



ISSN: 0976-3376

Available Online at <http://www.journalajst.com>

ASIAN JOURNAL OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Asian Journal of Science and Technology
Vol. 09, Issue, 01, pp.7358-7365, January, 2018

RESEARCH ARTICLE

BIO FERTILISATION DU RIZ : EFFICACITÉ D'UN INGRÉDIENT ACTIF NATUREL (BIOSTIMULANT)- UN CHAMPIGNON MYCORRHIZIEN SUR LE RENDEMENT DU RIZ DE PLATEAU EN CÔTE D'IVOIRE

*¹Frank BAHAN, ²Francis Gustave MESSOUM, ¹Alphonse BOUET, ³Delphine DEKEISTER,
³Fabrice BARRAUD, ¹Jules Zagbahi KELI, ¹Amoncho ADIKO and ³François BLE

¹Centre National de Recherche Agronomique, 01 BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

²Direction Générale de la Recherche, BP V151 Abidjan, Côte d'Ivoire

³Premier Tech Agriculture, Le Ciron BP 6, 49680 Vivy, France

ARTICLE INFO

Article History:

Received 16th October, 2017

Received in revised form

28th November, 2017

Accepted 26th December, 2017

Published online 31st January, 2018

Key words:

Glomus intraradices,

Rainfed rice,

Combination mycorrhizal –

Mineral fertilizers,

Yield gain.

ABSTRACT

In Côte d'Ivoire, stakes in food security are enormous for rice. The present study, which discusses about effect of rice mycorrhization, is a contribution to ricebiological fertilization. Study compared incidence of intake of a mycorrhizal inoculant "AGTIV" to mineral fertilization, on soil, growth and development parameters of upland rice, in the West part of Côte d'Ivoire. In order to assess the efficiency of these two fertilization methods, an unfertilized control treatment was integrated in the experimental device, a Fisher Block with six repetitions. Results obtained show that the rice plant lends itself well to mycorrhizal symbiosis with *Glomus intraradices* fungus. This symbiotic association has contributed to the maintenance of the soil structure and favored the transport of mineral nutrients, especially phosphorus to the rice plant. This significantly improved tillering (147.5 tillers/m²) and yield (1.62 t ha⁻¹) of rice. The yields are better as mycorrhizae are combined with mineral fertilizers (2.36 tha⁻¹), for a gain of 64%. It is therefore not excluded, in the presence of mycorrhizal fungi, to bring fertilizers (organic or mineral) to rice, since the soil is not an inexhaustible resource of nutrients. In short, mycorrhization appears to be a powerful biological tool for optimizing sustainable soil management and rice yields.

Copyright © 2018, Frank BAHAN et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, comme dans la plupart des pays d'Afrique, les enjeux en terme de sécurité alimentaire sont énormes en matière de riz. La production ivoirienne de riz, estimée à 1 399 407 tonnes de riz blanchi, est pourvue à 80 % par la riziculture pluviale (ONDR, 2016). Cependant, diverses contraintes limitent la productivité du riz pluvial. Les plus importantes sont les perturbations climatiques et le problème majeur de la baisse de la fertilité des sols (Sanchez et al., 2003 ; Koné et al., 2004b ; Amani et al., 2017). Le rendement moyen du riz pluvial, en milieu réel, est estimé à moins de 1,5 tha⁻¹ (Bahan et al., 2012 ; Konan, 2015). Aussi, la Côte d'Ivoire a-t-elle continuellement recours aux importations, pour combler son déficit de production, d'environ 30 % aujourd'hui (ONDR, 2016). Pour faire face aux aléas climatiques, des variétés tolérantes à la sécheresse et/ou de cycle précoce ont été sélectionnées et diffusées en milieu paysan de Côte d'Ivoire (Doumbia et al., 2005). En outre, des dates propices de semis du riz pluvial sont proposées, à partir de modèles de prévisions climatiques (Amani et al., 2017). La baisse de la fertilité des sols est une conséquence de la surexploitation des terres

(Becker et Johnson, 2001), liée à la pression démographique et l'expansion des plantations industrielles (caféiers, cacaoyers, hévéa, palmier à huile). Pour y faire face, la fertilisation reste une des voies pour assurer une augmentation des rendements (FAO, 2001). La fertilisation minérale connaît, cependant des problèmes d'adoption, du fait de la cherté des engrais minéraux et de leur impact souvent néfaste sur l'environnement (Gala et al., 2007 ; Konaté et al., 2012). Quant aux engrais organiques, biodégradables (compost, fumier, fiente de volaille) qui ont été proposés, leur adoption reste hypothétique pour des raisons pratiques et commerciales (CNRA, 2016). Ainsi, les réflexions sur la fertilisation du riz méritent d'être poursuivies, en particulier dans le contexte actuel d'agriculture biologique et de préservation de l'environnement. Parmi les composantes telluriques particulièrement impliquées dans les processus biologiques régissant le fonctionnement des principaux cycles biogéochimiques et, en conséquence la fertilité des sols figurent les champignons mycorrhiziens (Barea et Jeffries, 1995 ; Rioux, 2001 ; Dechamplain et Gonelin, 2002 ; Cardoso et Kuyper, 2006). Ces microorganismes ubiquistes évoluent en association symbiotique avec divers plantes hôtes et optimisent le développement du végétal via une stimulation de la nutrition minérale et une meilleure tolérance ou résistance de la plante au stress biotiques et / ou abiotique (Azcon-Aguilar et Barea,

*Corresponding author: Frank BAHAN,

Centre National de Recherche Agronomique, 01 BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire.

1996 ; Berthelin *et al.*, 2004 ; Duponnois *et al.*, 2007). Ces dernières années, la production industrielle d'inoculants mycorhiziens, en Côte d'Ivoire, offre donc de nouvelles perspectives en matière de fertilisation des cultures stratégiques telle que le riz. La présente étude réalisée en Côte d'Ivoire, a eu pour but d'apprécier l'efficacité d'un inoculant mycorhizien sur le rendement du riz pluvial de plateau.

