

BURKINA FASO
Unité – Progrès – Justice
MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET SUPERIEUR

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE

Présenté par:

SANON Abdramane

Pour l'obtention du :

Diplôme d'Etudes Approfondies en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles

Option : Systèmes de Productions Végétales

Spécialité : Sciences du sol

Sur le thème :

Gestion intégrée des fumures dans un système de rotation à base de riz pluvial strict dans la zone sud soudanienne du Burkina Faso.

Soutenu le 08 décembre 2015 devant le jury composé de :

Président : Dr. Zacharie SEGDA, CAP/M

Membres : Dr. Bernard BACYE, IDR/UPB

Adama TRAORE, GRNSP/DRREA-O

Maitre de Stage : Dr. Karim TRAORE, GRNSP/DRREA-O

Directeur de Mémoire: Pr. Hassan Bismarck NACRO, IDR/UPB

N°: __-2015

2015

BURKINA FASO
Unité – Progrès – Justice
MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET SUPERIEUR

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE

Présenté par:

SANON Abdramane

Pour l'obtention du :

Diplôme d'Etudes Approfondies en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles

Option : Systèmes de Productions Végétales

Spécialité : Sciences du sol

Sur le thème :

Gestion intégrée des fumures dans un système de rotation à base de riz pluvial strict dans la zone sud soudanienne du Burkina Faso.

Soutenu le 08 décembre 2015 devant le jury composé de :

Président : Dr. Zacharie SEGDA, CAP/M

Membres : Dr. Bernard BACYE, IDR/UPB

Adama TRAORE, GRNSP/DRREA-O

Maitre de Stage : Dr. Karim TRAORE, GRNSP/DRREA-O

Directeur de Mémoire: Pr. Hassan Bismarck NACRO, IDR/UPB

Table des matières	Pages
Dédicace	iv
Remerciements	v
Sigles et abréviations	vii
Liste des tableaux	viii
Liste des figures	viii
Liste des annexes	viii
Résumé	ix
Abstract	x
Introduction	1
Chapitre 1 : Etude Bibliographique	3
1. 1. État des connaissances sur le plant de riz.....	3
1.1.1. Origine et classification botanique	3
1.1.2. Caractéristiques morphologiques du plant de riz	3
1.1.3. Croissance et développement du riz.....	4
1.1.4. Exigences écologiques du riz	5
1.1.5. Riz et Riziculture au Burkina Faso.....	6
1.1.6. Conclusion partielle.....	8
1.2. Eléments nutritifs pour la culture du riz pluvial strict.....	8
1.2.1. Source d'éléments nutritifs.....	8
1.2.2. Rôle des éléments nutritifs majeurs chez le riz	9
1.2.3. Concept et baisse de la fertilité des sols	11
1.2.4. Gestion intégrée de la fertilité des sols.....	11
1.2.5. Conclusion partielle.....	12

1.3. Système de culture.....	12
1.3.1. Concept de système de Culture	12
1.3.2. Association culturale et assolement-rotation.....	13
1.3.3. Conclusion partielle.....	14
Chapitre 2 : Matériel et Méthodes.....	15
2.1. Matériel d'étude	15
2.1.1. Site d'étude.....	15
2.1.2. Matériel végétal.....	17
2.1.3. Engrais utilisés	18
2.2. Méthodes d'étude	19
2.2.1. Dispositif expérimental	19
2.2.2. Conduite de l'essai	22
2.2.3. Collecte de données.....	23
2.2.4. Paramètres calculés	24
2.2.5.	25
Analyse des échantillons de sols prélevés.....	25
2.2.6. Analyse Economique.....	27
2.2.7. Analyse statistiques des données.....	28
Chapitre 3 : Résultats et Discussions.....	28
3.1. Résultats	28
3.1.1. Propriétés chimiques du sol et des fumures	28
3.1.2. Effet des rotations et des fumures sur la croissance du riz pluvial strict.....	29
3.1.3. Effet des rotations et des fumures sur le nombre de talles des plants de riz.	30
3.1.4. Effet des rotations et des fumures sur les composantes de rendement du riz pluvial	31

3.1.5. Relations entre paramètres chimiques du sol et composantes de rendement du riz pluvial.....	32
3.1.6. Efficacité Agronomique	33
3.1.7. Rentabilité économique et revenu monétaire des fumures.....	33
3.2. Discussion	34
3.2.1. Effet des rotations et des fumures sur les propriétés chimiques des sols.....	34
3.2.2. Effet des rotations sur la croissance et le rendement paddy du riz.....	35
3.2.3. Effet des fumures sur la croissance et le rendement paddy.....	36
3.2.4. Effet d'interaction des rotations et des fumures sur la croissance et le rendement du riz.....	38
3.2.5. Rentabilité Economique des options testées	38
Conclusion et recommandations	39
Références bibliographiques	41
Annexes.....	xi

Dédicace

A mon père SANON Bêma, J'aurai tant aimé que vous soyez en bonne santé. Vous qui avez su m'inculquer le goût du travail, l'humilité, l'amour du prochain... meilleure santé à vous.

A mes mamans : SANON Ramatou, SANON Alimatou, et SANON Ardiata pour l'amour qu'elles m'ont toujours apporté ;

A tous mes frères, sœurs et tous mes amis d'enfance pour leur soutien et leurs encouragements qu'ils m'ont toujours témoignés.

Santé et longues vies à vous.

Remerciements

Je voudrais tout d'abord dire merci au tout puissant **DIEU** qui nous accorde la santé et la chance de pouvoir réaliser ce travail.

Nos remerciements vont à l'endroit de notre maître de stage, le **Dr TRAORE Karim**, chercheur à l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles notre maître de stage qui a su nous guider et nous encourager depuis notre stage d'ingénieur et a su cultiver en nous l'amour des sciences du sol et de la recherche agronomique. Il a mis à notre disposition les ressources et le cadre scientifique nécessaire à ce travail. Nous le remercions pour avoir accepté la supervision scientifique de ce travail.

Ce travail a bénéficié du soutien de plusieurs personnes qu'il me fait plaisir de remercier.

Ces remerciements vont à l'endroit du **Pr. NACRO Hassan Bismarck** Enseignant Chercheur à l'Institut du Développement Rural (IDR) notre directeur de mémoire qui a su apporter son expérience et toutes les facilités administratives pour l'exécution de ce travail.

Nous tenons également à remercier, le **Pr. BELEM Adrien Marie Gaston** responsable de l'école Doctorale, et le **Dr BACYE Bernard** Directeur de l'IDR.

Nos remerciements s'adressent à tous les enseignants-chercheurs de l'école doctorale de l'Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, pour la qualité de la formation reçue.

Nous remercions, **TRAORE Adama, Gomgnimbou P.K Alain** « *notre frère Junior* ». Avec leurs grandes expériences, ils nous ont apporté à tout moment de précieux conseils dans l'orientation et la conduite de nos travaux.

Que **OUATTARA Amoro** « dit *Docteur* », Technicien au Laboratoire d'Analyses "Sols Eaux et Plantes" de GRN/SP-Ouest de la DRREA-Ouest Farako-Bâ, et ses collaborateurs trouvent ici l'expression de notre haute considération.

Merci à **TRAORE Tiekoura** pour ses expériences techniques sur la conduite des essais d'expérimentation qu'il a bien voulu partager avec nous.

Nous remercions profondément **TRAORE Issa, TRAORE Alpha Yaya, OUATTARA Ardjouma, le Vieux ZONGO**. Ils ont joué un rôle clé dans la conduite des expérimentations.

Que **DIAKITE Mariam** secrétaire au programme GRNSP-Ouest trouve ici les remerciements pour tous les efforts déployés.

Nous remercions notre oncle **SANOOU Sogo**, pour ses précieux conseils et tout son appui.

Nous tenons à exprimer notre amicale reconnaissance à : **OUATTARA Idrissa, OUATTARA Boubakar, GUIRA W. Idrissa, DIANE Bassabati, SAMA Bokien Serge, BATIONO Manace, SOMDA Rodrigue, TRAORE Sy Check Ibrahim, OUEDRAOGO Dramane, TRAORE Korotimi, SANOOU Djeneba et SANOOU Mariam**.

Nos camarades de classe et particulièrement les étudiants de la spécialité sciences du sol pour les moments précieux que nous avons vécu ensemble.

Nous sommes également reconnaissants au Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO/WAAPP) qui nous a accordé une bourse pour couvrir les activités de recherche. Nous ne saurions passer sous silence la contribution d'AfricaRice qui a financé la mise en place du dispositif expérimental dans lequel nous avons effectué notre travail.

Nos remerciements vont également à l'endroit de l'ensemble du staff administratif de la Direction Régionale de Recherches Environnementales et Agricoles de l'Ouest (DRREA-Ouest/INERA) ; Station de Recherches de Farako-Ba.

Nous remercions tous ceux qui, par leur assistance technique, leurs suggestions, commentaires et leurs soutiens ont contribué à la réalisation et à l'amélioration de ce travail.

Sigles et abréviations

ADRAO : Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest

BP : Burkina Phosphate

CAP/M : Centre Agricole Polyvalent de Matourkou

CNRA : Centre National de Recherche Agronomique

DGESS : Direction Générale des Etudes et Statistiques Sectorielles

DRREAO : Direction Régionale de Recherches Environnementales et Agricoles de l'Ouest

EA: Efficacité Agronomique

FAO: Food and Agriculture Organization

FKR= FaraKo-ba Riz

GRN/SP : Gestion des Ressources Naturelles/Systèmes de Production

IDR : Institut du Développement Rural

IFA : International Fertilizer Industry Association

IFDC : Centre International pour la Fertilité des Sols et le Développement Agricole

INERA : INstitut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

IR : Indice de Récolte

JAS : Jours Apres Semis

MAHRH : Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques

NERICA: NEw Rice for Africa

NPKSB : Azote-Phosphore-Soufre-Bore

PPAAO : Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest

Rdt: Rendement

RVC : Ratios Valeur sur Coût

SNDR : Stratégie Nationale de Développement de la Riziculture.

UPB : Université Polytechnique de Bobo Dioulasso.

UNPRB : Union Nationale des Producteurs de Riz du Burkina

WAAPP: West Africa Agriculture Productivity Programme

WARDA : West Africa Rice Development Associaty

Liste des tableaux

Tableau I : Caractéristiques chimiques des sols avant l'installation de l'essai en 2011.	17
Tableau II : Caractéristiques agro-morphologiques de la variété FKR 45 N	18
Tableau III : Caractéristiques chimiques du compost utilisé.	18
Tableau IV : Liste des traitements principaux (rotations) de la présente étude.	19
Tableau V: Liste des traitements principaux (rotations)	20
Tableau VI : Liste des traitements secondaires (fumures) dans les parcelles secondaires.....	22
Tableau VII : Quantités totales d'éléments N, P, K, S et B appliquées selon la culture	22
Tableau VIII : Norme d'appréciation de l'Efficacité Agronomique (kg/kg) de l'azote des céréales	25
Tableau IX : Propriétés chimiques des sols en fonction des rotations et des fumures avant labour.	29
Tableau X : Effet des rotations et des fumures sur la taille des plants (cm) de riz	30
Tableau XI: Nombre de talles/m ² en fonction des rotations et des fumures et des dates d'observation	31
Tableau XII: Rendements paddy en fonction des rotations et des fumures	32
Tableau XIII : Matrice de Corrélation entre paramètres chimiques. composantes de rendement et rendement.	33
Tableau XIV : Efficacité Agronomique de l'Azote N des fumures	33
Tableau XV : Rentabilité Economique et revenu monétaire des fumures.	34

Liste des figures

Figure 1 : Plant de riz avec 5 talles productives.....	4
Figure 2: Différentes phases de développement du riz	5
Figure 3 : Evolution des superficies et de la production de riz au Burkina Faso de 2005 à 2014.....	7
Figure 4 : Variation de la pluviométrie annuelle de Farako-Bâ de 2002 à 2013.	16
Figure 5 : Pluviométrie mensuelle de Farako-Bâ en 2013	16
Figure 6: Plan de masse.....	21

Liste des annexes

Annexe 1 : Calendrier cultural	xi
Annexe 2 : Photos sur l'essai	xii

Résumé

Au Burkina Faso, le riz est une culture stratégique et une source de sortie de devises. Les importations du riz sont estimées à plus de 40 milliards de FCFA/an et pourraient atteindre 130 milliards de FCFA en 2018. Pour diminuer cette sortie de devises, il est indispensable de booster la production nationale et cela pourrait se faire par la promotion de la culture du riz pluvial strict. Au Burkina, le riz pluvial strict est cultivé en rotation avec les céréales, les légumineuses et le coton. Cependant, cette production est limitée par une faible fertilité des sols. Nos travaux ont été initiés pour apporter notre contribution à la gestion intégrée des nutriments dans un système de rotation à base de riz pluvial strict.

Notre étude a été conduite au Burkina Faso au cours de la campagne agricole 2012-2013 dans la zone sud soudanienne à la station de Recherche de Farakô-Ba dans un dispositif en split-plot. Les effets des rotations culturales (riz-riz, maïs-riz, coton-riz) et des fumures (BP, BP+Compost, BP+Urée, BP+Compost+Urée, NPK+Urée et un témoin sans engrais) sur le poids de 1000 grains, rendement paddy et paille du riz pluvial strict ont été évalués.

La rotation coton-riz a augmenté le rendement paddy de 45,8% par rapport à la culture continue de riz. Les fumures BP+Compost+Urée et NPK+Urée ont augmenté les rendements paddy de riz de 113 % et 102 % respectivement. La meilleure Efficacité Agronomique est obtenue avec la fumure BP+Compost+Urée. La combinaison des rotations coton-riz avec apport de BP, compost et urée dans un système de culture intensive a permis une amélioration significative des rendements du riz paddy qui génère des bénéfices économiques.

Mots clés : *Rotations, Fumures, Nutriments, Riz Pluvial Strict, Burkina Faso.*

Abstract

In Burkina Faso, rice is a strategic culture and currency output source. Imports of rice are estimated at over 40 million FCFA/year and could reach 130 million FCFA in 2018. To reduce this loss of foreign exchange, it is essential to boost domestic production and this could be done by promoting the culture of upland rice. In Burkina, upland rice is grown in rotation with cereals, cowpea, groundnut and cotton. However, this production is limited by low soil fertility. Our work has been initiated to make our contribution to integrated nutrient management in upland rice rotation system.

