

Amélioration des rendements du riz pluvial strict par effets combinés des rotations et des fumures en zone sud-soudanienne du Burkina Faso

**Adama TRAORÉ^{1*}, Karim TRAORÉ¹, Bazoumana KOULIBALY¹, Pascal BAZONGO¹,
Ouola TRAORÉ¹ et Bismarck H. NACRO²**

¹ *Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Département Gestion des Ressources Naturelles et Système de Production (GRN/SP), INERA-Farako-Bâ, Laboratoire Sol-Eau-Plante (SEP), 01 BP 910 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso*

² *Université Polytechnique de Bobo, Institut de Développement Rural, Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du Sol, 01 BP 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso*

* Correspondance, courriel : tr_adama@yahoo.fr

Résumé

Un dispositif expérimental en split-plots répété 4 fois a été mis en place à la station de recherche de Farako-Bâ au Burkina Faso de 2011 à 2014 afin d'évaluer les effets individuels et combinés des rotations et des fumures sur la productivité du riz pluvial strict. Les traitements principaux étaient constitués de cinq rotations comprenant les principales cultures dans la zone (maïs-riz, coton-riz, arachide-riz, niébé-riz et riz-riz) et les traitements secondaires constitués de six types de fumures à savoir : "Témoin sans apport de fertilisants", "NPK + urée" (fumure minérale vulgarisée), "Burkina phosphate ou BP", "BP + urée", "BP + compost", et "BP + compost + urée". Les résultats montrent que les légumineuses niébé et arachide sont les meilleurs précédents pour le riz pluvial strict induisant des rendements respectifs de 1873 kg / Ha et 1676 kg / Ha, soit un gain de rendement > 150 % par rapport à la monoculture riz. La fumure minérale vulgarisée "NPK + urée" et la fumure organo-minérale "Burkina phosphate + compost + urée" ont été les plus efficaces générant respectivement des rendements de 2513 kg / Ha et 2135 kg / Ha. La fumure "NPK + urée" combinée aux précédents niébé et arachide permet d'obtenir les plus hauts rendements respectivement de 3129 et 2825 kg / Ha. Les rotations et les fumures permettent d'accroître les rendements paddy du riz pluvial strict dans les conditions de production au Burkina Faso.

Mots-clés : *riz pluvial, rotation, fertilisation, rendements, Burkina Faso.*

Abstract

Improved yields of upland rice by combined effects of rotations and fertilization in the southern Sudanian zone of Burkina Faso

A split plot experimental design with four replications was tested in Farako-Bâ research Center (Western Burkina Faso) from 2011 to 2014 to assess individual or combine effects of crop rotation and fertilization on the productivity of upland rice. The main treatments consisted of five rotations including the main crops grown in the area (maize-rice, cotton-rice, groundnut-rice, cowpea-rice and rice-rice) and the secondary treatment were six types of fertilization as follow; "Control without fertilizers", "NPK + urea"

(recommended mineral fertilization), "Burkina phosphate or BP", "BP + urea", "BP + compost" and "BP + compost + urea". The results showed that legumes crop cowpea and groundnut were the best previous crop for upland rice yielding respectively 1873 kg / Ha and 1676 kg / Ha, with a yield benefit of > 150 % higher than rice mono cropping. The recommended mineral fertilizer "NPK + urea" and organic/mineral fertilizer "Burkina phosphate + compost + urea" were the most efficient, yielding 2513 kg / Ha and 2135 kg / Ha respectively. The highest grain yields were obtained when combining "NPK + urea" and using cowpea and peanut as previous crops, generating respectively grain yields of 3129 kg / Ha and 2825 kg / Ha. A good combination of crop rotations and fertilization can significantly increase the paddy yields of upland rice in Burkina Faso.

Keywords : *upland rice, rotation, fertilization, yields, Burkina Faso.*

1. Introduction

Parmi les céréales cultivées au Burkina Faso, le riz occupe la 4^{ème} place tant du point de vue des superficies, de la production que de la consommation par habitant [1]. Malgré tous les efforts publics et privés en vue de booster la production nationale la dépendance du pays vis-à-vis des importations reste entière et est estimée à 74 % des besoins [2] entraînant des sorties importantes de devises. Au nombre des facteurs à la base de cette situation figure en bonne place, une pauvreté inhérentes des sols du pays et une faible utilisation des engrais minéraux [3 - 5]. Selon les auteurs des références [6, 7], cette pauvreté des sols serait originelle, caractérisée par de faibles teneurs en azote et en phosphore conduisant à de faibles performances agricoles. La fertilisation exclusivement minérale reste limitée et connaît même une baisse passant de 10,95 kg / Ha en 2003 à 9,13 kg / Ha en 2009 suite à une augmentation des coûts des engrais. Au Burkina Faso, trois types de riziculture se côtoient à savoir ; la riziculture irriguée, la riziculture de bas-fond et la riziculture pluviale stricte. Les deux premiers types sont difficilement accessibles à tous les producteurs suite à des contraintes d'aménagement et de superficies disponibles. Par contre la riziculture pluviale stricte la plus accessible à tous les producteurs n'occupe que 10 % des superficies et fournit seulement 5 % de la production nationale en riz avec des rendements paddy moyen autour de 1 T / Ha [5]. Ce rendement est loin du potentiel des variétés améliorées évaluée entre 3 et 4 T / Ha [8]. La riziculture pluviale stricte représente donc une piste importante en vue d'augmenter la production nationale en riz pour peu qu'elle puisse s'insérer convenablement dans les systèmes de cultures.

