



ISSN: 0976-3376

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

ASIAN JOURNAL OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Asian Journal of Science and Technology
Vol.07, Issue, 03, pp.2588-2595, March, 2016

RESEARCH ARTICLE

IMPACT DE LA RIZICULTURE TRADITIONNELLE SUR LA FERTILITÉ DU SOL: INCIDENCE DE L'ASSOCIATION RIZ (ORYZA SATIVA L.) – MAÏS (ZEA MAYS L.) SUR QUELQUES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES D'UN FERRALSOL DANS LE CENTRE OUEST DE LA CÔTE D'IVOIRE

*¹Bahan, F., ²Kassin, K., ¹Koné, B., ³Johnson, J.M., ²Gbakatchétché, H., ²Bouët, A., ²Kéli, Z.,
¹Yao-Kouamé, A. and ²Et Camara, M.

¹Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, Département des sciences du sol, UFR des sciences de la terre et des ressources minières, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

²Centre National de Recherche Agronomique, 01 BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

³Centre du riz pour l'Afrique (AfricaRice), 01 BP 2031 Cotonou, Bénin

ARTICLE INFO

Article History:

Received 17th December, 2015

Received in revised form

30th January, 2016

Accepted 02nd February, 2016

Published online 31st March, 2016

Key words:

Rice-maize intercropping,
Ferralsol, Physical fertility,
Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

Impact of traditional rice cultivation on soil fertility: Incidence of riz (Oryza sativa L.) - maize (Zea mays L.) cropping on some physical properties of ferralsol in the Middle West of Côte d'Ivoire. Rice-maize intercropping is a common practice in traditional rice production system. In order to know the impact of this farming method on soil fertility, an experiment was conducted on a ferralsol of semi-deciduous zone of the Middle West of Côte d'Ivoire. Experimental device is a split-plot, with two factors: rice variety and maize density associated with rice. Study confirmed the changes of soil properties related to its cultivation. Evolution of morphological characters is observed at the surface horizon (0-25 cm). Color is changed from a very dark gray (10YR 3/1) in a dark strand (10YR 3/4). Horizon thickness was reduced by 50 mm on average, it is related to its compaction and from fine sand. Bulk density average had an increase of 0.003 g / cm³. And, the analysis revealed a positive correlation between this parameter and the density of maize associated with rice. At the flowering stage, it was demonstrated that risk of competition for water increases with maize density. Therefore, the best rice yields are obtained on low maize densities in the association, between 5000 and 20,000 plants / ha.

Copyright © 2016 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, le riz (*Oryza sativa L.*) constitue l'une des principales cultures vivrières. Il est cultivé sur environ 650 000 hectares ; ce qui représente 20 p.c. des superficies emblavées pour l'ensemble des productions vivrières. En outre, la consommation ivoirienne de riz a plus que doublé ces trente dernières années, passant de 30 kg/habitant/an en 1981 à 70 kg/habitant/an, aujourd'hui (Hirsch, 1993 ; FAO, 2013). Cette évolution de la demande en riz est soutenue par les changements d'habitude alimentaire et un accroissement démographique au taux de 3,7 p.c. par an. Mais, le pays ne produit que 40 à 45 p.c. de ses besoins de consommation. Le déficit est comblé par des importations massives. Comme pour la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest, la riziculture ivoirienne est de type traditionnel ; allusion faite à la

*Corresponding author: Bahan, F.,

Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan,
Département des sciences du sol, UFR des sciences de la terre et des
ressources minières, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

riziculture pluviale qui représente 90 p.c. des superficies rizicoles. Généralement, le riz pluvial vient en tête de rotation après une nouvelle défriche, et, est cultivé presque toujours en association avec d'autres productions vivrières et ou de rentes. Le pivot de ces associations culturales est le binôme riz-maïs (Ndabalishye, 1995 ; N'da, 2002 ; Camara et Koffi, 2004). La culture est manuelle ; il n'y a quasiment pas d'apport d'intrants chimiques (engrais, herbicides, pesticides). Traditionnellement, un cycle cultural de courte durée (1 à 2 ans) et une période de jachère assez longue (plus de 15 années) permettaient la régénération de la fertilité du sol. Aujourd'hui, avec la pression sur les terres, la durée de la jachère n'excède-t-elle pas 4 ans (Bahan et al., 2012). Contrairement aux associations à base de cultures rentes (café, cacao, hévéa) qui ont fait l'objet d'études approfondies (Lachenaud, 1987 ; N'Goran et Snoeck, 1987 ; Kéli et al., 2005), la recherche sur les cultures associées à base de vivriers et en particulier de riz, est insignifiante. Les travaux réalisés à ce jour, ont porté sur la caractérisation de ces systèmes et la détermination de densités optimales de semis (IRRI ; 1976 ; N'da, 2002 ; Bahan, 2006).

d'Ivoire. Les coordonnées du site expérimental sont : 6°08'11,1" de latitude Nord et 5°53'59,8" de longitude Ouest. Le climat de la zone d'étude est de type tropical humide. Il est caractérisé par deux saisons humides qui alternent avec deux saisons sèches. La grande saison humide s'étend de mars à juin et la petite saison humide va de septembre à novembre. Au cours des deux années d'expérimentation 2009 et 2010, des pluviométries moyennes annuelles respectives de 1437 mm et 1863 mm ont été enregistrées sur le site. En 2009, en particulier, la grande saison pluvieuse a été perturbée, et la petite saison, réduite au mois de novembre (Figure 1). Par ailleurs, la végétation de la région d'étude est une forêt tropicale semi-décidue. Les sols reposent sur des formations du précambrien, constituées de micaschistes, de gneiss, de granites et de granodiorites à migmatites (Papon, 1973). Ils sont de la classe des ferralsols en zone drainée (plateau) ou de la classe des sols hydromorphes à gleys en zone mal drainée (bas-fond).