Our study conducted in Burkina Faso during the crop year 2012-2013 in the southern region Burkina, station research of Farako-Ba in a split-plot design. Effects of crop rotations (rice /rice, maize/rice, cotton/rice) and as fertilizers (BP, BP + Urea, BP + Compost, BP + Compost + Urea, NPK+Urea, and a control without fertilizer) on 1000 grain, upland rice yield are evaluated.

Compared to monoculture rice, cotton-rice rotation increased soil nitrogen total. Cotton-rice increased paddy yield to 45.8% compared to monoculture rice.

On average, compared to control, paddy yield increase was 113 % for BP+Compost+Urea and 102 % for NPK+Urea. Excellent Agronomic efficiency is obtained with BP + Compost + Urea. Combining cotton-rice intercropping with compost, BP and urea in intensified crop production systems resulted significant paddy yields and economic benefits.

Key words: Rotations, Fertilizers, Nutrient, Upland Rice, Burkina Faso.

Introduction

La moitié de l'humanité dépend du riz pour son alimentation. La production mondiale de riz en 2012-2013 était estimée à 464 millions de tonnes ce qui représentait une superficie de 159 millions d'hectare. 90% de la production mondiale provient d'Asie (USDA, 2013).

En Afrique où le riz était traditionnellement cultivé depuis des siècles, cette céréale constitue la base de l'alimentation d'une grande partie de la population. La production rizicole ouest-africaine a été de 4,3 millions de tonnes au cours de la campagne agricole 2012-2013. Ce chiffre représente une hausse d'environ 20% par rapport aux 3,6 millions de tonnes produites lors de la campagne précédente (USDA, 2013). Bien que la dépendance à l'égard des importations doive se réduire substantiellement à environ 46 %, la production ouest-africaine reste vulnérable face aux régimes climatiques (USDA, 2013). Malgré d'importantes réalisations dans le domaine du développement des cultures du riz en Afrique, on constate que le secteur du riz pluvial strict se heurte encore à plusieurs problèmes. Parmi ceux-ci on peut citer : le faible niveau de technicité ainsi que le manque d'expériences de certains producteurs, la faible adoption des bonnes pratiques de productions du riz pluvial strict, la faible disponibilité d'intrants comme les semences et les engrais et le problème de la commercialisation de la production (Arraudeau and Vergara, 1998).

Le riz est la 4^{ème} céréale la plus importante au Burkina Faso (Eureka, 2005) après le sorgho, le mil et le maïs, tant pour la superficie que pour la production (SNDR, 2011). La consommation nationale de riz est de 25 kg/personne/an (SNDR, 2011). Cette demande en riz est en nette augmentation. Les besoins sont estimés à 466 000 tonnes pour 2015 (SNDR, 2011).

Moins du tiers des besoins nationaux en riz au Burkina est satisfait par la production nationale, le reste est couvert par les importations. Ces importations pourraient atteindre 130 milliards de FCFA à l'horizon 2018 (SNDR, 2011). Paradoxalement, le Burkina dispose d'un potentiel important non encore exploité dans le domaine de la riziculture pluviale stricte, qui occupe seulement 15% des superficies dévolues au riz et fournit 9% de la production nationale en riz (UNPRB et OXFAM, 2011). Les conditions pluviométriques défavorables, la pauvreté minérale des sols en azote, la faible utilisation des engrais minéraux et organiques, l'exportation des résidus de récolte sont autant de facteurs qui sont souvent évoqués pour expliquer la faiblesse des rendements du riz pluvial strict. Le coût élevé des engrais minéraux et le faible niveau de revenus des producteurs expliquent le fait que les doses d'engrais minéraux apportées au riz pluvial strict soient souvent inférieures aux doses recommandées (FAO, 1997).

Dans un tel contexte où l'exigence est l'amélioration des techniques de fertilisation et la réduction des coûts de fertilisation, l'utilisation de la fumure organique et du Burkina phosphate associée à de faibles quantités de fumure minérale, semble être une alternative intéressante. De même, les

contributions des rotations culturales à l'amélioration des systèmes de culture, sont non négligeables.

Des travaux effectués en Côte d'Ivoire (CNRA, 2010) ont montré des améliorations de rendement paddy selon le précédent cultural. Ces résultats indiquent que le rendement en paddy est d'environ 800 kg/ha lorsque le riz pluvial strict est en continue, 1000 kg/ha après un niébé, 1200 kg/ha après culture de soja non inoculé, 1500 kg/ha après culture de soja inoculé (CNRA, 2010). Les travaux de recherche sur la gestion de fumure organique et minérale ont permis de mettre en évidence la possibilité d'améliorer la fertilité des sols et augmenter le rendement du riz irrigué. (Bado, 1991 ; Segda, et *al.*, 2001 ; Bado et Ouattara, 2002 ; Segda, 2006 ; Tejada and Gonzalez, 2006; Kinyumu, 2009). Cependant, très peu d'études ont été consacrées à la gestion des fumures pour la production du riz pluvial strict, dans un système de rotation.

C'est dans l'objectif de contribuer à l'augmentation de la production du riz pluvial strict, que cette étude a été initiée. Elle porte sur le thème : « ***Gestion intégrée des fumures dans un système de rotation à base de riz pluvial strict en zone sud soudanienne du Burkina Faso*** ».

De façon spécifique, il s'agit :

- de déterminer les effets des rotations culturales sur la production du riz pluvial strict ;
- de proposer des options de fertilisation peu onéreuses permettant une meilleure productivité du riz pluvial strict au Burkina Faso;
- mettre en évidence les relations entre éléments nutritifs et rendement paddy du riz.

Notre démarche a été construite autour des hypothèses de recherche suivantes :

- ✓ la rotation entraîne une augmentation du rendement paddy du riz subséquent ;
- ✓ la fumure minérale permet une amélioration de la production du riz pluvial strict et la production est améliorée lorsque cette fumure est combinée à la fumure organique ;
- ✓ il existe une corrélation positive entre les nutriments du sol et le rendement paddy du riz pluvial strict dans un système de rotation à base de riz pluvial strict.

Le présent mémoire consacré à cette étude s'articule autour de trois chapitres : le premier chapitre porte sur la synthèse bibliographique, le deuxième chapitre sur le matériel et méthodes utilisés et enfin le troisième chapitre présente les résultats obtenus et la discussion.

Chapitre 1 : Etude Bibliographique

1. 1. État des connaissances sur le plant de riz

1.1.1. Origine et classification botanique

Le riz est une céréale de la famille des Poacées (ex-Graminées) et de la tribu des Oryzées.

Il désigne l'ensemble des plantes du genre *Oryza*, regroupant 23 espèces parmi lesquelles deux seulement sont cultivées (Angladette, 1966 ; Yoshida., 1981, De Datta, 1981). Ce sont :

↳ *O. sativa* Linn., la plus cultivée, provient de la domestication de l'espèce sauvage *O. rufipogon* Griff. en Asie, environ 5000 ans av J.C. On la classe en 2 sous-espèces :

- *indica*, à épillets très longs, utilisée en culture aquatique en zone tropicale ;
- *japonica*, à épillets courts, utilisée en culture aquatique en zone tempérée et en culture pluviale en zone tropicale ;

↳ *O. glaberrima* Steud., ou riz de Casamance, a été domestiquée à partir de l'espèce sauvage annuelle *O. barthii* A. Chev., très tôt en Afrique de l'Ouest. Les traces archéologiques de la domestication trouvées autour du Lac Tchad remontent à 1800 av J.C (Klee et *al.*, 2000). Porteres (1950) distingue un centre de domestication primaire dans le Delta Central du Niger (au Mali) et un centre secondaire en Sénégal.

Aujourd'hui, des variétés hybrides *sativa-glaberrima* combinant les qualités des deux espèces sont diffusées sous le nom «NERICA» (NEw RIce for Africa) (WARDA, 2008).

1.1.2. Caractéristiques morphologiques du plant de riz

Le riz est une plante herbacée annuelle, plus ou moins pubescente à chaume rond, dressée ou étalée et de hauteur variable (ADRAO, 1992 ; CIRAD-GRET, 2009). C'est une plante prédisposée au tallage, formant un bouquet de tiges, à racines fasciculées (Figure 1). Les fleurs, en épillets uniflores, sont groupées en panicules de 20 à 40 cm, dressées ou pendantes. Le grain de riz ou paddy est constitué de l'ovaire fécondé, des glumes et glumelles, du rachis, des glumes stériles et éventuellement de la barbe (ADRAO, 1995 ; Lacharme, 2001 ; CIRAD-GRET, 2009).

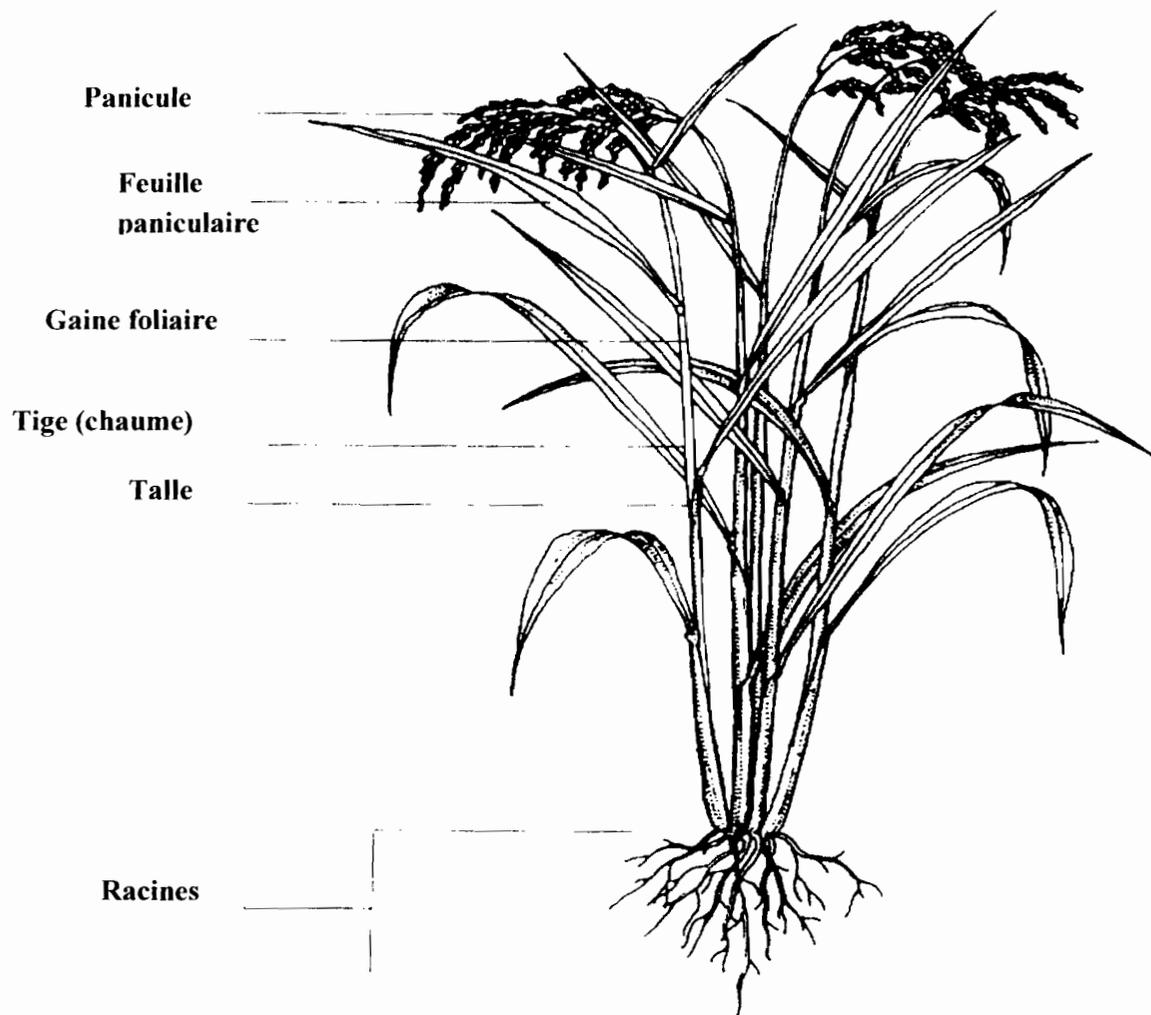


Figure 1 : Plant de riz avec 5 talles productives

Source : ADRAO, (1995).

1.1.3. Croissance et développement du riz

Le riz est une plante autogame ; le pourcentage de fécondation croisée est de moins de 1% (Arraudeau et Vergara, 1998). Selon Lacharme (2001) et Sie et *al.* (2009), le cycle du riz est divisé en trois phases constituées de dix stades repartis de 0 à 9 (Figure 2):

- ↪ **une phase végétative** qui va du semis jusqu'à la différenciation paniculaire (initiation paniculaire). Elle comprend le stade germination, le stade levée et le stade tallage :
- ↪ **une phase reproductrice** qui va de l'initiation paniculaire à la fécondation. Elle comprend le stade initiation paniculaire, le stade montaison, le stade épiaison et le stade floraison :
- ↪ **une phase de remplissage du grain et de maturation** qui va de la fécondation des grains jusqu'à la maturité. Durant cette phase, on observe un remplissage des grains par un mouvement des éléments nutritifs de la plante vers les grains.

Les grains passent par le stade grain laiteux, le stade grain pâteux et enfin le stade grain dur (mature).

