

EFFET DE DIFFERENTES SOURCES DE PHOSPHATE SUR LE RENDEMENT DU RIZ SUR SOLS ACIDES

B. KONE¹, A. SAIDOU², M. CAMARA³ et S. DIATTA⁴

¹Université de Cocody-Abidjan, UFR des sciences de la terre et des ressources minières, département des sciences du sol, laboratoire de surveillance et de valorisation des écosystèmes tropicaux, 22 BP 582 Abidjan 22.
E-mail : b.kone@cgiar.org

²Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 RP Cotonou, Bénin.

³Centre National de Recherche Agronomique-CNRA, BP 602 Gagnoa, Côte d'Ivoire.

⁴Africa Rice Center-Africa Rice (ex-WARDA), BP 2031 Cotonou, Bénin.

RESUME

Le rendement du riz paddy reste faible (< 1,5 t ha⁻¹) en dépit de l'application d'engrais phosphatés aux sols acides, où P constitue souvent un facteur limitant en agriculture tropicale. Un essai a été conduit durant 3 années consécutives : 1998, 1999 et 2000 à Man, pour améliorer la productivité rizicole sur sols acides. Le super phosphate simple (SS), le phosphate tricalcique (PT) et le phosphate aluminocalcique-PAC ont été appliqués annuellement aux doses de 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 et 150 kg P₂O₅ ha⁻¹, en combinaison à N (100 kg N ha⁻¹) et à K (50 kg K ha⁻¹), en fumure de fond. L'application des engrais a été effectuée avant le semis du riz WAB 56-104, dans un dispositif en split-plot. Les résultats montrent que SS et PAC ont significativement (P < 0,05) amélioré le rendement grains (> 2 t ha⁻¹) et l'efficacité agronomique relative (> 40 %), par rapport à PT durant les deux premières années. L'usage d'une source de P contenant S, Al et Fe comme le SS à 60 kg P ha⁻¹ combinée à des résidus de matière organique a été recommandée pour une riziculture plus productive et durable.

Mots clés : Sols acides, hyperdystric ferralsol, engrais phosphatés, riziculture, Man.

ABSTRACT

Impact of different phosphate fertilizers on rice yield in acid soils.

Rice grain yields remained often low (< 1.5 t ha⁻¹), despite fertilizer phosphorus (P) applications in acid soils, where P is known to be a limiting nutrient for agriculture. A trial was conducted in 1998, 1999 and 2000 in Man, with the aim to improve the productivity of rice on a hyperdystric ferralsol. Simple super phosphate (SS), the triple superphosphate (PT) and the aluminum and calcium phosphate (PAC) were applied annually to soil at the rates of 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 and 150 kg P₂O₅ ha⁻¹. Phosphorus was combined with N (100 kg N ha⁻¹) and K (50 kg K ha⁻¹) as amendment before rice WAB 50 - 104 variety sowing in a split-plot design. Fertilizer SS and PAC have significantly (P < 0.05) improved rice grain yield (> 2 t ha⁻¹) and the relative agronomic efficiency of P (> 40 %), as compared to PT during the first two years. The use of a P source containing S, Al and Fe as SS at 60 kg P₂O₅ ha⁻¹, combined with organic matter residues was recommended for productive rice cultivation.

Key words : Acid soil, hyperdystric ferralsol, phosphorus application, rice cultivation, Man.

INTRODUCTION

Les sols acides représentent environ 30 % de la surface de la terre et engendrent des problèmes de fertilité, qui constituent un handicap pour la productivité agricole. En effet, des déficiences en phosphore, potassium, calcium et magnésium, couplées à des phytotoxicités de l'aluminium et/ou du manganèse y sont données (Haynes et Mokolobate, 2001). Selon Cheng *et al.* (1999), 98 % du phosphore

et du potassium pourraient être indisponibles aux plantes. Par conséquent, la gestion de leur fertilité est importante si l'on veut améliorer la productivité des sols acides

Cependant, le phosphore a été considéré par plusieurs auteurs comme étant un facteur limitant pour l'agriculture sur sols acides en zone tropicale (Sanchez et Salinas, 1981 ; Warren, 1992 ; Rao *et al.*, 1997 ; Hockin et Randall, 2001). C'est pourquoi, l'utilisation de cet nutriment y est vivement recommandée pour

obtenir de meilleurs rendements des cultures. Les phosphates solubles, qui sont plus disponibles sur le marché que les phosphates naturels, peuvent servir à cette fin.

Toutefois, il a été démontré qu'une application inadéquate des fertilisants phosphatés pouvait réduire la fertilité du sol par la mobilisation des colloïdes organiques (Siemens *et al.*, 2004 ; Ilg *et al.*, 2005). Par ailleurs, une réduction des rendements des cultures a été observée après seulement une année de culture, suite à l'application de phosphate soluble sur des sols tropicaux très lessivés ; une baisse de la teneur du sol en phosphore assimilable par les plantes à été observée (Fox, 1986).