Tableau I. Résultats de l'analyse du nombre de turrucules de ver de terre en début d'essai et en fin d'essai, à Gagnoa

	Nombre de turrucules de ver de terre /m ²	
	Début (2009)	Fin (2010)
Minimum	268	5
Maximum	387	49
Moyenne	336	21
CV (p.c.)	27,2	10,1

Tableau II. Effet simple du facteur densité de maïs sur taux de dissolution des turrucules de ver de terre, à Gagnoa

	Taux de dissolution des turrucules de ver de terre (p.c.)	
	Après année 1	Après année 2
Facteur densité de maïs		
DM0 (0 plants/ha)	92,8b	99,1b
DM1 (5 000 plants/ha)	93,0b	99,1b
DM2 (10 000 plants/ha)	90,6c	99,4a
DM3 (20 000 plants/ha)	95,4a	99,6a
DM4 (40 000 plants/ha)	95,7a	99,6a
DM5 (53 333 plants/ha)	95,3a	99,6a
Moyenne générale	93,8	99,4
Probabilité	< 0,001	< 0,001
CV (%)	12,1	4,0
Interprétation statistique	HS	HS

Les chiffres affectés d'une même lettre ne diffèrent pas significativement (test de Newman-Keuls p = 0,05)

Tableau III. Résultats de l'analyse de la densité apparente du sol (0 - 20 cm) en début et en fin d'essai

	Densité apparente du sol (g/cm ³)	
	Début (2009)	Fin (2010)
Minimum	1,33	1,35
Maximum	1,50	1,53
Moyenne	1,45	1,47
CV (p.c.)	3,86	3,80

Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de deux variétés de riz pluvial NERICA1 et Kolitchè et, une variété de maïs. Le NERICA1 est une variété de riz interspécifique de plateau, mise au point par AfricaRice (exADRAO) et qui est en diffusion depuis une dizaine d'années, notamment en Côte d'Ivoire. Le NERICA1 a un cycle court (90 – 110 jrs). La variété de riz traditionnelle, dénommée Kolitchè. Elle est de cycle moyen (115 – 120 jrs) et est très prisée dans la région d'étude. Concernant le maïs, la

variété utilisée, est sélectionnée et à grain jaune. Son cycle ultra-précoce est de 85 à 90 jours.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est un split-plot à quatre répétitions (ou blocs). Les facteurs considérés sont : la variété de riz à 2 modalités Kolitchè (K) et NERICA1 (N), et la densité de maïs avec 6 modalités (M0 = absence de maïs ; M1 = 5 000 plants/ha ; M2 = 10 000 plants/ha ; M3 = 20 000 plants/ha ; M4 = 40 000 plants/ha et M5 = 53 333 plants/ha). Les traitements (KM0, KM1, KM2, KM3, KM4, KM5, NM0, NM1, NM2, NM3, NM4, et NM5), correspondent à la combinaison des différents niveaux des facteurs et sont disposés de façon aléatoire au sein des grandes parcelles (variétés de riz). Chaque bloc comporte ainsi 12 traitements. La parcelle élémentaire couvre 32 m² et abrite 2 carrés d'observation de 4 m² de dimensions pour tenir compte des écartements des interlignes de maïs.

Conditions de réalisation de l'essai

La parcelle expérimentale a été implantée sur un versant (mi-versant) de pente 5 p.c. La végétation initiale, composée en majorité de graminées (*Panicum maximum*) avec la présence de dicotylédones (*Chromolaena odorata*) et de légumineuses (*Pueraria phaseoloides*). La mise place a commencé par le défrichage. Puis les débris et souches ont été retirés de la parcelle. Les semis du riz et du maïs ont été effectués en début de la grande saison des pluies (fin mars - début avril). Ils ont été réalisés de manière synchronisée. Les démarrages du riz (2 brins par poquet) et du maïs (1 plant par poquet) ont été effectués 10 à 15 jours après le semis (jas). Par ailleurs, l'entretien de la parcelle a été réalisé par désherbage manuel en deux passages (25 jas et 50 jas). Enfin, les récoltes du riz et du maïs sont intervenues au stade maturité. En deuxième année, l'essai a été reconduit avec les mêmes activités. La figure 2 présente les dispositions des poquets et des lignes de riz et de maïs dans les différents traitements.

Collecte de données

Caractères morphologiques du sol

La description des caractères morphologiques du sol a été réalisée avant la mise en place de l'essai et l'autre à la fin de l'essai. Elle l'a été pour chacune des parcelles élémentaires sur les carottes de terre obtenues à partir d'un tube cylindrique. Les échantillons de sol prélevés ont été décrits selon les caractères morphologiques ci-après.

Couleur du sol

L'évaluation de ce caractère indique, selon la teinte, la présence de certains constituants d'un sol. Sur le terrain, la couleur, qui est déterminée grâce au Code Munsell, permet de savoir si le drainage interne est bon ou médiocre.