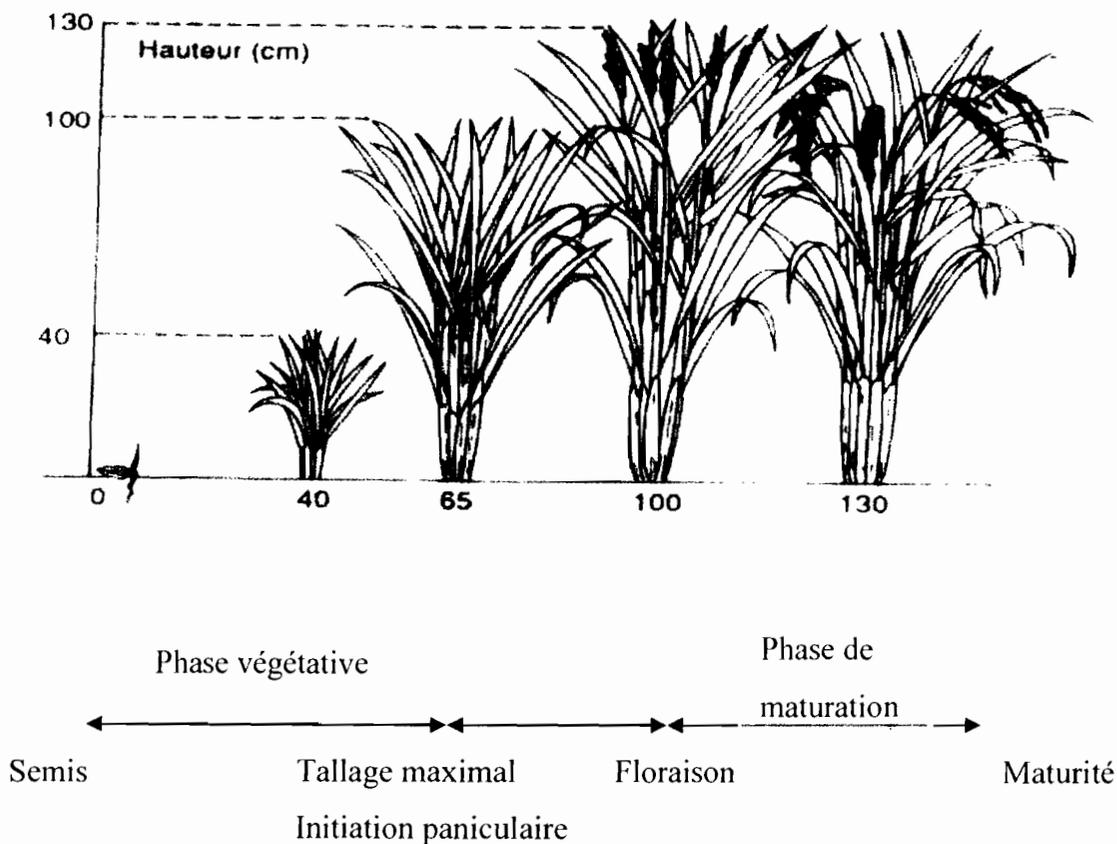


Figure 2: Différentes phases de développement du riz

Source : ADRAO (1992).

1.1.4. Exigences écologiques du riz

Le riz est cultivé dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes pour son grain riche en amidon. C'est une plante semi-aquatique exigeante en eau et en chaleur.

En culture sèche, les besoins en eau du riz varient de 160 à 300 mm par mois pendant toute la durée du cycle, soit au total 1000 à 1800 mm (CIRAD-GRET, 2009). C'est une plante héliophile

de jours courts. La température optimale pour le développement du riz se situe entre 30 et 35°C et le zéro de germination entre 10 et 13°C (Angladette, 1966 ; Kima, 1993).

Les sols propices en riziculture pluviale stricte sont limoneux ou limono-argileux, meubles, profonds avec une bonne capacité au champ et drainant aisément. Le pH optimum varie de 4 à 8 (Courtois et Jacquot, 1983 ; CIRAD-GRET, 2009).

1.1.5. Riz et Riziculture au Burkina Faso

❖ Importance socio-économique et évolution de la culture du riz

Le riz est d'une importance socio-économique considérable au Burkina Faso. Il représente environ 3 à 4% des aliments de base de la population. Il occupe la 4^{ème} place après le sorgho, le mil et le maïs, tant pour la superficie que pour la production et la consommation (PAFR/ONRIZ, 2004 ; SNDR, 2011). Le riz contribue pour près de 0,31% au PIB avec une valeur ajoutée estimée à 8 milliards de FCFA dont 6 milliards de FCFA environ proviennent de la production (SNDR, 2011). Au Burkina Faso, la superficie moyenne annuelle consacrée à la riziculture au cours de la période 2013-2014 a été de 138 582 ha. La production moyenne en riz paddy sur la même période a été de 305 382 tonnes (DGESS, 2013) (Figure 3). Les niveaux de rendements varient d'un mode rizicole à un autre. Ils sont en moyenne de 1 t/ha environ pour le riz pluvial strict, 2 t/ha pour le riz de bas-fonds et 5,5 t/ha pour le riz irrigué. La moyenne quinquennale, tout mode confondu est de 1,2 t/ha (SNDR, 2011).

Au Burkina Faso, comparativement aux autres céréales, le riz a conquis sa place au sein des ménages et dans la restauration collective en raison de la facilité et de la rapidité de préparation (Eurêka, 2005). Le riz produit localement est bien apprécié des consommateurs nationaux. Cependant, le contexte social caractérisé par la pauvreté, la grande taille des ménages et la faiblesse des revenus monétaires conduit les populations à s'orienter vers la consommation du riz importé. En effet, la consommation en riz est passée de 4,5 kg/hbt/an en 1960 à 25 kg/hbt/an en 2009 avec un pic de 50 kg/hbt/an dans les grands centres urbains (Ouagadougou et Bobo-Dioulasso) (PAFR/ONRIZ, 2004 ; MAHRH, 2009).

Contrairement à ce qui est souvent avancé, le riz n'est pas un aliment « de riches ». La fréquence de consommation est beaucoup plus faible en milieu rural qu'en milieu urbain, mais ceci est principalement dû à la moins bonne disponibilité du riz en milieu rural. A disponibilité égale, une enquête auprès des ménages de Ouagadougou a montré que la fréquence de consommation est identique chez les ménages à revenus bas, moyens ou élevés. Les quantités consommées varient de manière sensible avec le revenu des ménages (Eurêka, 2005). La demande nationale de riz en 2018 pourrait atteindre 466 000 tonnes de riz usiné au regard de l'évolution de la population et de

la consommation nationale de riz estimée à 25 kg/an/personne. La contribution de la filière à la croissance économique reste encore très modeste. La valeur ajoutée de la filière riz local est estimée à 8 milliards de FCFA (soit 0,31% du PIB) dont 6 milliards de FCFA environ provient de la production. Quant aux revenus tirés de la riziculture par les producteurs, ils demeurent modestes en rapport avec les efforts déployés. En effet le nombre de personnes dépendantes des producteurs est estimée à 180 500 environ pour un revenu global d'environ 5 milliards de francs CFA, soit un revenu net de 16 616 FCFA/personne. Cependant, les conditions agro-pédo-climatiques adverses constituent un handicap majeur dans la culture du riz au Burkina Faso.

La demande nationale en riz est passée de 103 600 t/an de riz usiné en 1997 à 320 039 t/an en 2010 et elle atteindrait les 466 000 t à l'horizon 2015 (MAHRH, 2009 ; SNDR, 2011). Cependant, il faut noter que la production nationale ne couvre à peine que 47% des besoins de la population. Cette situation conduit le Burkina Faso à importer massivement du riz usiné chaque année. Ces importations sont passées de 137 185 t pour une valeur de 26.800 milliards de FCFA en 1998/1999 à 236 066 t en 2010/2011 pour une valeur de plus de 40 milliards de FCFA. Les estimations pour l'année 2015 sont de l'ordre de 130 milliards de FCFA (MAHRH, 2009 ; SNDR, 2011). L'essentiel des importations en riz du Burkina Faso (soit plus de 75% du volume total) sont assurées par la République Populaire de Chine, l'Inde, le Pakistan, la Thaïlande et le Vietnam (PAFR/ONRIZ, 2004).

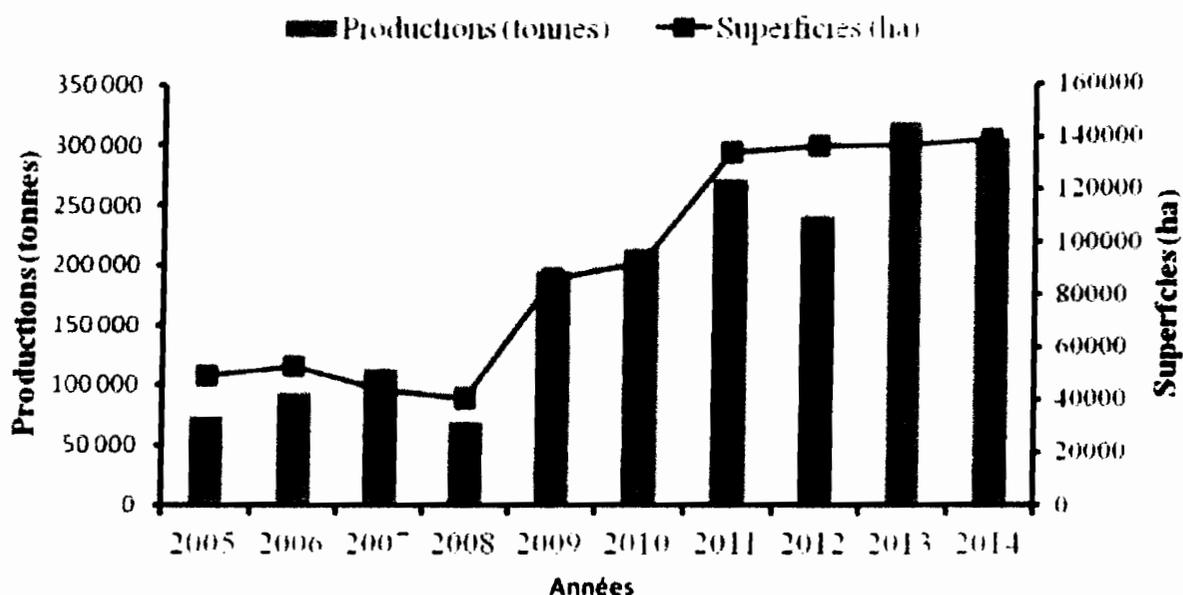


Figure 3 : Evolution des superficies et de la production de riz au Burkina Faso de 2005 à 2014

Source : DGESS (2013)

❖ Types de riziculture au Burkina Faso

Au Burkina Faso, on distingue trois types de riziculture en fonction du régime hydrique :

- ↳ *la riziculture pluviale stricte* : elle désigne le type de riziculture pour lequel l'alimentation en eau est exclusivement assurée par les eaux de pluie. Elle est pratiquée dans les régions situées au-dessus de l'isohyète 800 mm (INERA, 1994). Elle occupe 15% des superficies rizicoles et fournit 9% de la production nationale avec un rendement moyen de 1 t/ha (UNPRB et OXFAM, 2011) ;
- ↳ *la riziculture de bas-fonds* : elle est alimentée par les eaux de pluie et de ruissellement provenant des reliefs environnants. Elle occupe 62% des superficies rizicoles et fournissent 43% de la production nationale en riz avec un rendement moyen variant de 1,3 t/ha (bas-fonds non-aménagés) à 2,5 t/ha (bas-fonds aménagés) (UNPRB et OXFAM, 2011).
- ↳ *la riziculture irriguée* : elle constitue le mode le plus performant de production de riz dans le pays. Elle occupe 23% des superficies rizicoles et fournit près de 48% de la production nationale en riz avec des rendements de 4 à 7 t/ha (UNPRB et OXFAM, 2011). Cela, en raison de la maîtrise totale de l'eau permettant souvent la double campagne annuelle (Karamage, 2001 ; Dembélé et al., 2005 ; SNDR, 2011).

1.1.6. Conclusion partielle

Le riz est d'une importance économique considérable pour le Burkina Faso, bien qu'il n'occupe que la quatrième place parmi les céréales cultivées. La production du riz pluvial strict est souvent limitée par les fluctuations de la pluviosité. Il faut noter que le plant de riz est extrêmement sensible à la richesse et à l'équilibre du sol en éléments nutritifs. La contribution du réservoir du sol, les techniques d'amélioration du profil cultural et la sélection de matériel adaptées peuvent pallier ce handicap naturel.

1.2. Eléments nutritifs pour la culture du riz pluvial strict.

1.2.1. Source d'éléments nutritifs

❖ Les sols

La première source d'éléments nutritifs utilisée par les plantes est constituée par les éléments nutritifs du sol. En absence de tout apport d'engrais les plantes utilisent l'azote, le phosphore, le potassium et les autres éléments nutritifs du sol durant leur cycle physiologique.

C'est par minéralisation que la matière organique du sol libère l'azote, phosphores utilisable par les plantes (Sedogo et al., 1991, Powel et Hons, 1992).

❖ **Les amendements organiques**

Les amendements organiques incorporés aux sols sous forme de fumier ou de compost, constituent une source d'azote, de phosphore de potassium et d'humus (Chong-Ho Wang, 2013). Des expérimentations de longue durée ont montré que des apports de fumier bien décomposé permettent d'éviter, ou au moins de limiter l'acidification des sols, d'augmenter le niveau de rendements et de retrouver l'efficacité des engrais (Delville, 1996).

Selon la FAO (1997), au cours de la période 1987-1990, des études faites par Sing et Sing, en 1990 à la station centrale de recherche sur le riz pluvial de Hazaribagh (Inde) ont montré que les rendements rizicoles augmentaient de 100% lorsque des engrais chimiques étaient apportés avec le fumier (engrais organique).

❖ **Les Engrais minéraux**

Les éléments nutritifs du sol et des amendements organiques ne suffisent pas pour atteindre des rendements optimaux. Des engrais minéraux sont utilisés comme complément d'éléments nutritifs pour augmenter les rendements et intensifier la production végétale.

Les plantes utilisent l'azote, le phosphore et le potassium en quantité importante, les réserves du sol en ces éléments doivent donc être périodiquement réapprovisionnées afin de maintenir une bonne productivité.

1.2.2. Rôle des éléments nutritifs majeurs chez le riz

❖ **Rôle de l'azote (N)**

L'azote est un constituant utilisé chez le riz dans l'élaboration de molécules importantes comme les protéines, les nucléotides, les acides nucléiques et la chlorophylle.

Il est aussi responsable de l'augmentation du nombre de tiges, de la croissance en hauteur, de l'augmentation de la surface foliaire, de la formation d'épillets fertiles par panicule et de la teneur des grains en protéines (ADRAO, 1995 ; Sibomona, 1999).

