

Effets induits du type de fumure sur les paramètres chimiques du sol et sur le rendement paddy dans la plaine rizicole de Bagré au Burkina Faso

**Zacharie Segda, Louis Poulouma Yaméogo,
Zacharia Gnankambary, Sedogo Michel Papaoba**

Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie

J. Soc. Ouest-Afr. Chim.(2013), 036 : 35 - 46

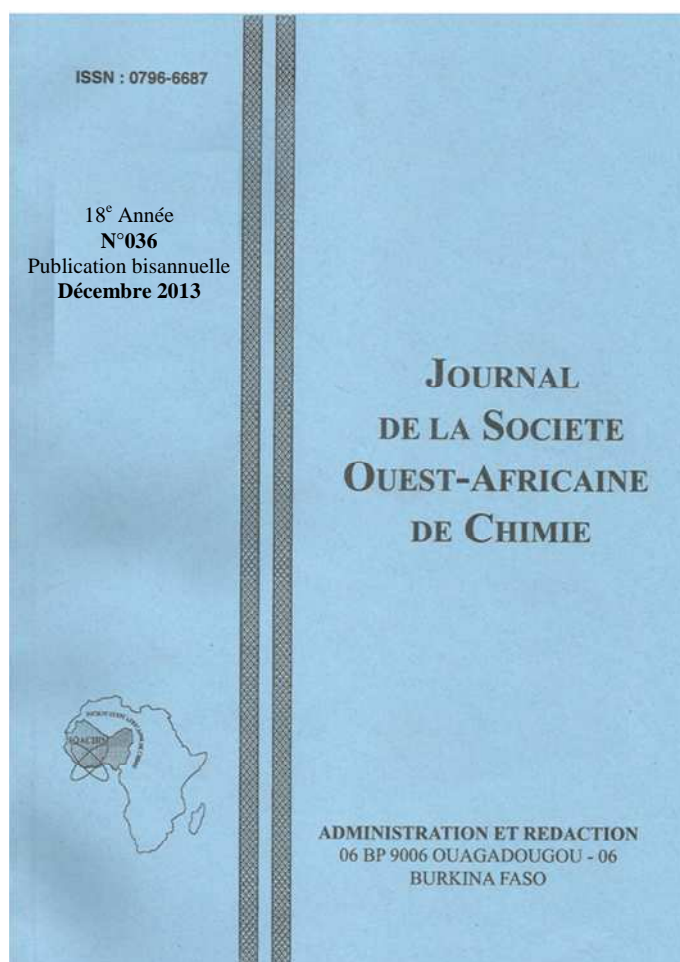
18^{ème} Année, Décembre 2013

ISSN 0796-6687

Code Chemical Abstracts : JSOCF2

Cote INIST (CNRS France) : <27680>

Site Web: <http://www.soachim.org>



Effets induits du type de fumure sur les paramètres chimiques du sol et sur le rendement paddy dans la plaine rizicole de Bagré au Burkina Faso

**Zacharie Segda^{a*}, Louis Poulouma Yaméogo^a, Zacharia Gnankambary^a,
Sedogo Michel Papaoba^a**

¹ *Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), 04 BP 8645, Ouagadougou 04, Burkina Faso.*

(Reçu le 12/12/2013 – Accepté après corrections le 03 /03/2014)

Résumé : Des essais ont été conduits sur la plaine rizicole de Bagré au Burkina Faso sur cinq saisons consécutives en vue d'évaluer l'effet du type de fumure sur les paramètres chimiques du sol ainsi que sur le rendement paddy. Un dispositif expérimental en split plot a été utilisé. Les parcelles principales étaient représentées par deux variétés de riz et huit modes de gestion de la fumure organo-minérale disposés en parcelles secondaires. L'analyse multivariée montre deux relations étroites entre les paramètres du sol et les types de fumures : (i) entre la fumure organo-minérale à qui est associé l'azote total, le carbone organique total, le calcium échangeable, la capacité d'échange cationique, et au phosphore total d'une part, (ii) la fumure minérale associé au pH, au sodium échangeable, au phosphore assimilable et au potassium échangeable d'autre part. L'analyse montre également que le rendement paddy pourrait être expliqué par les paramètres du sol que sont le phosphore assimilable, le carbone organique, l'azote total ainsi que le sodium échangeable. Les résultats montrent enfin que la combinaison de la fumure organique et minérale pourrait être une option de gestion durable de la fertilité des sols à Bagré ainsi que dans l'environnement rizicole irrigué du Burkina Faso.

Mots clés : Paramètres chimiques du sol, Rendement paddy, Fumure organique, Fumure minérale, Riziculture irriguée.

Effect of manures on soil chemical characteristics and paddy yield in irrigated rice system of Bagré, Burkina Faso

Abstract: Experimentations were carried out in the irrigated rice plain of Bagré village in Burkina Faso during five consecutive seasons to assess the effect of manure application on soil chemical parameters and paddy yield. The experimental design was a split plot with two rice varieties as main plots and eight modes of fertilizer managements combining organics and mineral fertilizers arranged in sub-plot. Multivariate analysis showed two strong relationships between soil characteristics and manures: (i) between combining organic and mineral fertilizer associated to total nitrogen, total organic carbon, exchangeable calcium, cation exchange capacity and total phosphorus on one hand, (ii) mineral fertilizer associated to pH, exchangeable sodium, organic carbon, total nitrogen and exchangeable potassium at the other hand. Analysis showed also that paddy yield could be explained by soil chemical parameters such as available phosphorus, organic carbon, total nitrogen, and exchangeable sodium. Finally, the results showed that the combination of organic and mineral fertilizers could be an option for sustainable management of soil fertility at Bagré thereby in other irrigated rice environment of Burkina Faso.

Keywords : Soil chemical parameters, Paddy yield, manure, Mineral fertilizer, Irrigated rice

* *Auteur correspondant : zacharie.segda@yahoo.fr*

1. Introduction

L'environnement irrigué au Burkina Faso est essentiellement caractérisé par la monoculture intensive du riz sur des sols pauvres en matière organique, en azote et en phosphore^[1]. L'utilisation quasi exclusive des engrais minéraux par les riziculteurs, le brûlis ou l'exportation des résidus culturaux sans véritables mesures de restitution entraînent à terme une baisse des rendements^[2]. Le même phénomène a été observé au Mali^[3] et en Asie^[4]. La solution de ce problème n'est pas évidente et elle est souvent étroitement liée à des questions complexes du domaine socio-économique. Cependant, l'utilisation de la matière organique demeure incontournable quant à la résolution du problème de fertilité des terres^{[5],[6]}.

La quantité et la qualité de la matière organique influencent la minéralisation et la disponibilité de l'azote du sol^[7]. La capacité du sol à fournir l'azote est intimement liée à sa teneur en matière organique et au degré de minéralisation^[8]. Toutes les méthodes et techniques d'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote sont construites sur la même base: la compréhension du processus de minéralisation de l'azote dans le sol^[9]. Prévoir les quantités d'azote minéral provenant de la minéralisation de la matière organique du sol est essentiel pour le développement de pratiques culturales qui maximisent l'efficacité d'utilisation de l'azote et minimisent les effets néfastes de l'azote sur l'environnement^[6].