C'est pourquoi il est nécessaire d'améliorer la fertilisation phosphatée pour le maintien de la fertilité des sols acides, et partant du rendement des cultures, si l'on veut résorber l'important déficit de production du riz en Afrique de l'Ouest. En effet, les importations de riz représentent environ 20 % des importations totales des produits agricoles dans cette partie de l'Afrique ; ce qui constitue une part importante du budget des États (Lançon et Benz, 2007). D'où le besoin d'y améliorer la production rizicole essentiellement pluviale (Audebert *et al.*, 2001). Or, les deux tiers (2/3) des surfaces rizicoles se trouvent sur des sols ferrallitiques fortement désaturés (Hyperdystric Ferralsol) et donc acides (Sahrawat *et al.*, 2001). Les rendements excèdent rarement 1,5 t ha⁻¹, même pour des variétés améliorées, avec un potentiel de 4 - 5 t ha⁻¹. D'où l'urgence de maîtriser la fertilisation phosphatée pour adapter la riziculture pluviale à cette condition du sol. Vu que la différence en composition chimique des sources de P et celle des sols conditionnent la disponibilité de ce nutriment pour les cultures (Armstrong, 1999), l'évaluation de différentes sources de P pourrait être une solution satisfaisante.

De nombreux travaux portent sur la réponse du riz pluvial à l'application du Triple Super Phosphate (TSP) (Sahrawat *et al.*, 1995 ; 1997) et du phosphate naturel du Mali (Melendez *et al.*, 2003 ; Koné *et al.*, 2009a) en Afrique de l'Ouest, mais très peu de travaux relatifs aux effets comparés des différentes sources de P ont été effectuées.

C'est pour combler en partie cette lacune qu'un essai agronomique a été initiée sur le riz pluvial en zone forestière humide de la Côte d'Ivoire,

sur un hyperdystric ferralsol, afin d'évaluer l'effet comparé de trois sources de P à différentes doses sur le rendement en grain et l'efficacité agronomique relative de l'application de P. A terme, cette étude devrait permettre d'identifier une source et une dose de P pour une riziculture plus productive et durable sur les sols acides fortement désaturés.

MATERIEL ET METHODES

SITE DE L'EXPERIMENTATION

L'essai a été mis en place à la station expérimentale du Centre national de recherche agronomique, CNRA situé à Man (7°2 N, 7°4 O ; 500 m) dans la région semi-montagneuse à l'Ouest de la Côte d'Ivoire. C'est une zone de forêt tropicale humide, avec un régime pluviométrique unimodal, avec des cumuls de 1 687,9 mm, 2 260,02 mm et 1 938,7 mm, respectivement, en 1998, 1999 et 2000. Une végétation secondaire du site dominée par *Chromolaena odorata* a précédé l'expérimentation. L'aire de celle-ci a été délimitée sur le haut de versant par un plateau dont la pente a été estimée entre 0 - 2 %.

Le sol a été décrit comme étant peu gravillonnaire (< 30 %), rouge (2,5YR à 5YR) et profond (> 1 m) à partir d'une fosse ouverte dans les environs immédiat du site d'expérimentation. Il a été classé comme sols ferrallitiques fortement désaturés (CPCS, 1967), correspondant à un hyperdystric ferralsol selon l'International Society of Soil Sciences «ISSS», International Soil Reference and Information Centre «ISRIC» et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'Agriculture «FAO» (1998).

MISE EN PLACE DE L'ESSAI

Au cours des années culturales de 1998, 1999 et 2000, un essai a été mis en place sur une superficie de 4 750 m² issue d'une jachère de sept ans. Chaque année, après nettoyage à la machette, la parcelle a été débarrassée des débris végétaux avant labour et pulvérisage réalisés à la houe. Des micro-parcelles de 15 m² (5 m × 3 m) ont été délimitées pour chacun des traitements représentés par trois sources de P, en huit doses d'application. Le superphosphate simple (SS), le phosphate tricalcique (PT) et le phosphate alumino-calcique (PAC) ont

été utilisé comme sources de P et appliquées aux doses de 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 et 150 kg P₂O₅ ha⁻¹. La dose 0 kg P₂O₅ ha⁻¹ a représenté le témoin. La dose 150 kg P₂O₅ ha⁻¹ n'a pas été appliquée pour le super phosphate simple. Ainsi, 23 micro-parcelles de 3 × 5 m, avec une allée de 0,5 m, ont été délimitées dans un dispositif split-plot en 3 répétitions. Les parcelles ont été espacées les unes des autres de 1,5 m. La source et la dose de P₂O₅ ont constitué, respectivement les facteurs principal et secondaire. Les différentes doses de P₂O₅ ont été appliquées à la volée en fumure de base, après mélange avec 50 kg de K ha⁻¹ apportés sous forme de KCl. L'azote a été appliqué à raison de 100 kg N ha⁻¹, dont 1/3 au semis, 1/3 au tallage et 1/3 à la montaison du riz. La variété de riz WAB 56-125 (*Oryza sativa*) a été semée par poquets de 3 grains équidistants de 20 cm sur une ligne et entre les lignes, dans les micro-parcelles.