L'azote est le pivot de la fertilisation en raison de son importance dans l'obtention directe et spectaculaire des rendements du riz (Bertrand et Gigou, 2000).

Un excès relatif en N entraîne un rabougrissement des plants, un tallage réduit, des feuilles qui deviennent parfois cassantes et présentent un jaunissement caractéristique, une prolongation du cycle végétatif et une sensibilité aux maladies surtout en cas de manque de potassium et de phosphore (ADRAO, 1995).

L'azote provenant du sol est absorbé principalement par les plantes sous forme de nitrate (NO_3^-) ou sous forme ammoniacale (NH_4^+) (Sagna et Marchal, 1992 ; Lacharme, 2001). L'azote étant très

mobile dans le sol, il est recommandé de fractionner ses apports pour les faire coïncider avec les périodes de grands besoins de la plante. De plus, il faut l'enfouir après épandage afin de le placer près des racines et de réduire ainsi les pertes.

Chez le riz, la première application s'effectue au stade tallage et la seconde intervient à l'initiation paniculaire ce qui correspond respectivement à 20-25 jours avant épiaison. (Angladette, 1966 ; Dobelman, 1976 ; Arraudeau, 1992; Segda, 2002). La présence de N dans le sol renforce l'absorption de P et de K (Sagna et Marchal, 1992).

❖ Rôle du phosphore (P)

Le phosphore favorise chez le riz, la croissance notamment celle du système racinaire. Il assure un tallage plus actif avec des talles fertiles qui permet aux plants de riz de reprendre leur croissance plus rapidement et plus complètement après des conditions défavorables. Il exerce une influence sur la précocité en favorisant la floraison et la maturation des grains. Il stimule aussi leur bon développement et leur confère une plus grande valeur alimentaire à cause de la teneur des grains en phosphore. En cas de carence, les feuilles deviennent vert sombre ou vert pourpré avec des taches jaunes entre les nervures ; leur pointe tourne au rouge (Courtois et Jacquot, 1983 ; Karamage, 2001). Le phosphore est peu soluble et peu mobile dans le sol. C'est pourquoi il doit être appliqué avant le semis et enfoui pour qu'il soit atteint par les racines. Le pH détermine la forme sous laquelle le phosphore est absorbé : si le pH est bas, l'absorption de H_2PO_4^- est plus importante et si le pH est élevé, l'absorption de HPO_4^{2-} est plus importante (Sagna et Marchal, 1992). La présence de P dans le sol renforce l'absorption de N (Rai, 1965 ; Perry et Olson, 1975).

❖ Rôle du potassium (K)

Le potassium accroît la taille et le poids des grains du riz. Il permet à la plante de mieux résister à la verse, et aux attaques des maladies (pyriculariose, helminthosporiose, etc.) et d'insectes. Il joue également un rôle dans l'ouverture et la fermeture des stomates. Il permet de ce fait, une bonne économie d'eau dans les tissus et donc une meilleure résistance à la sécheresse (Angladette, 1966 ; ADRAO, 1995 ; Lacharme, 2001).

Une carence en K provoque une sensibilité à la verse, une chlorose des bords et des extrémités des feuilles âgées, un tallage moins abondant, un jaunissement de l'extrémité des feuilles âgées et de la nervure centrale et un flétrissement en cas de déséquilibre excessif de l'azote (faible rapport K/N) (Courtois et Jacquot, 1983). Le potassium est en général assez peu mobile dans le sol et ne craint donc pas le lessivage. Elle doit donc, le plus souvent, être appliquée en une seule fois en fumure

de fond avant le semis (Sagna et Marchal, 1992 ; Lacharme, 2001). La présence de K dans le sol renforce l'absorption de P (Segda, 2002).

1.2.3. Concept et baisse de la fertilité des sols

Les agriculteurs sont très tributaires de la fertilité de leurs sols, qui constitue souvent une de leurs ressources essentielles. La fertilité d'un sol est définie comme étant son aptitude à produire des récoltes en fonction de ses qualités intrinsèques. C'est la combinaison d'un ensemble de facteurs chimiques, physiques et biologiques qui détermine le potentiel des terres. Dans le cadre de notre étude, nous nous concentrons sur la fertilité chimique des sols, à savoir la fertilité expliquée par la composition chimique du sol. Dans ce contexte, la fertilité du sol est perçue en tant qu'équivalent de sa capacité à fournir des nutriments aux plantes et, elle traite seulement des macro-éléments, habituellement l'azote, le phosphore et le potassium. Wopereis et Maatman (2002) parlent plutôt du « capital d'éléments nutritifs » qui se définit comme les stocks d'azote, de phosphore, de potassium et d'autres éléments essentiels du sol qui deviennent disponibles aux plantes pendant une période de 5 à 10 ans. Soltner. (1990) identifie deux types de fertilité : (1) la fertilité actuelle qui se réfère à la capacité du sol à fournir dans des conditions actuelles, des éléments nutritifs à partir de ses réserves organiques et inorganiques à travers les processus d'altération et de minéralisation. Elle se mesure sur le rendement obtenu ; (2) la fertilité potentielle se réfère à la quantité totale d'éléments nutritifs qui peuvent devenir disponibles pour la culture à long terme.

1.2.4. Gestion intégrée de la fertilité des sols

La gestion de la fertilité des sols doit jouer un rôle central dans toute intervention visant à améliorer la productivité agricole. Les options d'amélioration de la gestion de la fertilité des sols doivent reposer sur leur capacité à fournir des éléments nutritifs, la disponibilité des amendements et l'utilisation judicieuse d'engrais minéraux, pour obtenir des systèmes équilibrés de gestion des éléments nutritifs. Cette approche, appelée Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS), doit être intégrée dans un système incluant les aspects suivants : le climat, les mauvaises herbes, les maladies et les déprédateurs, la conduite des cultures, ainsi que les aspects socio-économiques tels que les prix des intrants et de la production, et la disponibilité de la main-d'œuvre.

Il est également important de tenir compte de la diversité et de la dynamique des réalités paysannes (Scoones, 2001). Selon Wopereis et Maatman (2002), la GIFS doit se référer à la meilleure utilisation des stocks d'éléments nutritifs du sol, des amendements localement disponibles et des engrais minéraux dans le but d'augmenter la productivité des terres tout en

maintenant (voire en augmentant) la fertilité du sol. Selon Janssen (1993), la GIFS doit prendre en compte l'état de la fertilité du sol en place et les approvisionnements en fertilisants aussi bien organiques que minéraux. Ceci relève du fait que ces deux formes d'engrais ne sont pas concurrentes mais complémentaires.

La gestion des nutriments suivant l'approche SSNM (*Season or Site Specific Nutrient Management*) vise une gestion dynamique des nutriments sur chaque parcelle spécifique au cours d'une saison donnée. Le but est d'optimiser les besoins et l'apport de nutriments selon l'évolution des cycles des éléments nutritifs dans le système sol-culture (Dobermann and White, 1999).

Cette approche répond mieux aux exigences des cultures tout en respectant l'environnement, dans la mesure où les pertes de nutriments sont très bien canalisées.

La GIFS selon la FAO (2005) est attribuée à la notion de *Integrated Nutrient Management* (INM) ou Gestion Intégrée de la Nutrition. Elle est définie, comme étant l'utilisation rationnelle des réserves et des flux en éléments nutritifs, permettant d'atteindre des niveaux de production satisfaisants et durables du point de vue environnemental, économique et socioculturel. Elle symbolise une évolution décisive des essais traditionnels d'engrais, visant à augmenter la production vers des solutions globales dans le domaine de l'intégration des engrais organiques et minéraux, de l'intégration du bétail, de la conservation des sols et des eaux, du marketing et des politiques agricoles.

1.2.5. Conclusion partielle

Le sol, les engrais organiques et minéraux constituent les sources d'éléments nutritifs. Les exigences du riz en éléments nutritifs N, P, K dépendent de ses différentes phases de croissance et de développement. La gestion de fumures organiques et minérales permet une amélioration de la fertilité des sols et une augmentation du rendement du riz.

1.3. Système de culture

1.3.1. Concept de système de Culture

Le système de culture est un concept qui peut s'appliquer à différentes échelles spatiales (parcelle, exploitation, locale et régionale) (Jouve, 2003). Au niveau de la parcelle qui correspond à notre échelle d'étude, il existe de nombreuses définitions du concept « système de culture », mais on peut en retenir trois qui dégagent les caractéristiques essentielles de cette notion : La définition donnée par Sébillotte (1993), indique que le système cultural est un ensemble d'itinéraires techniques, c'est-à-dire des successions ordonnées et datées de techniques et de pratiques culturales appliquées à des espèces végétales cultivées en vue d'obtenir des produits

vendus ou cédés. Pour Jouve (2003), un système de culture se définit pour une surface de terrain traitée de façon homogène, par les cultures pratiquées, leur ordre de succession et les itinéraires techniques (combinaison logique et ordonnée des techniques culturales) mis en œuvre. Selon Jouve (2003) un système de culture peut être défini par quatre caractéristiques principales : les espèces cultivées, leur succession dans le temps, leur association éventuelle sur une même parcelle et l'itinéraire technique des cultures pratiquées. L'étude d'un système de culture viserait donc à comprendre l'évolution du peuplement végétal (la croissance et le développement des plantes cultivées, leur association dans l'espace, leur rotation dans le temps, la concurrence éventuelle des adventices, etc.) et les itinéraires techniques pratiqués (Dufumier, 1985).

1.3.2. Association culturale et assolement-rotation

Les rotations culturales constituent une alternative pour améliorer la nutrition des cultures et les rendements. Les résultats des travaux de recherche ont montré que les rotations comportant des légumineuses améliorent la nutrition azotée et les rendements en augmentant l'azote disponible dans le sol et le recouvrement de l'azote apporté par l'engrais. À la station de Farakô-Ba, les sols des rotations Jachère-Sorgho, Arachide-Coton-Sorgho et Coton-Arachide-Sorgho fournissaient plus d'azote au sorgho que ceux de la monoculture de sorgho et augmentaient les coefficients d'utilisation de l'engrais azoté de 13, 25 et 32 unités respectivement (Bado, 2002).

Les études de Coulibaly (2012) ont révélé que les facteurs de variabilité des performances agronomiques et économiques des cultures pure des légumineuses et des cultures associées maïs/légumineuses, sont : les dates de semis, les conditions d'humidité du sol pendant le semis, les densités de peuplement, les dates de sarclage, les apports d'engrais (NPK et urée) dans les meilleurs délais et l'effet résiduel des précédentes fertilisations minérales.

Au Burkina Faso, le riz pluvial strict peut être cultivé en association avec des légumineuses, très utiles pour la fixation de l'azote ou dans un système d'assolement-rotation.

Dans plusieurs écosystèmes en Afrique, les précédents les plus classiques du riz pluvial strict sont : le niébé, le soja, le mucuna et l'arachide en tant que légumineuses, cités comme de bons précédents pour le riz. Par contre, le sorgho, le riz et les jachères surtout de courte durée, sont d'assez médiocres précédents (Courtois et Jacquot, 1983).

Le riz pluvial, cultivé après une jachère naturelle, produit à peu près autant que s'il est cultivé après le niébé, soit une augmentation de 25% par rapport au rendement du riz cultivé après le riz. Par contre, le rendement du riz pluvial peut être augmenté de 80% après une culture de soja inoculé, de 45% après une culture de soja non inoculé.

1.3.3. Conclusion partielle

Les rotations culturales constituent une alternative pour améliorer la nutrition des cultures et les rendements. Dans la zone ouest du Burkina Faso, la séquence des cultures dans le temps est fonction des conditions socio-économiques des exploitations. Cependant, deux séquences sont couramment rencontrées: coton-maïs-sorgho et coton-maïs-coton. La riziculture pluviale peut revêtir une grande importance pour la production nationale, pour peu qu'elle puisse s'insérer dans le système de rotation à base de coton. De plus, les efforts du Gouvernement tendent à promouvoir ce type de riziculture, notamment à travers les actions du Projet Riz Pluvial. Pour accompagner l'action de l'Etat dans le développement de la riziculture pluvial strict, il est nécessaire de développer des systèmes de production durables et à moindre coût.

Chapitre 2 : Matériel et Méthodes

2.1. Matériel d'étude

2.1.1. Site d'étude

Les travaux ont été conduits à la station de recherche de Farako-Bâ au niveau de la Direction Régionale de Recherches Environnementales et Agricoles de l'Ouest dans un dispositif mis en place en 2011. La station est située à 10 km au Sud-Ouest de Bobo-Dioulasso sur l'axe routier Bobo-Dioulasso/Banfara. Ses coordonnées géographiques sont : 04° 20' de longitude Ouest, 11° 06' de latitude Nord, 405 m d'altitude.

Le climat de la zone est de type sud-soudanien avec une saison pluvieuse de 6 mois (mai à octobre) qui alterne avec une saison sèche de 6 mois (novembre à avril) (Fontès et Guinko, 1995). La pluviosité moyenne annuelle varie entre 600 mm à 1200 mm (figure 4).

L'essentiel des précipitations s'étale de juin à octobre sur 50 à 70 jours de pluie. La Figure 5 donne, la répartition spatio-temporelle de la pluviométrie pendant la campagne 2013. Les températures varient entre 17 et 37°C pendant la saison sèche et entre 10 et 32°C pendant la saison des pluies. L'évapotranspiration est de 8,7 mm/jour entre janvier et mars et de 3,7 mm/jour entre juillet et septembre (Bado, 2002).

La végétation de la station de Farako-Bâ est une savane herbeuse et arborée assez dense par endroit. Les espèces rencontrées sont : *Gmelina arborea* Roxb., *Parkia biglobosa* (Jacq.) *Adansonia digitata* L., *Mangifera indica* L., *Vitellaria paradoxa* Gaertn. f., *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., *Andropogon gayanus* Kunth, *Brachiaria sp.*, *Cynodon dactylon*(L.) Pers., *Digitaria horizontalis* Wild., etc.