Texture du sol

La texture est la proportion de l'argile, sable et limon dans le sol. La texture influence les caractéristiques physiques (densité apparente, porosité...) et hydrodynamiques du sol (infiltration,

réserve en eau). Sur le terrain, cinq classes texturales ont été déterminées en se fondant sur la formation d'un boudin. Ce sont : la texture sableuse, le boudin ne se forme pas car tous les éléments se dispersent dans la main ; la texture limono-sableuse, le boudin se forme difficilement dans la main ; la texture sablo-argileuse, le boudin se forme mais se casse déjà dans la main ; la texture argilo-sableuse, le boudin se forme dans la main, mais il se casse lorsqu'on le plie ; la texture argileuse, le boudin se forme et se plie comme une pâte à modeler (Yoro, 2002).

Structure du sol

La fertilité d'un sol dépend tout autant de sa structure que de sa texture. La structure du sol est la manière dont les particules élémentaires du sol sont assemblées. Cette structure peut être grumeuleuse, polyédrique, lamellaire ou prismatique. Les conditions sont plus favorables pour le développement des cultures lorsque le sol a une structure grumeuleuse (Yoro, 2002).

Éléments grossiers du sol

Les éléments grossiers sont les constituants du sol ayant un diamètre supérieur à 2 mm. Ils influencent également la réserve en eau du sol. En effet, s'ils ont un taux pondéral supérieur à 50 p.c., ils réduisent considérablement l'eau dans le sol (Boa, 1989). Leur nature a été signalée lors de la description.

Profondeur du sol

Certains profils du sol permettent aux racines des cultures de pénétrer facilement, tandis que d'autres profils sont des obstacles. Le système racinaire de la plante de riz, comme la plupart des graminées, est peu profonde, jusqu'à 40 cm de profondeur (Wopereis *et al.*, 2009). Le niveau de limitation de la profondeur utile a donc été évalué lorsque la carapace affecte les sols à moins de 40 cm.

Mesure de la densité apparente du sol

Selon Yoro et Assa (1986), la densité apparente du sol est liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol. La densité apparente des sols (D_a) a été déterminée par la méthode au sable (Yoro, 1992). Elle consiste à creuser une cavité dans le sol, à l'intérieur d'une plaque métallique fixée parallèlement à la surface du sol par des piquets. La totalité de la terre est recueillie pour en déterminer le poids sec. La cavité est ensuite remplie à l'excès, avec le sable marin préalablement calibré (1-0,8 mm de diamètre, 1,56 g/cm³ de masse volumique). Les mesures ont été réalisées dans les 20 premiers centimètres du sol, dans chacune des parcelles élémentaires. Les mesures ont été réalisées sur les parcelles à l'état initial et à l'état final.

Mesure de l'humidité du sol

L'humidité du sol a été déterminée par la méthode gravimétrique. Les prélèvements sont réalisés autour de la floraison, période qui correspond à une couverture maximale du sol par les cultures et un besoin en eau accrue (Katerji et Cruiziat, 1984). L'humidité pour chaque tranche d'horizon de

15 cm jusqu'à 45 cm de profondeur, a été déterminée. Pour extraire l'eau contenue dans un échantillon de sol, celui-ci est placé dans une étuve à 105°C, pendant 24 heures. La masse d'eau est déduite de la différence entre le poids humide de l'échantillon de sol (P_1) et son poids sec (P_2). Cette masse d'eau est ensuite rapportée au poids sec, pour obtenir l'humidité massique ou pondérale en p.c. (H_p) selon l'équation

$$H_p = [(P_1 - P_2) / P_2] \times 100$$

Rendements grains des cultures

Le calcul du rendement en grain est réalisé avec les formules suivantes:

Pour le riz:

$$\text{Rendement (t/ha)} = (\text{nombre de plantes par m}^2) \times (\text{nombre de panicules par plante}) \times (\text{nombre de grains par panicule}) \times (\text{p.c. de grains pleins}) \times (\text{poids de 1 000 grains en g}) \times 10^{-3}$$

Et, pour le maïs:

$$\text{Rendement (t/ha)} = (\text{nombre de plantes fertiles par m}^2) \times (\text{nombre d'épis par plante fertile}) \times (\text{nombre de grains par épi}) \times (\text{poids de 100 grains en g}) \times 10^{-4}$$

Analyse statistique

Elle a été effectuée en utilisant l'analyse de variance suivie éventuellement des tests de comparaisons multiples. La séparation des valeurs moyennes s'est appuyée sur la méthode de la plus petite différence significatives (pps) au seuil de $\alpha = 0,05$. Les paramètres statistiques, les interactions, les régressions linéaires et les corrélations multiples ont été calculés au moyen du logiciel GenStat Discovery édition 4.

RESULTS

Description des caractères morphologiques

Etat initial

Les caractères morphologiques des horizons étudiés montrent que le sol du site d'étude est profond jusqu'à 100 cm de profondeur. Les éléments grossiers quartzueux sont caractéristiques de la roche-mère granitique. Il appartient à la famille des sols ferrallitiques fortement désaturés en bases (ou ferralsols). Les processus pédogénétiques secondaires qui caractérisent ce sol sont le remaniement et le rajeunissement. Nous avons pu observer du sommet vers la base:

- un horizon humifère (A) (0 à 25 cm) recouvert de nombreuses turricules de ver de terre, de couleur gris très sombre (10 YR 3/1) à gris sombre du sommet vers la base, et, frais. Sa texture est sablo-argilo-limoneuse, et sa structure est grumeleuse massive avec des agrégats moyennement résistants. C'est un horizon meuble très poreux et comportant des cavités de vers, de fourmis et de termites. La teneur en éléments grossiers de cette couche est inférieure à 10 p.c. La transition avec l'horizon sous-jacent est nette.
- un horizon d'accumulation (B) (25 à 60 cm) de couleur brun jaunâtre à brun rougeâtre du sommet vers la base. Il

est humide et présente une texture argilo-sableuse. Sa structure est massive avec un débit peu fragile à tendance polyédrique subanguleuse. Les racines rares et fines se situent vers le sommet. Les éléments grossiers sont des gravillons de quartz (rares) et des nodules ferrugineux (> 50 p.c.).