MATÉRIEL ET METHODS

Site experimental

L'étude a été réalisée à la station de recherche du CNRA à Man, dans la région semi-montagneuse de l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Le régime pluviométrique y est monomodal. Les pluies commencent en mars et se terminent en octobre, suivies d'une saison sèche qui s'étend de novembre à février. En 2014, une pluviométrie annuelle de 1721,9 mm a été enregistrée sur la station de recherche de Man. Le dispositif expérimental a été installé en condition pluviale stricte, sur un sol de plateau (Ferralsol). Le précédent cultural a été une jachère naturelle de 3 années, dominée par l'espèce *Panicum maximum*. Le sol du site est légèrement humifère, avec des textures sablo-argileuse en surface (0-20 cm) et argilo-sableuse en profondeur (20-60 cm). Il présente un bon drainage interne et est meuble au niveau des horizons superficiels (0-5 cm). Cependant, le sol comporte un horizon compact avec des éléments grossiers (> 50 p.c.) entre 20 cm et 60 cm de profondeur. Ces éléments grossiers sont essentiellement constitués de nodules ferromagnésiennes et de graviers de quartz.

Matériel végétal

La variété de riz pluvial IDSA85 a été utilisée pour l'essai. IDSA85 est un riz amélioré très prisé en Côte d'Ivoire pour le format du grain (fin et long) et le goût. La durée de son cycle semis-maturité est de 120 jours (cycle moyen) avec un rendement moyen estimé à 1,8 tha⁻¹ (MINAGRI, 2015).

Fertilisants utilisés

Deux types de fertilisant ont été utilisés. Il s'agit de deux engrais minéraux et un biostimulant. Les engrais minéraux sont ceux usuellement utilisés en riziculture en Côte d'Ivoire, à savoir : l'urée perlée (46% N) et le NPK 12-24-18. Le biostimulant est un ingrédient actif – un champignon mycorhizien « AGTIV », produit par le groupe agro-industriel, Premier Tech Agriculture. Il est conditionné en sachet de 200 g avec une concentration de 3 200 spores/grammes.

Dispositif expérimental et conduite de l'essai

Le dispositif expérimental est un bloc de Fisher à six (06) répétitions ou blocs. Le facteur étudié est le mode de fertilisation, avec quatre (04) modalités. Ces modalités se déclinent comme suit :

- T1 : pas d'apport de fertilisant (témoin)
- T2 : apport de NPK + Urée
- T3 : apport de Mycorhizes
- T4 : apport de NPK + Urée et Mycorhizes

La préparation du sol a consisté en un défrichage, suivi d'un labour superficiel. A la veille du semis, l'engrais de fond NPK a été apporté au sol à la dose de 200 kg ha⁻¹. En outre, 25 g de l'inoculant mycorhizien ont servi à enrober 1250 g de semences de la variété IDSA85, soit une dose de 300g ha⁻¹. Le semis a été réalisé en poquets alignés avec un écartement de 0,20 m entre poquets et entre les lignes. Quinze jours après le semis, en sol humide, le démariage des plants a été réalisé à un plant. L'urée a été épandue à la dose de 100 kg ha⁻¹ de manière fractionnée, à savoir : 50% au début de tallage et 50% à l'initiation paniculaire. Les travaux d'entretien (désherbage manuel, traitement insecticide) ont été assurés jusqu'à la récolte du riz, à 18 % d'humidité des grains.

Collecte de données et analyses

La collecte de données a porté sur : le cycle semis-maturité du riz, le nombre de talles de riz à maturité, la hauteur de la talle principale du riz à maturité, la sévérité de l'helminthosporiose du riz à 45 jours et à 70 jours après la levée selon le Système d'Evaluation Standard (S.E.S.), le poids sec de la biomasse aérienne du riz, le poids sec de la biomasse racinaire du riz, le poids du paddy après séchage et vannage (rendement grains) et le poids de 1000 grains de paddy. Au niveau pédologique, des prélèvements d'échantillons de sol ont été effectués dans l'horizon 0 – 20 cm avant la mise en place de l'essai, et à la récolte. Les analyses des échantillons de sol ont été réalisées au Laboratoire de Pédologie de l'Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA). Elles ont porté sur quelques paramètres physiques et chimiques de sol, à savoir : la granulométrie, le pH eau, la teneur en azote organique total, la teneur en carbone organique total, le taux de matière organique, les teneurs en cations échangeables Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, la teneur en phosphore assimilable P_{ass}, enfin, la capacité d'échange cationique (CEC). Toutes ces variables ont fait l'objet d'analyses statistiques avec le logiciel GenStat Discovery édition 4. La comparaison des moyennes a été faite par le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5%.

RÉSULTATS

Granulométrie du sol

Le tableau I présente les proportions en argiles, limons et sables du sol (0-20 cm) avant et après la récolte de l'essai. En référence, à la situation initiale, du sol les teneurs en argiles (A) et limons grossiers (Lg) n'ont pas variées, quel que soit le mode de gestion de la fertilité du sol. Concernant les teneurs en limons fins (Lf) et en sables, il a été noté des variations. Le sol a, en effet, connu un enrichissement en Lf, passant de 6,69 % à 8,08 % avec l'apport des engrais minéraux (NPK + Urée), contre 7,17 % avec l'apport des mycorhizes. Il en est de même pour la teneur en sables fins (Sf) qui est passée de 17,83 % à 19,52 % et 21,88 % respectivement avec les mycorhizes et les engrais minéraux. Pour les sables grossiers (Sg), il a été observé un appauvrissement de l'horizon 0-20cm, plus accentué avec l'apport des engrais minéraux.

Paramètres chimiques du sol

Les paramètres chimiques du sol (0-20 cm), avant et après la récolte de l'essai, sont consignés aux tableaux II et III. Le pH initial, acide (pH=5,5), n'a pas évolué avec la mise en culture du sol. Au niveau de la matière organique, seule la teneur en

Tableau I : Teneurs (%) en argiles, limons et sables du sol (0-20 cm) à l'état initial et après la récolte de l'essai

Traitement	Granulométrie (%)				
	Argiles (A)	Limons fins (Lf)	Limons grossiers (Lg)	Sables fins (Sf)	Sables grossiers (Sg)
Etat initial	22,66	6,96b	7,55	17,83c	44,70b
Témoin	22,66	6,86b	7,65	16,25d	46,64a
NPK+Urée	21,64	8,08a	7,87	21,88a	40,54d
Mycorhizes	22,54	7,17b	7,71	19,52b	42,68c
NPK+Urée et Mycorhizes	22,28	6,55b	7,74	19,02b	43,29c
Probabilité (%)	0,853	0,003	0,701	0,001	0,001

Les chiffres d'une même colonne affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5 p.c.

carbone a varié statistiquement. Contrairement aux engrais minéraux qui ont contribué significativement au stock de carbone du sol (0,81 %), la parcelle traitée avec les mycorhizes présente les mêmes teneurs en carbone que la parcelle témoin (0,71% - 0,73 %). La combinaison engrais minéraux et biostimulant contribue au stock du sol en carbone à hauteur de 0,91 %. Concernant le phosphore assimilable (P_{ass}), les parcelles traitées avec les deux modes de fertilisation affichent les mêmes concentrations (29,67 ppm). Le biostimulant se révèle donc aussi efficace que les engrais minéraux dans la fourniture du sol en phosphore.