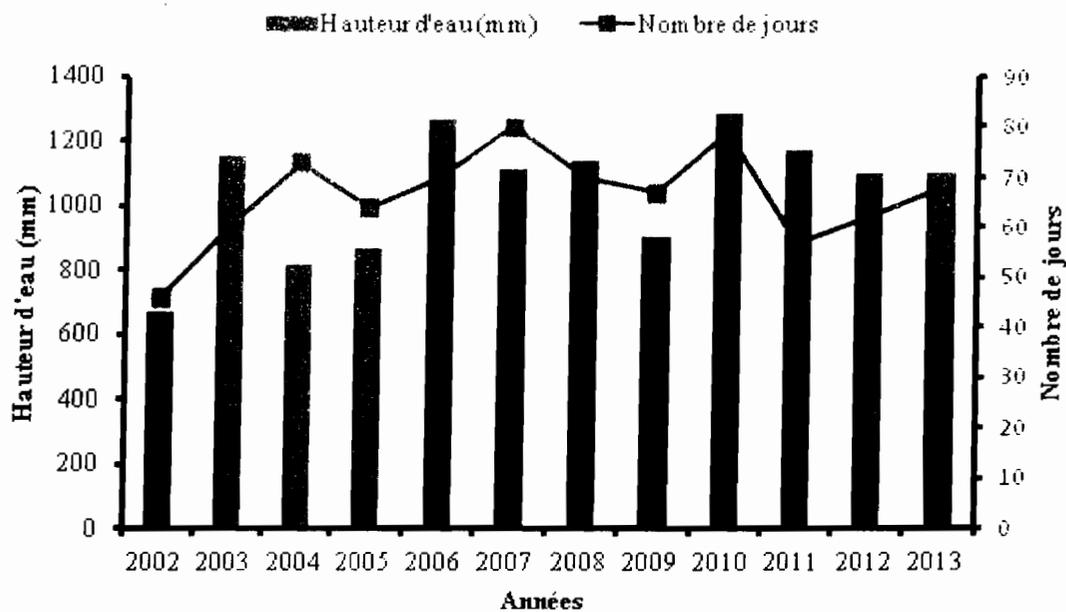


Figure 4 : Variation de la pluviométrie annuelle de Farako-Bâ de 2002 à 2013.

Source : Station agro-météorologique de la station de Farako-Bâ (2013).

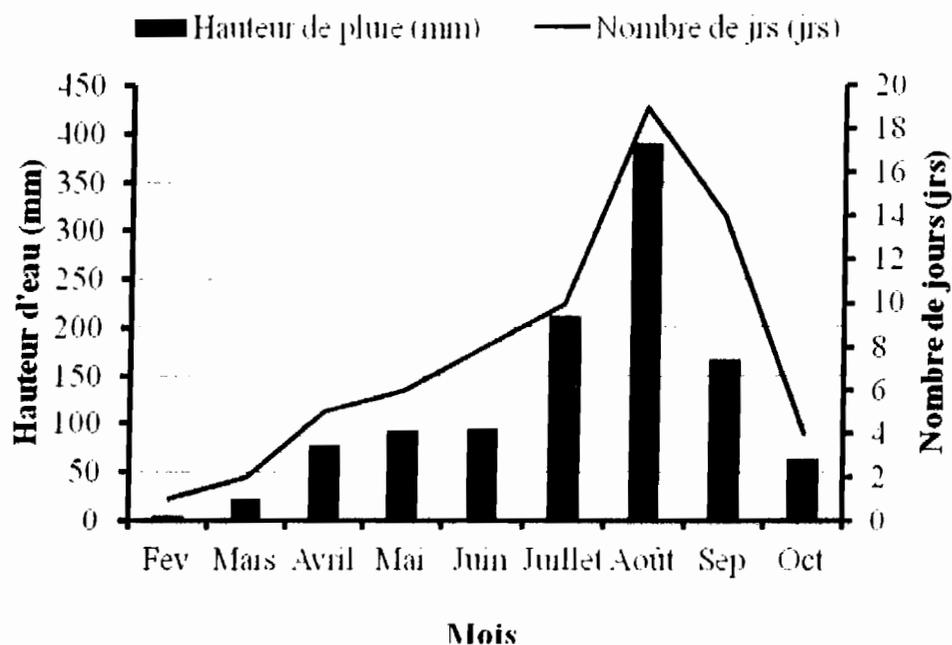


Figure 5 : Pluviométrie mensuelle de Farako-Bâ en 2013

Source : Station agro-météorologique de la station de Farako-Bâ (2013).

Les sols de la station de recherche de Farako-Bâ sont en majorité de type ferrugineux tropical ; ils sont pauvres en argile (7,8%) et en matière organique (0,8%), ce qui explique leur faible capacité d'échange cationique CEC. Ce sont des sols, à texture sableuse à sablo-limoneuse, légèrement acides et pauvres en azote et en phosphore (Bado, 2002). Le tableau I donne les caractéristiques du sol avant l'installation de l'essai.

Tableau I : Caractéristiques chimiques des sols avant l'installation de l'essai en 2011.

	Horizon (cm)	
	0-20	20-40
M.O (%)	0,57	0,48
Carbone (%)	0,33	0,28
N (%)	0,03	0,03
C/N	10,38	10,07
P total mg/kg	103,30	83,30
P assimilable mg/kg	4,69	0,78
pH_eau	5,68	5,32
pH_KCl	4,37	3,95

Source : Laboratoire sol-cau-plant de GRN/SP-Ouest (2011).

2.1.2. Matériel végétal

La variété améliorée de riz pluvial strict, la FKR45N, (NERICA) développée et vulgarisée par le Programme Riz et Riziculture de l'INERA a été utilisée comme matériel végétal. Le tableau II présente les caractéristiques de la variété utilisée.

Tableau II : Caractéristiques agro-morphologiques de la variété FKR 45 N

Variété FKR45N	
Cycle Semis-Maturité	95 Jours
Hauteur des Plants	115 (cm)
Tallage	moyen
Poids de 1 000 grains	34,30 (g)
Résistance à la Pyriculariose	Assez bonne
Rendement moyen	3-4 (t/ha)
Ecologie de production	Supérieur ou égale à 800 mm/an

NB : FKR= Farako-Bâ Riz; N = NERICA

Source : INERA (2009)

2.1.3. Engrais utilisés

Les engrais suivants ont été utilisés :

- Le NPKSB (14-18-18-6-1) ou engrais coton ;
- L'Urée ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) dosant 46% N a été utilisée comme source d'azote ; Le Burkina Phosphate : dosant $\text{P}_2\text{O}_5 = 25, 38\%$; $\text{CaO} = 34, 45\%$; $\text{MgO} = 0,27\%$; Ferral = 6, 5% ; $\text{SiO}_2 = 26, 24\%$ a été la source de Phosphore ;
- Le compost utilisé a été fabriqué à la station de recherche de Farako-Bâ à partir des débris de coton, maïs et fumier de parc selon les techniques de compostage en tas. Les caractéristiques chimiques du compost sont présentées dans le tableau III.

Tableau III : Caractéristiques chimiques du compost utilisé.

éléments chimiques	valeur moyenne
Carbone %	18,6
M.O (%)	32,07
N (%)	1,267
C/N	15
P_total (mg/kg)	1465
K_total (mg/kg)	1025,3

Source : Laboratoire sol-eau-plant de GRN/SP-Ouest (2013).

2.2. Méthodes d'étude

2.2.1. Dispositif expérimental

Les travaux ont été conduits dans un dispositif en split-plot avec 12 traitements principaux (rotations) et 6 traitements secondaires (niveaux de fumure) répétés quatre (4) fois soit un total de 72 parcelles (12 x 6) élémentaires par bloc (288 parcelles au total pour les 4 répétitions). La taille de la parcelle principale était de 136 m² (16 m x 8.5 m) et celle de la parcelle secondaire de 20 m² (4 m x 5 m).

Les parcelles principales ont été séparées par des allées de 0,5 m et les parcelles secondaires par des allées de 0,5 m. Dans les parcelles principales, sont appliquées les rotations (Tableau V) pendant que les parcelles secondaires reçoivent les fumures (Tableau VI).

Les traitements principaux (rotations) ont été randomisés dans chaque bloc alors que les parcelles secondaires sont randomisées dans chaque parcelle secondaire (fumures).

Ce dispositif a été mis en place de la collaboration Africa-Rice-INERA à partir de 2011 au niveau de la station de recherche de Farakoba et géré par le programme Gestion des Ressources Naturelles/Système de Production de la DRREA-Ouest.

❖ Les traitements principaux utilisés pour l'étude

En raison du temps limité pour le stage pratique et de la taille du dispositif de l'essai, nous avons focalisé notre étude sur les parcelles qui prennent en compte les rotations coton-riz, riz-riz et maïs-riz en 2013 (Tableau IV).

Tableau IV : Liste des traitements principaux (rotations) de la présente étude.

Rotations	Années			
	2011	2012	2013	2014
R1	Riz	Maïs	Riz	Maïs
R4	Riz	Coton	Riz	Coton
R11	Riz	Riz	Riz	Riz

Tableau V: Liste des traitements principaux (rotations)

Rotations	Années			
	2011	2012	2013	2014
R1	Riz	Maïs	Riz	Maïs
R2	Maïs	Riz	Maïs	Riz
R3	Coton	Riz	Coton	Riz
R4	Riz	Coton	Riz	Coton
R5	Arachide	Riz	Arachide	Riz
R6	Riz	Arachide	Riz	Arachide
R7	Niébé	Riz	Niébé	Riz
R8	Riz	Niébé	Riz	Niébé
R9	Coton	Coton	Coton	Coton
R10	Maïs	Maïs	Maïs	Maïs
R11	Riz	Riz	Riz	Riz
R12	Jachère naturel	Jachère naturel	Jachère naturel	Jachère naturel

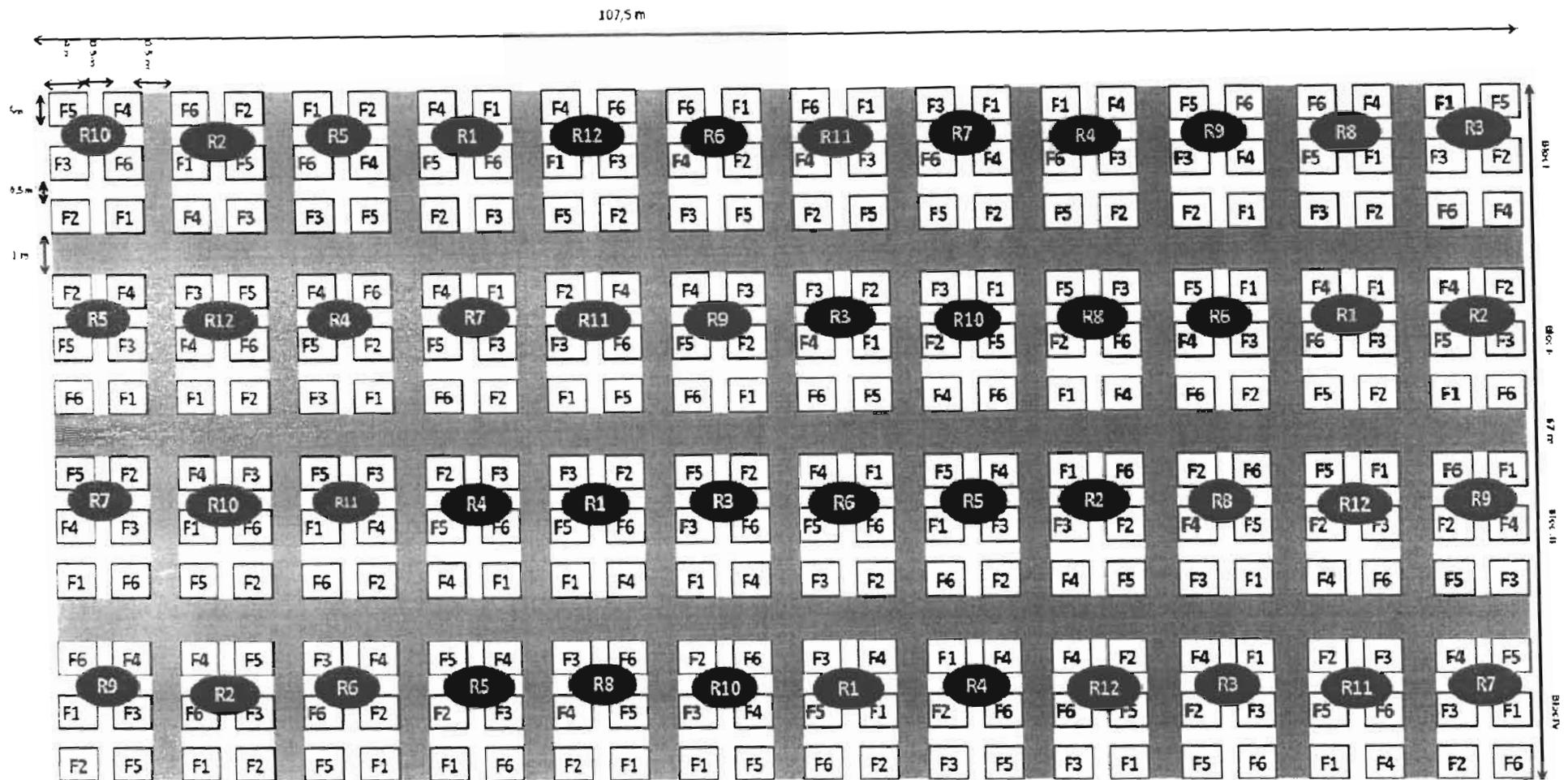


Figure 6: Plan de masse

F1, F2, F3, F4, F5 et F6 = Fumure 1, 2, 3, 4, 5, 6 ;

R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11 = Rotation 1 à 11.

❖ Les traitements secondaires

Les cultures ont été fertilisées par 6 types de fumures minérales ou organo-minérales (Tableau VI). Les doses d'éléments N, P, K, S et B apportées en fonction de chaque culture, sont données dans le tableau VII.

Tableau VI : Liste des traitements secondaires (fumures) dans les parcelles secondaires.