Plusieurs études [8, 9] ont démontré que l'azote est l'élément central pour la production de riz, et pourrait être fournit par les engrais minéraux, les rotations culturales ou par l'apport de fumure organique. Selon [10, 11], les rotations culturales peuvent aider à préserver, à maintenir ou à reconstituer les ressources du sol, y compris la matière organique, l'azote et autres nutriments du sol. Aussi, par la fixation symbiotique les légumineuses peuvent dans les rotations satisfaire leur besoin en azote et laisser un supplément dans le sol pour les cultures suivantes [12]. Dans un contexte de paupérisation des populations rurales et de besoin d'intensification des productions agricoles on peut imaginer que l'intégration de légumineuses dans les rotations culturales et de l'utilisation de ressources locales telles que les phosphates naturels (Burkina phosphate) pourraient être des alternatives pour accroître les rendements du riz pluvial strict à des coûts à la portée de la majorité des producteurs aux faibles revenus. La présente étude permet de tester des options de fertilisation du riz pluvial en vue de proposer des formules peu onéreuses et accessibles à tous les producteurs du Burkina Faso. De façon spécifique, il s'agissait de

- 1- Evaluer les effets de différentes rotations sur le rendement du riz pluvial strict ;
- 2- Comparer l'effet de différentes fumures sur le rendement du riz pluvial strict ;
- 3- Evaluer l'interaction entre les rotations et les fumures sur le rendement du riz pluvial strict.

2. Matériel et méthodes

2-1. Site d'étude

Les travaux ont été conduits de 2011 à 2014 à la station de recherche agricole de Farako-Bâ dans la zone sud-soudanienne du Burkina Faso (**Tableau 1**). Les coordonnées géographiques de la station de recherche de Farako-Bâ sont : longitude 4° 20' Ouest, latitude de 11° 6' Nord et altitude 405 m. Cette zone est caractérisée par deux saisons bien distinctes dont une courte saison des pluies ou hivernage de Juin à Septembre et une longue saison sèche d'Octobre à Mai. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 800 et 1100 mm [13]. Le **Tableau 1** présente les quantités d'eau tombées au niveau de la station de Farako-Bâ de 2004 à 2014 période d'expérimentation. Les températures varient entre 17°C et 37°C durant la saison sèche et 10°C à 32°C durant la saison des pluies. L'évapotranspiration est de 8,7 mm / jr de Janvier à Mars et 3,7 mm / jr de Juillet à Septembre. Les sols de type ferrugineux tropicaux lessivés à texture sablo-limoneuse sont pauvres en matière organique et en éléments nutritifs majeurs (N, P, K) [8].

Tableau 1 : Pluviométrie de la station de Farako-Bâ de 2004 à 2014

Années	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Moyenne
Pluviométrie (mm)	816,7	869,4	1272	1119,6	1139,6	908,8	1289,5	831	1093	1127	1187,8	1059,49
Nombre de jours de pluie	70	65	70	78	70	67	78	73	62	69	80	71

2-2. Matériel végétal

4 cultures ont été utilisées dans cette expérimentation :

- le riz pluvial strict (*Sativa oriza*), la variété NERICA FKR 45 N avec un cycle semis maturité de 95 jours et un rendement potentiel de 3 à 4 T / Ha ;
- le maïs (*Zea mays*) avec la variété Espoir ;
- le coton (*Gossypium sp*) avec la variété FK37 ;
- l'arachide (*Arachis hypogaea*), la variété RMP91 ;
- et le niébé (*Vigna unguiculata*) avec la variété KVX-4-5-2D.

2-3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilise était un split-plot répété 4 fois avec 5 traitements principaux correspondant aux rotations (maïs-riz, coton-riz, arachide-riz, niébé-riz et riz-riz) et 6 traitements secondaires correspondant aux types de fumure ; (F1) Témoin sans apport de fertilisants, (F2) NPK + urée vulgarisés, (F3) Burkina phosphate ou BP, (F4) BP + urée, (F5) BP + compost, (F6) BP + compost + urée. Les dimensions de la parcelle secondaire est de 4 m x 5 m soit 20 m². Une allée de 0,5 m sépare les parcelles secondaires tandis les blocs étaient séparés par des allées de 1 m. Le maïs, le cotonnier ont été semés aux écartements de 0,80 m x 0,40 m, avec 2 plants / poquet après démariage. L'arachide et le niébé ont été semés aux écartements de 0,40 m x 0,40 m démariés à raison de 1 plants / poquet après émergence. Le riz a été semé en ligne continue a des écartements de 20 cm entre les lignes.

