
CEC (méq/100)	5,29	13,08	7,88	6,20	9,20
<i>Bases échangeables (méq/100)</i>					
K	0,05	0,33	0,03	0,04	0,35
Mg	0,18	0,12	0,15	0,36	0,02
Na	0,06	0,51	0,06	0,09	0,07
Ca	0,54	0,32	0,32	0,73	0,33
Al (méq/100)	0,97	0,98	0,76	0,32	-
Fe extractible (ppm)	53,6	2,72	179,4	65,8	18,2
P. Bray 1 (ppm)	2,6	1,75	0,5	0,9	0,5
P. total (ppm)	300	170	120	72	14
Carbone organique : C (%)	1,30	0,72	0,31	0,09	0,02
Azote total : N (%)	0,79	0,35	0,19	0,09	-
$1m = (Al \times 100) / Al + SBE^*$	53,9	43,4	57,6	20,8	

* SBE : Somme des Bases Echangeables

Tableau 2: Teneur résiduelle du sol en P assimilable (en ppm) une année après application du P dans les parcelles.

Traitement	Niveau	Variétés de riz					Moyenne
		V1	V2	V3	V4	V5	
P	0	2,8	2,1	2,8	2,8	3,5	2,8 f
	50	4,9	4,2	5,6	5,6	7	5,6 e
	100	7,7	11,9	7	10,5	16,8	10,5 c
	150	7	9,1	8,4	6,3	6,3	7,7 d
Ma	150	7,7	4,9	4,9	11,2	9,8	7,7 d
	300	13,3	16,1	13,3	18,9	14	14,7 a
	450	11,2	16,7	7,7	9,8	11,2	11,2 b

Les moyennes des teneurs en P en colonne suivies de lettres différentes sont significatives ($P < 0,01$).

Tableau 3: Rendement moyen grains (kg/ha) suivant les traitements et les variétés de riz.

Traitement	Variétés de riz					Moyenne traitement
	V1	V2	V3	V4	V5	
P 0	1066	589	1204	1039	440	868 d
P 50	1594	1913	1796	1828	1332	1693 c
P 100	1846	1798	2323	2590	1558	2023 a
P 150	1670	2127	2297	1846	1618	1912 ab
Moyenne variétale TSP	1703	1946	1941	2088	1503	1876
Ma 150	1691	1331	1707	1803	1370	1585 c
Ma 300	1678	1612	2339	2227	1384	1859 b
Ma 450	1716	1549	2145	1572	1546	1716 c
Moyenne variétale PNT	1695	1497	2064	1867	1434	1720
Moyenne variétale	1538 c	1302 c	1862 a	1660 b	1186 d	1507

Les moyennes de traitements ou variétales suivies de lettres différentes sont significatives ($P < 0,01$).

Phosphore et plants de riz: *Exportation du phosphore* : L'exportation moyenne de P au niveau des plants de riz a été de 5,21 kg de P.ha⁻¹ et représente 0,14 % du poids de la matière sèche. Elle augmente avec les doses de P suivant la source de phosphore. Les traitements Ma 450 et P 150 exportent en moyenne plus de phosphore avec respectivement 6.13 et 6.07 kg.ha⁻¹. Les valeurs faibles des taux d'utilisation apparents de P au niveau du TSP laisse présager un pouvoir fixateur élevé de P dans les sols. Il s'en suit les faibles valeurs de l'efficacité agronomique au niveau de cet engrais (tableau 5).

Répartition du phosphore : Quelle que soit la source de P, la concentration de P dans les organes varie suivant la nature et l'âge de l'organe, la dose et la source de P appliquée au sol (figure 1). Ainsi, les feuilles concentrent plus de P au tallage maximum et à la floraison comparativement au stade de récolte (figures 2 et 3). La production de grains relativement à celle de

paille (ratio R1), augmente avec la dose de P appliquée, atteint un maximum au traitement P 100 et Ma 300, respectivement, pour le TSP et le PNT (tableau 5).

Phosphore et variétés de riz : Quelle que soit la source de P et la variété de riz, les productions de grains représentent en moyenne presque la moitié de la masse de matière sèche. Les variétés 5 et 3 avec les indices de récolte les plus élevés semblent utiliser efficacement le phosphore contrairement à la variété 2 (tableau 8).