Le pool d'azote minéralisable dans les sols rizicoles inondés joue un rôle déterminant dans la nutrition azotée du riz^{[10],[11]}. Parce que la moitié voire les deux tiers de l'azote absorbé par le riz provient de la minéralisation de la matière organique du sol^{[12],[13],[14]}, les recherches sur la fourniture d'azote par le sol revêtent une très grande importance.

De nombreux travaux de recherche en milieu tropical ont montré (i) que la mise en culture des sols s'accompagne toujours de modifications des propriétés physico-chimiques, (ii) que ces modifications résultent d'une baisse des taux de matières organiques^[5], (iii) qu'une gestion rationnelle des engrais minéraux et des amendements organiques permettait d'augmenter les rendements des cultures et de maintenir durablement la fertilité des sols^{[15],[16],[5],[17],[18]}. Cela est vrai en conditions de cultures pluviales (en aérobiose), mais en conditions de submersion plus ou moins longue (anaérobiose), quel sera le comportement de la matière organique du sol et son apport au pool d'azote minéralisable? Plusieurs auteurs donnent des appréciations différentes sur le

devenir et la contribution de la matière organique du sol à la nutrition minérale dans les conditions de riziculture irriguée. Pour Bray^[19], von Uexkuell et Beaton^[20], le riz irrigué est la seule grande culture qui peut se pratiquer sur plusieurs siècles voire millénaires en monoculture sans dégradation importante du sol. D'autres auteurs ont montré que la double culture de riz a un effet positif sur le bilan carboné et sur la conservation de la matière organique du sol, en l'absence d'amendements organiques et même quand toute la biomasse aérienne du riz est exportée du champ^{[4],[21]}. Des essais de longue durée ont montré que les amendements organiques avaient un effet positif sur les rendements^[22]. Segda et al (2001)^[23] ont montré dans la Vallée du Kou (Burkina Faso) que l'application continue des amendements organiques (fumier de ferme, compost, paille de riz) améliorerait la production de riz et l'efficacité des engrais minéraux. Pour d'autres chercheurs cependant, les amendements organiques n'ont pas d'effet significatif sur l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs ou sur les rendements^{[8],[24],[25],[26],[27]}.

L'objectif de cette étude était d'évaluer les effets de la fumure minérale, organique et organo-minérale sur les paramètres chimiques du sol et sur le rendement du riz irrigué.

2. Matériel et méthodes

L'étude a été conduite dans la plaine rizicole aménagée de Bagré (11° 27' 04" N; 0° 28' 23" O) de 2002 à 2004, durant cinq cycles consécutifs : Saison humide (SH) de 2002, de 2003 et 2004 et en saison sèche (SS) de 2003 et de 2004. Le dispositif expérimental était un Split plot avec comme parcelles principales deux variétés de riz les plus utilisées sur le périmètre de Bagré (FKR 19 ou TOX 728-1 et FKR 14 ou 4418). Le tableau I présente les parcelles secondaires qui étaient constituées de huit modes de gestion de la fertilisation :

Une parcelle adjacente au dispositif d'étude, maintenue sans culture et sans irrigation est dénommée "jachère" ou "sol de référence".

La fertilisation minérale vulgarisée "fmv" correspondait à 300 kg ha⁻¹ de NPK (12:11:10) apportés au repiquage et 100 kg ha⁻¹ d'urée (saison humide) ou 150 kg ha⁻¹ d'urée (saison sèche) appliqués en deux fractions: 35% à 21 jours après repiquage (JAR) et 65% à l'initiation paniculaire. La matière organique a été apportée au labour sous forme de fumier de ferme, à la dose de 6 t ha⁻¹ an⁻¹ (fumure organique vulgarisée ou "fov") et 12 t ha⁻¹ an⁻¹ (amendement organique ou "AO").

Tableau I. Traitements appliqués dans les parcelles principales et secondaires

N°	Désignation	Etiquette
<i>Parcelles principales : variétés</i>		
1	TOX 728-1	FKR 19
2	4418	FKR 14
<i>Parcelles secondaires : modes de gestion de la fertilisation</i>		
T1	Sol sans culture et sans fertilisation	"témoin-riz"
T2	Sol cultivé sans fertilisation	"témoin+riz"
T3	Sol cultivé avec fumure minérale vulgarisée	"fmv"
T4	Sol cultivé avec fumure organique vulgarisée	"fov"
T5	Sol cultivé avec fumure organique et minérale vulgarisée	"fmv+fov"
T6	Sol sans culture avec amendement organique	"AO-riz"
T7	Sol cultivé avec amendement organique	"AO+riz"
T8	Sol cultivé avec amendement organique et fumure minérale vulgarisée	"AO+fmv"

Les doses de fumure organique sont exprimées en matière sèche. Les parcelles élémentaires avaient une superficie de 30 m² (6 m x 5 m).

Les prélèvements des échantillons de sols ont été effectués dans chaque parcelle élémentaire à l'aide d'une tarière, avant la préparation du sol, entre 25-35 JAR du riz ou à la récolte. En effet, pour [28], [29], [30], la période allant de 20 à 35 jours après le repiquage correspond à celle de fortes absorptions d'éléments nutritifs par le riz irrigué. Pour tenir compte de l'hétérogénéité du milieu, un échantillon composite constitué d'un mélange de cinq prélèvements (un dans chaque coin à 1 m au moins du bord et un au centre) a été fait aux profondeurs de 0-20 cm et 20-50 cm. L'échantillon de sol a été séché à l'air puis passé au tamis à mailles de 2 mm et de 0,5 mm de diamètre.

Le pH eau a été mesuré par la méthode électrométrique au pH-mètre, après agitation pendant 30 minutes d'un mélange de 20 g de sol dans 50 ml d'eau distillée. Les rapports sols - solution étaient donc de 1:2,5. Le **carbone organique total** a été déterminé à l'aide de la méthode Walkley-Black [31]. Le carbone est oxydé par un excès de bichromate de potassium en milieu acide sulfurique concentré. L'excès de bichromate est dosé par le sel de Mohr. Les dosages de **l'azote total** et du **phosphore total** ont été faits à l'auto analyseur (Skalar) après une minéralisation classique. Le **potassium total** a été déterminé par photométrie de flamme JENCONS [32] après minéralisation. Le dosage du **phosphore assimilable** a été fait avec la méthode Olsen [33]. Les **cations échangeables** (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺), déplacés du complexe absorbant par une solution de thiourée d'argent [Ag (H₂NCNH₂)] ont été déterminés par spectrophotométrie [34]. Le calcium et le magnésium ont été mesurés par spectrométrie

d'absorption atomique (AAS, Spectrophotomètre 3110, Perkin Elmer), le sodium et le potassium par photométrie de flamme. **La capacité d'échange cationique** a été déterminée suivant la méthode décrite par [35].

Les prélèvements d'échantillons de plantes ont suivi les procédures décrites par [36], [29]. Les rendements grains ont été mesurés sur une surface de 6 m² (3 m x 2 m) dans chaque parcelle élémentaire à la maturité de récolte. L'humidité a été mesurée sur le paddy (avec l'appareil de mesure "Kett Grain moisture Tester Riceter J. P."). Pour l'estimation du rendement paddy, le riz a été récolté sur une surface de 6 m² (3 m x 2 m) dans chaque parcelle élémentaire. Les touffes ont été coupées à environ 10 cm au-dessus du sol. Le rendement paddy a été déterminé selon la formule de [29], en ramenant le poids à 14% d'humidité.