Traitements	description
F1	Témoins sans apport de fertilisants
F2	NPK (200 kg/ha) + Urée vulgarisée (100 kg/ha)
F3	BP (500 kg/ha)
F4	BP (500 kg/ha) +Urée Vulgarisée
F5	BP (500 kg/ha) +Compost (5 t/ha)
F6	BP (500 kg/ha) + Compost (5 t/ha) +Urée

Tableau VII : Quantités totales d'éléments N, P, K, S et B appliquées selon la culture

Cultures	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	B
Maïs	60	23	14	6	1
Coton	48,5	34,5	21	8	1
Riz	74	36	36	12	2

2.2.2. Conduite de l'essai

❖ Préparation du sol

- **Le labour** : il a été effectué à la traction animale à une profondeur d'environ 15-20 cm. Le labour a été suivi du planage afin de niveler le champ.
- **La délimitation de la zone de l'essai** : elle a consisté à la matérialisation du champ expérimental, et des parcelles élémentaires à l'aide de piquets. La méthode 3-4-5 a été utilisée pour matérialiser les angles droits aux quatre coins de la parcelle d'essai. Nous avons procédé, à l'intérieur de celle-ci, à la délimitation des blocs et des parcelles élémentaires à l'aide de piquets.
- **Le rayonnage** : il a servi pour la matérialisation des lignes de semis.

❖ Le Semis

Les semis ont été effectués en lignes continues, aux écartements de 20 cm entre les lignes. La dose de semence utilisée était de 80 kg/ha.

La semence a été préalablement traitée au Cruiser extrait : un fongicide et insecticide. Ce produit est utilisé contre les insectes piqueurs sucres et contre les champignons.

❖ **Les opérations d'entretien** : elles ont été les suivantes :

- Trois sarclages manuels à 14 JAS, 45 JAS et 80 JAS.
- Des suivis réguliers de la parcelle d'essai ont été effectués au cours du cycle de développement de la culture. Cela avait pour but de veiller à la bonne conduite de l'essai et aussi à l'observation du comportement des plants de riz aux différents traitements. Les effets de bordures ont été minimisés par la mise en place d'une diguette freinant les transferts de nutriments entre les parcelles élémentaires.

❖ **La fertilisation** :

✓ **Fumures de fonds**

Le compost a été apporté au labour à raison de 10 t/ha avant le semis. Le Burkina Phosphate ($P_2O_5 = 25, 38\%$; $CaO = 34, 45\%$; $MgO = 0, 27\%$; Ferral = 6, 5%; $SiO_2 = 26, 24\%$) a été apporté avant le semis à raison de 500 kg/ha.

Le NPKSB (14-18-18-6-1) a été apporté après semis à raison de 200 kg à l'hectare.

✓ **Fumures d'entretien**

L'urée comme source d'azote à raison de 100 kg (46 kg N) a été apportée en deux fractions :

- la première fraction a été appliquée à raison de 50 kg/ha (23 kg N) ;
- la deuxième fraction a été appliquée à raison de 50 kg/ha (23 kg N).

❖ **La récolte**

La récolte a été effectuée de façon manuelle à la faucille, lorsque 85 à 90 % des panicules avaient atteint la maturité physiologique. A la maturité, dans chaque parcelle élémentaire, un carré de rendement de $13,44 \text{ m}^2$ a été délimité pour l'évaluation des composantes du rendement.

2.2.3. Collecte de données

❖ **Echantillonnage du sol de la parcelle expérimentale**

Les prélèvements de sol ont été effectués dans chaque parcelle élémentaire avant labour.

Ces prélèvements ont été réalisés sur l'horizon 0 –20 cm en trois points suivant la diagonale et à l'aide d'une tarière; le mélange des différents prélèvements d'une parcelle constitue un échantillon composite, qui a été analysé au laboratoire Sol-Eau-Plante (S.E.P.)/ Programme G.R.N. /S.P. Ouest de la Direction Régionale de Recherches Environnementales et Agricoles de l'Ouest/ station de Farako-Bâ.

❖ **Paramètres agro morphologiques**

Les paramètres agro morphologiques ont concerné :

✓ **la hauteur des plants (en cm)** : elle a été mesurée de la base de chaque plant au sommet à l'aide d'une règle graduée sur 0,20 m linéaire sur la ligne centrale par traitement à 30 - 45 et 60 jours après semis. La moyenne de la somme des hauteurs sur la ligne 0,2 m dans chaque parcelle utile a été calculée ;

- **le nombre de talles/m²**: il a été déterminé par comptage sur 0,20 m linéaire sur la ligne centrale par traitement 30 ; 45 et 60 jours après semis. Ces données nous ont permis de calculer la moyenne de talle sur 1 m² ;

- **le rendement paddy**: il a été évalué à l'aide d'une balance électronique après séchage, battage et vannage des panicules de chaque traitement. Le rendement paddy à l'hectare estimé en extrapolant le rendement de la parcelle utile. Ce rendement est exprimé par la formule suivante :

$$Rdt\ paddy\ (kg/ha) = \frac{Poids\ corrigé\ du\ produit\ de\ la\ parcelle\ élémentaire\ (kg)}{Superficie\ de\ la\ parcelle\ utile\ (13,44\ m^2)} \times 10\ 000\ m^2$$

- **le rendement paille** : il a été évalué à l'aide d'une balance électronique après séchage et battage des pailles de chaque traitement ;

$$Rdt\ paille\ (kg/ha) = \frac{Poids\ corrigé\ du\ produit\ de\ la\ parcelle\ élémentaire\ (kg)}{Superficie\ de\ la\ parcelle\ utile\ (13,44\ m^2)} \times 10\ 000\ m^2$$

- **le poids de 1000 grains** : il a été déterminé après comptage et pesée de 1000 grains des échantillons de grains de chaque traitement.

Source : (Yoshida, 1981)

2.2.4. Paramètres calculés

❖ Calcul des Indices de Récolte

L'Indice de Récolte (IR) mesure le rapport entre le rendement en grains et la biomasse totale produite. La formule suivante a été utilisée:

$$IR = \frac{Rdt\ grain\ (kg/ha)}{Rdt\ grain\ (kg/ha) + Rdt\ paille\ (kg/ha)}$$

Source: (Tanaka et al., 1984 ; Harmsen and Moraghan, 1988)

❖ Efficacité Agronomique

L'Efficacité Agronomique (EA) mesure l'augmentation supplémentaire du rendement en grain (en kg) imputable à l'utilisation d'une unité supplémentaire (kg) d'élément fertilisant sur un hectare. La formule suivante a été utilisée pour calculer l'efficacité agronomique de N, selon les traitements:

$$EA = \frac{[Rdt\ avec\ engrais - Rdt\ sans\ engrais] (kg/ha)}{Dose\ appliquée\ de\ l'élément\ fertilisant (kg/ha)}$$

La méthode de calcul de l'Efficacité Agronomique (EA) proposée par (Tanaka et al., 1984 ; Harmsen and Moraghan, 1988 ; Janssen, 2010) a été utilisée.

L'efficacité agronomique (kg/kg) pour une formule donnée, est calculée en identifiant le nutriment clé du riz et en calculant combien de kg de plus sont obtenus pour le produit visé par kg de ce nutriment. Pour les céréales, c'est l'azote qui est en général le plus important (limitant) (IFDC, 2011). L'efficacité agronomique dans ce cas, est le rapport entre le rendement supplémentaire (effet) et la dose de l'élément nutritif appliquée (D).

L'analyse de la durabilité se fait en considérant l'évolution de l'Efficacité Agronomique.

Les normes d'interprétation de l'efficacité agronomique de l'azote des céréales sont données dans le tableau VIII.

Tableau VIII : Norme d'appréciation de l'Efficacité Agronomique (kg/kg) de l'azote des céréales

	Insuffisante	Acceptable	Très bonne
N céréales	≤ 10	15	≥ 20

Source : IFDC (2011)

2.2.5. Analyse des échantillons de sols prélevés

Les échantillons de sols prélevés ont été séchés, broyés et tamisés à 2 et 0,5 mm ; les éléments analysés et les méthodes de détermination ont été les suivantes :

pHeau : Le pH-H₂O et pH-KCl des sols ont été mesurés par lecture directe au pH-mètre selon un rapport sol/eau distillée de 1 : 2,5 et sol/KCl 1M, de 1 : 2,5 respectivement après un temps d'équilibre de 4 heures. L'acidité d'échange a été extraite par une solution de KCl 1M et titré avec du NaOH (Houba et al., 1995).

Dosage du C « total » et de la matière organique. La méthode Walkley-Black (1934) a été utilisée. C'est une méthode par voie humide ; elle consiste en une oxydation à froid d'un

échantillon (solide ou liquide) par une solution de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en présence d'acide sulfurique (H_2SO_4). L'excès de bichromate est dosé en retour avec une solution standard de Fe^{2+} (dans du sulfate d'ammonium ferreux : sel de Mohr dont la formule chimique est $FeSO_4(NH_4)_6$) pour déterminer la quantité qui a réagi. La matière organique a été déterminée à partir des valeurs de C « total ». L'équation de calcul utilisée a été : **MO = %C « total » x 1,724.**

- **L'azote** est dosé par la méthode de Kjeldahl (Hillebrand et *al.*, 1953). Les échantillons de sol ont été soumis à une minéralisation de Kjeldahl, avec l'acide sulfurique et acide salicylique ($C_7H_6O_3$) en présence du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et du sélénium (Se) utilisé comme catalyseur. Après la minéralisation, la solution aqueuse est filtrée au papier « Whatman » 125 mm. Une partie du substrat a été ensuite prélevée et distillée. L'azote organique à l'issue de l'attaque est converti en azote ammoniacal (NH_4^+) qui est déplacé de la solution par distillation. Les quantités d'azote déplacées ont été ensuite recueillies dans une solution d'acide borique (H_3BO_3) qui a été dosée en retour à l'acide sulfurique (H_2SO_4).

❖ **Relations entre les paramètres chimiques du sol et les composantes agronomiques.**

Pour déceler les relations qui peuvent exister entre les paramètres-sol, et les composantes de rendement (poids de 1000 grains, rendement paddy et poids paille), des analyses statistiques multi variées ont été conduites. Les résultats des analyses chimiques d'échantillons de sols de l'essai système de riz pluvial, ainsi que les résultats sur les rendements paddy, poids de 1000 grains et poids paille obtenus sur les mêmes parcelles ont été utilisés.

La méthode statistique multidimensionnelle utilisée est l'analyse en composantes principales (ACP) avec le logiciel XLSTAT 7.5.2 (ADDINSOFT, 2004) 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 composantes de rendement ont été analysées.

Quatre (04) paramètres-sol ont été pris en compte. Ils ont été introduits dans l'ACP comme des variables actives ou variables explicatives:

1. pH = pH eau ;
2. Corg = Carbone organique total du sol (en %) ;
3. Ntot = Azote total du sol (en %) ;

Deux variables liées à la plante ont été utilisées comme variables explicatives: poids de 1000 grains et poids paille.

Une variable liée à la plante a été introduite dans l'ACP comme variable à expliquer: rendement Paddy de la variété FKR 45N (kg/ha).

Six (06) paramètres-traitements ont été pris en compte et introduits dans l'ACP comme des variables supplémentaires: Témoin, NPK+Urée vulgarisée, BP, BP+Urée, BP+Compost et BP+Compost+Urée.

2.2.6. Analyse Economique

Le Ratio Valeur Coût (RVC) a été notre outil principal. Il est le revenu procuré par l'utilisation des engrais rapportés au coût de cet intrant :

Le Ratio Valeur sur Coût (RVC) est le rapport du produit brut additionnel dû à l'utilisation de l'engrais et du coût de la fertilisation ou le revenu procuré par l'utilisation des engrais rapportés au coût de ces intrants.

Pour Deville (1996) en effet, l'évaluation de l'efficacité d'un processus de production, passe par le calcul de la productivité de la terre (rapport entre la quantité produite et la quantité investie) et celle du travail (rémunération de la main d'œuvre).

La formule suivante a été utilisée :

$$RVC = \frac{[Rdt\ avec\ engrais - Rdt\ sans\ engrais](kg/ha) \times Prix\ du\ riz\ (FCFA/kg)}{Coût\ total\ des\ engrais\ (FCFA)}$$

Les calculs économiques ont été effectués en tenant compte des types et des quantités d'engrais appliquées sur les parcelles. Les engrais utilisés étaient le compost, le BP, l'urée et le NPK aux doses respectives de 10 t/ha, 500 kg/ha, 100 kg/ha et 200 kg/ha.

Les prix considérés ont été de 125 FCFA/kg pour le BP, 400 FCFA/kg pour l'urée, 350 FCFA/kg pour le NPK, et 128 FCFA pour le kilogramme de riz paddy.

Selon Delville (1996) :

- Si $RVC < 1$, la technique n'est pas rentable, au contraire une perte d'argent est enregistrée.
- Si $RVC = 1$, la technique n'est pas rentable mais il n'y a pas de perte. Le gain de rendement permet de couvrir les dépenses effectuées pour l'achat de l'engrais. L'apport de fumure est sans intérêt économique.

Si $RVC > 1$, la technique est considérée comme rentable. Elle permet de couvrir les dépenses et de dégager un bénéfice.

Les Ratio Valeur sur Coût (RVC) ont été calculés en tenant compte uniquement du coût total des engrais minéraux. Les autres coûts d'exploitation (coûts de la main-d'œuvre : semis, sarclages, bandage d'engrais, récolte, etc.) et le coût du compost n'ont pas été pris en compte dans le calcul.

Côté des calculs de rentabilité économique, il nous a semblé plus commode de calculer le revenu net des fumures, encore plus expressif du gain financier et donc plus objectif. Le calcul du

revenu monétaire s'obtient en ôtant de la valeur de la production due aux engrais, le coût total de ces engrais, par la formule :

$$\text{Revenu} = [(Rdt \text{ parcelle fertilisée} - Rdt \text{ témoin}) (kg/ha) \times \text{Prix riz (FCFA/kg)}] - \text{Coût engrais}$$

2.2.7. Analyse statistiques des données

Le tableur Microsoft Excel 2010 a servi pour la préparation des données collectées (saisie et correction). Le logiciel GenStat Discovery Edition 3 a été utilisé pour l'analyse de variance. À l'issue de l'ANOVA, le test de LSD a permis de comparer les moyennes au seuil de signification de 5%. Le logiciel XLSTAT 7.5.2 a permis de faire la corrélation entre paramètres agro morphologiques du riz et paramètres du sol.