- un horizon de type (BC) (60 à 100 m), de couleur brun rougeâtre avec des tâches jaunâtres d'oxydes et hydroxydes. Plus humide, cet horizon a une texture argileuse. Il présente une structure massive à sous-structure fragmentaire polyédrique, à éclat anguleux. C'est une couche très compacte dans laquelle les racines sont quasiment rares. Et, qui repose sur l'horizon altéritique (C).

Etat final

Après les deux années de cultures, les modifications des caractères morphologiques du sol sont observées au niveau de l'horizon humifère. Ces modifications portent sur la profondeur, la teinte (ou couleur), la proportion d'éléments grossiers, le nombre de tortillons de ver de terre, la densité apparente et l'humidité de l'horizon. La teinte de l'horizon de surface est devenue plus claire passant du gris très sombre au gris sombre (10 YR 3/4). La profondeur est passée de 25 à 20 cm notamment avec le départ de la terre fine et du sable. Le taux d'éléments grossiers s'est très sensiblement accru mais demeure inférieur à 10 p.c. Les trois autres paramètres (nombre de tortillons, densité apparente et humidité du sol) ont fait l'objet d'analyses statistiques dont les résultats sont présentés dans les paragraphes ci-après.

Densité de tortillons de ver de terre

Le nombre de tortillons (ou excréments) de ver de terre varie, globalement, en moyen, de 336 tortillons/m² avant la mise en culture à 21 tortillons/m² à la fin de l'essai (Tableau I). Les résultats d'analyse de variance révèlent que l'interaction entre les facteurs étudiés (variété de riz et densité de maïs) n'est pas significative au seuil de probabilité de 0,05, pour les deux campagnes (2009 et 2010). Cependant, l'effet simple du facteur densité de maïs est significatif. Le tableau II présente les résultats de l'effet simple du facteur densité de maïs sur le taux de dissolution des tortillons de vers. A la fin de la première campagne (2009), ce taux est déjà très élevé avec une moyenne de 93, 8 p.c. Cette moyenne atteint les 99, 4 p.c. à la fin de la deuxième campagne. De manière générale, le taux de dissolution des tortillons croît avec la densité de maïs associée au riz.

Densité apparente du sol

Les valeurs de la densité apparente du sol à l'état initial sur la parcelle expérimentale sont comprises entre 1,33 g/cm³ et 1,50 g/cm³. En année 2, on note des valeurs relativement plus élevées qui oscillent entre 1,35 g/cm³ et 1,53 g/cm³ (Tableau III). Selon les résultats d'analyses, l'interaction entre la variété de riz et la densité de maïs n'est pas significative, contrairement à l'effet simple du facteur densité de maïs qui lui est hautement significatif. En outre, l'écart entre la valeur initiale et la valeur finale de la densité apparente du sol croît avec la densité de maïs associée au riz (Figure 3). L'ajustement du taux de variation de la densité apparente en fonction de la densité de maïs associée au riz, est une droite d'équation : $Y = 0,1153 X + 1,0696$ avec R^2 égal à 0,7958.

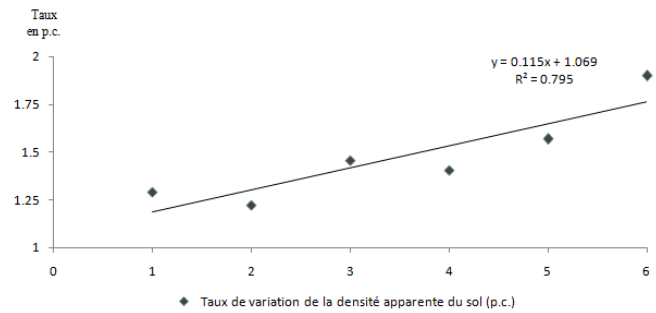


Figure 3. Evolution du taux de variation de la densité apparente du sol en fonction de la densité de maïs associée au riz (2009 à 2010), Gagnoa

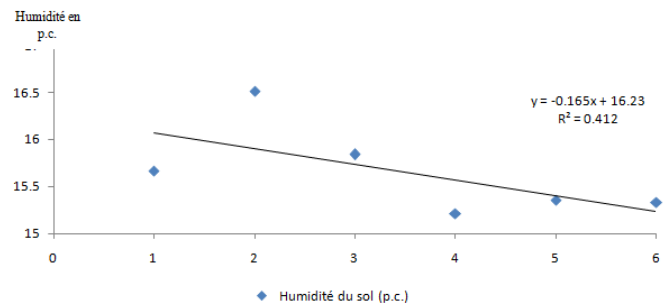


Figure 4. Evolution du taux d'humidité du sol (15 – 30 cm) en fonction de la densité de maïs associée, Gagnoa