Impact racinaire et Phosphore : L'horizon (0-30 cm) concentre dans sa majorité les racines des plants de riz. La densité d'impacts racinaire augmente avec la dose de P appliquée et varie suivant les sources de phosphore et les variétés de riz. La densité de racines est relativement plus élevée au niveau du TSP que du PNT (tableaux 6 et 7).

Tableau 4 : Rendement moyen paille (kg.ha⁻¹) par traitement et suivant les variétés de riz.

Traitement		Variétés de riz					Moyenne traitement
		V1	V2	V3	V4	V5	
P	0	1143	1855	1519	1790	433	1348 c
	50	1900	2620	2298	1792	1290	1980 b
	100	1965	3060	2716	2270	1531	2308 a
	150	2043	3127	2339	2286	1578	2275 a
	Moyenne variétale TSP	1763	2266	2218	2034	1208	1898
Ma	150	1822	2179	2078	2521	1337	1987 b
	300	1740	2803	2119	2122	1350	2027 b
	450	2013	2424	2163	2047	1514	2032 b
	Moyenne variétale PNT	1858	2469	2120	2230	1400	2015
Moyenne variétale		1679 c	2315 a	1970 b	2120 b	1158 d	1849

Les moyennes de traitement ou variétales suivies de lettres différentes sont significatives (P < 0,01)

Tableau 5 : Exportation de P en fonction des sources et des doses de P appliquées, ratio R, efficacité agronomique et taux apparent d'utilisation de P.

Traitements	P0	P50	P100	P150	Ma150	Ma300	Ma450
P exp grains (kg.ha ⁻¹)	1,20 d	2,67 c	3,20 ab	3,13 ab	2,93 bc	3,07 ab	3,33 a
P exp pailles (kg.ha ⁻¹)	1,00 c	1,80 b	2,13 ab	2,27 a	2,07 ab	2,07 ab	2,27 a
P exp racines (kg. ha ⁻¹)	0,47c	0,26d	0,67 a	0,67 a	0,60 ab	0,19de	0,53b
P total exporté (kg.ha ⁻¹)	2,67 d	4,73 c	6,00 a	6,07 a	5,60 b	5,33 b	6,13 a
Ratio R1	1,20	1,48	1,50	1,38	1,42	1,48	1,47
Efficacité agronomique Ea)	-	16,50	11,60	7,00	-	-	-
Taux apparent d'utilisation de P appliqué au niveau du TSP (T _{AUT}) (%)	-	4,12	3,33	2,26	-	-	-
Taux apparent d'utilisation de P appliqué au niveau du PNT en 2 ans (T _{AUP}) (%)					7,07	3,32	2,63
Indice d'efficacité résiduelle (IER)	-	-	-	-	78 b	86 ab	89 a

Les moyennes de traitement suivies de lettres différentes sont significatives (P < 0,01)

Tableau 6 : Densité d'impacts racinaires en fonction de la profondeur et de la dose de P appliquée.

Profondeur sol (cm)	Traitement						
	P 0	P 50	P 100	P 150	Ma 150	Ma 300	Ma 450
0 – 10	130	204	227	270	243	270	289
10 – 20	86	89	130	124	76	136	115
20 – 30	58	47	59	58	47	54	73
30 – 40	27	11	8	8	25	27	34
40 – 50	11	3	5	5	6	13	9
Total	313	355	429	463	397	493	519

Tableau 7 : Densité d'impacts racinaires en fonction de la dose de P appliquée et des variétés

Dose de P	Variétés				
	V1	V2	V3	V4	V5
P 0	291	371	299	318	283
P 50	349	345	322	367	338
P 100	401	501	406	423	409
P 150	472	498	464	455	422
Ma 150	378	541	346	380	354
Ma 300	452	641	451	471	449
Ma 450	488	574	496	562	475
Moyenne	404	495	397	425	390

Tableau 8 : Indice de récolte, efficacité d'utilisation de P et densité de tallage suivant les variétés de riz

Paramètres	V1	V2	V3	V4	V5
Indice de récolte (I _R) (%)					
TSP	49	46	47	51	55
PNT	48	38	49	46	51
Moyenne I _R	48	36	49	44	51
Efficacité d'utilisation de P (Eu) (kg de riz produit/kg de P exporté)					
TSP	359	354	342	398	474
PNT	357	295	359	329	419
Moyenne Eu	305	230	310	288	328
Densité de tallage (Dt) (Nombre de talles /m ²)	603	885	671	648	411