Tableau II : Acidité, matière organique et phosphore assimilable du sol (0-20 cm) à l'état initial et après la récolte

Traitement	pH _{eau}	Matière organique			P_{ass} (ppm)
		C (%)	N (%)	MO (%)	
Etat initial	5,5	1,50a	0,13	2,58a	40,00a
Témoin	5,2	0,71d	0,12	1,22c	27,00d
NPK + Urée	5,4	0,81c	0,11	1,39b	29,67c
Mycorhizes	5,0	0,73d	0,12	1,25c	29,67c
NPK + Urée et Mycorhizes	5,2	0,91b	0,11	1,56b	36,33b
Probabilité (%)	0,980	0,001	0,861	0,005	0,001

Les chiffres d'une même colonne affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5 p.c.

Les données relatives le complexe absorbant, présentées au tableau III, montrent que la teneur du sol en Ca^{2+} a chuté avec la mise en culture. Le stock résiduel de Ca^{2+} a été de 0,350 meq 100 g⁻¹ de sol pour la parcelle témoin contre, en moyenne, 0,120 meq 100 g⁻¹ de sol pour les parcelles traitées avec les engrais minéraux et les mycorhizes. Pour le Mg^{2+} , il a été noté un enrichissement en cet élément, lié notamment à l'apport des fertilisants : en premier les mycorhizes (0,754 meq 100 g⁻¹) et en second les engrais minéraux (0,694 meq 100 g⁻¹). La teneur du sol en K^+ , n'a pas évolué pour le témoin (0,0116 meq 100 g⁻¹). Mais, elle a fortement régressé concernant les deux modes de fertilisation. Les valeurs respectives sont de 0,0080 meq 100 g⁻¹ avec le NPK et l'urée, et de 0,0016 meq 100 g⁻¹ avec les mycorhizes. Quant à la capacité d'échange cationique (CEC), elle a été partiellement maintenue avec les engrais minéraux (passant de 9,76 à 9,72 meq 100 g⁻¹) et secondairement les mycorhizes (passant de 9,76 à 9,21 meq 100 g⁻¹).

Tableau III : Bases échangeables du sol et Capacité d'échange cationique du sol (0-20 cm) à l'état initial et après la récolte de l'essai

Traitement	Complexe absorbant (meq.100g ⁻¹ sol)			
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	CEC
Etat initial	0,582a	0,294d	0,0116a	9,760a
Témoin	0,350b	0,354d	0,0116a	8,470c
NPK + Urée	0,120c	0,694c	0,008b	9,720c
Mycorhizes	0,115c	0,754b	0,0016c	9,21b
NPK + Urée et Mycorhizes	0,13c	0,844a	0,0078b	9,28b
Probabilité (%)	0,001	0,001	< 0,001	0,003

Les chiffres d'une même colonne affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5 p.c.

Sévérité de la maladie de l'Helminthosporiose du riz

L'helminthosporiose a été la seule maladie observée sur les parcelles au cours de l'essai. Les notes de sévérité de cette maladie en rapport avec les modes de fertilisation testés sont présentées à la Figure 1. Ces notes sont statistiquement les mêmes qu'il s'agisse du témoin sans engrais ou de la parcelle traitée avec les mycorhizes. L'apport du biostimulant n'aurait donc pas d'incidence sur l'occurrence de l'helminthosporiose du riz. L'apport des engrais minéraux (NPK+Urée), au contraire, favoriserait le développement de la pathologie avec des notes de sévérité, largement supérieures (8,7 et 9,0) à celle du témoin (6,7).

Croissance et développement du riz

Durée du cycle du riz

Les résultats d'analyse de la durée du cycle semis-maturité du riz (Tableau IV) indiquent que celle-ci n'est pas modifiée avec l'apport du biofertilisant. Par contre l'apport des engrais minéraux sur les parcelles a raccourci le cycle du riz d'au moins 05 jours en référence à la parcelle témoin (124 jours).

Croissance en hauteur du riz

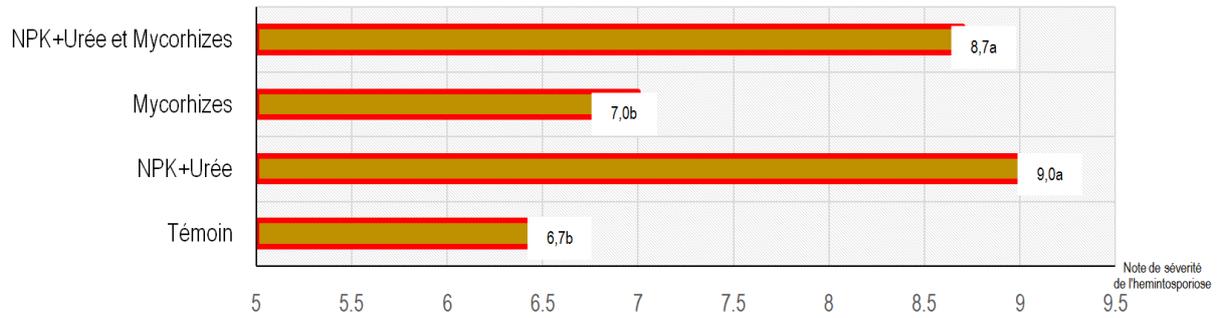
La hauteur du riz à maturité, comme indiqué au tableau IV, n'évolue pas significativement avec l'apport des mycorhizes. Le riz a atteint une taille moyenne de 114 cm avec les mycorhizes contre une taille moyenne de 110,8 cm pour le traitement témoin. Le NPK et l'urée, en revanche, ont permis au riz d'atteindre une hauteur de 135,8 cm à maturité. Cette croissance en hauteur est d'autant plus importante avec la combinaison biostimulant - engrais minéraux (150 cm).