2-4. Application des fumures

Les engrais minéraux utilisés ont été l'engrais complexe NPKSB de formulation 14-23-14 + 6S + 1B et l'urée (46 % N). Le NPKSB a été apporté à 15 jours après semis (JAS) aux doses de 200 kg / Ha sur le maïs et le riz et à 150 kg / Ha sur le coton. L'arachide et le niébé sont fertilisés aux mêmes doses de 100 kg / Ha. L'urée est apportée à 30 JAS aux doses respectives de 100 kg / Ha sur le maïs et de 50 kg sur le coton. Une dose de 100 kg / Ha est apportée sur le riz en deux fractions avec 1/3 de la dose à 30 JAS et les 2/3 à la 2^{ème} fraction à 45 JAS. Le phosphate roche ou Burkina phosphate (BP) et le compost à base de résidus de récolte des différentes cultures mise en place ont été apportés en fumure de fond aux doses respectives de 500 kg / Ha et 5 tonnes / Ha.

2-5. Analyses de laboratoire

Des échantillons de sol ont été prélevés sur l'horizon 0-20 cm en trois points de chaque parcelle élémentaire pour en faire un échantillon composite. Ces prélèvements ont été effectués avant labour en 2011 lors de la mise en place du dispositif et 4 ans plus tard en 2014. Le pH_{eau} a été mesuré à partir d'une solution du sol obtenue suivant un rapport de masse/ volume de 1 g / 2,5 mL [14]. Le pH_{KCl} a été mesuré à partir d'une solution de chlorure de potassium. Le phosphore total a été mesuré sur le condensé de la minéralisation et le phosphore assimilable par la méthode de BRAY 1 [15]. L'azote total a été dosé par la méthode de Kjeldahl [16]. Le carbone organique a été déterminé selon la méthode de [17]. Le taux de matière organique est alors obtenu par la formule : Taux de carbone * 1,724. Le potassium total a été mesuré au spectro-photomètre à flamme à partir du reliquat du filtrat issu de la minéralisation des prises d'essai de sol.

2-6. Analyse des données

Les données collectées ont été saisies sur Excel et les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel XLSTAT 2007.5. Les moyennes ont été séparées par la méthode de Newman-Keuls au seuil de confiance de 95 %.

3. Résultats

3-1. Effet des rotations et des fumures sur les propriétés chimiques des sols

Les résultats indiquent une baisse du pH, du P assimilable, du rapport C / N avec la mise en culture (**Tableau 2**). Le phénomène inverse est constaté pour l'azote total et le taux de matière organique. En effet, la mise en culture entraîne une augmentation de ces éléments. Les résultats indiquent également des teneurs en P total plus élevés pour les sols fertilisés avec les fumures contenant le Burkina Phosphate (BP) par rapport à ceux n'ayant pas reçus le BP (**Tableau 3**). Les parcelles ayant reçues la fumure minérale exclusive «NPK + urée», présentent les plus faibles teneurs en P total (83,7 mg P / kg de sol). Le sol de départ enregistre cependant les meilleures valeurs en P assimilable avec 4,73 mg P / kg contre une moyenne de 2,06 mg P / kg pour l'ensemble des sols après quatre années de mise en culture. Les plus faibles teneurs en P assimilable sont obtenues sur le sol témoin sans apport de fertilisant

Tableau 2 : Variation des propriétés chimiques des sols en fonction des rotations (échantillons prélevés en 2014)

Rotations	Paramètres chimiques							
	pH _{eau}	pH _{KCl}	Carbone (%)	MO (%)	N (%)	C / N	P_Total (mg / kg)	P_Ass (mg / kg)
Jachère 2011	5,79 a±0,06	4,74 a±0,08	0,395 ±0,01	0,55 b±0,04	0,033 b±0,00	12,12 a±0,20	104,12 ±2,77	4,73 a±0,15
Arachide-Riz	5,47 b±0,27	4,47 ab±0,30	0,399 ±0,04	0,66 a±0,07	0,037 ab±0,00	10,87 b±0,65	105,92 ±29,35	1,90 c±0,51
Coton-Riz	5,50 ab±0,27	4,42 b±0,20	0,401 ±0,05	0,69 a±0,11	0,036 ab±0,01	11,06 b±0,48	132,92 ±33,41	2,40 b±0,60
Maïs-Riz	5,51 ab±0,33	4,51 ab±0,25	0,397 ±0,03	0,67 a±0,06	0,036 ab±0,00	11,05 b±0,44	134,33 ±50,44	2,32 b±0,58
Niébé-Riz	5,58 ab±0,27	4,51 ab±0,29	0,420 ±0,07	0,74 a±0,07	0,039 a±0,00	10,70 b±0,45	129,50 ±37,52	1,86 c±0,39
Riz-Riz	5,60 ab±0,16	4,43 b±0,26	0,382 ±0,04	0,68 a±0,08	0,036 ab±0,00	10,64 b±0,54	117,50 ±26,93	1,81 c±0,42
Probabilité	P=0,045	P=0,039	P=0,118	P< 0,001	P=0,001	P< 0,001	P=0,210	P< 0,001
Signification	S	S	NS	HS	S	HS	NS	HS

(F1) Témoin sans fertilisant, (F2) Fumure vulgarisée (NPK + Urée), (F3) Burkina phosphate ou BP, (F4) BP + urée, (F5) BP + compost, (F6) BP + compost + urée. Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le Test de Newman et Keuls. HS : hautement significatif ; S : Significatif ; NS : Non significatif ; MO : Matière organique.