Pour déceler les relations qui peuvent exister entre les paramètres-sol, entre les paramètres-traitements, entre les paramètres-sol et les paramètres-traitements d'une part, entre les paramètres-sol et les paramètres-plante (rendement paddy essentiellement) d'autre part, des analyses statistiques multi variées ont été conduites. Les résultats des analyses chimiques des échantillons de sols, ainsi que les résultats des rendements paddy obtenus sur les mêmes parcelles ont été utilisés. La méthode statistique multidimensionnelle utilisée est l'analyse en composantes principales (ACP) avec le logiciel XLSTAT Pro 6,0 [37] sur les données centrées-réduites. C'est une méthode descriptive qui permet de résumer un grand nombre de variables quantitatives par un nombre limité de nouvelles variables qui sont des combinaisons linéaires des premières et qui sont orthogonales entre elles. Les relations entre les paramètres-sol entre eux, entre les

paramètres-sol et les types de fumure, entre les paramètres-sol et les paramètres-plante ont été analysées.

Les paramètres-sol pris en compte sont au nombre de douze. Ils ont été introduits dans l'ACP comme des variables actives ou variables explicatives :

1. pH = pH eau
2. C_{org} = Carbone organique total du sol (en %)
3. N_{tot} = Azote total du sol (en %)
4. P_{tot} = Phosphore total du sol (en %)
5. K_{tot} = Potassium total du sol (en %)
6. $Pass.$ = Phosphore assimilable du sol (en $mg\ kg^{-1}\ sol$)
7. K^+ = Potassium échangeable (en $cmol\ kg^{-1}\ sol$)
8. Ca^{2+} = Calcium échangeable (en $cmol\ kg^{-1}\ sol$)
9. Mg^{2+} = Magnésium échangeable (en $cmol\ kg^{-1}\ sol$)
10. Na^+ = Sodium échangeable (en $cmol\ kg^{-1}\ sol$)
11. SBE = Somme des Bases Echangeables (en $cmol\ kg^{-1}\ sol$)
12. CEC = Capacité d'Echange Cationique (en $cmol\ kg^{-1}\ sol$)

Deux types de variables à expliquer ont été utilisés:

(i) les paramètres-traitements correspondant aux différents types de fumures minérales, organiques et organo-minérales, et (ii) les paramètres-plante correspondant au rendement paddy. **Les paramètres-traitements** pris en compte sont au nombre de neuf. Ils ont été introduits dans l'ACP comme des variables supplémentaires ou variables à expliquer :

- | | | |
|----------------|----------------|---------------|
| 1. jachère | 4. fmv | 7. AO - riz |
| 2. témoin-riz | 5. fov | 8. AO + riz |
| 3. témoin+ riz | 6. $fmv + fov$ | 9. AO + fmv |

Une seule **variable est liée à la plante**. Elle a été introduite dans l'ACP comme variable supplémentaire ou variable à expliquer :

1. $Paddy$ = Rendement paddy de la variété FKR 19 (en $t\ ha^{-1}$)

Cette étude est principalement axée sur les modifications profondes des effets cumulatifs des apports de fumure qui affectent le sol et qui influencent le rendement paddy. L'étude tente d'apprécier les effets induits des types de fumure sur le rendement paddy. Les données relatives au rendement paddy ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à un facteur et à un test simultané de comparaison des moyennes de Duncan lorsque l'analyse était significative. L'ANOVA et les tests de comparaison des moyennes ont été calculés à partir d'un modèle linéaire général (GLM) et réalisés sous l'environnement Statistica

^[38]. Les tests ont été effectués avec un niveau alpha de 5%.

3. Résultats

3.1. Caractérisation de l'état de fertilité du sol de l'expérimentation

Le tableau II présente les caractéristiques physico-chimiques du sol de l'expérimentation. Les paramètres physiques ont été déterminés sur les échantillons prélevés à 0-20 cm tandis que les paramètres chimiques ont été déterminés sur les échantillons prélevés à 0-20 cm et 20-50 cm.

Les valeurs du pH rencontrées (moyenne 6,60) se situent dans la plage "faiblement acide à neutre" ^[39], ce qui n'influence pas l'absorption des éléments minéraux par le riz. Des valeurs moyennes se rencontrent pour le carbone organique total (moyenne 0,74% pour l'horizon 0-20 cm et 0,49% pour l'horizon 20-50 cm) et la somme des bases échangeables (SBE) dont la valeur moyenne est de 7,0 et 7,2 $cmol\ kg^{-1}$ de sol respectivement pour les horizons 0-20 cm et 20-50 cm. Une étude du Bunasols ^[40] indique des résultats similaires à Bagré. Les caractéristiques générales comme le pH sont dans des plages favorables pour le développement du riz. De fortes valeurs de saturation du calcium échangeable (Ca^{2+}) et du magnésium échangeable (Mg^{2+}) du complexe d'échange comme les faibles valeurs du sodium (Na^+) indiquent un pouvoir tampon élevé en considérant ces deux paramètres. On constate de faibles valeurs de l'azote total (N total), du potassium échangeable (K^+) et du phosphore assimilable (Pass.).

3.2. Relations entre les différents paramètres-sol et les types de fumure.

L'examen du cercle des corrélations entre variables (paramètres-sols) et individus (traitements) dans le plan principal 1-2 (figure 1) permet de dégager les relations entre les différents paramètres-sol et les types de fumure. Certaines relations sont étroites.

C'est le cas entre "fov", "AO+riz" et "fmv+fov" qui sont associés à l'azote total (N_{tot}), au carbone organique total (C_{org}), au calcium échangeable (Ca^{2+}), la capacité d'échange cationique (CEC) et au phosphore total (P_{tot}). En outre, "fmv" est assez singulier. Lui sont associés le pH, le sodium échangeable (Na^+), le phosphore assimilable (P ass.) et le potassium échangeable (K^+). La fumure organique apportée à la dose vulgarisée ($6\ t\ ha^{-1}\ an^{-1}$) contribue à une amélioration du statut minéral du sol, notamment en ces différents éléments.

L'apport de fumure minérale (NPK dans notre cas) contribue à une diminution du pH, à une

augmentation du phosphore assimilable et du potassium échangeable. La "jachère" et le "témoin-riz" sont assez proches, la seule différence est que le dernier cité est inondé une partie de la saison de culture. Les amendements organiques seuls "AO-riz" ou associés à la fumure minérale "AO+fmv" sont faiblement liés.

Pour déceler les relations qui peuvent exister entre les paramètres-sol et les paramètres-plante (rendement paddy essentiellement), les résultats des analyses chimiques d'échantillons de sols, ainsi que les résultats des rendements paddy obtenus sur les mêmes parcelles ont été soumis à l'analyse multivariée. Les figures 2 et 3 représentent respectivement le cercle des corrélations des variables et la projection des individus dans le plan principal (Plan 1-2).