COLLECTE DE DONNEES

Un échantillon composite a été constitué à partir des prélèvements (3 sur la diagonale) à l'aide d'une tarière, à profondeur 0 - 20 cm sol de chaque micro-parcelle, pour l'analyse au laboratoire (Tableau 1). Les méthodes de la pipette de Robinson (fractions granulométriques), de l'électrode en verre (pH), de Walkley et Black (C), de Kjeldahl (N), Bray-I (P), dans les extractions à l'acétate d'ammonium (Ca, Mg, K et CEC) et par KCl (Al),

ainsi que DTPA (Fe) ont été tel que décrites par l'Institut International pour l'Agriculture Tropicale, IITA (1989).

A la maturité des grains (environ 120 jours après germination), le riz a été récolté en fauchant la plante au niveau de la surface du sol sur une superficie de 8 m² pour chaque traitement. Deux lignes de bordure ont été abandonnées par traitement. Après séchage et battage, les grains ont été pesés et le taux d'humidité mesuré. Le rendement en grain (RDG) a été calculé après correction du poids à 14 % d'humidité. L'efficacité agronomique relative (EAR) a aussi été calculée selon la méthode proposée par Morel et Fardeau (1991) adaptée par Koné *et al.* (2010) :

$$EAR = \frac{RDG_x - RDG_0}{RDG_x} \times 100 \quad [1]$$

EAR étant exprimé en % ; RDG_x est le rendement en grain à la dose (x) de P et RDG₀ est celui du témoin (0).

ANALYSES STATISTIQUES

A l'aide du logiciel SAS, des analyses de variance (modèles linéaires) ont été réalisées pour déterminer les valeurs moyennes de RDG et de EAR. La source, la dose et l'année ont été les facteurs fixes, alors que la répétition a été le facteur aléatoire. Les moyennes ont été classées selon la plus petite différence significative (ppds = Isd). Seuls les moyennes obtenues à partir des effets significatifs (P < 0,05) des traitements et des interactions ont été présentées.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques du sol dans la strate 0 - 20 cm avant l'essai

Soil's physic and chemical characteristics in the depth of 0 - 20 cm before trial.

Caractéristiques du sol	Valeurs
Argile (g kg ⁻¹)	250
Sable (g kg ⁻¹)	450
Limon (g kg ⁻¹)	300
pH(eau)	4,7
pH(KCl)	4,2
C organique (g kg ⁻¹)	1,30
Azote total N (g kg ⁻¹)	0,09
CEC (cmol kg ⁻¹)	6,56
Pa (mg kg ⁻¹)	5
K(cmol kg ⁻¹)	0,5
Ca (cmol kg ⁻¹)	4,1
Mg (cmol kg ⁻¹)	1,9
Fe (cmol kg ⁻¹)	120
Al (cmol kg ⁻¹)	1,4

RESULTATS

EFFETS DE LA SOURCE ET DE LA DOSE DE P

Les courbes d'évolution des rendements moyens en grain de riz selon les différentes sources de P par année d'étude montrent qu'il n'existe aucune différence significative (< ppds) entre les valeurs moyennes obtenues en An1 et An2 (Figure 1). Par contre, les RDG moyens obtenus en An3 ont été plus faibles, avec une différence significative (>ppds), que ceux des An1 et An2. Cependant, les RDG ont été plus stables dans les traitements SS et PAC durant les deux premières années. Dans le traitement PT, il y'a eu une décroissance progressive de RDG de An1 à An3. En outre, en An2, les traitements SS (2,3 t ha⁻¹) et PAC (2,2 t ha⁻¹) ont induit des RDG plus élevés, avec une différence significative (> ppds), que celui de PT (1,9 t ha⁻¹), bien qu'aucune différence significative n'ait été observée entre eux. De même, aucune différence significative n'a été obtenue entre des RDG de An3 des différentes sources de P. Ces résultats montrent que les sources de P (SS et PAC) ont eu des RDG supérieurs à 2 t ha⁻¹ en An1 et An2. De même, on retient la décroissance de l'effet des sources de P au bout de 3 années de culture continue, avec un gradient plus prononcé dans le traitement PT.