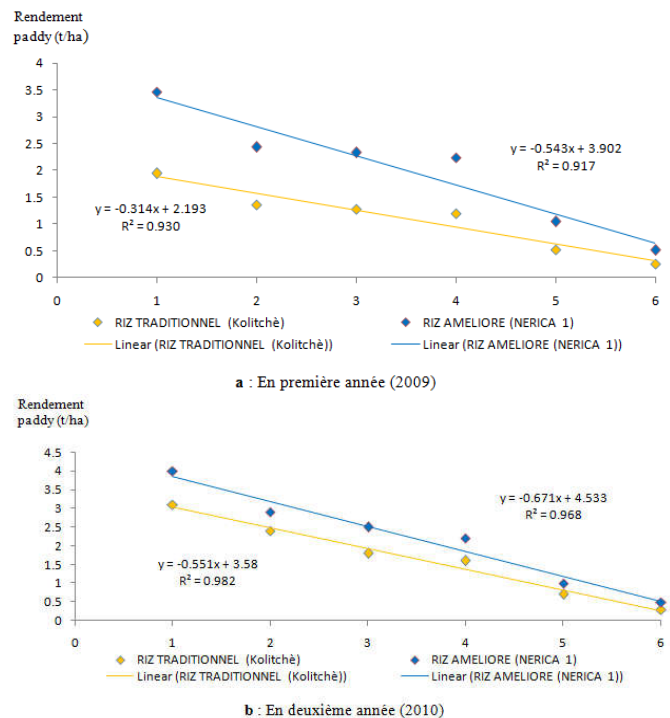


Figure 5. Evolution des rendements de riz en fonction de la variété de riz et de la densité de maïs, Gagnoa

Humidité du sol

L'humidité du sol est considérée à deux niveaux : son évolution et son état dans les différents traitements autour de la floraison. L'humidité du sol (0 – 20 cm) passe de 23 p.c. en moyenne (état initial) à 6,18 p.c. (état final). Ce qui traduit un assèchement de l'horizon de surface avec la mise en culture du

sol. En considérant le taux de variation de l'humidité, l'analyse statistique a permis de conclure que ni l'interaction entre les variables étudiées, ni leurs effets simples ne sont significatifs.

A la date de la floraison, pour la couche superficielle (0 – 15 cm) et la couche profonde (30 – 45 cm), les analyses n'ont pas donné de résultats significatifs aussi bien pour l'interaction que pour les effets simples des facteurs étudiés. Mais pour la couche intermédiaire (15 – 30 cm), l'effet simple du facteur densité de maïs a été significatif. La relation entre la densité de maïs et l'humidité du sol dans une association riz – maïs peut alors être modélisée par une droite d'équation : $Y = -0,1651X + 16,231$. Mais, le coefficient de détermination $R^2 = 0,4128$ en dessous de 50 p.c., rend ce modèle très peu fiable (Figure 4).

Rendements grains du riz et du maïs

Le rendement grain moyen du maïs a été de 1,42 t/ha en première année (2009) contre 1,12 t/ha en deuxième année, soit une baisse de 21,6 p.c. Pour le riz, en 2009, les rendements paddy obtenus avec la variété NERICA 1 sont quasiment les doubles de ceux obtenus avec la variété Kolitchè. En 2010, les écarts de rendements sont plus réduits, mais NERICA 1 demeure plus performantes (Tableau IV et V). Les tests de Newman-Keuls permettent de dire que le traitement KDM5 donne les plus faibles rendements et qui sont statistiquement différents des autres (0,26 t/ha en 2009 et 0,32 t/ha en 2010). En situation d'association, les rendements paddy les plus élevés sont obtenus avec le traitement NDM1 avec 2,43 t/ha en 2009 puis 2,94 t/ha en 2010. L'évolution du rendement paddy en fonction de la densité de maïs associés est illustrée à la Figure 5. On observe que l'accroissement de la densité de maïs associée au riz entraîne une baisse de la production de paddy.

DISCUSSION

De nombreux travaux ont montré que la mise en culture des sols contribue à leur dégradation physique et chimique sous l'influence de plusieurs facteurs, notamment le climat (insolation et pluies) les pratiques culturales, le type de culture et la pente (Boyer, 1982 ; Pichot *et al.*, 1995 ; Camara *et al.*, 2002 ; Assié, 2008). L'étude des propriétés physiques d'un ferralsol sous les associations des céréales (riz et maïs) a révélé que les principaux changements portent sur l'horizon de surface. La situation initiale de ce sol de plateau, après cinq années de jachère naturelle, est caractérisée par une bonne épaisseur de la couche humifère. Sa couleur très sombre est caractéristique de sa richesse en humus (Yoro, 2002). Et, la présence de nombreux tortillons ou excréments de vers de terre (336 tortillons/m² en moyenne) et de cavités témoignent d'une intense activité biologique. Des études réalisées en France, ont montré que la densité des excréments de vers de terre était de moins de 100 au m² dans les sols peu fumés à plus de 1000 au m² dans les sols recevant d'abondants apports organiques. Mais, la situation pédoclimatique généralement favorable en France, en région tempérée (Baldy et Stigter, 1993), se situe à l'opposé de celle de la Côte d'Ivoire, en zone tropicale. Aussi, la valeur déterminée au cours de l'étude qui serait jugée passable à l'échelle européenne, pourrait tout de même, être considérée comme élevée dans le contexte de Gagnoa, en région tropicale. Le sol, à l'état initial, présenterait, alors, une assez bonne porosité avec des agrégats stables, un pH voisin de 7, et, une disponibilité pour les plantes en certains éléments