3.3. Relations entre le rendement paddy et les paramètres chimiques du sol

Tableau II. Caractéristiques physiques et chimiques du sol de l'expérimentation avant l'application des traitements

		Caractéristiques et composition chimique		
Types de constituants		Horizon 0-20 cm		
Analyse granulométrique	Argile (< 2 µm), %	17,25		
	Limons fins (2-20 µm), %	6,75		
	Limons grossiers (20-50 µm), %	11,15		
	Sables fins (50-200 µm), %	26,53		
	Sables grossiers (200-2000 µm), %	38,33		
Densité apparente	d.a. (g cm ⁻³)	1,69		
		Horizon 0-20 cm	Horizon 20-50 cm	
Matière organique	Matière organique totale, %			
	Carbone organique total (C org.), %	0,74	0,49	
	Azote total (N tot), %	0,06	0,04	
	C/N	13	12	
Potassium	Total (K tot), %	0,10	0,11	
Phosphore	Assimilable (P ass.), mg kg ⁻¹ sol	2,10	2,40	
	Total (Ptot), mg kg ⁻¹ sol	103,00	71,00	
Bases échangeables	Calcium (Ca ²⁺), cmol kg ⁻¹ sol	4,00	3,90	
	Magnésium (Mg ²⁺), cmol kg ⁻¹ sol	2,80	3,00	
	Potassium (K ⁺), cmol kg ⁻¹ sol	0,12	0,70	
	Sodium (Na ⁺), cmol kg ⁻¹ sol	0,16	0,26	
	Somme des bases (SBE), cmol kg ⁻¹ sol	7,00	7,20	
	Capacité d'échange (CEC), cmol kg ⁻¹ sol	7,70	7,90	
	Taux de saturation, %	91,00	83,10	
	Réaction du sol	pH eau	6,10	6,00
		pH KCl	5,50	5,20

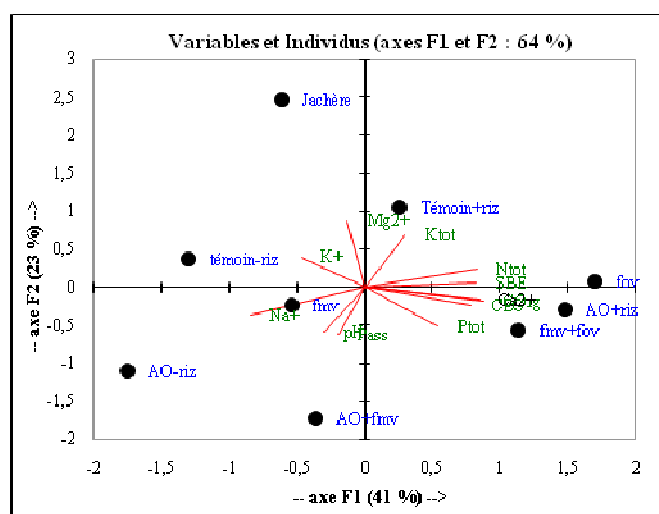


Figure 1. Cercle des corrélations entre les paramètres-sols et les traitements dans le plan principal (Plan 1-2).

Les quatre premiers axes factoriels expliquent près de 96% de la variabilité totale des différentes variables actives. L'axe 1 explique à lui seul 47% de la variation totale de la matrice de dispersion des individus et l'axe 2 en explique 25%. Le plan principal 1-2 prend donc en compte 72% de la variation totale (figure 2). L'axe 1 est caractérisé par Ktot, Ntot, CEC, Na⁺, Pass., Corg. Il peut être considéré comme l'axe de la "**matière organique**". Les coefficients de corrélation entre ces variables actives et l'axe 1 sont égaux ou supérieurs à 0,50. Les pourcentages de la variabilité des variables expliquées par le facteur 1 sont par ordre décroissant : Potassium total (Ktot): 90% ; Azote total (Ntot) : 74% ; Capacité d'échange cationique (CEC) : 68% ; Sodium échangeable (Na⁺) : 67% ; Phosphore assimilable (Pass.) : 57% ; Carbone organique total (Corg.) : 50%. L'axe 2 est caractérisé par le Ca²⁺, la SBE. Il peut être considéré comme l'axe du "**complexe absorbant**". Les coefficients de corrélation entre ces variables actives et l'axe 2 dépassent 0,90. Les pourcentages de la variabilité des variables expliquées par le facteur 2 sont par ordre décroissant : Calcium échangeable (Ca²⁺) : 95% ; Somme des bases échangeables (SBE) : 91% ; Phosphore total (Ptot) : 57%. Les axes 1 et 2 peuvent être considérés comme des axes qui expriment la **fertilité du sol**. Les corrélations qui existent entre le rendement paddy et ces deux axes sont étroites. La variable "rendement paddy" est fortement expliquée par l'axe 1 (88,5%). Pour les axes 1 et 2, cette relation est de 91%. Le potassium échangeable est mieux

interprété sur les F3, le magnésium échangeable sur les F4. L'examen du cercle des corrélations dans le plan principal 1-2 permet de dégager les relations entre les différents paramètres-sol. Certaines relations sont étroites. C'est le cas entre le carbone organique total et l'azote total (figure 4a). Le coefficient de corrélation est égal à 0,91 (r est significatif au seuil p<0,05).

La somme des bases échangeables et le calcium échangeable (figure 4b) sont également très fortement liés (r = 0,99). Des relations très étroites mais non statistiquement significatives existent entre le pH et K tot (r=0,547), entre Ntot et Na⁺ (r=0,612), entre Ptot et Na⁺ (r=0,745), entre Pass. et Na⁺ (0,733), entre Ktot et K échangeable (r=0,652), entre la CEC et Ktot (r=0,720), entre le rendement paddy et Ntot (r=0,738), entre le rendement paddy et Corg (r=0,517).

En tenant compte du cercle des corrélations du plan principal de la **figure 2** et du nuage des individus de la **figure 3**, la teneur du sol en phosphore assimilable, en carbone organique total, en azote total et en sodium échangeable permettent de mieux discerner les différentes situations culturales. Par ailleurs, la position de la "variable plante" qui est le "rendement paddy" sur le cercle des corrélations indique que les teneurs en phosphore assimilable, en carbone organique, en azote total et en sodium échangeable sont parmi les variables du sol celles qui expliquent le plus la variabilité des rendements paddy. La **figure 5** permet d'illustrer sur des graphiques à deux dimensions ces relations.