Biomasse racinaire du riz

Les informations au tableau IV, montrent que le biostimulant a permis un développement significatif des racines par rapport au témoin. Mais, il s'est révélé moins efficace que les engrais minéraux. La performance des engrais minéraux a été de 2,69 g/plant contre 2,06 g/plant pour les mycorhizes. Le développement des racines du riz a été, en outre, boosté en associant la fertilisation biologique et minérale pour une valeur moyenne de 3 g/plant (tableau IV).

Biomasse aérienne de riz

La biomasse aérienne moyenne produite sur les parcelles témoins a été de 0,96 tha⁻¹ (Tableau IV). Cette moyenne est nettement inférieure à celle obtenue avec l'apport d'inoculants



Les chiffres affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5 %

Figure 1. Note de sévérité de la maladie de l'herminthosporiose du riz en fonction du mode de fertilisation

mycorhiziens ($1,12 \text{ tha}^{-1}$) qui elle-même est deçà de la production de biomasse sur les parcelles fertilisées avec le NPK et l'urée ($1,63 \text{ tha}^{-1}$). L'association des deux modes de fertilisation, comme pour le développement racinaire, a également permis d'obtenir la moyenne optimale ($2,01 \text{ tha}^{-1}$).

Tableau IV : Paramètres de croissance et de développement du riz pour les quatre modes de fertilisation testés

Traitement	variables			
	Durée du cycle (jour)	Hauteur à maturité (cm)	Biomasse racinaire (g/plant)	Biomasse aérienne (tha^{-1})
Témoin	124a	110,8c	1,83d	0,96d
NPK + Urée	118b	135,8b	2,69b	1,63b
Mycorhizes	123a	114,4c	2,06c	1,12c
NPK + Urée et Mycorhizes	116b	150,0a	3,00a	2,01a
Probabilité (%)	0,021	0,001	0,006	0,001

Les chiffres d'une même colonne affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5 p.c.

Composantes du rendement paddy

Tallage du riz

L'analyse des données relatives au tallage du riz révèle des différences significatives entre les quatre traitements testés (Tableau V). Il est noté, en l'occurrence, un effet positif du biostimulant relativement au témoin. En effet, le tallage passe de $126,2$ talles/m² en moyenne pour le témoin, à $147,5$ talles/m² avec l'apport des mycorhizes. Mais, cette moyenne atteinte est inférieure à celle obtenue avec le NPK et l'Urée ($190,0$ talles/m²). L'association NPK + Urée et mycorhizes donne en moyenne de $210,8$ talles/m², relevant l'optimisation du tallage du riz par la combinaison engrais minéraux - biostimulant.

Nombre de panicules

A l'analyse du tableau V, le nombre de panicule de riz au m² présente les mêmes tendances que le nombre de talles. Les modes de fertilisation sont significativement différents pour cette variable, selon le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5 %. Les valeurs sont en moyennes de $107,9$ panicules/m², 130 panicules/m², $147,1$ panicules/m² et 195 panicules/m² respectivement pour le témoin, la parcelle avec mycorhizes, la parcelle avec NPK + Urée, et la parcelle combinant les deux modes de fertilisation.

Nombre de grains par panicule

Le nombre de grains par panicule a varié en fonction du mode de fertilisation (Tableau V). Il est de plus en plus croissant avec l'apport des mycorhizes, des engrais minéraux et encore plus avec la combinaison des deux modes de fertilisation. La moyenne obtenue avec la combinaison est de $151,7$ grains/panicule contre $100,4$ grains/panicule pour le témoin.

Pourcentage de grains plein par panicule

Selon les résultats consignés au tableau V, le pourcentage de grains pleins par panicule ne varie pas statistiquement en fonction du mode de fertilisation testé. La moyenne de l'essai a été de $91,63$ %.

Poids de 1000 grains

Les données relatives au poids de mille grains de paddy (Tableau V), indiquent que les moyennes obtenues avec les modes de fertilisation testés ne sont pas significativement différentes ($p=0,856 > 0,05$). A savoir que ni l'apport des engrais minéraux ni des mycorhizes n'a eu d'incidence sur le poids du grain de paddy. La moyenne globale révélée pour cette variable est de $0,033$ g.

Tableau V : Composantes du rendement paddy pour les quatre modes de fertilisation testés.

Traitement	variables				
	Talles/m ²	Panicules /m ²	Grains/panicule	Grains pleins (%)	Poids 1000 grains (g)
Témoin	126,2d	107,9d	100,4d	92,0	33,0
NPK + Urée	190,0b	147,1b	136,4b	91,2	33,8
Mycorhizes	147,5c	130,0c	115,7c	91,4	33,5
NPK + Urée et Mycorhizes	210,8a	195,0a	151,7a	91,8	33,8
Probabilité (%)	< 0,001	< 0,001	0,001	0,936	0,856

Les chiffres d'une même colonne affectés d'une même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de Newman-Keuls au seuil de probabilité de 5 p.c.

Rendement paddy

Les résultats de l'analyse de variance ont révélé une différence significative entre les rendements moyens obtenus avec les

quatre modes de fertilisation testés. Cela traduit une incidence de la méthode de fertilisation sur la production de paddy. L'apport des mycorhizes a permis un rendement moyen de $1,62 \text{ tha}^{-1}$, soit un gain de rendement de 12,5 % par rapport au témoin ($1,44 \text{ tha}^{-1}$). Mais, les meilleurs rendements sont obtenus avec la combinaison engrais minéraux et mycorhizes, $2,36 \text{ tha}^{-1}$; ce qui représente un gain de rendement de 11,8 % par rapport à la fertilisation conventionnelle NPK + Urée ($2,11 \text{ tha}^{-1}$) et 63,9 % en comparaison au témoin. L'écart entre la fertilisation biologique et la fertilisation minérale est de 23 % en faveur de la fertilisation minérale (Figure 3).

et 62,55% de sables. Au plan chimique, il s'agit d'un sol acide ($\text{pH} = 5,5$), moyennement riche en matière organique avec une teneur supérieure à 2 %. Il présente, cependant, un faible taux de minéralisation pour un rapport C/N évalué à 11. Sa capacité d'échange cationique (CEC) est moyenne, mais il est particulièrement pauvre en phosphore ($\text{P}_{\text{ass}} = 40 \text{ ppm}$).