Tableau 3 : Variation des propriétés chimiques des sols en fonction du type de fertilisation (échantillons prélevés en 2014)

Fumures	Paramètres chimiques							
	pH _{eau}	pH _{KCl}	Carbone (%)	MO (%)	N (%)	C / N	P_Total (mg / kg)	P_Ass (mg/kg)
Jachère 2011	5,79 ±0,06	4,74 a±0,08	0,395 a±0,01	0,55 b±0,04	0,033 b±0,00	12,12 a±0,20	104,12 a±2,77	4,73 a±0,15
F1	5,48 ±0,25	4,39 b±0,25	0,387 a±0,04	0,70 a±0,09	0,036 abc±0,00	10,76 b±0,54	85,70 b±32,88	1,39 c±0,53
F2	5,46 ±0,26	4,40 b±0,25	0,408 a±0,04	0,71 a±0,09	0,037 ab±0,00	10,92 b±0,53	83,70 b±31,94	2,11 b±0,51
F3	5,59 ±0,27	4,40 b±0,25	0,379 a±0,04	0,63 a±0,08	0,035 bc±0,00	11,05 b±0,55	145,30 a±32,14	1,88 b±0,51
F4	5,65 ±0,27	4,59 ab±0,26	0,386 a±0,04	0,68 a±0,09	0,036 abc±0,00	10,88 b±0,55	148,10 a±37,04	2,26 b±0,51
F5	5,49 ±0,26	4,54 ab±0,25	0,417 a±0,04	0,70 a±0,09	0,039 ab±0,00	10,82 b±0,54	150,80 a±36,57	2,40 b±0,54
F6	5,53 ±0,25	4,49 ab±0,26	0,421 a±0,04	0,71 a±0,09	0,039 a±0,00	10,75 b±0,54	130,60 a±32,50	2,32 b±0,52
Probabilité	P=0,06	P=0,025	P=1,988	P=0,001	P=0,001	P< 0,001	P< 0,001	P< 0,001
Signification	NS	S	NS	S	HS	HS	HS	HS

(F1) Témoin sans fertilisant, (F2) Fumure vulgarisée (NPK + Urée), (F3) Burkina phosphate ou BP, (F4) BP + urée, (F5) BP + compost, (F6) BP + compost + urée. Les moyennes suivies de la même lettre dans la même colonne ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le Test de Newman et Keuls. HS : hautement significatif ; S : Significatif ; NS : Non significatif ; MO : Matière organique.

3-2. Effet des rotations sur le rendement du riz paddy

Les meilleurs rendements sont obtenus avec les rotations légumineuses niébé-riz et arachide-riz et cela pour toutes les années (**Tableau 4**). En effet ; ces rotations permettent d'obtenir en moyenne entre 365 et 562 kg / Ha de paddy de plus que les autres rotations riz. Parmi les deux légumineuses, le niébé a été le meilleur précédent cultural pour le riz pluvial au cours des deux premières années et suivi de l'arachide qui lui est statistiquement équivalent en 3^{ème} année. La monoculture de riz demeure la moins performante de toutes les rotations au cours des trois années. Les augmentations de rendements par rapport à cette monoculture riz varient de 158 à 187 % pour le niébé et de 150 à 160 % pour l'arachide.

Tableau 4 : Évolution des rendements du riz paddy en fonction des rotations

Rotations	Années			Moyenne
	2012	2013	2014	
	Rendement riz paddy (kg / Ha)			
Mais-Riz	1069 c ±662	1300 d ±556	1601 c ±863	1323 d ±729
Coton-Riz	1275 b ±763	1443 c ±581	1902 b ±920	1527 c ±782
Arachide-Riz	1371 b ±771	1567 b ±557	2089 a ±1063	1676 b ±868
Niébé-Riz	1630 a ±963	1787 a ±696	2203 a ±1037	1873 a ±930
Riz-Riz	870 d ±569	982 e ±378	1393 d ±786	1082 e ±634
Probabilité	$P < 0,001$	$P < 0,001$	$P < 0,001$	$P < 0,001$
Signification	HS	HS	HS	HS

Les chiffres portant les mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité 5 % selon le Test de Newman et Keuls. HS : hautement significatif

3-3. Effet des fumures sur le rendement du riz paddy

Les résultats montrent un effet annuel important sur les rendements. En effet, les rendements du riz paddy ont été nettement meilleurs en 2014 par rapport aux deux autres années 2012 et 2013. On note que les fumures «NPK + urée» et «BP + compost + urée» permettent d'obtenir les meilleurs rendements de riz paddy au cours des trois années (**Tableau 4**). La fumure la plus performante demeure cependant la fertilisation minérale vulgarisée «NPK + urée», suivie de la fumure organo-minérale «BP + compost + urée». On constate par ailleurs qu'après trois années de culture, les rendements des fumures «NPK + urée» et «BP + compost + urée» sont statistiquement équivalents. Ces deux fumures sont suivies par la fumure «BP + urée». La fumure exclusivement à base de phosphate naturel «BP» a donné les rendements les plus faibles quelle que soit l'année mais statistiquement supérieurs à ceux du témoin sans apport de fertilisants.