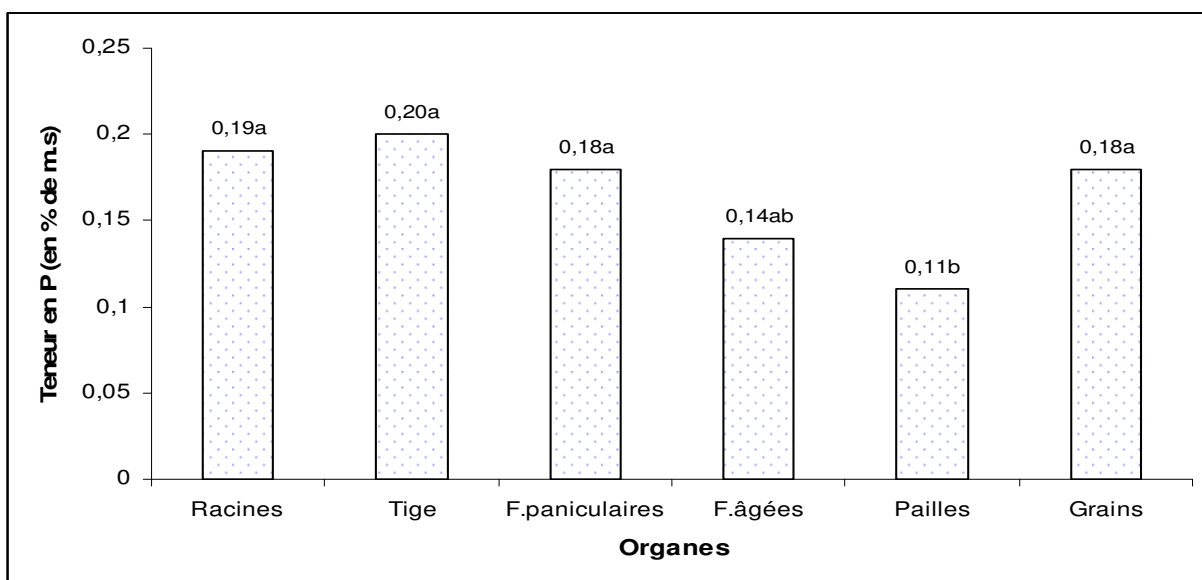


Figure 1 : Teneur moyenne en phosphore dans les différents organes du plant de riz (cas PNT). Les moyennes de traitement suivies de lettres différentes sont significatives (P < 0,01).

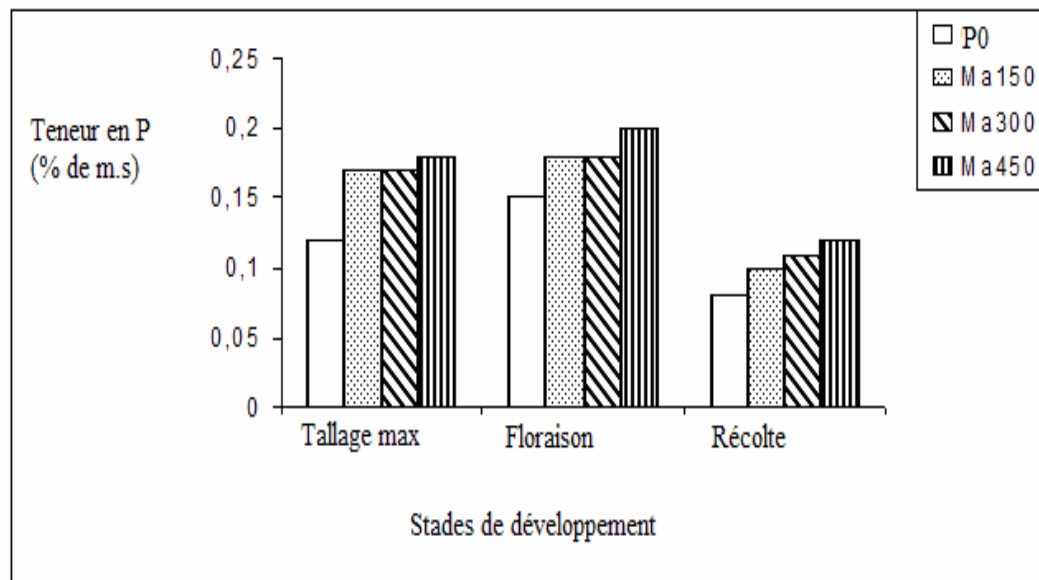


Figure 2 : Teneur moyenne en P de la feuille à différents stades de développement de plantes de riz en Cote d'Ivoire (cas PNT).