Ces caractéristiques montrent qu'il s'agit bien d'un sol typique des régions tropicales. Les sols de ces régions sont, en effet, acides et pauvres en éléments nutritifs, en particulier en phosphore, comme c'est le cas des sols de Côte d'Ivoire

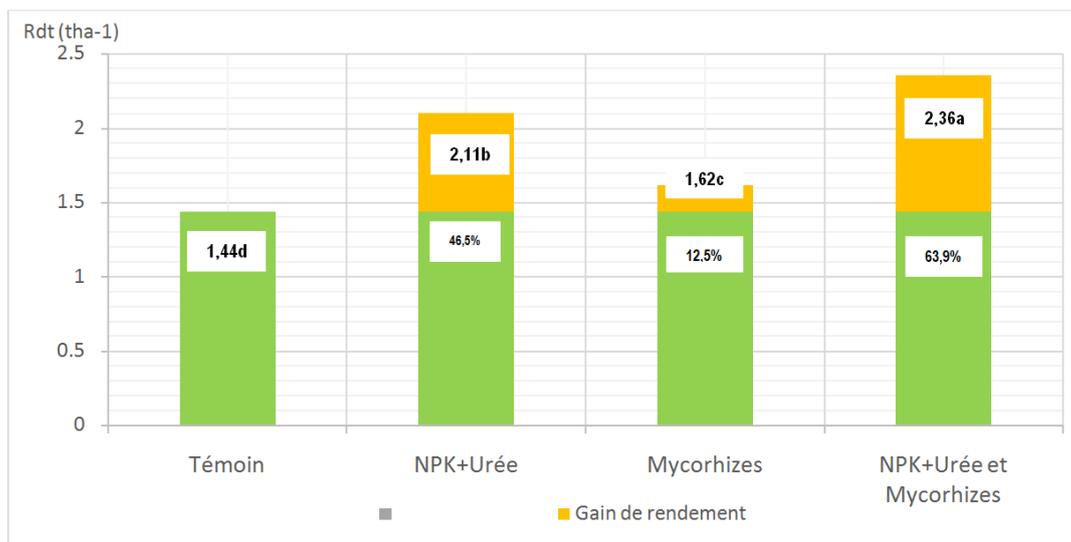


Figure 2. Rendement paddy en fonction du mode de fertilisation

DISCUSSION

Face aux risques de pollution environnementale par les activités agricoles, il est de plus en plus question d'agriculture biologique (FAO, 2014). La bio-fertilisation directe ou par stimulation constitue donc l'une des options qui s'accommode des grands enjeux du développement durable. Depuis 2013, la production industrielle d'inoculants mycorhiziens en Côte d'Ivoire, offre à la recherche de nouvelles perspectives pour la fertilisation biologique des cultures stratégiques telle que le riz (CNRA, 2016). L'essai réalisé avait pour but d'apprécier l'incidence de la mycorhization sur quelques paramètres d'un sol de plateau (Ferralsol) et sur la croissance et le rendement du riz. L'ingrédient mycorhizien utilisé, dans le cadre de l'étude, a été validé sur des grandes cultures comme le blé et la pomme de terre au Canada, aux Etats-Unis et en France (Premier Tech, 2013). Le champignon mycorhizien impliqué, *Glomus intraradices*, est caractérisé par un type de mycorhize bien particulier : l'endomycorhize (Rioux, 2001). Selon certains auteurs, l'endomycorhize ou mycorhize interne fut la première symbiose mycorhizienne avec les plantes (Selosse et Le Tacon, 1999 ; Albino et Andrade, 2006). D'après ces auteurs, ce fut elle qui permit aux végétaux de sortir de l'eau, il y a environ 400 millions d'années. Ce type de mycorhize se rencontre principalement chez les plantes cultivées et certains arbres dont les petites plantes de sous-bois (Lerat, 2001). Au niveau pédologique, le sol du site expérimental est de texture argilo-sableuse en surface, 0-20 cm de profondeur ; ce qui est caractéristique des sols d'un agrosystème anthropisé, très peu riche en limon, en surface (Assié *et al.*, 2008). A l'état initial, ce sol était constitué de 22, 66% d'argiles, 14,51% de limons

(Bationo *et al.*, 1991; Sanchez *et al.*, 2003). L'incidence de la fertilisation (biologique ou minérale) étant plus marquée sur un sol relativement pauvre (Koné *et al.*, 2010a), les caractéristiques pédologiques initiales du site font de lui un sol propice pour l'objectif de recherche visé. A l'issue de l'essai, il a été noté des modifications des teneurs du sol en limons et en sables. L'horizon de surface a été enrichi en limons fins et sables fins en particulier avec l'apport des engrais minéraux (NPK et Urée). Quant à l'incidence des mycorhizes, elle a été perceptible sur les sables fins, par un enrichissement relatif et, sur les sables grossiers par un appauvrissement peu marqué. Les mycorhizes tendraient donc à maintenir, voire améliorer la structure du sol, à travers le réseau de hyphes créé par le champignon et qui ressemble à un amas de filaments. Ces hyphes favoriseraient la formation d'agrégats dans le sol, notamment par leur exsudation (Douds *et al.*, 2005). Au niveau de la chimie du sol, il a été observé une évolution des teneurs du sol en MO et P_{ass} , etc. des propriétés du complexe absorbant, en fonction des modes de fertilisation du riz testés. La baisse de la teneur en M.O. enregistrée, est imputable à la variation observée de la teneur du sol en C. Elle a été moins prononcée avec l'apport des engrais minéraux (de 2,58% à 1,39%) qu'avec celle des mycorhizes (de 2,58% à 1,25%). La mise en culture du sol en effet, contribue à la réduction de la teneur en M.O. (Camara *et al.*, 2002; Bationo *et al.*, 2007 ; Bahan, 2017). Des études ont montré qu'environ 10 à 20 % du carbone fixé au niveau du végétal sont transférés aux symbiotes fongiques, représentant ainsi une source significative d'énergie dans la mycorhizosphère (Johnson *et al.*, 2002). Pour le phosphore, l'essai a montré que les mycorhizes sont aussi efficaces que les engrais minéraux dans

l'approvisionnement du sol en cet élément, car les mêmes teneurs finaux ont été affichées (29,67ppm). Pour un sol acide, comme celui de l'essai, le phosphore se retrouve en grande partie immobilisé par le fer ou l'aluminium sous des formes difficilement accessibles au riz (Boyer, 1982; Koné *et al.*, 2008 ; Hinsinger, 2001). Les résultats obtenus confirment donc la capacité des mycorhizes à mobiliser des éléments nutritifs très peu mobiles dans le sol, comme le phosphore (Landeweert *et al.*, 2001; Duponnois *et al.*, 2007; Lambers *et al.*, 2008). Au niveau du complexe absorbant, la teneur moyenne en Ca^{2+} , a été de 0,1 meq.100g-1sol. Cette valeur, en référence aux travaux de Barea et Jeffries (1995), serait liée aux « arbuscules », structures formées par le champignon mycorhizien au contact de la plante hôte, et qui sont riches en calcium. Concernant les deux autres cations majeurs du complexe absorbant, les mycorhizes se sont révélées plus actives dans la mobilisation Mg^{2+} et moins actives pour le K^+ , comparé à l'apport des engrais. Cette amélioration globale de la nutrition minérale des plantes, selon He et Nara (2007) concerne également les macroéléments tels que l'azote et le phosphore. Mais, pour ces derniers éléments, les résultats obtenus ne semblent pas confirmer cette thèse.