Chapitre 3 : Résultats et Discussions

3.1. Résultats

3.1.1. Propriétés chimiques du sol et des fumures

Les résultats sur le pH_eau, matière organique et N sont donnés dans le tableau IX. L'utilisation des rotations coton-riz entraîne une augmentation de l'azote total de 0,09 unité d'azote et de 0,121 unité de MO (Tableau IX). L'apport des fumures BP+compost+Urée a permis d'augmenter le pH et le taux de matière organique respectivement de 0,43 unité et de 0,11 unité par rapport au témoin (Tableau IX). De façon générale les résultats indiquent des sols acides ce qui affectera la disponibilité en plusieurs éléments nutritifs.

Aucune différence significative n'est observée entre les fumures pour la teneur en azote. De même, l'interaction entre rotation et fumures est non significative au seuil de probabilité de 5%. Par contre, les résultats indiquent des différences significatives entre les rotations d'une part (sauf pour le pH_eau), et d'autre part entre les fumures pour la variable azote total.

Tableau IX : Propriétés chimiques des sols en fonction des rotations et des fumures avant labour.

Traitements		pH_eau	MO (%)	N (%)
Rotations	Coton-Riz	5,412	0,695	0,041 ^a
	Maïs-Riz	5,158	0,665	0,033 ^b
	Riz-Riz	5,429	0,574	0,032 ^b
	LSD	0,063	0,35	0,064
	Probabilité	0,06	0,4	0,002
Signification		NS	NS	HS
Fumures	BP+Compost+Urée	5,472 ^a	0,695	0,04
	NPK+Urée	5,365 ^b	0,610	0,033
	BP+Urée	5,451 ^a	0,622	0,033
	Compost+Urée	5,483 ^a	0,645	0,038
	BP	5,462 ^a	0,622	0,033
	Témoin	5,037 ^c	0,580	0,031
	LSD	0,063	0,063	0,064
	Probabilité	0,04	0,3	0,06
Signification		S	NS	NS
Rotations*fumures		0,922	0,526	0,068
Signification		NS	NS	NS

NB : les moyennes d'une même colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5% (test de LSD). **HS**=Hautement Significatif ($P < 0.01$), **S**= Significatif ($P < 0.05$), **NS**= Non Significatif.

3.1.2. Effet des rotations et des fumures sur la croissance du riz pluvial strict

Le tableau X présente les résultats sur l'effet des rotations et des fumures sur la taille des plants en fonction des dates d'observation. L'analyse statistique ne révèle aucune différence significative entre l'interaction rotations et fumures sur la hauteur des plants (Tableau X).

A 30 JAS aucune différence entre les rotations n'est constatée. A 45 JAS les plants de riz sont plus courts pour la culture continue de riz par rapport aux autres rotations. En outre, la rotation coton-riz permet une augmentation des tailles de plant de 4,4 cm par rapport à la culture continue de riz.

A 60 JAS, les hauteurs sont significativement plus élevées pour la rotation coton riz par rapport aux autres rotations. La rotation coton-riz entraîne une augmentation des plants de riz de 16% par rapport au témoin à 60 JAS.

En ce qui concerne les fumures, la plus faible hauteur des plants est obtenue avec le témoin non fertilisé. La fumure NPK+Urée entraîne une augmentation de taille de riz de 31,11 % par

rapport au témoin. La taille du riz a augmenté de 17,67 cm en 15 jours dans les parcelles de fumure BP+Compost+Urée.

Tableau X : Effet des rotations et des fumures sur la taille des plants (cm) de riz

Traitements		Dates d'observation (JAS)		
		30	45	60
Rotations	Coton-Riz	13,61 ^a	37 ^a	51,27 ^a
	Maïs-Riz	13,64 ^a	36,53 ^a	48,37 ^b
	Riz-Riz	13,04 ^b	33,73 ^c	44,03 ^c
	LSD	0,43	1,39	1,92
Probabilité		< 0,0001	< 0,001	< 0,001
Signification		THS	THS	THS
Fumures	NPK+Urée	15,77 ^a	44,59 ^a	58,11 ^a
	BP+Compost+Urée	12,53 ^c	37,71 ^b	55,35 ^b
	BP+Urée	12,43 ^c	35,75 ^c	49,5 ^c
	Compost+Urée	13,97 ^b	33,78 ^d	44,57 ^d
	BP	13,48 ^b	31,90 ^d	40,29 ^e
	Témoin	12,34 ^c	30,72 ^d	39,61 ^e
	LSD	1,25	1,92	2,71
	Probabilité		< 0,001	< 0,001
Signification		THS	THS	THS
Rotations*Fumures		0,721	0,06	0,05
Signification		NS	NS	NS

NB : les moyennes d'une même colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité 5% (test de LSD). THS = Très Hautement Significatif (P<0.001), NS= Non Significatif.

JAS=Jours Après Semis

3.1.3. Effet des rotations et des fumures sur le nombre de talles des plants de riz.

Les résultats sur l'effet des rotations et des fumures sur le nombre de talles/m² en fonction des dates d'observation sont présentés dans le Tableau XI. L'interaction entre les rotations et les fumures est non significative pour la variable nombre de talles/m² (Tableau XI).

Par ailleurs, les résultats montrent une différence à 45 et 60 JAS entre les rotations. À 60 JAS un nombre de talles plus important a été observé dans les parcelles en rotation par rapport aux parcelles en monoculture de riz. La rotation coton-riz permet d'augmenter le nombre de talles.m⁻² des plants de riz de 14 talles/m⁻² par rapport au témoin absolu.

Les résultats montrent une différence significative entre les fumures pour le nombre de talles/m². En effet, à 60 JAS, les fumures NPK+Urée et BP+Compost+Urée entraînent une augmentation du nombre de talles/m² respectivement de 7 et de 6%.

Tableau XI: Nombre de talles/m² en fonction des rotations et des fumures et des dates d'observation

Traitements		Dates d'observations (JAS)		
		30	45	60
Rotations	Coton-Riz	276	277 ^a	303 ^a
	Maïs-Riz	275	276 ^b	294 ^b
	Riz-Riz	275	276 ^b	289 ^b
	LSD	1,96	0,14	8
	Probabilité	0,15	0,005	0,006
Signification		NS	HS	HS
Fumures	NPK+ Urée	276	277 ^a	307 ^a
	BP+Compost+ Urée	276	277 ^a	304 ^a
	BP+ Urée	275	276 ^b	293 ^b
	Compost+ Urée	275	276 ^b	292 ^b
	BP	275	276 ^b	289 ^b
	Témoin	275	276 ^b	286 ^b
	LSD	1,96	0,20	12
	Probabilité	0,69	< 0,001	0,003
Signification		NS	THS	HS
Traitement*Fumures		0,68	0,05	0,0619
Signification		NS	NS	NS

NB : les moyennes d'une même colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5% (test de LSD). *THS* = Très Hautement Significatif ($P < 0.001$), *HS*=Hautement Significatif ($P < 0.01$), *NS*= Non Significatif.

JAS=Jours Après Semis

3.1.4. Effet des rotations et des fumures sur les composantes de rendement du riz pluvial

L'interaction entre rotation et fumures est non significative pour les rendements paddy, le poids biomasse, le poids de 1000 grains et l'Indice de Récolte (Tableau XII).

Par ailleurs, les résultats montrent une différence significative entre les fumures d'une part et les rotations d'autre part pour les composantes de rendements.

Les rendements paddy, le poids biomasse, le poids de 1000 grains et l'Indice de Récolte sont plus élevés pour les rotations coton-riz et maïs – riz par rapport à la monoculture (Tableau XII). En effet, la rotation coton-riz entraîne une augmentation de rendement paddy du riz de 45,8% par rapport à la rotation riz-riz.

Le meilleur rendement paddy est obtenu avec la fumure BP+Compost+ Urée suivi du NPK+ Urée. Les fumures BP+Compost+Urée et NPK+Urée ont augmenté les rendements paddy de riz

de 113 % et 102 % respectivement. Les plus faibles rendements paddy sont obtenus avec les fumures sans azote. Le BP simple semble ne pas affecter le rendement paddy du riz pluvial. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus pour le poids de 1000 grains, poids biomasse et l'indice de récolte.

Tableau XII: Rendements paddy en fonction des rotations et des fumures

Traitements		Poids de 1000 grains (g)	Rdt paddy (kg/ha)	Rdt (kg/ha)	Paille	Indice de Récolte
Rotations	Coton-Riz	31,696 ^a	2110 ^a	2121 ^a		0,418 ^a
	Maïs-Riz	31,046 ^b	2101 ^a	2049 ^b		0,416 ^a
	Riz-Riz	29,271 ^c	1447 ^b	1652 ^c		0,379 ^b
	LSD	1,141	482,3	331,8		0,04
	Probabilité	0,001	0,01	0,01		0,016
	Signification	HS	S	S		S
Fumures	BP+Compost+ Urée	32,41 ^a	2752 ^a	2381 ^b		0,44 ^a
	NPK+ Urée	31,57 ^b	2604 ^a	2951 ^a		0,38 ^b
	BP+ Urée	31,14 ^b	1791 ^b	1984 ^b		0,37 ^b
	Compost+ Urée	30,16 ^b	1578 ^b	1625 ^{bc}		0,42 ^a
	BP	29,60 ^{bc}	1302 ^b	1358 ^{cd}		0,39 ^b
	Témoin	29,11 ^{bc}	1289 ^b	1345 ^{cd}		0,39 ^b
	LSD	1,614	682,1	469,3		0,05
	Probabilité	0,004	<0,001	<0,0001		0,03
	Signification	HS	THS	THS		S
Rotations*Fumures		0,530	0,5	0,5		0,3
Signification		NS	NS	NS		NS

NB : les moyennes d'une même colonne affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5% (test de LSD). **THS** = Très Hautement Significatif ($P < 0.001$), **HS** = Hautement Significatif ($P < 0.01$), **S** = Significatif ($P < 0.05$), **NS** = Non Significatif.

3.1.5. Relations entre paramètres chimiques du sol et composantes de rendement du riz pluvial

Les résultats présentés dans le tableau XIII montrent une corrélation positive entre la teneur en azote et les rendements paddy, et entre le taux de matière organique, le rendement paddy et le poids de 1000 grains. On observe également une corrélation positive entre le pH_eau et le rendement paddy.

Tableau XIII : Matrice de Corrélacion entre paramètres chimiques, composantes de rendement et rendement.

	1000 grains (g)	Rdt paddy (kg/ha)	Poids paille (kg/ha)	pH_eau	M.O (%)	N (%)
1000 grains (g)	1					
Rdt paddy (kg/ha)	0,228	1				
Poids paille (kg/ha)	0,038	0,845	1			
pHeau	0,126	0,120	0,117	1		
M.O (%)	0,142	0,045	-0,166	0,164	1	
N (%)	0,132	0,224	0,035	0,107	0,250	1

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

3.1.6. Efficacité Agronomique

La meilleure Efficacité Agronomique est obtenue avec la fumure BP+Compost+Urée suivie de près par la fumure NPK+Urée (Tableau XIV).

Au regard des normes d'interprétation de l'Efficacité Agronomique de l'azote des céréales de l'IFDC (2011), les fumures BP+Compost+Urée et NPK+Urée ont une très bonne efficacité Agronomique respectivement 32 et 18.

Tableau XIV : Efficacité Agronomique de l'Azote N des fumures

Traitements	Teneur en Azote (N)	EA (kg grain kg ⁻¹ N).	Rendement paddy (kg/ha)
BP+Compost+Urée	47,267	32	2752
NPK+Urée	74	18	2604
BP+Urée	46	12	1791
Compost+ Urée	47,267	6	1578

3.1.7. Rentabilité économique et revenu monétaire des fumures.

Les plus grands Ratios Valeur sur Coût (RV/C) sont enregistrés avec les fumures BP+Compost+Urée et NPK+Urée respectivement 2,08 et 1,5 (Tableau XVI).

En ce qui concerne le revenu monétaire pour chaque fumure, les résultats ont révélé l'ordre suivant: BP+Compost+Urée > NPK+Urée (Tableau XVI).

Les fumures BP+Compost+Urée, et NPK+Urée permettent d'avoir respectivement le revenu monétaire de 84 784 FCFA/ha et 58 320 FCFA/ha.

Tableau XV : Rentabilité Economique et revenu monétaire des fumures.

Traitements	RVC	Revenu monétaire (FCFA/ha)
BP+Compost+Urée	2,08	84784
NPK+Urée	1,5	58320
BP+Urée	0,71	-38244
Compost+ Urée	0,9	-3008
BP	0,03	-60836

3.2. Discussion

3.2.1. Effet des rotations et des fumures sur les propriétés chimiques des sols.

Les rotations coton-riz permettent d'augmenter des teneurs plus élevés en azote total. En effet, comparativement aux monocultures de riz, les parcelles du précédent coton ont contribué significativement ($P < 0,05$) à enrichir le sol en azote total. Cela s'expliquerait par les effets bénéfiques des résidus de coton recyclés, et également par les effets bénéfiques des rotations coton sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol (Hoshikawa, 1990 ; Chong-Ho Wang, 2013) avec pour conséquence, une bonne alimentation en eau et en éléments nutritifs. L'augmentation de l'azote minéral et total par les précédents culturaux a été observée dans des travaux antérieurs (Bationo et Ntare, 2000). Tout en fournissant plus d'azote par les résidus, les précédents cotons semblent être à l'origine de l'augmentation et à l'utilisation de l'azote.

Nos études corroborent ceux de Hien (2004), qui fait ressortir que les bonnes pratiques agricoles améliorent le statut organique du sol, et fournissent plus d'éléments nutritifs aux cultures.

Les résultats sur les propriétés chimiques des sols avant labour, montrent que les fumures permettent d'apporter des éléments nutritifs au sol probablement par le biais du compost.

Les traitements ayant reçu du compost ont des pHeau et MO supérieurs à ceux qui n'ont reçu que de l'azote associé au BP. En effet, les amendements organiques améliorent les propriétés physiques, chimiques et la disponibilité des éléments comme l'azote total, phosphore, potassium, et calcium tout en fournissant des éléments nutritifs par minéralisation (Rabat, 2003).