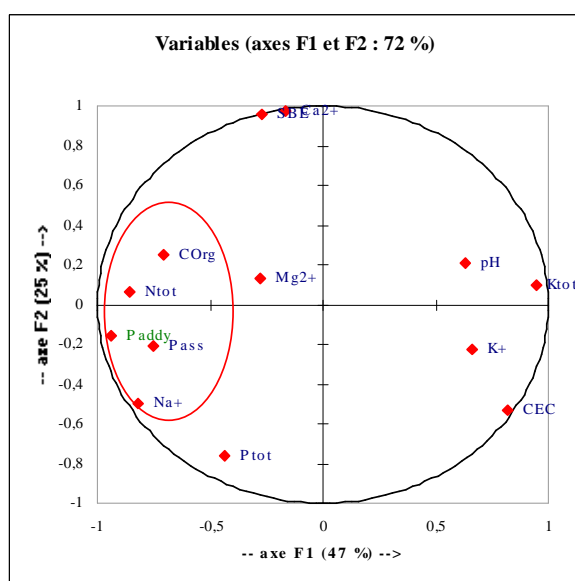


Figure 2. Cercle des corrélations entre paramètres-sols dans le plan principal (Plan 1-2)

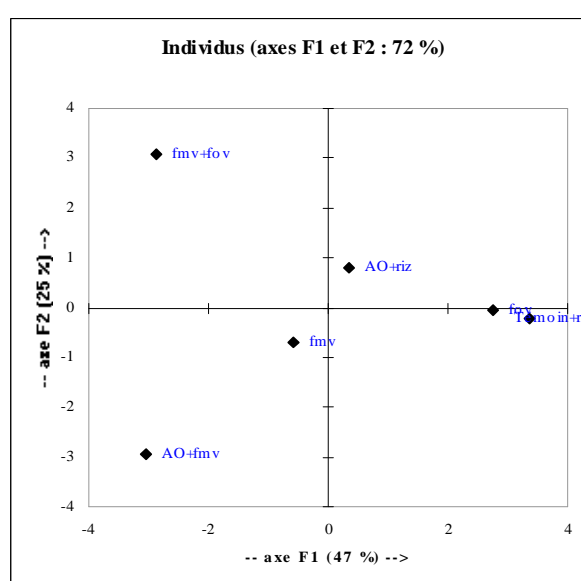


Figure 3. Projection des individus (traitements) dans le plan principal (Plan 1-2)

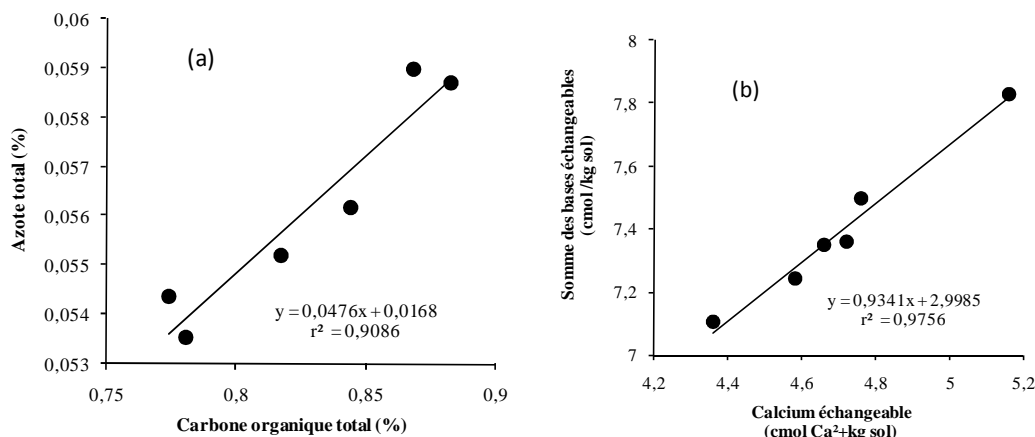


Figure 4. Relation entre le carbone organique total et l'azote total (a) et entre le calcium échangeable et la somme des bases échangeables (b) sur des échantillons de sols prélevés dans l'horizon 0-20 cm à Bagré en saison humide 2004.

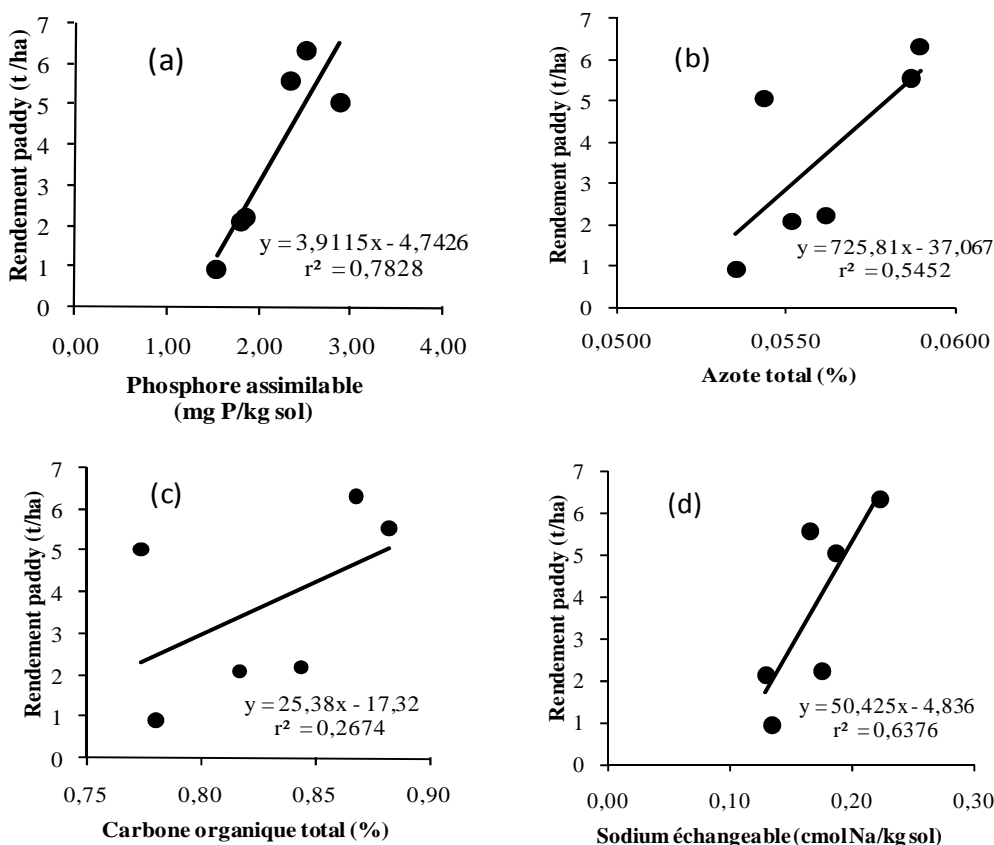


Figure 5. Relation entre le rendement paddy et la teneur du sol en phosphore assimilable (a), en azote total (b), en carbone organique total (c), en sodium échangeable (d).

Les coefficients de corrélation (tableau III) entre le phosphore assimilable et le rendement paddy ($r^2=0,78$) sont relativement étroits (significatif au seuil $p<0,05$). D'autres relations étroites mais non significatives existent entre le sodium échangeable et le rendement paddy, entre l'azote total et le rendement paddy ($r^2=0,55$) et entre le carbone

organique total et le rendement paddy ($r^2=0,27$). La richesse du sol en phosphore assimilable, en carbone organique total, en azote total et en sodium échangeable semble déterminer le rendement paddy. Ces éléments sont apportés par la fumure minérale (sauf Na^+) mais surtout par la matière organique.