Sur le plan phytosanitaire, l'incidence de la mycorhization n'a pu être appréciée que pour la maladie de l'helminthosporiose du riz. En effet, seulement l'occurrence de cette maladie fongique a été observée sur l'essai. L'helminthosporiose représente la deuxième maladie fongique par sa distribution et l'importance des dégâts causés après la pyriculariose (Bouet, 2008). Les symptômes les plus évidents de la maladie se trouvent sur les feuilles. Il s'agit de lésions ovales, de la taille d'un grain de sésame, relativement uniformes et régulièrement réparties sur le limbe foliaire. Elles sont brunes, avec un centre gris ou blanchâtre lorsqu'elles sont bien développées (Ouédraogo, 2008). Les notes d'incidence des parcelles mycorhizées ont été les plus basses (7,0) et statistiquement les mêmes que celles des parcelles témoins, non fertilisées (6,7). Par contre, les parcelles traitées avec les engrais minéraux ont affiché les notes les plus élevées (8,7 à 9,0). Ce constat confirme que la fertilisation minérale a tendance à favoriser le développement des agents pathogènes du riz (Wopereis *et al.*, 2008). De plus, selon Singh *et al.* (2002), les problèmes de fertilisation rendent le riz plus sensible aux attaques du champignon, *Bipolaris Oryzae* (Breda de Han). A savoir, que la dose commune d'engrais (NPK+ Urée) utilisée n'est pas efficace. En Côte d'Ivoire, la dose de 200 kg ha⁻¹ de NPK associée à 100 kg d'urée, est la dose recommandée en riziculture, indifféremment de l'écologie rizicole ou du génotype de riz (variété). Ainsi, la problématique des doses d'engrais régionalisées et/ou spécifiques à la variété de riz, demeure à l'ordre du jour. Des études ont montré, par ailleurs, que l'utilisation des champignons mycorhiziens permet de réduire l'usage des pesticides, car leur présence protège les racines des plantes contre certains organismes pathogènes (Azcon-Aguilar et Bear, 1996 ; Duponnois *et al.*, 2001). Au niveau agronomique, l'apport des mycorhizes n'a pas eu d'effet sur la durée du cycle semis-maturité du riz. Cependant, l'apport des engrais minéraux seuls, en combinaison avec les mycorhizes a réduit le cycle du riz de 6 voire 8 jours. Les éléments nutritifs immédiatement disponibles avec l'apport des engrais minéraux contribuent sans délai à la nutrition de la plante de riz. Quant à la parcelle mycorhizée, un temps de latence est nécessaire au développement du réseau de hyphes du champignon, afin d'accroître les capacités de la plante à se

nourrir. Egerton-Warburton et Allen (2001) ont indiqué que ce réseau de hyphes prendrait une à deux semaines, selon les espèces de champignons et l'environnement de culture.

Concernant la croissance du riz, une hauteur optimale de 150 cm a été atteinte avec la combinaison biofertilisant et engrais minéraux. Les mêmes tendances ont été observées avec les biomasses produites à savoir : la biomasse racinaire (3 g/plant) et la biomasse aérienne (2,1 tha⁻¹). L'effet simple des mycorhizes sur ces variables a été presque toujours inférieure aux performances atteintes avec les engrais minéraux. Toutefois, la mycorhization présente un effet bénéfique significatif vis-à-vis du témoin non fertilisé. Cet effet bénéfique des mycorhizes sur les paramètres de croissance du riz, serait à mettre à l'actif des hyphes développés par le champignon. Ces filaments de par leur masse, ont une incidence sur le poids des racines et de par leur activité ont contribué à la nutrition de la plante de riz (Garbaye, 2000 ; Gobat *et al.*, 2003; Douds *et al.*, 2005 ; Lambers *et al.*, 2008). A propos des composantes du rendement paddy, les modes de fertilisation testés n'ont pas eu d'incidence sur le remplissage des grains et le poids de 1000 grains. Par contre, pour les variables les plus déterminantes comme le tallage, le nombre de panicules produites et le nombre d'épillets par panicule, il a été noté des différences significatives entre les traitements. La capacité de tallage du riz a été nettement améliorée avec, par ordre croissant : les mycorhizes (147,7 talles/m²), les engrais minéraux (190 talles/m²) et la combinaison mycorhizes-engrais minéraux (210 talles/m²). Cette tendance a été également observée pour le nombre de panicules et le nombre de grains par panicule. Tout comme ses principales composantes, le rendement paddy, est déterminé par le mode de fertilisation (Lacharme, 2001). En référence au témoin non fertilisé, l'apport des mycorhizes a permis un gain de rendement de 12,5%, soit plus d'une demi-tonne de paddy à l'hectare (0,67 tha⁻¹). De plus, en présence des engrais minéraux (NPK et Urée), les mycorhizes ont optimisé la production paddy, avec des gains de l'ordre de 64%, soit près d'une tonne de paddy à l'hectare (0,92 tha⁻¹). La combinaison fertilisation biologique – fertilisation minérale a, en effet, permis de doubler le nombre de talles et le nombre de panicules par rapport au témoin. Elle a, en outre, permis d'accroître le nombre de grains par panicule d'environ 50%.