minéraux tels que le K, le P et le Mg assimilables (Soltner, 1988). L'assez bonne porosité du sol est aussi corroborée par la valeur moyenne assez relativement faible de la densité apparente du sol. En effet, d'après De Leener (1958), cité par Soltner (1988), il existe une corrélation négative entre la densité du sol et la porosité du sol. La porosité du sol, définie comme le volume des vides de ce sol exprimé en pourcentage (p.c.) du volume total, permet de donner une idée assez juste de l'état de la structure d'un sol (Yoro, 1983 ; Soltner, 1988). La structure initiale du sol de la parcelle d'essai peut alors être considérée comme assez bonne. La valeur moyenne de la densité apparente du sol est de 1,45 g/cm³. Cette moyenne est conforme à celle obtenue par Kassin (2009) à partir de trois mesures de densité apparente sur le même site et pour la même position topographique. Toutefois, la dispersion des valeurs de la densité apparente déterminées par la présente étude (1,33 g/cm³ à 1,50 g/cm³) et celles obtenues par Kassin (2009) (1,35 g/cm³ à 1,57 g/cm³), révèle que les valeurs de la densité pour l'étude sont globalement plus faibles. En comparant ces résultats à ceux de Assié *et al.*, (2008), dans la région voisine de Oumé (à l'Est du site), cette valeur moyenne obtenue, serait caractéristique des sols des forêts secondaires et des agrosystèmes anthropisés. Sur notre site, il s'agit, plus exactement, d'un agrosystème anthropisé. Après deux années de culture, les nombreux tortillons ou excréments de vers de terre ont quasiment disparu. Le taux de disparition (dissolution ou fusion) des tortillons a atteint 93,8 p.c., en moyenne, déjà en première année. Et, ce taux croît avec la densité de maïs associée au riz, à savoir que la présence de maïs accélère la destruction des tortillons. En outre, la texture sablo-argilo-limoneuse, de teinte foncée, à l'origine, est devenue seulement sablo-argileuse, et, présente une teinte plus claire ; Ce qui traduit le départ progressif de la fraction fine et la réduction de la teneur en humus du sol. En effet, Koné *et al.*, (2008), ont mis en évidence un gradient décroissant des indicateurs de la fertilité du sol (Argile, Sable, Limon, C, P, N, Ca, Mg) avec le jaunissement croissant de la teinte du sol.

La comparaison de la valeur de départ de la densité apparente du sol à la valeur finale (1,47 g/cm³ en moyenne) permet de conclure à une réduction de la porosité du sol. Il y a également lieu de soupçonner un compactage du sol notamment avec la diminution de l'épaisseur de l'horizon A, qui passe de 25 cm à 20 cm de profondeur. En outre, l'étude a montré que l'écart entre la valeur initiale et la valeur finale de la densité apparente du sol croît avec la densité de maïs associée au riz. Par conséquent, la porosité du sol diminue progressivement avec la densité de maïs. Ce qui impliquerait que le compactage du sol est un lien avec la densité de maïs dans l'association. Au-delà de l'interprétation des relations entre la densité apparente et le compactage du sol, des mesures directes fourniraient plus de renseignements sur la compaction du sol sous l'association riz-maïs. Par exemple, Assié (2004), pour l'étude de la compaction du sol sous la culture de l'hévéa, a utilisé un pénétromètre manuel à pression verticale. Par ailleurs, Camara *et al.*, (2002) ont montré que la capacité de couverture du sol d'une plante cultivée influe sur le processus de dégradation des sols. Sous les cultures dites « érosives » comme le riz et le maïs, le sol est exposé à l'intensité des pluies. L'énergie des gouttes de pluies déclenche le processus de destruction de la matière organique et des agrégats à la surface. Ce processus conduit à la formation d'une pellicule de battance qui favorise le ruissellement et le transport des

particules détachées. La couche superficielle la plus fertile est alors décapée et les nutriments emportés. Ce sont les pluies intervenant après les phases de sécheresse qui sont les plus destructrices (Ellison, 1944 et 1945 ; Boyer, 1982). L'état hydrique du sol caractérisé par l'humidité permet de présager des risques de compétition pour l'eau dans l'association riz-maïs. L'analyse du taux d'évolution de l'humidité du sol sous les différentes associations riz-maïs n'a pas mis en évidence de différences significatives. Mais, la détermination de l'humidité du sol à la période de floraison des cultures, a montré des différences significatives pour les densités de maïs et, à la profondeur 15 – 30 cm. L'humidité à ce stade phénologique est donc fonction de la profondeur du sol et de la densité de maïs. D'après Echbach (1996), l'humidité du sol varie selon les plants cultivés, la localisation du point de mesure et la profondeur. Le riz favoriserait alors une relative humidité du sol par rapport au maïs. Au stade floraison des cultures, la relation entre l'humidité du sol et la densité de maïs est traduite par une droite d'équation de type : $y = - aX + b$. Le coefficient directeur étant de signe négatif, cela implique que l'humidité du sol et la densité de maïs sont inversement proportionnelles. Par conséquent, le risque de compétition entre le riz et le maïs pour l'eau augmente progressivement avec la densité de maïs. Selon Assiri (1996), d'autres facteurs tels que la croissance permettent également d'analyser la compétition pour l'eau. Ainsi, la meilleure croissance du riz obtenue en culture pure pourrait faire penser à l'absence d'une compétition hydrique. Cette étude de l'état hydrique du sol sous les associations riz-maïs ne permet pas de conclure avec certitude sur l'aptitude du maïs à concurrencer le riz. Une détermination de l'humidité aux différents stades phénologiques des deux cultures fournirait plus de renseignements.