Tableau III. Matrice de corrélation entre les variables étudiées (sol et rendement paddy)

	pH	Ntot	Ptot	Ktot	Pass	COrg	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SBE	CEC	Paddy
Variables actives													
pH	1	-0,568	-0,225	0,547	-0,498	-0,369	-0,446	0,485	0,083	0,291	0,080	0,298	-0,736
Ntot	-0,568	1	0,490	-0,770	0,371	0,953	0,612	-0,237	0,195	0,137	0,289	-0,800	0,738
Ptot	-0,225	0,490	1	-0,443	0,386	0,345	0,745	0,173	-0,647	0,000	-0,569	-0,060	0,490
Ktot	0,547	-0,770	-0,443	1	-0,677	-0,621	-0,891	0,652	-0,018	-0,523	-0,146	0,720	-0,840
Pass	-0,498	0,371	0,386	-0,677	1	0,117	0,733	-0,789	-0,018	0,034	0,037	-0,465	0,885
COrg	-0,369	0,953	0,345	-0,621	0,117	1	0,406	-0,061	0,338	0,189	0,427	-0,802	0,517
Na ⁺	-0,446	0,612	0,745	-0,891	0,733	0,406	1	-0,468	-0,372	0,416	-0,248	-0,428	0,798
K ⁺	0,485	-0,237	0,173	0,652	-0,789	-0,061	-0,468	1	-0,335	-0,274	-0,379	0,544	-0,689
Ca ²⁺	0,083	0,195	-0,647	-0,018	-0,018	0,338	-0,372	-0,335	1	0,048	0,988	-0,653	0,041
Mg ²⁺	0,291	0,137	0,000	-0,523	0,034	0,189	0,416	-0,274	0,048	1	0,175	-0,326	0,014
SBE	0,080	0,289	-0,569	-0,146	0,037	0,427	-0,248	-0,379	0,988	0,175	1	-0,743	0,113
CEC	0,298	-0,800	-0,060	0,720	-0,465	-0,802	-0,428	0,544	-0,653	-0,326	-0,743	1	-0,663
Variable supplémentaire													
Paddy	-0,736	0,738	0,490	-0,840	0,885	0,517	0,798	-0,689	0,041	0,014	0,113	-0,663	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,050 (Test bilatéral)

Evolution du rendement paddy en fonction de la saison, des fumures ou de la variété

D'une saison à l'autre, les rendements paddy diffèrent significativement (figure 6). Les rendements paddy de la saison humide 2002 sont significativement supérieurs aux rendements paddy de toutes les autres saisons ($p < 0,0001$). Les rendements paddy de la SH 2004 sont significativement supérieurs à ceux des saisons sèches 2003 et 2004 (mais la différence n'est pas significative entre elles). Les rendements paddy de toutes les saisons de culture sont significativement supérieurs à ceux de la saison humide 2003. La baisse des rendements en SH 2003 est principalement le fait d'attaques parasitaires et surtout d'insectes, qui ont été particulièrement importantes au cours de cette saison. Les désherbages tardifs observés ont également contribué à cette baisse très significative du rendement paddy.

L'analyse de variance montre que la différence est faiblement significative ($p < 0,0438$) entre les rendements paddy pour l'interaction variété x saisons de culture. Les rendements de la variété FKR 14 sont supérieurs à ceux de la FKR 19. Les rendements paddy en HIV 2002 sont les plus élevés, surtout avec la variété FKR 14, suivis des rendements paddy de l'HIV 2004 avec la FKR 14 > FKR 19. Les rendements paddy de la FKR 14 en SS 2004 sont significativement supérieurs à ceux de la FKR 14 de la SS 2003, alors que pour la FKR 19, la différence n'est pas significative pour les

rendements des deux saisons sèches. Les rendements des deux variétés en saison humide ne sont pas significativement différents entre eux mais ils le sont en comparaison avec les autres saisons de culture. L'ANOVA montre en outre que la différence est significative ($p < 0,0422$) entre les rendements paddy de l'interaction variétés x traitements (figure 7). Avec la variété FKR 14, la différence est significative entre les rendements paddy des traitements "AO+fmv", "fmv+fov" et "fmv". Par contre, la différence n'est pas significative entre les rendements des traitements "fmv+fov" et "AO+fmv" avec la variété FKR 19. Les rendements paddy de ces deux derniers traitements sont significativement supérieurs aux rendements paddy obtenus avec la variété FKR 19 pour le traitement "fmv". Les rendements paddy des deux variétés sont significativement supérieurs pour les traitements "AO+riz" et "fov", mais les rendements sont très faibles par rapport aux traitements "fmv", "fmv+fov" et "AO+fmv". Pour le traitement témoin ("témoin+riz"), il n'y a pas de différence significative entre les deux variétés. Par contre, les rendements paddy des deux variétés sont significativement inférieurs à ceux des autres traitements.

4. Discussion

Les tentatives de liaison des rendements aux caractéristiques physico-chimiques des sols mesurées sur des échantillons secs ont été peu fructueuses (en dehors de la relation avec le phosphore assimilable). Il est vraisemblable que les

outils pédo-chimiques appliqués à des échantillons composites de sol sont trop grossiers pour rendre compte des variations de rendement dans les sols de cette étude.

La submersion des sols induit dans la solution des variations difficilement prévisibles quantitativement. Les rendements semblent néanmoins tributaires de certaines caractéristiques pédo-chimiques. Ces considérations demandent un affinement que l'on peut atteindre par le biais d'analyses foliaires au moment de la différenciation paniculaire. Les teneurs du sol en phosphore assimilable, en carbone organique, en azote total, et en sodium échangeable semblent déterminer le

rendement paddy. Lv et al (2011) ^[41] ont montré en Chine que le rendement paddy était significativement corrélé avec tous les paramètres chimiques du sol à l'exception du potassium total. Ils rapportent aussi que le phosphore assimilable était le facteur limitant du rendement paddy. Yan et Gong (2010) ^[42] ont indiqué que l'utilisation combinée de la fertilisation minérale et organique augmentait non seulement les rendements mais réduisait aussi leur variabilité. Ces différents résultats mettent en exergue l'importance de l'apport des matières organiques (carbone et azote en particulier) dans le maintien et/ou l'amélioration des caractères chimiques des sols et dans l'élaboration du rendement paddy.

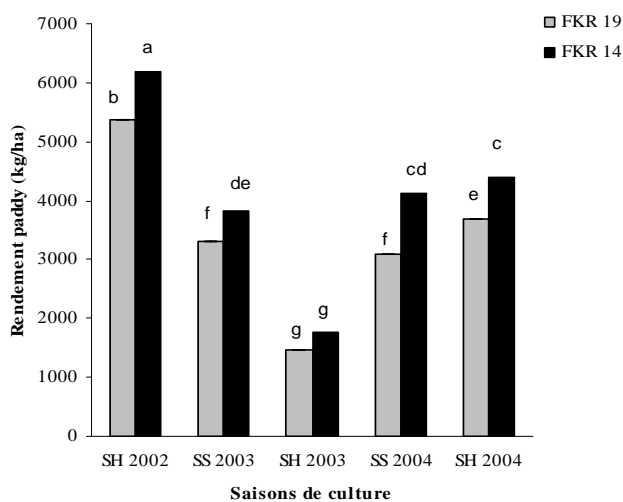


Figure 6. Rendements paddy moyens en fonction des variétés et pour les saisons de culture SH 2002, SS 2003, SH 2003, SS 2004 et SH 2004 confondus à Bagré