Tableau 5 : Évolution du rendement du riz paddy en fonction du type de fumures

Fumures	Années			Moyenne
	2012	2013	2014	
	Rendement riz paddy (kg/ha)			
Témoin sans fertilisant (F1)	465 f ±134	656 f ±204	483 e ±188	537 f ±194
NPK + urée, (F2)	2401 a ±605	2227 a ±491	2907 a ±573	2513 a ±622
Burkina phosphate ou BP (F3)	622 e ±181	1047 e ±270	1058 d ±288	910 e ±322
BP + urée (F4)	1415 c ±414	1455 c ±235	1615 c ±397	1498 c ±363
BP + compost (F5)	802 d ±254	1228 d ±199	2111 b ±363	1384 d ±616
BP + compost + urée (F6)	1754 b ±526	1883 b ±461	2759 a ±647	2135 b ±703
Probabilité	$P < 0,001$	$P < 0,001$	$P < 0,001$	$P < 0,001$
Signification	HS	HS	HS	HS

Les chiffres portant les mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité 5 % selon le Test de Newman et Keuls. HS : hautement significatif.

L'interaction entre les précédents culturaux et les fumures (**Tableau 6**) montre que les précédents légumineuses (niébé et arachide) et la fumure « NPK + urée » sont la meilleure interaction donnant les meilleurs rendements de riz paddy. En effet en utilisant la fumure «NPK + urée» avec les précédents niébé et arachide on obtient des augmentations de rendements respectivement de 124,51 % et 112,40 % par rapport à la fumure minérale «NPK + urée» uniquement. La fumure «BP + compost + urée» avec les mêmes précédents induit des augmentations de 126,86 % pour le précédent niébé et 113,43 % avec le précédent arachide.

Tableau 6 : *Interactions entre précédents culturaux et fumures sur le rendement du riz paddy*

Précédent cultural * Fumures	Rendement riz paddy (kg / Ha)
Niébé*NPK + urée	3129 a
Arachide*NPK + urée	2825 ab
Niébé*BP + compost + urée	2708 bc
Coton*NPK + urée	2495 bcd
Arachide*BP + compost + urée	2422 bcd
Mais*NPK + urée	2323 cd
Coton*BP + compost + urée	2207 de
Mais*BP + compost + urée	1905 ef
Niébé*BP + urée	1865 efg
Riz*NPK + urée	1793 efgh
Niébé*BP + compost	1637 fghi
Coton*BP + urée	1635 fghi
Arachide*BP + urée	1577 fghi
Arachide*BP + compost	1484 fghi
Riz*BP + compost + urée	1432 fghi
<i>Probabilité</i>	<i>P < 0,001</i>
<i>Signification</i>	<i>HS</i>

Les chiffres portant les mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité 5 % selon le Test de Newman et Keuls. HS : hautement significatif ; BP : Burkina Phosphate

4. Discussion

Les sols du site d'expérimentation sont acides (pH < 6). Ces résultats sont identiques pour la plupart des sols que l'on rencontre dans cette zone. Ce constat a été fait par des travaux antérieurs de [12, 18] sur les sols de la même zone. En présence de forte acidité, la disponibilité du phosphore est réduite ce qui explique les faibles teneurs en phosphore assimilable constatées (< 5 mg P / kg de sol) dans notre expérimentation. Ces résultats sont conformes à ceux rapportés par [12, 19] qui indiquent que les sols au Burkina sont à faible teneur de phosphore assimilable. L'application de fumure à base de phosphore est indispensable en vue de l'amélioration de la fertilité des sols. Le BP constitue alors une alternative moins chère et localement disponible, cependant des études antérieures effectuées par [20] ont démontré que sa solubilité est assez lente et serait fonction des conditions hydriques. L'adjonction du compost au BP a permis d'améliorer sa disponibilité. Des résultats similaires ont été obtenus dans des études antérieures réalisées par [19] qui indiquent une amélioration significative de la solubilité du BP avec l'adjonction du compost ou du fumier. La baisse des teneurs en P total et P assimilable constatée après quatre années de mise en culture par rapport au sol de départ (jachère) pourrait s'expliquer par une exportation des résidus de récolte et l'érosion hydrique facteur très important sur ces sols acides.