La figure 2 montre l'évolution des rendements moyens en fonction de la dose de P₂O₅ pour les différentes sources de P appliquées. Il en ressort qu'entre les doses 45 et 75 kg P₂O₅ ha⁻¹, les RDG des traitements SS et PAC ont été supérieurs, (différence significative > ppds), à celui du traitement PT. Cependant, les différences de RDG, observées entre ces doses, n'ont pas été significatives (< ppds) pour une source de P donnée. Il en est de même pour les doses 0 et 45 kg P₂O₅ ha⁻¹. Par contre, entre

les doses 75 et 105 kg P₂O₅ ha⁻¹ le traitement SS a induit un plus grand RDG par rapport à PT, avec une différence significative (>ppds).

Enfin, d'une source à l'autre, le RDG maximum a été obtenu entre les doses 60 et 75 kg P₂O₅ ha⁻¹. Cependant, les RDG n'ont pas été différents de façon significative pour une source donnée entre les doses 30 et 75 kg P ha⁻¹.

OPTIMISATION DE P

Le tableau 2 montre les rendements moyens du riz en fonction des sources et des doses de P pour chaque année d'expérimentation. On note des différences significatives entre les valeurs moyennes obtenues à différentes doses de P chaque année. Cependant, aucune différence significative n'a été observée entre les RDG moyens des doses (15, 30, 45, 60, 75, 90 et 105 kg P₂O₅ ha⁻¹) de PT de l'année 2000, excepté avec le témoin.

Par ailleurs, les RDG et SS maximum ont été obtenus, avec des doses respectives de 75 kg P₂O₅ ha⁻¹ (2,44 t ha⁻¹) en 1998 et 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ en 1999 (2,49 t ha⁻¹) et 2000 (1,12 t ha⁻¹). Dans les traitements PT, ce sont les doses 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ en 1998 (2,18 t ha⁻¹) et en 1999 (2,02 t ha⁻¹), ainsi que la dose 15 kg P₂O₅ ha⁻¹ en 2000 (0,59 t ha⁻¹) qui ont induit les RDG maximums. La dose 45 kg P₂O₅ ha⁻¹ de PAC ayant induit régulièrement des RDG parmi les plus élevés en 1998 (2,49 t ha⁻¹), 1999 (2,47 t ha⁻¹) et en 2000 (0,91 t ha⁻¹). On en déduit que la dose optimale a été variable selon la source de P en étant décroissante au fil des années de culture continue.

Cependant, le tableau 3 révèle des valeurs maximums de l'efficacité agronomique moyenne à la dose de 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ pour SS (43,7 %) et PAC (52,8 %). Celle de PT (44, 40 %) est obtenue à 75 kg P₂O₅ ha⁻¹.

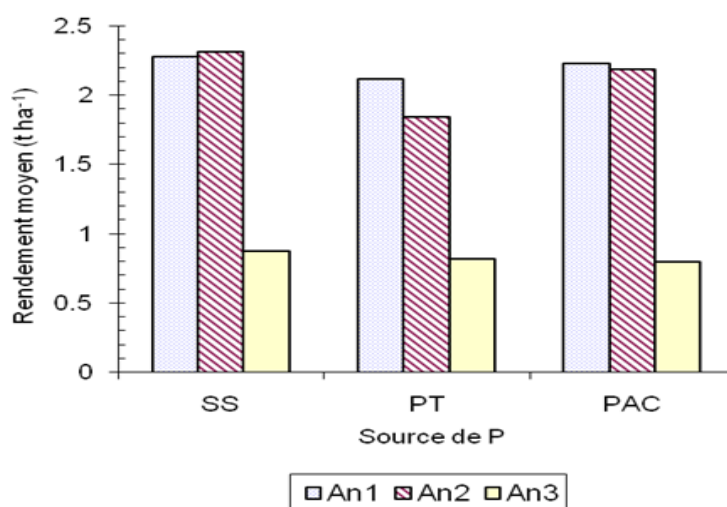


Figure 1 : Evolution des rendements moyens selon la source de P par année (Isd = ppds, $\alpha = 0,05$).
 Average yield trend as a function of P sources (Isd = ppds, $\alpha = 0,05$).