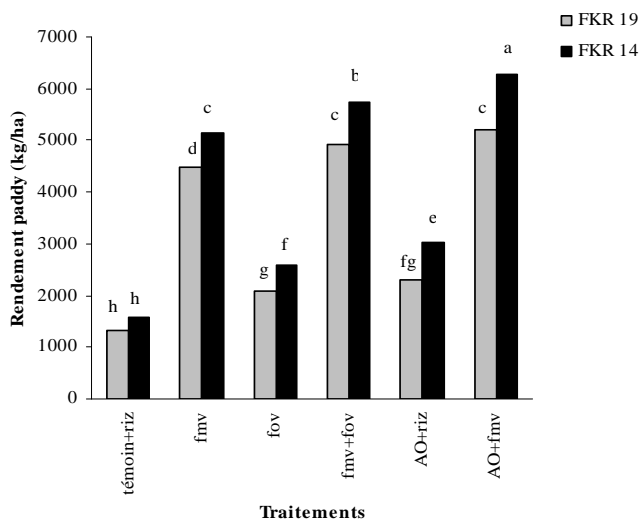


Figure 7. Rendements paddy moyens en fonction des variétés et des traitements pour les saisons de culture SH 2002, SS 2003, SH 2003, SS 2004 et SH 2004 confondus à Bagré

L'effet positif des traitements qui reçoivent la fumure organo minérale sur les rendements paddy est manifeste. Les rendements significativement les plus élevés sont observés avec les traitements apportant la fumure minérale "fmv" ou la fumure organo minérale ("fmv+fov" et "AO+fmv"). Segda et al, 2014 ^[43] ont montré que l'application de la fumure organo minérale contribuait à l'accroissement des rendements du riz irrigué, par rapport à la fumure organique seule ou à la fumure minérale seule. Zhang et al (2009) ^{[44], [45]} ont obtenu des résultats similaires aux nôtres. L'application de la fumure organique seule "fov" ou "AO" ne permet pas de stabiliser les rendements. Ils sont inférieurs à ceux obtenus avec la fumure minérale seule "fmv". La fumure minérale vulgarisée "fmv" seule permet une augmentation très significative des rendements paddy comparé à la fertilisation organique. En outre, les traitements "AO+fmv", "fmv+fov", "AO+riz" dont les valeurs de $N_{NH_4^+}$ sont les plus fortes de 78 JAR jusqu'à la récolte (Segda, 2006) ^[46], possèdent les rendements significativement les plus élevés. Ceci confirme le besoin d'une disponibilité de l'azote à cette période de remplissage des grains. Dawe et al. (2000) ^[47] aux Philippines, Bado et al ^[48] dans la Vallée du fleuve Sénégal ont également signalé une augmentation des rendements paddy dans plusieurs essais de longue durée. Cependant, les résultats de notre étude ont montré que cette augmentation est relativement faible par rapport à l'application de la fumure minérale seule qui semble très performante, plus réaliste et probablement plus économique. Même si la biomasse du riz est disponible pour le compostage ou pour l'alimentation des animaux (transfert ensuite du fumier vers les rizières), les coûts liés à la production et à l'utilisation de cette matière organique peuvent-ils permettre une utilisation bénéfique en complément de la fumure minérale? Au vu de ces résultats, on peut conclure que la fumure minérale vulgarisée est la plus intéressante du point de vue de l'augmentation des rendements. Cependant, l'utilisation combinée de la fumure organique bien que n'assurant pas une augmentation très significative des rendements par rapport à la seule fumure minérale permet de maintenir plus durablement la fertilité des sols par la matière organique et les nutriments apportés.

5. Conclusion

Les teneurs du sol en phosphore assimilable, en carbone organique total et en azote total semblent déterminer le rendement paddy. Pour tous les paramètres chimiques analysés, les rendements les plus élevés sont observés avec les traitements

apportant la fumure minérale ("fmv"), mais surtout avec la fumure organo minérale ("fmv+fov" et "AO+fmv"). Les résultats obtenus à Bagré font ressortir clairement l'effet positif de la combinaison fumure minérale et fumure organique sur le rendement paddy quelle que soit la quantité de substrat organique apportée. Pour les cinq saisons de culture consécutives, les résultats moyens obtenus font ressortir la supériorité de la fertilisation organo minérale par rapport aux autres traitements. Les rendements paddy observés tendent à augmenter, en particulier pour les traitements qui reçoivent la fumure organo minérale. Sans apport d'engrais ("témoin+riz"), les rendements moyens tournent autour d'une tonne et demi par hectare. L'apport de la fumure minérale vulgarisée seule ("fmv") permet d'obtenir des rendements additionnels de plus de trois tonnes par rapport au témoin sans engrais. L'application de la fumure organique seule ("fov" ou "AO+riz") ne permet pas de stabiliser les rendements. Un rendement additionnel de plus de 3 t ha⁻¹ est atteint avec l'adjonction de la fumure organique à la dose vulgarisée en combinaison avec la fumure minérale vulgarisée ("fmv+fov"). Par contre, il ne semble pas nécessaire d'apporter le double de la quantité de fumure organique vulgarisée, dans les conditions de sols de la plaine de Bagré. Cependant, cette augmentation est relativement faible par rapport à l'application de la fumure minérale seule qui semble très performante, plus réaliste et probablement plus économique. Une analyse économique centrée sur les revenus nets issus de l'utilisation de la fumure organo minérale dans les conditions de riziculture irriguée de Bagré devrait être conduite.

6. Références bibliographiques

- [1] Wopereis M.C.S., Donovan C., Nebié B., Guindo D., N'Diaye M.K., Field Crops Res.(1999) 61, 125-145.
- [2] Nebié B, Etude des contraintes agropédologiques déterminant la production du riz irrigué dans la Vallée du Kou au Burkina Faso. Thèse Docteur-ingénieur, option sciences agronomiques, Faculté des Sciences et Technique, Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan, 1995.
- [3] N'Diaye M.K., Guindo D., Dicko M.K., Gestion de la fertilité des sols rizicoles de l'Office du Niger. In (K.M.) Miézan, (M.C.S.) Wopereis, (M.) Dingkuhn, (J.) Deckers and (T.F.) Randolph (Ed.). Irrigated rice in the Sahel. Prospects for sustainable Development - West Africa Rice Development Association, 1997, Bouaké, Côte d'Ivoire.
- [4] Cassman K.G., De Datta S.K., Olk D.C., Alcantara J.M., Samson M.I., Descalsota J.M., Dizon M.A., Yield decline and the nitrogen economy of long-term experiments on continuous, irrigated rice systems in the