4-1. Effets des rotations sur le rendement paddy du riz

Le fait que le niébé et l'arachide soient les meilleurs précédents pour le riz serait imputable à leur capacité à fixer l'azote atmosphérique et de restituer une bonne partie de cet azote dans le sol [12, 21]. Les résidus des légumineuses aussi bien souterrains qu'aériens incorporés au sol, l'enrichissent en azote et améliorent la nutrition azotée de la culture suivante. Les études de [22] conduites sur les mêmes types de sols au Burkina Faso, ont montré que le niébé et l'arachide fixeraient respectivement 50 à 115 kg N / Ha et 8 à 23 kg N / Ha. Cette fixation importante du niébé expliquerait en partie les meilleurs rendements obtenus avec ce précédent. De nombreuses études [23 - 25] ont montré la contribution des légumineuses à l'augmentation de l'azote du sol, leur impact sur l'amélioration du rendement des cultures suivantes [24, 26, 27] et leur influence sur les composantes du rendement comme l'augmentation du nombre de talles du riz. L'azote étant reconnu comme l'élément central d'amélioration des composantes de rendement du riz, ceci expliquerait donc les bons rendements paddy obtenus pour ces précédents légumineuses. Le rôle de l'azote sur le rendement du riz a été souligné par [8, 21, 28] qui ont indiqué que l'azote est le pivot de la fertilisation en raison de son importance dans l'obtention de meilleurs rendements du riz. Nos résultats indiquent par contre de faibles rendements en riz paddy dans la monoculture de riz quel que soit le type de fertilisation effectuée. En effet, dans la monoculture, les cultures exploitent chaque année les mêmes horizons du sol conduisant à un épuisement rapide des réserves en éléments nutritifs du sol. Des résultats similaires ont été obtenus par [29] sur le riz et [30] sur le sorgho sur les mêmes types de sols justifiant toute l'importance des rotations culturales.

4-2. Effets des fumures sur le rendement paddy du riz

Les fumures ont eu un effet significatif sur le rendement paddy du riz pluvial strict. La fumure minérale vulgarisée «NPK + urée» a été la plus performante en donnant les meilleurs rendements paddy au cours des trois années de rotation. On constate par ailleurs que la fumure organo-minérale «BP + compost + urée» a permis d'obtenir au bout de la 3^{ème} année de culture des rendements remarquables en riz paddy équivalents à ceux observés avec la fumure minérale vulgarisée «NPK + urée». Ces résultats montrent l'efficacité de cette fumure organo-minérale pour la production du riz pluvial, mais aussi et surtout les exigences en azote à travers l'urée qui y est associée dans la nutrition azotée du riz. [31] indique une minéralisation graduelle des éléments N, P et K indispensables à la nutrition minérale du riz dans de telles associations de fumures. Les faibles rendements obtenus pour la fumure uniquement à base de Burkina Phosphate (BP), indiquent que le seul apport de cette fumure ne suffit pas à couvrir les besoins nutritifs du riz. En effet, le Burkina phosphate ne contient que du phosphore tricalcique peu soluble, du Mg et du Ca ne permettant pas de satisfaire les besoins nutritifs du riz. Il serait donc judicieux d'utiliser le «BP» comme amendement ou de toujours l'associer à d'autres sources d'éléments nutritifs pour une bonne nutrition du riz. Ainsi, la combinaison du «BP» au compost et à l'urée ou du «BP au compost» a permis d'enregistrer des rendements paddy significativement supérieurs à ceux obtenus avec l'application exclusive du «BP». Les travaux de [32, 33] ont montré que les sources de matières organiques comme le compost, cruciales pour les agroécosystèmes, fournissent des éléments nutritifs de façon continue aux plantes et améliorent leur rendement. Nos résultats sont conformes à ceux de [34], qui ont souligné que l'apport exclusif du compost ou du compost associé à un engrais minéral, entraîne une augmentation du rendement des cultures. Ces travaux confirment l'efficacité de l'association «BP + compost» et «BP + urée» sur l'amélioration des rendements du riz, comparativement à l'utilisation exclusive du BP.

5. Conclusion

De nos travaux nous pouvons retenir ce qui suit : Les rotations et les fumures sont deux facteurs importants pour une meilleure productivité du riz pluvial au Burkina Faso. Le niébé et l'arachide sont les meilleurs précédents culturaux, permettant d'obtenir les plus hauts rendements en riz pluvial strict. Par contre la monoculture du riz est une pratique à proscrire. La fumure minérale vulgarisée «NPK + urée» est la meilleure fumure pour le rendement paddy du riz, suivie de la fumure «Burkina phosphate + compost + urée». En vue d'une production écologique et durable du riz pluvial strict au Burkina Faso, la fumure « Burkina phosphate + compost + urée» associée à une rotation légumineuse-riz apparaît comme la meilleure combinaison accessible à tous les producteurs. Cependant des investigations doivent se poursuivre afin d'évaluer la possibilité de rendre plus soluble le BP afin de déterminer si doit être proposée aux producteurs.