A savoir que l'ajout des champignons améliore l'efficacité des engrais chimiques. Par conséquence, les quantités d'engrais chimiques apportées, pourraient être réduites en présence de mycorhizes. Ces engrais sont en effet nuisibles à la biodiversité des sols et en l'occurrence à la diversité végétale (Dechamplain et Gonelin, 2002). De plus, cette réduction va concourir à baisser les coûts liés à l'enrichissement des sols rizicultivés, et ce pour de meilleurs rendements paddy. En somme, l'étude a montré la possibilité de réaliser une symbiose riz-champignon mycorhizien. Cette symbiose permet un meilleur accès aux éléments nutritifs du sol, notamment le phosphore pour lequel les sols tropicaux présentent un déficit avéré. Les gains de rendements paddy obtenus en présence de mycorhizes témoignent de cette activité. En outre, la symbiose mycorhizienne n'a pas favorisé le développement de la maladie de l'helminthosporiose du riz, contrairement aux engrais minéraux. Ainsi, ces champignons se présentent-ils comme une excellente alternative aux produits chimiques.

Conclusion et perspectives

L'étude réalisée avait pour but d'apprécier l'efficacité d'un ingrédient mycorhizien sur le rendement du riz, en condition

pluviale stricte. Elle a été conduite dans la perspective d'une contribution à la fertilisation biologique du riz, pour une sécurité alimentaire des populations ivoiriennes, voire africaines. Les résultats obtenus ont montré un effet bénéfique des mycorhizes pour la culture du riz, aussi bien au niveau du sol qu'au niveau de la croissance et du développement des plantes. Les mycorhizes ont contribué au maintien de la structure du sol cultivé, grâce à leurs hyphes déployés autour des racines du riz. Ces réseaux donnent, en outre, un meilleur accès aux éléments nutritifs du sol, le phosphore notamment et ce, pour de meilleurs rendements paddy. Des gains de rendements de 12,5 % et 64 % ont été obtenus, respectivement avec l'apport des mycorhizes et, leur combinaison aux engrais minéraux. Les mycorhizes sont donc utiles pour une assimilation efficace des éléments minéraux disponibles ou fournis au sol. Il n'est donc pas exclu, en présence des champignons mycorhiziens, d'apporter des engrais (organiques ou minéraux) étant donné que le sol n'est pas une ressource inépuisable en nutriments.

Au regard de ces conclusions, il nous apparaît opportun de dégager quelques perspectives pour approfondir l'étude, en indiquant la nécessité de :

- déterminer la dose optimale Inoculant mycorhizien - engrais minéraux pour le riz de plateau ;
- étendre l'étude à l'écologie de bas-fond et à d'autres régions rizicoles de la Côte d'Ivoire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Albino U. B. et Andrade G., 2006. Evaluation of the functional group of microorganisms as bioindicators on the rhizosphere microcosm. In : Rai MK (ed) handbook of Microbial Biofertilizers. Food Products Press, pp 29-49.
- Amani K., Tao L., Touré A., Gbakatché H., Bouet A., N'Zué K. A., Kouamé B., Nguessan A. and Goula Bi A., 2017. Rainfed rice management adaptation to the increased climate variability in Côte d'Ivoire: application of ORYZA (V3) model to the bimodal areas of San-Pedro and Dimbokro. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol 20 n°3 juin 2017, pp 792-803.
- Assié K. H., Angui K. T. P. et Tania A. J., 2008. Effets de la mise en culture et des contraintes naturelles sur quelques propriétés physiques d'un sol ferrallitique au Centre Ouest de la Côte d'Ivoire : Conséquences sur la dégradation des sols. *European Journal of Scientific Research*, Vol. 23 n° 1, pp. 149 – 166.
- Azcon-Aguilar C. et Barea J. M., 1996. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens – An overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza* 6 : 457-464.
- Bahan F., 2017. Incidence de l'association riz (*Oryza sativa* L.) – maïs (*Zea mays* L.) sur quelques propriétés physico-chimiques d'un ferralsol, et sur leurs productions dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat Unique, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Côte d'Ivoire, 164 p + annexes.
- Bahan F., Kéli J., Yao-Kouamé A., Gbakatché H., Mahyao A., Bouet A. et Camara M., 2012. Caractérisation des associations culturales à base de riz (*Oryza sp*): cas du Centre-Ouest forestier de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 56, pp. 4118 - 4132.
- Barea J. M. and Jeffries P., 1995. Arbuscular mycorrhizas in sustainable soilplant systems. En : Varma., Hock B. (eds) *Mycorrhiza : Structure, function, molecular biology and biotechnology*. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 512-559.
- Bationo A., Baethgen W. E., Christianson C. B., and Mokwunye A. U., 1991. Comparison of five soil-testing methods to establish phosphorus sufficiency levels in soil fertilized with water-soluble and sparingly soluble phosphorus sources. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 28 : 271-279.
- Bationo A., Kihara J., Vanlauwe B., Waswa B. and Kimetu J., 2007. Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agri. Syst.*, 94 (1) 13-25.
- Becker M. and Johnson D.E., 2001. Cropping intensity effects on upland rice yield and sustainability in West Africa. *Nutr. Cycl. Agroecosys*, 59, 107-117.
- Berthelin J., Quantin J., Stemmler S., and Leyval C., 2004. Biodisponibilité du fer dans les sols : rôle majeur des activités microbiennes. *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France*.
- Bouet A., 2008. Contribution à la lutte contre la pyriculariose, maladie fongique du riz (*Oryza sativa* L.) en Côte d'Ivoire: Caractéristique de la population de l'agent pathogène (*Magnaporthe grisea*) et méthodes d'évaluation variétale pour la résistance à la pyriculariose foliaire et à la pyriculariose du cou. Thèse de Doctorat. Université de Cocody, Côte d'Ivoire. 114 p
- Boyer J., 1982. Les sols ferrallitiques: facteurs de fertilité et utilisation des sols Tome X. Initiation-documentations techniques n°52, ORSTOM, Paris, 384 p.
- Camara M., Valentin C. et Assa A. 2002. Propriétés physiques et hydrodynamiques d'un sol ferrallitique sous cultures vivrières en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, XIV (1), pp. 1 – 28.
- Cardoso I. M., Kuyper T. M., 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 116 : 72-84.
- CNRA, 2016. Centre National de Recherche Agronomique, Côte d'Ivoire. Rapport annuel d'activités du Programme riz/ Man 2015, pp 11-16.
- Dechamplain N. et Gonelin L., 2002. Les champignons mycorhiziens. Synthèse. Centre de Recherche en biologie forestière (CRBF), 12 p.
- Douds D. D., Jr Nagahashi G., Pfeffer P. E., Kayser W. M. and Reider C., 2005. On-farm production and utilization of arbuscular mycorrhizal fungus inoculum. *Canadian Journal of Plant Science*, 85 : 15-21.
- Doumbia S., Kéli J. et Dépieu E., 2005. Perception paysanne de l'innovation à travers l'évaluation participative en riziculture: intérêt et limite de la recherche. *Agronomie Africaine*, n°spécial (5), pp. 105-113. Amélioration de la productivité des variétés locales de *Oryza glaberrima* Steud par des croisements intra et interspécifiques avec *Oryza sativa* Linn. In: Hybridation interspécifiques au Bénin. ADRAO, Bouaké, Côte d'Ivoire, pp. 159 – 175.
- Duponnois R., Plenchette C., Prin Y. Ducouso M., Kisa M., Bâ A. M. and Galiana A., 2007. Use of mycorrhizal inoculation to improve reforestation process with Australian Acacia in Sahelian ecozones. *Ecological Engineering*, 29 : 105-112.
- Duponnois R., Plenchette C., Thioulouse J. and Cadet P., 2001. The mycorrhizal soil infectivity and arbuscular mycorrhizal fungal spore communities in soils of different