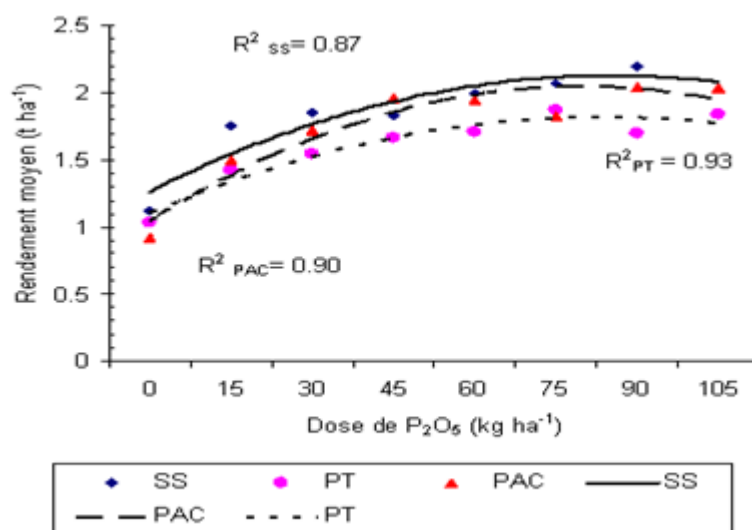


Figure 2 : Evolution des rendements moyens selon la source et la dose de P₂O₅ (Isd=ppds, $\alpha = 0,05$).
 Average yields trend as a function of P sources and rate of P₂O₅ (Isd = ppds, $\alpha = 0,05$).

Tableau 2 : Rendements moyens du riz par source de P et par dose d'application et par année d'étude.
Average rice yields by source and rate of P applied paer year.

Doses (kg ha ⁻¹)	SS			PT			PAC		
	1998	1999	2000	1998	1999	2000	1998	1999	2000
0	1,71c	1,31c	0,34c	1,61c	1,11c	0,39b	1,51c	1,01d	0,24c
15	2,23b	2,29b	0,74b	2,02b	1,66c	0,59a	2,07b	1,81c	0,61b
30	2,24b	2,51ab	0,78b	2,07b	1,84b	0,72a	2,23b	2,15b	0,78b
45	2,29b	2,38b	0,81b	2,08b	1,19b	0,99a	2,49a	2,47a	0,91a
60	2,37b	2,49ab	1,12ab	2,18a	2,02a	0,93a	2,45a	2,47a	0,92a
75	2,44ab	2,57a	1,18ab	2,39a	2,16a	1,05a	2,14b	2,40ab	0,94a
90	2,68a	2,70a	1,20a	2,23a	2,01a	0,85a	2,46a	2,70a	0,96a
105	----	----	----	2,39a	2,07a	1,06a	2,55a	2,52a	1,03a
CV(%)	17,5	7,52	19,1	20,4	16,1	23,6	16,8	11,5	24,8
ppds.05	0,28	0,24	0,26	0,30	0,18	0,58	0,26	0,26	0,16

---- : données manquantes ; les différentes lettres (a, b, c) indiquent les valeurs moyennes différentes de façon significative.

Tableau 3 : Valeurs moyennes des efficacités agronomiques relatives (EAR) des différentes sources de P (SS, PT et PAC), en fonction de la dose de P₂O₅.

Mean values of the relative agronomic efficiency (EAR) of different sources of P (SS, PT and PAC), according to P₂O₅ rates.

Dose P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	SS	PT	PAC
15	36c	33,9d	38,70c
30	39b	32,45d	46,50b
45	38,45b	37,35c	52,8b
60	43,7a	38,80b	52,8a
75	45,6a	44,40a	49,7a
90	48,9a	38,80c	54,9a
105	-----	44,50a	54,2a
MG	41,94	38,60	44,42
ppds.05	6	4,30	4,8

---- : données manquantes ; les différentes lettres (a, b, c) indiquent les valeurs moyennes différentes de façon significative.

DISCUSSION

Les résultats obtenus ont révélé que SS (18 % P₂O₅) et PAC (34 % P₂O₅) constituent de meilleures sources de P par rapport à PT, malgré sa teneur (34 % P₂O₅) en P. Cette différence a été essentiellement induite par la baisse de RDG et de PT en An2, par rapport aux RDG des autres sources (SS et PAC) au cours de la même année. La richesse de cette source en calcium (Ca : P < 1 500) a sans doute induit un déséquilibre du rapport Ca : Mg, qui était

initialement favorable à l'absorption de P (Yates, 1964 ; Koné *et al.*, 2009b). On peut aussi envisager un déséquilibre du rapport K : Mg suite à l'apport de Ca issu de TP, à cause d'une inhibition dans l'absorption en K (Koné *et al.*, 2010). Aussi, les travaux de Rudresh *et al.* (2005) ont-ils montré l'importance de l'activité bactérienne sur la solubilité de PT. De ce fait, de faibles absorptions de P et de K, ainsi qu'une réduction probable de la population microbienne du sol pourraient être incriminées dans les traitements PT. Ce qui explique son inadéquation