DISCUSSION

Disponibilité de P dans le sol : La disponibilité du phosphore dans le sol n'est pas le seul fait des quantités de P apportées sous forme d'engrais phosphorique ou phosphaté, mais surtout comme l'a montré Gervy (1970), la résultante de différentes réactions d'équilibres dans lesquelles P serait impliqué. Ainsi à Man, le pH du sol compris entre 3,5 et 4,5 favorise la solubilité des oxydes d'aluminium (Hewitt, 1952) et entraîne la libération des ions Al. La fixation de ces ions au phosphore réduirait la disponibilité de P pour la nutrition des plants de riz. Il en résulte de faibles taux d'utilisation de P (tableau 5). Ces résultats confirment ceux de Vance (2001) selon lesquels, les taux d'utilisation de P appliqué seraient inférieurs à 20 % pour une bonne fertilisation phosphorique. Toutefois, dans l'horizon superficiel, lieu d'accumulation de la matière organique, renfermant plus de 70 % des racines :

- la dégradation de cette matière organique par des enzymes sécrétés au niveau des racines entraînerait la libération du P ;
- les acides organiques issus des réactions biochimiques lors de la dégradation de la matière organique (Gilbert *et al.*, 1999) baisserait énormément le pH jusqu'en dessous de la zone de solubilité de l'Aluminium; ceci réduirait par conséquent la fixation de P par ces ions et donc augmenterait sa disponibilité

pour la nutrition des plants de riz. Ces résultats confirment également les travaux de Barrow (1983) selon lesquels, plus le taux de matières organiques est élevé, plus P est disponible.

Disponibilité de P suivant la nature de l'engrais apporté : La forte solubilité du TSP favorise dès son application la disponibilité de P mais également les liaisons des ions phosphates avec les ions aluminium. Contrairement au TSP, la libération de P au niveau du PNT s'effectue progressivement dans le temps. Ceci atteste la réactivité du PNT (Gervy, 1970 ; Chien & Hammond, 1977) et surtout son caractère résiduel traduit par son indice d'efficacité résiduelle relativement élevé (plus de 50 %) (tableau 5) une année après son application.

Phosphore et plants de riz : Le taux moyen d'exportation de P (0,14 % de m.s) est conforme à celui de Bielecki (1973) et Ragothama (1999) (entre 0,05 et 0,30 % 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 fonctions des stades de développement et des variétés et surtout des mécanismes d'action de l'aluminium au niveau des racines. En effet, outre le P fixé par l'aluminium dans le sol, l'aluminium resterait en partie sur les racines

précisément entre les espaces intercellulaires du tissu cortical et fixerait certains P destinés à la nutrition des plants (Rorison, 1958 ; Russell, 1961). D'autres ions phosphates à l'intérieur des cellules altéreraient certains métabolisme des intermédiaires phosphorylés et de la respiration (Rorison, 1965 ; Clarkson, 1969).

La teneur de P dans les grains de riz d'une part, celle au niveau des feuilles, décroissante des plus jeunes (feuilles paniculaires, 0.18 % de m.s) aux plus âgées (pailles, 0.11 % de m.s) d'autre part, montre effectivement la migration du phosphore de feuille en feuille, des plus âgées vers les plus jeunes et leur accumulation en définitive dans les grains (Gervy, 1970). Ceux-ci cumulent d'ailleurs plus de la moitié de P exporté (tableau 5) ; ces résultats confirment les travaux de Sahrawat (1997) selon lesquels les grains de riz concentrent l'essentiel de phosphore exporté au niveau des plants de riz.