Il est opportun de remarquer que l'étude pédologique aurait pu s'enrichir de résultats d'analyses physico-chimiques. Ces résultats auraient permis d'observer l'évolution du statut chimique et organo-minéral des différentes associations riz-maïs étudiées. Des travaux ont montré que l'association culturale entraîne un appauvrissement de la couche de sol 0 – 30 cm en bases échangeables, imputable à une lixiviation de ces éléments par les eaux de percolation et de ruissellement superficiel (Boyer, 1982 ; Yoro, 1983), mais aussi aux prélèvements de nutriments par les cultures (Assiri, 1996).

Les résultats d'analyses minérales doivent compléter l'étude et permettre de conclure sur la nature et l'intensité des compétitions entre le riz et le maïs pour les éléments minéraux et d'anticiper sur ces phénomènes par une fertilisation raisonnée. Pour une meilleure interprétation des résultats obtenus sur la croissance et le développement des cultures associées, il est nécessaire de rappeler les conditions environnementales qui ont prévalu lors des essais, en particulier la pluviosité. En effet, en première 2009, une période de sécheresse est intervenue à partir de la première décade de juillet, engendrant un déficit hydrique. La période de déficit hydrique a donc perturbé les phases de production de la variété traditionnelle de riz. Mais, le maïs et le NERICA1 ultra-précoces ont pu achever leur cycle sans dommage. En deuxième (2010), la pluviométrie n'a pas connu de perturbations. La hauteur moyenne de pluies a, au contraire, atteint une moyenne annuelle de 1 863 mm, valeur la plus élevée des 40 dernières années enregistrée dans la région

(Kouamé *et al.*, 2007). Ce qui a été bénéfique à toutes les cultures. Ainsi, il apparaît que la précocité du cycle des cultures, constitue un atout majeur en agriculture vivrière, face aux aléas climatiques. Les valeurs obtenues pour le riz en première année (2009) sont en deçà de celles obtenues en deuxième année (2010). Le déficit hydrique en première année permet de justifier ce constat. La variété améliorée NERICA 1 a présenté une meilleure tolérance à la sécheresse. La nature du parent *O. glaberrima* des NERICA qui possède de nombreuses qualités telle que la résistance à la sécheresse (Adeyemi et Vodouhe, 1997) peut expliquer cet état des faits. Ainsi, en première année les rendements de la variété améliorée dans les associations sont quasiment les doubles de ceux obtenus avec la variété traditionnelle. En deuxième année, les écarts de rendements entre les deux variétés testées sont plus réduits, avec une variété améliorée toujours plus productive. De plus, il a été montré que la relation entre le rendement paddy et la densité de maïs pouvait être modélisée par une équation de droite de type $y = - aX + b$. Le signe négatif du coefficient directeur de la droite, indique que les meilleurs rendements paddy sont obtenus avec de faibles densités de maïs dans l'association. Ainsi, en fonction de l'objectif de production du riziculteur, la densité de maïs à associer au riz pourrait être aisément déterminée. Toutefois, à cause de la variabilité des conditions du milieu (climat et sol), ce modèle ne peut s'appliquer que pour des variétés des cultures (riz et maïs) et, dans un environnement aux caractéristiques proches de celles de l'étude. Concernant le maïs, les analyses statistiques n'ont pas mis en évidence l'effet de l'association sur les rendements grains. La présence du riz n'a donc pas eu d'influence notable sur la production du maïs. Le maïs se montre toujours plus compétitif que le riz dans l'association ; Selon Salez (1988), le maïs, dans le cas des associations de vivrières est toujours l'espèce dominante.