Remerciements

Les auteurs traduisent leur gratitude : Au Chef de Programme GRN / SP Ouest de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles / Station de Recherches de Farako-Bâ pour son soutien multiforme à la réalisation de cette étude. Au Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PAAAO) / WAAPP pour son soutien financier pour cette étude.

Références

- [1] - DGPER, "Rapport Comité de Prévision de la Situation Alimentaire", DGPER, Ouagadougou, Burkina Faso, (2011)
- [2] - FAO, "Analyse des incitations par les prix pour le riz au Burkina Faso pour la période 2005-2013", (2014)
- [3] - J. BAYALA, G. W. SILESHI, R. COE, A. KALINGANIRE, Z. TCHOUDJEU, F. SINCLAIR F, D. GARRITY, "Cereal yield response to conservation agriculture practices in drylands of West Africa : A quantitative synthesis", *Journal of Arid Environments*, 78 13 - 25 (2012)
- [4] - S. PALE, S. C. MASON and S. J. B. TAONDA, "Water and fertilizer influence on yield of grain sorghum varieties produced in Burkina Faso", *South African Journal of Plant and Soil*, Vol. 26, Iss. 2, (2009)
- [5] - A. TRAORÉ, K. TRAORE, O. TRAORE, B. V. BADO, H. B. NACRO, P. M. SEDOGO, "Caractérisation des systèmes de production à base de riz pluvial strict dans les exploitations agricoles de la zone Sud-soudanienne du Burkina Faso", *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, (9) 6(2015) 2685 - 2697 p.
- [6] - A. BATIONO, B. WASWA, J. M. OKEYO, F. MAINA, J. KIHARA, U. MOKWUNYE, "Fighting poverty in Sub-Saharan Africa : The multiple roles of legumes in integrated soil fertility management", *1st Edition Springer*, (2011)
- [7] - E. COMPAORE, J. C. FARDEAU, J. L. MOREL, M. P. SEDOGO, "Le phosphore biodisponible des sols : une des clés de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest", *Cahiers Agriculture*, 2 (2011) 81 - 85
- [8] - A. TRAORE, "Effets des rotations et de la fertilisation sur le rendement du riz pluvial strict en zone Ouest du Burkina Faso", Thèse Unique, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo, Burkina Faso, (2016) 155 p.
- [9] - Z. KONATE, B. GALA, J. TRAZIE, F. G. MESSOUM, A. SEKOU, A. YAO-KOAME, M. CAMARA, Z. J. KELI, "Alternatives à la fertilisation minérale des sols en riziculture pluviale de plateau : apports des cultures du soja et du niébé dans la fertilité d'un ferralsol hyperdystrique au Centre-ouest de la Côte d'Ivoire", *J. Appl. Biosci.*, 4 (2012) 3859 - 3869