- aged fallows in Senegal. *Applied Soil Ecology*, 17 (3) : 239-251.
- Egerton-Warburton L. et Allen M. F., 2001. Endo- and ectomycorrhizas in *Quercus agrifolia* Nee. (Fagaceae) : patterns of root colonization and effects on seedling growth. *Mycorrhiza*, 11 : 283-290.
- FAO, 2001. Soil fertility management in support of food security in sub-saharan Africa. FAO, Rome.
- FAO, 2014. FAO. Organic Agriculture. www.fao.org/organicaag/oa-home/fr, consulté le 14 juillet 2017.
- Gala B.T.J., Camara M., Assa A. et Kéli Z.J., 2007. Problématique de l'utilisation des engrais minéraux dans les zones de production du riz: cas du centre-ouest de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* 19 (2), pp. 173-185.
- Garbaye J., 2000. The role of ectomycorrhizal symbiosis in the resistance of forests water stress. *Outlook on Agriculture*, 29 : 63-69.
- Gobat J. M., Aragno M. and Matthey W., 2003. Le sol vivant, 2e Edition. Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne, pp 238-251.
- He X. and Nara K., 2007. Element biofortification : can mycorrhizas potentially offer a more effective and sustainable pathway to curb human malnutrition? *trends in Plant Science*, 12 : 331-333.
- Hinsinger P., 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. *Plant & Soil*, 237: 173-195.
- Johnson D., Leake J. R., Ostle N., Ineson P., Read D. J., 2002. In situ (CO₂) -C-13 pulselabelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscular mycorrhizal mycelia to the soil. *New Phytologist*, 153 : 327-334.
- Konan K.U., 2016. Caractérisation des contraintes et écart de rendement en différents systèmes de culture à base du riz de plateau. Mémoire de Master de pédologie. Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 79 p.
- Konaté Z., Gala B. T. G., Messoum F. G., Sékou A., Yao-Kouamé A., Camara M. et Kéli Z. J., 2012. Alternative à la fertilisation minérale des sols en riziculture pluviale de plateau: apports des cultures de soja et du niébé dans la fertilité d'un ferralsole hyperdystrique au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 54, pp. 3859 – 3869.
- Koné B., Diatta S., Sylvester O., Yoro G., Camara M., Djidji D. D. et Assa A., 2008. Estimation de la fertilité potentielle des ferralsoles par la couleur. *Canadian Journal of Soil Science*, pp. 331 – 342.
- Koné B., Ettien JB., Amadji GL., Diatta S. et Camara M., 2010a. 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 ferralsoles sous jachères en Côte d'Ivoire. *E. G.S.*, 17 (1), 7-17.
- Koné B., Saidou A., Ettien JB. and Camara M., 2004b: Effects of Soil Nutrient efficiencies and Fertilizer Practice on the Decline of Rainfed Rice yield in the Humid forest zone of West Africa. Koné B (eds) advanced fertilizer technology, Vol 2. Pp. 61-72. Studium Press LLC, USA, India.
- Lacharme M., 2001. La fertilisation minérale du riz. Mémento Technique de Riziculture. 17 p
- Lambers H., Raven J.A., Shaver G. R. and Smith S.E., 2008. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends in Ecology & Evolution.*, 23 : 95-103.
- Landeweert R., Hoffland E., Finaly R. D., Kuyper T. W., and Van Breemen N., 2001. Linking plant to rocks : ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. *Trends in Ecology & Evolution.*, 16 : 248-255.
- Lerat S., 2001. Les champignons mycorrhiziens : une communauté souterraine méconnue. Centre de recherche en biologie forestière, Université Laval.
- MINAGRI, 2015. Ministère de l'Agriculture, Côte d'Ivoire. Catalogue officiel des variétés de riz vulgarisées en Côte d'Ivoire, pp 48-49.
- ONDR, 2016. Office national de Développement de la riziculture, Côte d'Ivoire. Statistiques. www.ondr./statistique_production.php. Consulté le 05 octobre 2017.
- Ouédraogo I., 2008. Incidence de l'helminthosporiose du riz au Burkina Faso et caractérisation des populations de l'agent pathogène [*Bipolaris oryzae* (Breda de han) Shoemaker]. Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 120 p + annexes.
- Premier Tech Falienor, 2013. Premier Tech Falienor, Aboisso. Produire plus et mieux : l'atout mycorrhize au service de l'agriculture africaine. Revue interne, publi-info, mai 2013.
- Rioux JA., 2001. Science des plantes, 2^e et 3^e parties : physiologie et domestication des plantes, Notes de cours, Université de Laval, Ste-Foy, 101 p.
- Sanchez P.A., Palm C.A. and Buol S. W., 2003. Fertility capability soil classification, a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma*, 114: 157-185.
- Selosse MC. et Le Tacon F., 1999. « Stratégie de la symbiose », Science et avenir, n° 633, pp 72-73.
- Singh, A. K., Prasad, M. S. I. and Sharma, Y. P., 2002. Management of brown spot of rice. *Indian Journal of hill farming*, Vol. 15, N°1, 15-17.
- Wopereis M. C. S., Defoer T., Idinoba P., Diack S. et Dugué M. J., 2008. Curriculum d'apprentissage participatif et recherché action pour la gestion intégrée de la culture de riz de bas-fond en Afrique Subsaharienne: Manuel technique. Le Centre du riz pour l'Afrique, Cotonou, Bénin, 132 p