relative en riziculture pluviale sur un hyperdystric Ferralsol. Cependant, un essai similaire conduit par WARDA (1990) durant un an, a révélé l'absence de différences significatives entre la production en grain de riz (IDSA 6) avec les 3 sources de P sur un dystric ferralsol, au Centre de la Côte d'Ivoire. Cela pourrait s'expliquer par les différents degrés de lessivage des sols consécutifs à la pluviométrie et celle des variétés semées. Par ailleurs, les résultats de cette étude révèlent que PAC peut être utilisé de façon adéquate sur sols acides, contrairement aux recommandations de CARAB (1999). Des études complémentaires sur d'autres cultures tropicales sont nécessaires pour évaluer les limites des résultats de cette étude. Cependant, son efficacité agronomique relative a été anormalement la plus élevée (44,42 %) tandis que les plus grandes valeurs de RDG ont été notées en SS. Le dispositif expérimental (les parcelles témoins étant différentes selon la source) et la méthode de calcul de EAR serait à l'origine de ce résultat. Cette analyse est révélatrice d'une variabilité de la teneur initiale en P du sol sur les différents traitements.

De plus, on note une différence relative de composition chimique des différentes sources de P appliquées. Les sources PT et SS sont relativement identiques de par leur composition en Ca, O₂, H₂ et P en étant différents par la présence de S dans SS. Par contre, la source PAC est composée de Ca, O₂, P, Al, Fe (Morel et Fardeau, 1988 ; Dobermann et Fairhurst, 2000 ; Destainville *et al.*, 2002). On en déduit l'importance de S, Al et Fe dans le choix des fertilisants phosphatés pour la riziculture sur un Hyperdystric ferralsol. A cet effet, vu la plus grande optimisation de SS, la teneur en S pourrait être la plus déterminante. La déficience des sols ouest africains en S (Kang et Osiname, 1985) et la dynamique des différentes formes de phosphore dans les sols de la zone semi-montagneuse (Man) de la Côte d'Ivoire (Dabin, 1957) peuvent expliquer cette observation.

La baisse des RDG en An3 a été brusque, notamment en SS et PT, en dépit d'une pluviométrie (1 938,7 mm an⁻¹) favorable et moyennement élevée, par rapport à celles des autres années. Les effets dépressifs de la culture continue sur la fertilité du sol (Brams, 1971) ne suffiraient pas à expliquer ce résultat. En effet, l'impact sur le rendement devrait être graduel (IITA, 1974), à l'instar du traitement avec PT.

Cependant, la disponibilité du fer libre dans le sol pourrait induire la fixation de P deux années après défrichage, à cause d'un lessivage et d'une acidification consécutifs à une forte pluviométrie annuelle (Kamprath, 1973). Les RDG ayant été supérieurs à 2 t ha⁻¹, dans les traitements SS et PAC durant les deux premières années, l'apport de la matière organique aurait pu adsorber le fer (Chien *et al.*, 1990) qui aurait occasionné la chute des RDG. Cela impose l'usage de la matière organique combiné aux apports de P pour maintenir durablement des rendements élevés en riziculture pluviale sur sols acides. Vu que la teneur initiale (2,40 g kg⁻¹) de la matière organique du sol a été adéquate, on en déduit qu'il y'a eu une baisse importante durant les deux premières années de culture. Ainsi, l'apport combiné de P et de la matière organique devrait se faire à partir de la troisième année de culture, consécutivement à la culture du riz sur un hyperdystric ferralsol. La paille du riz des deux premières années pourrait servir au compostage afin de faire face à ce besoin.

Les résultats ont révélé une variabilité de la dose optimale selon la source de P et les années culturales, à l'exception de la dose optimale du traitement PAC, restée constante à 45 kg P₂O₅ ha⁻¹. Elles ont été réduites dans le temps de 75 à 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ en SS et de 60 à 15 kg P₂O₅ ha⁻¹ en PAC, alors que les rendements ont baissé graduellement. Cela traduit une réduction de l'optimisation de P, suite à la culture continue du riz. La réduction de la teneur du sol en matière organique, déjà évoquée, pourrait justifier cette observation. Cependant, l'analyse du résultat du classement des valeurs moyennes générales de l'efficacité agronomique relative selon la source et la dose de P a permis de retenir la dose 60 kg P₂O₅ ha⁻¹, comme valeur optimale de SS et PAC. Cette valeur procure 26,5 kg P ha⁻¹. Les rendements optimaux des différentes sources de P étant dans l'ordre de 2 t ha⁻¹, cette dose apparaît conséquente. En effet, il faut environ 10 kg P ha⁻¹ pour obtenir 1 t ha⁻¹ de céréales (Rivera-house, 1971). En outre, le résultat obtenu est concordant avec les recommandations (0 - 60 kg P₂O₅ ha⁻¹) par Kamprath (1973) pour la riziculture sur des sols en Amérique latine. Cependant, une dose de 60 kg P ha⁻¹ a été recommandée par Sahrawat *et al.* (1995) sur un sol de la même localité (Man), mais issu d'une jachère de courte durée (< 3 années).