Conclusion

L'étude de l'incidence de l'association culturale riz (*Oryza sativa*) – maïs (*Zéa mays*) sur la fertilité physique du sol, a été inspirée par la nécessité d'approfondir les connaissances sur les systèmes de cultures du riz en Côte d'Ivoire. L'objectif global est de contribuer à l'amélioration des performances de la riziculture ivoirienne dans l'optique d'assurer la sécurité alimentaire du pays. Deux années d'expérimentation ont suffi à montrer la dégradation de l'état physique du sol sous l'association culturale riz-maïs. Les mesures de la densité apparente du sol, ont mis en évidence une corrélation positive entre la densité de maïs associée au riz et la densité apparente du sol. En outre, l'humidité du sol n'est pas améliorée sous l'association riz-maïs. Toutefois, les mesures effectuées au stade de floraison des cultures ont montré que le risque de compétition pour l'eau, augmentent avec la densité de maïs. La réponse du riz, du point de vue du rendement grains, aux densités de maïs testées peut être modélisée par une droite dont le coefficient directeur est de signe négatif ; traduisant ainsi que les meilleurs rendements paddy correspondent à de faibles densités de maïs dans l'association. Cette étude a montré que la pratique de la culture associée riz-maïs n'est pas sans conséquence sur le sol de la région, au niveau de fertilité initiale déjà relativement bas. La part de la fertilisation est alors sans doute importante. Des analyses physico-chimiques du sol et des analyses minérales d'organes (les feuilles par exemple) restent à réaliser afin de compléter l'étude amorcée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adeyemi, P. and Vadouhe, S. R. 1997. 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.
- Assié, K. H. 2004. L'effet de la compaction du sol sur l'enracinement de l'hévéa (*Hevea brasiliensis*). Mémoire de DEA, Université Abobo-Adjamé, 55 p.
- Assié, K. H., Angui, K. T. P. and 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.
- Assiri, A. A. 1996. Contribution à l'étude de l'évolution des paramètres du milieu (eau du sol, éléments minéraux et lumière) sous l'influence de différents systèmes de cultures associées à base d'hévéa. Mémoire de DAA, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 55 p.
- Bahan, F., Kéli, J., Yao-Kouamé, A., Gbakatchéché, H., Mahyao, A., Bouet A. and 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.
- Bahan, F.M.L. 2006. Caractérisation des associations culturales à base de riz pluvial : cas de la sous-préfecture de Gagnoa. Mémoire de D.E.A., Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 51 p.
- Baldy, C. and Stigter, C.J. 1993. Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes. INRA Ed., Paris, France, 245 p.
- Boa D., 1989. Caractérisation, propriétés hydrodynamiques, contraintes et potentialités agronomiques des sols gravillonnaires : cas de Boro-Borotou (région de Touba, Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat-Ingénieur, Université d'Abidjan, 126 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. and Koffi, K. A., 2004. Monographie de la région semi-montagneuse de l'Ouest de la Côte d'Ivoire. CNRA-Man, Centre National de Recherches Agronomiques, Abidjan, Côte d'Ivoire, 66 p.
- Camara, M., Valentin, C. and 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.
- Echbach, J. M. 1996. Fonctionnement des cultures associées à base d'hévéas. Rapport d'activité-Année 1995. IDEFOR/DPL-CIRAD/CP, 567 p.
- Ellison, W. D. 1945. Somme effects of raindrops and surface flow on soil erosion and infiltration. Trans. A. M. GEOPHYS. UNION., 26, pp. 415 – 429.
- FAO, 2013. FAO statistics data base. Rome, <http://www.warda.org> consulté le 4 février 2014.
- IRRI, 1976. Annual report for 1975. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Philippines, 479 p.
- Kassin, 2009. Etude des conditions pédoclimatiques pour la replantation cacaoyère dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire: cas des départements de Divo et de Gagnoa. Thèse de Doctorat. Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 139 p.
- Katerji, N. and Cruiziat, P. 1984. Transfert hydrique chez les végétaux. Quelques faits et problèmes. In : Les besoins en eau des cultures / Crop water requirements, Conférence Internationale, Paris 11 – 14 sept., INRA, Paris, pp. 35 – 54.
- Kéli, Z.J., Assiri, A.A. and Zakra, A.N. 2005. Associations culturales à base de plantes pérennes en Côte d'Ivoire : Bilan et perspectives – Scien. et Nat. 2 no 2, pp. 193-207.
- Koné, B., Diatta, S., Sylvester, O., Yoro, G., Camara, M., Djidji, D. D. and Assa, A. 2008. Estimation de la fertilité potentielle des ferralsols par la couleur. Canadian Journal of soil science, pp. 331 – 342.
- Kouamé, B., Koné, D. and Yoro, G. 2007. La pluviométrie en 2005 et 2007 dans la moitié sud de la Côte d'Ivoire. In : le CNRA en 2008. Centre National de Recherches Agronomiques, Abidjan, Côte d'Ivoire, pp. 12-13.
- N'Cho, A.S. 2001. Analyse des systèmes de production en zone forestière ivoirienne : cas de Gagnoa. Mémoire de D.A.A., Ecole Supérieure d'Agronomie, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 68 p. + annexes.
- N'Da, K.L. 2002. Etude des associations culturales traditionnelles : cas de l'association riz-mais à Dikodougou. Mémoire de D.U.T., URES de Korhogo, Université de Bouaké, Côte d'Ivoire, 26 p.
- Ndabalishye, I. 1995. Agriculture vivrière Ouest-africaine à travers le cas de la Côte d'Ivoire : monographie. IDESSA, Bouaké, Côte d'Ivoire, 383 p.
- Papon, A. 1973. Géologie et minéralisation du Sud-ouest de la Côte d'Ivoire. Synthèse des travaux de l'opération SASCA 1962-1968. Ministère de l'économie et des finances, Abidjan, Côte d'Ivoire, 285 p. + annexes.
- Pichot, J., Sibelet, N. and Lacoëuilhe, J. J. 1995. Fertilité du Milieu et Stratégies Paysannes sous les Tropiques Humides (eds). Montpellier, pp. 304 – 349.
- Salez, P. 1988. Compréhension et possibilités d'amélioration des systèmes de cultures associées céréale-légumineuse à graine dans l'Ouest Cameroun. Thèse de Doctorat-Ingénieur, ENSA, Montpellier, France, 190 p. + annexes.
- Wopereis, M. C. S., Defoer, T., Idinoba, P., Diack, S. and 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.
- Yoro, G. 1983. Contribution à l'étude des caractéristiques de la structure. Identification et évolution des paramètres structuraux de deux types de sols du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. Incidences agronomiques. Thèse de Doctorat Ingénieur, Université d'Abidjan, 273 p.
- Yoro, G. 1992. La méthode au sable : protocole et utilisation pratique. Note technique. Cahiers ORSTOM, série Pédologie, vol. XXVII, n°2, pp. 365 – 372.
- Yoro, G. 2002. La pédologie pour une gestion durable des sols. Cours d'initiation pour les agents des caisses de stabilisation et de péréquation du Gabon. Document internet du CNRA, Abidjan, 24 p.
- Yoro, G. and Assa, A., 1986. Modification structurale de deux sols ferrallitiques du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. Sous l'effet du piétinement par l'homme. Cahiers ORSTOM, série Pédologie, vol. XXII, n° 1, pp : 31 – 41.