Les corrélations hautement significatives entre le phosphore assimilable au sol et les rendements grains ($R^2 = 0,94^{**}$) et pailles ($R^2 = 0,82^{**}$) au niveau du PNT (figure 4) confirment la contribution efficace du phosphore disponible au sol à la nutrition des plants de

riz. Toutefois, le point d'inversion (R1) aux traitements P 100 et Ma 300), semble déterminant quant aux doses optimales d'engrais à appliquer. Au delà de ces doses, la production de matière sèche est plus orientée vers la paille. L'analyse des valeurs d'efficacité d'utilisation relativement aux densités racinaires (Lajtha & Harrison, 1995) et indices de récolte pourrait permettre de regrouper les variétés de riz quant à l'utilisation du P disponible : (i) celles qui développeraient un système racinaire important en vue de maximiser la surface de contact racine – P et donc le prélèvement de P (Marshner and *al.*, 1986). Ces dernières utiliseraient moins efficacement le P et auraient un indice de récolte relativement peu élevé avec une forte densité de tallage (variété 2); (ii) celles qui utiliseraient efficacement le P à partir d'un système racinaire moins dense. Ces dernières seraient caractérisées par un indice de récolte relativement élevé avec une faible densité de tallage (variété 5); (iii) celles enfin qui auraient un indice de récolte et une densité de tallage relativement élevés (variétés 1, 3 et 4). Ces variétés ont les rendements grains les plus élevés.

CONCLUSION

Les cations métalliques tel l'aluminium apparaît comme le facteur limitant de la fertilité des sols acides de Man, en zone forestière humide à l'ouest de la Côte d'Ivoire. Le PNT dont l'effet résiduel une année après un apport de 300 kg de P.ha⁻¹ est comparable à celui d'un apport annuel de 100 kg de P.ha⁻¹ de TSP, pourrait constituer une alternative eus égards des coût élevés du TSP. Vu le rôle important de la matière organique dans la disponibilité de P, l'application du PNT couplé au labour

du sol s'impose comme une pratique agricole nécessaire voire obligatoire.

Certaines variétés de riz mises au point par le Centre de Riz pour l'Afrique (V1, V3, et V4) donnent de bons rendements. Bien que disposant de bonnes aptitudes pour prélever le P disponible au sol ou pour l'utiliser efficacement, des recherches méritent toutefois d'être menées au niveau des variétés 2 et 5 en vue d'accroître leur rendement.

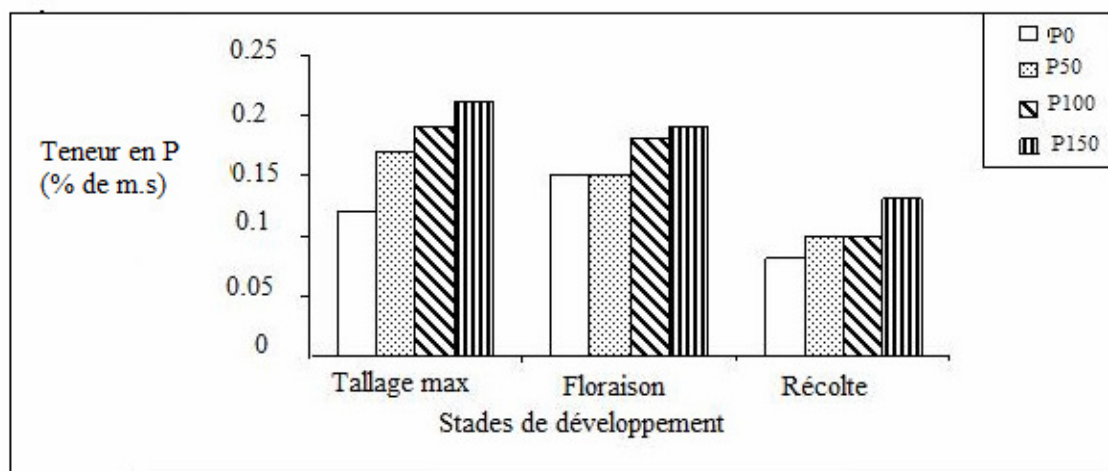


Figure 3 : Teneur moyenne en P de la feuille à différents stades de développement de riz (cas TSP).