Cette analyse met en évidence l'importance de la durée de jachère dans la fertilisation phosphatée des sols acides. Une implication importante de cette pratique étant l'apport de matière organique et sa minéralisation dans le sol (Traoré, 1996), on en déduit que l'apport de matière organique aux sols déjà acides est une condition nécessaire pour le succès de la riziculture pluviale dans un système de production durable.

CONCLUSION

L'étude a révélé un potentiel dans l'amélioration de la productivité rizicole ($>2 \text{ t ha}^{-1}$) des sols acides par l'application d'une source de P, contenant S, Al et Fe comme le simple super phosphate ou le phosphate aluminocalcique. Le premier étant plus recommandable que le second.

L'application annuelle de $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, combinée à une application de la matière organique à partir de la troisième année de culture, est recommandée pour maintenir durablement des rendements élevés. Des décisions politiques devront être prises pour assurer une plus grande disponibilité de ces engrais aux producteurs.

REFERENCES

- Audebert A., Becker M. and D. E. Johnson. 2001. Differential Response of Rice to Hydrological Conditions and Agronomic Management. African Crop Sciences conferences Proceeding ; 4 : 107 - 111.
- Amstrong D. L. 1999. Important factors affecting crop response to phosphorus. Better crops. 83 (1) : 16 - 19.
- Brams E. A. 1971. Continuous Cultivation of West-African Soil : Organic Matter Diminution and Effect of Applied Lime and Phosphorus. Plant and Soil. 35 (1 - 3) : 401 - 414.
- CARAB. 1999. Agriculture biologique : Fertilisation. CARAB Info 22. En ligne : http://users.swing.be/carab/id19_m.htm [1 Décembre 2008]
- Cheng M., Jin J. and S. Huang. 1999. Release of Native and Non-Exchangeable Soil Potassium and Adsorption in Selected Soils of North China. Better Crops Int. 13 : 3 - 5.
- Chien S. H., Sale P. W. G. and D. K. Friesen. 1990. A Discussion of the Methods for Comparing the Relative Effectiveness of Phosphate Fertilizers Varying in Solubility. Fert. Res., 24 : 149 - 157.
- CPCS-Commission de pédologie et de cartographie des sols. 1967. Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes des sols. Service de classification des sols. INRA, France. 96 p.
- Dabin B. 1957. Appréciation des besoins en phosphore dans les sols tropicaux : les formes du phosphore dans les sols de la Côte d'Ivoire. Cahier ORSTOM, 84 (2) : En ligne : <http://www.ordtom.sn/> [20 novembre 2008].
- Destainville A., Champion E., Assollant, D. B. et E. Laborde. 2002. Synthèse de phosphate tricalcique apatitique. Matériaux 2002. Limoges. 5 p.
- Dobermann A and T. Fairhurst. 2000. Rice : Nutrient Disorders & Nutrient Management. 1st edition. Potash and Phosphate Institute of Canada and International Rice Research Institute, Oxford. 191 p.
- Fox R. L. 1986. Phosphorus - A Basic Nutrient for Soil Improvement. K. M. Pretty and S. F. Dowdle (Eds.). Proceedings of the International Conference on the Management and Fertilization of Upland Soils in the Tropics and Subtropics. Chinese Academy of Sciences and The Ministry of Agriculture, Animal Husbandry and Fisheries of the People's Republic of China, Nanjing. pp. 57 - 63, 1998.
- Haynes R. J. and M. S. Mokolobate. 2001. Amelioration of Al Toxicity and P Deficiency in Acid Soils by Additions of Organic Residues : a Critical Review of the Phenomenon and the Mechanisms Involved. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 59 : 47 - 63.
- Hocking P. J. and P. J. Randall. 2001. Better Growth and Phosphorus Nutrition of Sorghum and Wheat Following Organic Acid Secreting Crops. Plant Nutrition, 92 : 548 - 549.
- IITA-International Institute of Tropical Agriculture. 1971-1974. Annual Reports. Farming Systems Program. International Institute for Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 48 p.
- IITA-International Institute of Tropical Agriculture. 1989. Automated and semi-automated methods for soil and plant analysis. Manual series N°1. IITA, Ibadan, Nigeria. 32 p.
- Ilg K., Siemens J. and M. Kaupenjohann. 2005. Colloidal and Dissolved Phosphorus in Sandy Soils as Influenced by Phosphorus saturation. J. Environ. Qual. 34 : 926 - 935.