- tropics. In *Soils Management: Experimental Basis for sustainability and Environmental Quality*, (R.) Lal and (B.A.) Stewart (Ed.). Lewis / CRP Publishers, 1995, Boca Raton, Florida.
- [5] Sedogo P.M., Evolution des sols ferrugineux tropicaux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse doctorat es sciences, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 1993.
- [6] Bonzi M. Evaluation et déterminisme du bilan de l'azote en sols cultivés du centre Burkina Faso: Etude par traçage isotopique ¹⁵N au cours d'essais en station et en milieu paysan. Doctorat Sciences Agronomiques INLP. ENSAIA, Nancy, 2002.
- [7] Chen R. et Twilley R.A., *Biogeochemistry* (1999) 44, 93–118.
- [8] Cassman K.G., Dobermann A., Sta. Cruz P.C., Gines H.C., Samson M.I., Descalsota J.P., Alcantara J.M., Dizon M., Olk D.C., *Plant Soil* (1996) 182, 67-278.
- [9] Majundar D., Kumar S., Pathak S., Jain M.C., Kumar O., *Agric. Ecosyst. Env.* (2000) 81, 163-169.
- [10] Donald R.C. et Mohammad B.B., *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* (1998) 29, 2355–2363.
- [11] Narteh L.T. et Sahrawat K.L., Ammonium in solution of flooded west African soils. *Geoderma* (2000) 95, 205– 214.
- [12] Ando T., Yoshida S., Nishiyama I., *Plant Soil* (1983) 72, 57-71.
- [13] Sahrawat K.L., Nitrogen availability indexes for submerged rice soils. *Advances in Agronomy* (1983) 36, 415-451.
- [14] Manguiat I.J., Mascarina G.B., Ladha J.K., Buresh R.J., Tallada J., *Plant Soil* (1994) 160, 131-137.
- [15] Pichot J., Sedogo M.P., Poulain J.F., Arrivets J., *Agronomie Tropicale* (1981) 36, 122-133.
- [16] Sedogo P.M., Contribution à l'étude de la valorisation des résidus culturaux en sols ferrugineux et sous climat tropical semi-aride. Matière organique du sol, nutrition azotée des cultures. Thèse de Docteur Ingénieur, INPL Nancy, 1981.
- [17] Pieri C., Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. Ministère français de la Coopération et du Développement et CIRAD-IRAT, 1989, Paris.
- [18] Bado B.V., Sedogo M.P., Cescas M.P., Lompo F., Bationo A., *Cahiers Agricultures* (1997), Vol. 6 (6), 571-575.
- [19] Bray F, *The rice economics. Technology and development in Asian societies.* B. Blackwell, 1986, London, UK.
- [20] von Uexkuell H.R. and Beaton J.D., A review of fertility management of rice soils. In: Kimble J.M (ed.) *Characterization, classification, and utilization of wet soils.* Proc. of the 8th International Soil Correlation Meeting, USDA, Soil Conservation Service, 1992, Lincoln.
- [21] Witt C., Cassman K.G., Olk D.C., Biker U., Liboon S.P., Samson M.I., Ottow J.C.G., *Plant Soil* (2000) 225, 263–278.
- [22] Yadav R.L., Dwivedi B.S., Prasad K., Tomar O.K., Shurpali N.J., Pandey P.S., *Field Crops Res.* (2000) 68, 219–246.
- [23] Segda Z., Lompo F., Wopereis M.C.S., Sedogo P.M., *Agron. Afri.* (2001) 13 (2), 45-58.
- [24] Ladha J.K., Dawe D., Ventura T.S., Singh U., Ventura W., Watanabe I., *Soil Sci. Soc. Am. J.* (2000) 64, 1993-2001.
- [25] Duxbury J.M., *J. Crop Prod.* (2001) 3, 27–52.
- [26] Haefele S.M., Wopereis M.C.S., Wiechmann H., *Field Crops Res.* (2002) 78, 119-131.
- [27] Haefele S.M., Wopereis M.C.S., Schoenbohm A., Wiechmann H., *Field Crops Res.* (2004) 85 (1), 61-77.
- [28] Dobermann A., Cassman K.G., Cruz P.C. Sta, Adviento M.A.A., Pampolino M.F., *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* (1996) 46, 11-21.
- [29] Dobermann A., Fairhurst T.H., *Rice: Nutritional disorders and nutrient management.* International Rice Research Institute & Potash and Phosphate Institute, 2000, Singapore.
- [30] Fairhurst T. et Witt C. (eds:). *Rice: a practical guide to nutrient management.* Potash and Phosphate Institute (PPI), Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC), International Rice Research Institute (IRRI), 2002, Los Banos.
- [31] Walkley A., Black J. A., *Soil Science* (1934) 37, 29-38.
- [32] Walinga I., Van Vark W., Houba V. J.G. et Van der Lee J.J., *Plant analysis procedures., Syllabus, Part 7, Dpt. Soil Sc. Plant Nutr. WAU.* 1989, Wageningen.
- [33] Kuo S., Phosphorus. In: Bigham, J.M. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* Soil Science Society of America / Am. Soc. Agron., 1996, Madison, WI.
- [34] Chapman H.D., Cation exchange capacity. In: *Methods of Soil Analysis.* Black, C.A. (Ed.) *Agronomy 9, Am. Soc. Agron.,* 1965, Madison, WI.
- [35] Rhoades J.D., Cation exchange capacity. In: *Methods of Soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties* (Edited by Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R.) *American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America. Inc.,* 1982, Madison.
- [36] Witt C., Dobermann A., Abdulrachman S., Gines H.C., Wang Guanghuo., Nagarajan R., Satawatananont S., Tran Thuc Son., Pham Sy Tan., Le Van Tiem., Simbahan G.C., Olk D.C., *Field Crops Res.* (1999) 63 (2), 113-138.
- [37] Addinsoft., 2002. XLSTAT Pro Version 6.0, www.xlstat.com
- [38] Statsoft Inc. STATISTICA, version 6, France, 2001, www.statsoft.com
- [39] Bunasols, Etude pédologique du périmètre irrigué de Bagré (Bagré aval, bief A et B, première tranche), échelle 1/10 000. Vol. 1: rapport principal, Rapport technique 95, BUNASOLS, 1994, Ouagadougou.
- [40] Bunasols, Manuel pour l'évaluation des terres. Document Technique n° 6, 1990, Ouagadougou.

- [41] Ly M, Li Z, Che Y, Han F.X, Liu M, Biol. Fert. Soils (2011) 47 (7), 777-783.
- [42] Yan X, Gong W, Plant and Soil (2010) Vol. 331 (1-2), 471-480.
- [43] Segda Z., Bonzi M., Gnankambary Z., Lompo F., Sedogo P.S., J. Agric. Crop Res. (2014) 2(2), 32-43.
- [44] Zhang J., Qin J, Yao W, Bi L, Lai T, Yu X., Plant Soil Environ. (2009) 55(3), 101-109.
- [45] Yan X, Zhou H, Zhu QH, Wang XF, Zhang YZ, Yu XC, Peng X., Soil Tillage Res. (2013) 130, 42-51.
- [46] Segda Z., Gestion intégrée de la fertilité du sol pour une production améliorée et durable du riz (*Oryza sativa* L.) au Burkina Faso. Cas de la plaine irriguée de Bagré. Thèse de Doctorat Unique en Sciences Biologiques Appliquées, Option Biologie et Ecologie Végétales, UFR-SVT, Université de Ouagadougou, 2006.
- [47] Dawe D., Dobermann A., Moya P., Abdurachman S., Singh B., Lal P., Li S.Y., Lin B., Panullah G., Sariam O., Singh Y., Swarup A., Tan P.S., Zhen Q.-X., Field Crops Research (2000) 66, 175-193.
- [48] Bado B.V., Aw A., N'Diaye M.K., Long-term effect of continuous cropping of irrigated rice on soil and yield trends in the Sahel of West Africa. Second Africa Rice Congress: Innovation and Partnerships to Realize Africa's Rice Potential. Theme 2: Ecological intensification and diversification of rice-based systems, 2010, Bamako.