- [10] - L. K. TIEMANN, A. S. GRANDY, E. E. ATKINSON, E. MARIN-SPIOTTA, and M. D. MCDANIEL, "Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem", *Ecology Letters*, 18 (8) (2015) 761 - 71
- [11] - D. BASSEGIO, R. F. SANTOS, D. SECCO, L. A. ZANA, I. WERNCKE, M. V. M. SARTO, "Short-term effects of crop rotations on soil chemical properties under no-tillage condition", *Australian Journal of Crops Sciences*, 9 (1) (2015) 49 - 54
- [12] - A. TRAORE, K. TRAORE, B. V. BADO, O. TRAORE, H. B. NACRO, P. M. SEDOGO, "Effet des précédents culturaux et de différents niveaux d'azote sur la productivité du riz pluvial strict sur sols ferrugineux tropicaux de la zone Sud-soudanienne du Burkina Faso". *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, (9) 6 (2015) 2847 - 2858
- [13] - S. GUINKO, "Végétation de la Haute-Volta", Thèse de doctorat, Sciences naturelles, Université de Bordeaux III. France, tome 2, (1984) 394 p. + annexes
- [14] - BUNASOLS, "Méthodes d'analyse physique et chimique des sols, eaux et plantes", Document technique n° 3: 48-128, Ouagadougou, Burkina Faso, (1986)
- [15] - S. R. DICKMAN and H. R. BRAY, "Colorimetric determination of phosphate", *Ind. Eng. Chem, Anal. Ed.*, 12 (1940) 665 - 668
- [16] - W. F. HILLEBRAND, G. E. F. LUNDELL, H. A. BRIGHT, J. I. HOFFMAN, "Applied Inorganic Analysis", (2nd edn). John Wiley & Sons, Inc : New York, USA, 1034 (1953)
- [17] - A. WALKLEY, R. N. BLACK, "An examination of the method Degtjareff for determining soil organic matter and to proposed modification of the chromic acid titration method", *Soil Science*, 37 (1934) 29 - 38
- [18] - D. DAKUO, B. KOULIBALY, K. OUATTARA, F. LOMPO AND A. YAO-KOUAME, "Potassium Fertilization Efficiency on Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Nutrition and Crops Yields on Three Soil Types in Burkina Faso", *Academia Journal of Agricultural Research*, 4 (11) (2016) 647 - 651
- [19] - F. LOMPO, M. BONZI, B. V. BADO, Z. GNANKAMBARY, N. OUANDAOGO, M. P. SEDOGO, A. ASSA, "Effets à long terme des fumures minérales et organo-minérales sur la dynamique du phosphore dans un lixisol au Burkina Faso", *Agronomie Africaine*, 20 (2) (2008) 165 - 178
- [20] - A. U. MOKWUNYE, "Rôle des phosphates naturels locaux dans la recapitalisation de la fertilité des sols ouest-africains", *Agriculture durable*, Vol. 1, N° 3 (1996) 2 - 8
- [21] - Z. KONATE, F. G. MESSOUM, A. SEKOU, A. YAO-KOUAME, M. CAMARA et J. K. ZAGBAHI, "Effets des cultures de soja (*Glycine max*) et de niébé (*Vigna unguiculata*) sur la densité apparente et la teneur en eau des sols et sur la productivité du riz pluvial de plateau sur ferralsol hyperdystrique : cas de Gagnoa, au Centre-Ouest de la Côte D'Ivoire", *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 7 (1) (2013) 47 - 59
- [22] - B. V. BADO, "Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso", Thèse de doctorat, Université de Laval Québec, Canada, (2002)
- [23] - P. M. CHALK, M. B. PEOPLES, A. M. MCNEILL, R. M. BODDEY, M. J. UNKOVICH, J. GARDENER, C. F. SILVA, D. CHEN, "Methodologies for estimating nitrogen transfer between legumes and companion species in agro-ecosystems : A review of ¹⁵N-enriched techniques", *Soil Biol. Biochem.*, 73 (2014) 10 - 21
- [24] - C. J. OKONJI, K. A. OKELEYE, S. G. ADERIBIGBE, A. OYEKANMI, O. S. SAKARIYAWO, M. A. O. OKELANA, "Effect of Cowpea Residue Incorporation and Nitrogen Application Rates on the Productivity of Upland Rice", *World Journal of Agricultural Sciences*, 7 (6) (2011) 710 - 717
- [25] - J. FUSTEC, F. LESUFFLEUR, S. MAHIEU and J-B. CLIQUET, "Nitrogen rhizodeposition of legumes", A review," *Agron. Sustain. Develop.*, 30 (2010) 57 - 66
- [26] - I. HUNADY, M. HOCHMAN, "Potential of legume-cereal intercropping for increasing yields and yield stability for self-sufficiency with animal fodder in organic farming", *Czech J. Genet. Plant Breed.*, 50 (2014) 185 - 194
- [27] - K. A. OKELEYE, S. O. OIKEH, S. G. ADERIBIGBE, C. J. OKONJI, F. E. NWILENE and O. AJAYI, "Influence of legume/rice sequence and nitrogen on NERICA rice in rainfed upland and lowland ecologies of West Africa, Proceedings of the International Plant Nutrition" *Colloquium XVI*. (2009). Paper 1423. (<http://repositories.cdlib.org/ipnc/xvi/1423>)

- [28] - S. M. HAEFELE, K. SAITO, K. M. N'DIAYE, F. MUSSGNUG, A. NELSON, AND C. S. M. WOPEREIS "Increasing Rice Productivity through Improved Nutrient Use in Africa" In M. C. S. Wopereis, D. E. Johnson, N. Ahmadi, E. Tollens, & A. Jalloh (Eds.), *Realizing Africa's rice promise*, Wallingford, UK : CAB International (2013) 250 - 264 p.
- [29] - B. A. BOUGMA, "Effets des précédents culturaux et des fumures sur la fertilité du sol et les rendements du riz pluvial", Mémoire de master, IDR, UPB, (2013)
- [30] - C. M. T. SOLER, V. B. BADO, K. TRAORE, W. MCNAIR BOSTICK, J. W. JONES, and G. HOOGENBOOM, "Soil organic carbon dynamics and crop yield for different crop rotations in a degraded ferruginous tropical soil in a semi-arid region : a simulation approach". *The Journal of Agricultural Science*, 149 (5) (2011) 579 - 593
- [31] - M. C. S. WOPEREIS, T. DEFOER, P. IDINOBA, S. DIACK et M.-J. DUGUE, "Curriculum d'apprentissage participatif et recherche action (APRA) pour la gestion intégrée de la culture de riz de bas-fonds (GIR) en Afrique subsaharienne : Manuel technique ", le Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO), Cotonou, Bénin, (2008)
- [32] - G. X. PAN, P. SMITH, and W. N. PAN, "The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereal in China", *Agric.Ecosyst. Environ*, 129 (2009) 344 - 348
- [33] - W. CHONG-HO, "Effects of Different Organic Materials on Crop Production under a Rice-Corn Cropping Sequence", *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, (44) 20 (2013) 2987 - 3005
- [34] - M. TEJADA and J. L. GONZALEZ, "Crushed cotton gin compost on soil biological properties and rice yield", *European Journal of Agronomy*, 25 (2006) 22 - 29