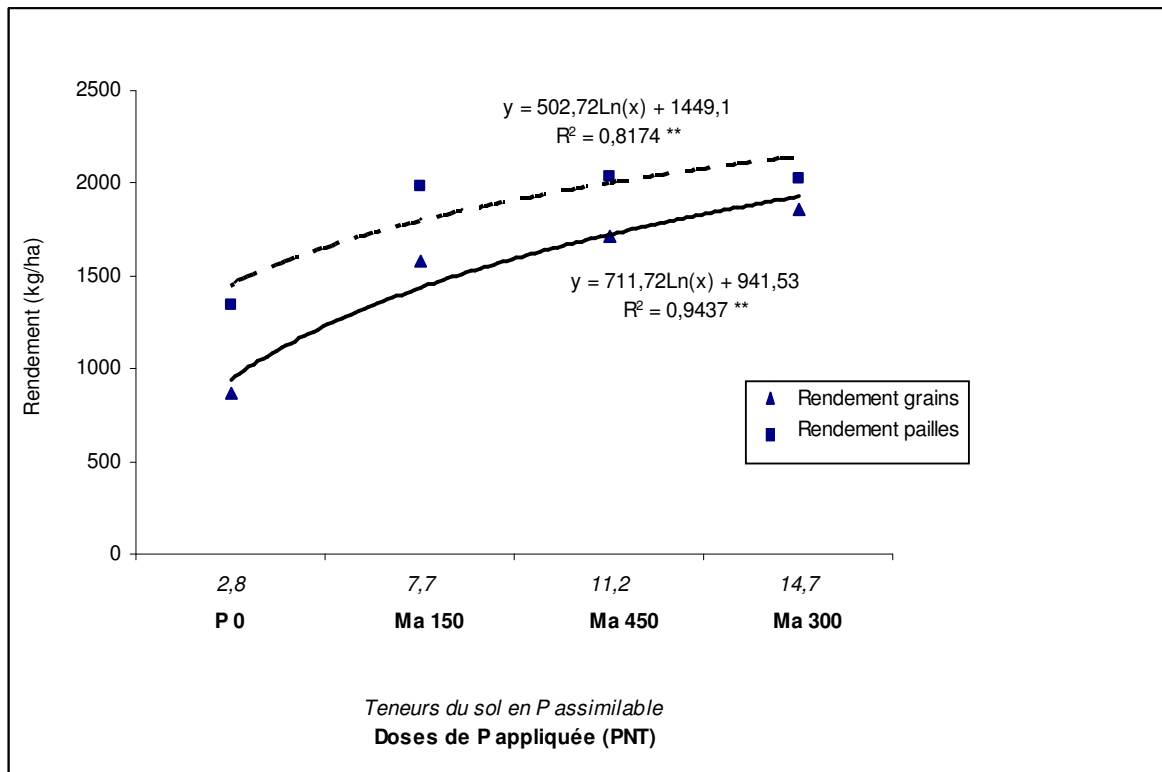


Figure 4 : Rendements paille et grains du riz suivant teneurs et doses de P (PNT).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADRAO / WARDA, 1995. Plan stratégique de mise en oeuvre 1990 – 2000, informations en production rizicole; manuel du formateur pp 30.
- ADRAO / WARDA, 1996. A synthesis of statistics on rice production, trade and consumption (1973-1992) in: Rice trends in sub-Saharan Africa, 16 pp.
- Barrow NJ, 1983. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. *J. Soil Science* 34: 733 – 750.
- Bieleski RL, 1973. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24: 225-252.
- Bray RH. and Kurtz LT, 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 59: 39 – 45.
- Carthcart JB, 1980. World phosphate reserves and resources. In: *The role of phosphorus in agriculture*, Ed. Khasawneh FE, Sample EC. and Hamprath EJ, p. 1-18. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Chien SH. and LL Hammond, 1978. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 935-939.
- Clarkson DT, 1969. Metabolic aspects of aluminium toxicity and some possible mechanisms for resistance. In: *Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants*, Ed. I.H. Rorison, pp.381-397. Blackwell, Oxford.
- Fardeau JC. and Jappe J, 1980. Choix de la fertilisation phosphorique des sols tropicaux P: emploi du phosphore 32. *Agronomie tropicale* 35 (3): 225-231.
- Gervy R, 1970. Les phosphates et l'agriculture dans les entreprises agricoles. Ed. Paris 370 p.
- Gilbert GA, Knight JD, Allan DL, Vance CP, 1999. Acid phosphatase activity in phosphorus-deficient white lupin roots. *Plant Cell Environ.* 22: 801-810.