- Kamprath E. J. 1973. Phosphorus. In : P. A. Sanchez (Eds.). A Review of Soil Research in Tropical Latin America. North Carolina Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 219 : pp 138 - 161.
- Kang B. T. and O. A. Osiname. 1985. Micronutrient problems in tropical Africa. In : L. G. Paul (Eds.). Micronutrients in Tropical Food Crop production. Development in Plant and Soil Sciences Series 14, Dordrecht, the Netherlands. pp 131 - 150.
- Koné B., Diatta S., Saidou A., Akintayo I. et B. Cissé. 2009a. Réponses des variétés interspécifiques du riz de plateau aux applications de phosphate en zone de forêt au Nigeria. Canadian Journal of Soil Science, 89 : 555 - 565.
- Koné B., Amadji G. L., Igué M. and O. Ayoni. 2009b. Rainfed upland rice production on a derived savannah soil of West Africa Journal of Animal and Plant Science, 2 (4) : 156 - 162.
- Koné B., Ettien J. B., Amadji G. L., Diatta S. et M. Camara. 2010. Effets d'engrais phosphates de différentes origines sur la production rizicole pluviale des sols acides en zone de forêt semi-montagneuse sous climats tropicaux: Cas des hyperdystric ferralols sous jachères en Côte d'Ivoire. Etude et gestion des sols, 17 (1) : 7 - 17.
- Lançon F. and H. D. Benz. 2007. Rice imports in West Africa : Trade Regimes and Food Policy Formulation. Poster prepared for presentation at the 16th seminar of European Association of Agricultural Economists (EAAE). Pro-poor development in low income countries : Food, agriculture, trade, and environment 25 - 27 October 2007. Montpellier, France. On line : <http://www.ageconsearch.umn.edu/bitstream/7906/1/pp071a02.pdf>. [28 novembre 2008].
- Melendez J., Becker M. and D. Johnson. 2003. Maintaining the Yield of Upland Rice Under Intensified Land Use in Slash and Burn System of West Africa. Deutscher. Tropenterg. On line: http://www.tropenterg.de/2003/abstracts/links/Melendez_nK6ix4b3.pdf. [28 novembre 2008]
- Morel C. et J. C. Fardeau. 1988. Détermination par traçage isotopique de la valeur fertilisante du phosphate alumino-calciq : comparaison avec d'autres formes. Agronomie, 8 (1) : 47 - 54.
- Morel C. and J. C. Fardeau. 1991. Phosphorus Bioavailability of Fertilizer : A Predictive Laboratory Method for Its Evaluation. Fert. Res. 28 : 1 - 9.
- Rao I. M., Borrero V., Ricaurte J., Garcia R. and M. A. Ayarza. 1997. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. III. Differences in phosphorus acquisition and utilization as influenced by varying phosphorus supply and soil type. Journal of Plant nutrition, 20 (1) : 155 - 180.
- Rivera-House C. 1971. Phosphate fixation by tropical soils. M. S. Thesis, North Carolina State University, Raleigh. 112 p.
- Rudresh D. L., Shivaprakash M. K. and R. D. Prasad. 2005. Tricalcium phosphate solubilizing abilities of *trichoderma spp.* in relation to P uptake and growth and yield parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Canadian Journal of microbiology, 51 (3) : 217 - 222.
- Sahrawat K. L., Jones M. P. and S. Diatta. 1995. Response of upland rice to phosphorus in an Ultisol in the humid forest zone of West Africa. Fert. Res. 41 : 11 - 17.
- Sahrawat K. L., Jones M. P. and S. Diatta. 1997. Direct and residual phosphorus effects on yield and phosphorus efficiency of upland rice in an Ultisol. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 48 : 209 - 215.
- Sahrawat K. L., Jones M., Diatta S. and A. Adam. 2001. Response of Upland Rice to fertilizer Phosphorus and its Residual Value in an Ultisol. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32 (15 & 16) : 2457 - 2468.
- Sanchez P. A. and J. G. Salinas. 1981. Low input technology for managing oxisol and ultisol in tropical America. Adv. Agron. 34 : 289 - 406.
- Siemens J., Ilg K., Lang F. and M. Kaupenjohann. 2004. Adsorption controls mobilization of colloids and leaching of dissolved phosphorus. European Journal of Soil Science 55 : 254 - 263.
- Traoré M. 1996. Utilisation de l'*Andropogon gayanus* pour l'amélioration de la production fourragère et de la fertilité du sol en zone de savane. C. Floret (Eds.). La jachère, le lieu de production, amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest. CORAF et Union européenne, Dakar. pp. 223 - 232.
- WARDA-African Rice Center. 1990. Summaries of Research Activities. In WARDA (Eds.). Annual Report 1990. WARDA, Bouaké. pp. 25 - 34.
- Warren G. P. 1992. Fertilizer Phosphorus, Sorption and Residual Value in Tropical African soils. NRI Bull. Vol. 37, National Resources Institute, Chatham, UK, 91 p.
- Yates R. 1964. Yield depression due to phosphate fertilizer in sugarcane. Aust. J. Agric. Res. 15 (4) : 537 - 547.