- Hewitt EJ, 1952. A biological approach to the problems of soil acidity. *Trans. Int. Soc. Soil Sci. Jt. Meet. Dublin* 1:107-118.
- Kamboule YP, 1984. Arrière effets des phosphates naturels et des phosphates améliorés à GAMPELA de 1981 à 1984. Mémoire de fin de cycle ingénieur des techniques de développement rural, ISP - Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- Khasawneh FE. and Doll EC, 1978. The use of phosphates rock for direct application to soil. *Adv. Agron.* 30: 155-156.
- Lajtha K. and Harrison AF, 1995. Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plant species and communities. In: H. Tiessen, (Ed). *Phosphorus in the Global Environment.* John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK, pp 140-147.
- Le Buanec B, 1973. Contribution à l'étude de la carence en phosphore des sols sur granite en Côte d'Ivoire. Thèse de Docteur – Ingénieur, Faculté des Sciences, Université d'Abidjan, Cote d'Ivoire, 130p.
- Lindsay WL, 1979. *Chemical equilibria in soils.* John Willey & Sons, New York.
- Lompo F, 1986. Utilisation des phosphates naturels dans l'optique d'une fertilisation phosphatée. *Doc RONEO / INERA* 54 pp.
- Lui J, Uhde-Stone C, Li A, Vance CP, Allan DL, 2001. A phosphate transporter with enhanced expression in proteoid roots. *Plant Soil* (in press).
- Ragothama KG, 1999. Phosphate acquisition. *Annual Rev Plant Physiol. Plant mol Biol* 50: 665-693.
- Marshner H, Romheld V, Horst WJ, Martin P, 1986. Root induced changes in the rhizosphere: importance for mineral nutrition of plants. *Z Pflanzenernachr Bodenkd* 149: 441-456.
- Mc Clellan GH. and Lehr JR, 1972. A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rock for direct applications. Muscle Shoals. Alabama. National fertilizer Development Center. Tennessee Valley Authority, 36 p. (Bull. Y 43).
- Rorison IH, 1958. The effect of aluminium in legume nutrition. In: *Nutrition of the legumes.*, EG. Hallsworth (Ed.) Pp.43-61. Butterworth, London.
- Rorison IH, 1965. The effect of aluminium on the uptake and incorporation of phosphate by excised Sainfoin roots. *New Phytol.* 64: 23-27.
- Russell EW, 1961. *Soil conditions and plant growth*, 9th ed. Longmans, London.
- Pieri C, 1967. Bilan des recherches sur la fumure phosphatée au Mali - CR. *Coll. Fertilité des sols tropicaux Tananarive*, t 1 – p. 1139-1148.
- Pieri C, 1971. Le point sur les essais de fertilisation des céréales de culture sèche réalisés au Mali de 1954 à 1970 - *Doc. RONEO IRAT/ MALI Section d'étude des sols*– 50 p.
- Sanogo Z, Gaborel C, Traoré B, 1978. Etude des phosphates naturels de Tilemsi en zone cotonnière –synthèse des travaux de recherches – *Doc. ronéo IER – DRA, Section de recherches cotonnières*, 36 p.
- Sarhawat KL, Monty PJ, Diatta S, (1991-1995). Réponse variétale au P résiduel sur sol acide fortement désaturé en zone forestière humide ; dans : *Rapport annuel ADRAO / WARDA.*
- Sodexam, 2005. Section météorologie, Côte d'Ivoire - *Bull. Annuel*, 16pp
- Traoré A, 1976. Influence du pH du sol sur l'efficacité des phosphates naturels d'Afrique de l'Ouest. *DEA d'Agronomie, Université de Languedoc*, 54 p.
- Vance CP, Graham PH, Allan DL, 2000. Biological nitrogen fixation: phosphorus Ba critical future need? In F.O. Pederosa, M. Hungria, M.G. Yates, W.E. Newton (Eds), *Nitrogen Fixation from molecules to crop productivity.* Kluwer Academic publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp 509 –518.
- Van Straaten P, 2002. *Rocks for crops: Agrominerals of sub-Saharan Africa.* ICRAF, Nairobi, Kenya. 338 pp.
- Von Uexküll HR. and Mutert E, 1995. Global extent, development and economic impact of acid soils. *Plant Soil* 171: 1 – 15.