L'efficacité des fumures était renforcée quand on associait le Burkina Phosphate ou les amendements organiques à l'engrais minéral. La combinaison de compost aux engrais minéraux augmente la teneur en matière organique et en azote total, et améliore le pH du sol. Cela s'expliquerait par les effets bénéfiques des fumures organo-minérales qui permettent d'obtenir de meilleur bilan azoté, un bilan positif en calcium, une stabilité et une augmentation du taux de matière organique et partant, de la capacité d'échange cationique. Des résultats similaires ont été obtenus par Ogunbare et *al.*, (2012) qui ont démontré que cette combinaison des sources de matières organiques et des engrais minéraux permettait d'augmenter la teneur en Ca^{2+} ainsi que la teneur en matière organique du sol. La libération de Ca^{2+} a probablement contribué à neutraliser l'acidité du sol. L'accroissement du carbone donc de la matière organique, est une conséquence directe d'apport de compost. L'augmentation du carbone organique après l'apport de matière organique en compost ou de fumier, est un phénomène couramment observé en zone sahélienne d'Afrique (Ouedraogo et *al.*, 2004).

Selon Sedogo (1993), Van Reuler (1997), Vanlauwe et *al.*, (2002), Tejada and Gonzalez (2006), et Traore et *al.*, (2007), des apports de fumier ou de compost à dose suffisamment élevée, permettent d'enrayer les processus d'acidification sur tout le profil. Ceci fait ressortir l'intérêt du fumier/compost, aussi bien sur le plan agronomique qu'économique.

3.2.2. Effet des rotations sur la croissance et le rendement paddy du riz.

Nos travaux ont montré que la rotation coton-riz entraîne une augmentation de rendement paddy du riz de 45,8% par rapport à la rotation riz-riz. Les faibles rendements de la culture continue de riz, ou les hauts rendements dus au précédent coton peuvent s'expliquer par l'action positive de l'effet résiduel des précédentes fertilisations minérales et organo-minérales du coton. Par rapport à une monoculture de céréale, une rotation culturale comportant du coton, enrichit mieux le sol en azote, phosphore et potassium par les résidus recyclés du coton, et les autres cultures de la rotation peuvent bénéficier de ces éléments nutritifs par la minéralisation des résidus (Traore et *al.*, 2007).

Les effets positifs de rotation de coton sur les rendements des céréales tels que le maïs et le sorgho, ont été observés dans plusieurs travaux. Les études de Bado et *al.*, (1997) ont montré que la monoculture de maïs baisse considérablement les rendements de cette culture. La même observation a été faite par Edzang (1999), sur une culture continue de sorgho. Ces auteurs ont montré que la culture du sorgho en rotation avec le cotonnier, améliore significativement les rendements du sorgho. Selon le précédent cultural, les rendements du sorgho en rotation peuvent atteindre 4 fois ceux du sorgho en culture continue.

Utilisé en rotation ou en association dans les systèmes de culture à base de riz pluvial strict, le coton apporte une contribution en éléments nutritifs dans le système et améliore significativement les rendements du riz pluvial strict.

3.2.3. Effet des fumures sur la croissance et le rendement paddy

Les résultats ont montré très clairement que les fumures minérales et organo-minérales augmentaient significativement la taille, le nombre de talles, les rendements paddy du riz, poids paille et poids de 1000 grains. Le compost agit sur toutes les périodes de croissance observées. Les parcelles ayant reçu du compost (BP+Compost +Urée) ont relativement, à toutes les dates d'observation les plus grandes hauteurs. Ce résultat pourrait s'expliquer que, par rapport aux parcelles sans fumier, la fumure organique induit des suppléments de hauteur indiquant le rôle capital de la matière organique et de l'azote dans le développement végétatif du riz. Ces résultats sont conformes aux observations de nombreux auteurs sur des essais de fertilisation organique, notamment Haefele (2001) et Kinyumu (2009).

Nos résultats ont montré d'une façon générale, qu'il y'a une augmentation de la croissance des plants en présence d'une source d'azote. L'azote est le quatrième élément important du riz après le carbone, l'oxygène et l'hydrogène. L'azote est très important pour la culture du riz car il stimule la croissance rapide de la hauteur des plants (Hu et *al.*, 2014). Ceci pourrait expliquer la grande taille des plants que nous avons enregistré avec les différentes fumures azotées. Nos résultats sont similaires à ceux de Tapsoba (1997).

L'azote a contribué à augmenter le nombre de talles. Nos résultats sont en conformité avec ceux de Rahman (2013) et Thieu (2014) qui ont montré que l'azote influence positivement le tallage, surtout quant il est absorbé pendant la phase végétative.

Cependant, le tallage devient plus important si on associe à l'azote, du phosphore plutôt que du phosphore associé au Compost. L'augmentation du nombre de talles obtenus dans les parcelles de fumure azotée semble avoir un impact positif sur l'augmentation du rendement paddy du riz pluvial dans le système de rotation à base de riz (Thieu, 2014). Les faibles rendements obtenus avec le traitement phosphore indiquent que l'efficacité de l'utilisation de cet élément baisse sans l'apport d'azote (Rabat, 2003).

Le rôle positif de l'azote sur le rendement a été également démontré par les travaux de Fageria (2010), de Rahman et *al.*, (2013) et de Thieu (2014), qui ont indiqué que l'azote est le pivot de la fertilisation en raison de son importance dans l'obtention directe et spectaculaire du rendement du riz. Cependant, par rapport à l'azote, le phosphore seul limite faiblement la production du riz car le rendement paddy des traitements à base uniquement de phosphore (BP)

est plus faible que celui de BP+Urée, BP+Compost et BP+Compost+Urée. Par ailleurs, l'association azote-phosphore donne des résultats intéressants. En effet l'application de phosphore peut améliorer considérablement la croissance des plants (Garg et *al.*, 2004). Ceci met en exergue l'efficacité de phosphate dans l'augmentation de rendement paddy du riz (Bado, 1991). Nos résultats montrent très clairement que les parcelles de riz bénéficiant de l'application du compost fournissaient plus d'éléments nutritifs. Ces fumures permettaient d'augmenter significativement le rendement paddy et paille du riz. Les études ont montré que les sources de matières organiques comme le compost, sont cruciaux pour les agro-écosystèmes ; elles fournissent des éléments nutritifs de façon continue aux plants (Thiessen et *al.*, 1994, Schwartz et *al.*, 2005, Chong-Ho Wang, 2013) et améliorent leur rendement (Dawe, et *al.*, 2000 ; Pan et *al.*, 2009). Simultanément, les matières organiques augmentent la capacité de rétention en eau, et améliore ainsi la tolérance au stress de sécheresse, phénomène très critique pour la culture du riz de plateau en système de culture pluvial. Selon Dobelman et *al.*, (2002) et Hu et *al.*, (2014), l'eau et l'azote sont les deux facteurs les plus importants de production de riz : ils jouent un rôle vital dans la production du riz (Rahman et *al.*, 2013). La résolution de ces facteurs avec l'apport de BP+Compost+Urée a entraîné une augmentation de la croissance des plants et le rendement paddy, poids paille et poids 1000 grains du riz pluvial strict dans les conditions d'implantation de notre essai.

Nos études corroborent ceux de Keeling et *al.*, (2003) et Kinyumu (2009), qui font ressortir que l'apport combiné de fertilisations organiques et inorganiques fournit d'éléments nutritifs aux plants de riz, et améliore leur rendement. Cette association engrais minéral et organique semble avoir un effet positif sur la production du riz pluvial strict, plus que l'utilisation de la fertilisation organique ou inorganique seule. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de Tejada and Gonzalez (2006), qui ont souligné que l'apport de compost seul ou de compost + engrais chimique, entraîne une augmentation de l'activité biologique du sol, l'absorption des nutriments par les plantes, le rendement des cultures ainsi que l'amélioration de la qualité du grain.

L'effet positif de la combinaison fumure minérale et fumure organique sur le rendement paddy est clairement ressorti dans notre étude. L'application BP+Compost+Urée a augmenté les rendements paddy de riz de 113 %. Au cours de la période 1987-1990, des études faites par Singh et Singh (1990) à la station centrale de recherche sur le riz pluvial de Hazaribagh (Inde), ont montré que les rendements rizicoles augmentaient de 100% lorsque des engrais chimiques étaient apportés avec le fumier (engrais organique).

Le compost associé au BP et à l'urée permettent d'obtenir des rendements au moins équivalents à ceux obtenus avec l'engrais coton NPK + urée. Ce résultat pourrait s'expliquer par la présence de la fumure organique qui, selon Singh et Singh (1990) ; Sedogo (1991) ; Delville (1996) ; Segda et *al.*, (2002) et Chong-Ho Wang, (2013), constitue pour les plantes une source non négligeable d'éléments nutritifs assimilables. Cette situation pourrait s'expliquer par le fait que le fumier en se décomposant, libère des acides (humiques et fulviques) qui améliorent la solubilisation du BP. La bonne performance de la fumure minérale associée au compost s'explique par la quantité de matière organique apportée et la disponibilité dans le sol des quantités élevées d'éléments assimilables (Kinyumu, 2009).

3.2.4. Effet d'interaction des rotations et des fumures sur la croissance et le rendement du riz

L'interaction entre rotation et fumures était non significative pour les rendements paddy, le poids biomasse, le poids de 1000 grains et l'indice de récolte. L'interaction étant absente, le simple effet d'une rotation est la même pour tous les niveaux des fumures. C'est pour cette raison que les facteurs (rotations et fumures) ont été analysés de façon individuelle. Le rendement est plus faible en situation de monoculture et ce, quel que soit la nature de la fertilisation apportée.

La combinaison rotation coton et de compost associé au Burkina Phosphate et d'urée, permettent également d'obtenir de bons rendements en riz paddy. Le gain de rendement avec cette fertilisation organo-minérale par rapport à la fumure minérale vulgarisée, est d'environ 116 kg/ha. La combinaison rotation coton et fumure BP+Compost+Urée permet d'avoir un surplus de rendement de 261 kg/ha de riz paddy comparativement à la combinaison riz continue et fumure BP+Compost+Urée. Cela s'expliquerait par les effets bénéfiques de la combinaison rotations fumures organo-minérales sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol avec pour conséquence, une bonne alimentation en eau et en éléments. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de Traore et *al.*, (2007) qui ont montré que l'utilisation de la matière organique associée à de petites quantités d'engrais dans un système de rotation à base de coton, constitue une alternative prometteuse pour la fertilisation des céréales.

3.2.5. Rentabilité Economique des options testées

Les indices de récolte observés dans les parcelles des fumures organo-minérales (BP+Compost+Urée) sont supérieurs à la valeur de 0,43 proposée dans les conditions de l'Afrique de l'Ouest par Duivenbooden (1996). Cela montre que ces fumures ont fourni plus de

grains que de paille (Donald et Hamblin., 1976). Les conditions environnementales pourraient être à l'origine de ces faibles indices de récolte (Powell et Hons, 1992 ; Donald et Hamblin, 1976 ; Harmsen and Moraghan, 1988 ; Tanaka et *al.*, 1984)). Les meilleurs indices de récolte sont obtenus dans les parcelles BP, associée au compost et à l'urée.

C'est la fumure organo-minérale BP+Compost+Urée qui a donné la meilleure Efficacité Agronomique et RVC. On note que 1 kg d'azote dans cette fumure BP+Compost+Urée permet de produire 32 kg de riz paddy contre 18 kg pour la fumure NPK+Urée.

L'application de la fumure organique associée à l'Urée et au Phosphate naturel à une culture exigeante en azote comme le riz, permet d'obtenir un gain de rendement d'environ 148 kg/ha de riz grain comparativement à la fumure minérale vulgarisée. Sur le sol, les fumures organo-minérales permettent d'obtenir le meilleur bilan azoté, un bilan positif en calcium, une stabilité et une augmentation du taux de matière organique et partant, une meilleure capacité d'échange cationique. La fumure BP+Compost+Urée, en majorité constituée de ressources locales accessibles, permet aux producteurs de dépenser moins d'argent pour les intrants.

De plus, avec cette fumure (BP+Compost+Urée), on observe une diminution de l'acidification du sol. La fumure BP+Compost+Urée améliore les composantes de rendements. Par conséquent, elle induit les plus hauts rendements paddy du riz dans un système à base de riz.

Dans la littérature, il est admis que les fumures ayant des RVC supérieures à 1 sont économiquement rentables (Delville, 1996). La fumure BP+Compost + Urée a un RVC de 2,08 ce qui veut dire qu'un franc investi dans l'achat et l'utilisation des engrais BP+Compost + Urée rapporte 2,08 francs. Cette valeur est le seuil en dessous duquel, le revenu brut de l'utilisation de l'engrais n'est plus suffisant pour couvrir les coûts d'achat de l'engrais et les autres coûts afférant à son utilisation (Agate, 1999).

Conclusion et recommandations

La problématique de la gestion des fumures dans un système de rotation à base de riz pluvial dans la zone sud soudanienne du BURKINA FASO a été abordée dans cette étude en station de recherches de Farako-Bâ. Notre objectif à travers cette étude était d'apporter des réponses par rapport aux nombreuses interrogations que suscite l'utilisation des fumures dans les systèmes de rotation à base de riz pluvial strict. Peut-on véritablement maintenir ou augmenter la production du riz pluvial strict et dans quelle condition ? A travers ce document, nous avons essayé à l'aide des résultats obtenus en station, de répondre à ces interrogations et surtout d'expliquer ce qui se passe dans ces conditions.

Il ressort de cette étude que le précédent coton entraîne une augmentation de rendement paddy du riz pluvial strict subséquent de 45,8% par rapport à la monoculture. L'emploi des fumures BP+Compost+Urée permet d'accroître la production du riz pluvial strict. L'avantage majeur de cette synergie est le revenu monétaire de 84 784 FCFA/ha quand on applique les fumures BP+Compost+Urée dans un système de rotation à base de riz pluvial strict. La combinaison des rotations coton-riz avec apport de compost, Burkina Phosphate et Urée est un moyen de garantir en tout temps une disponibilité optimale des nutriments pour les cultures. Cette technologie permet une utilisation raisonnée des engrais minéraux notamment l'Urée. Pour limiter les pollutions de l'environnement d'origine agricole par usage d'engrais minéraux dans un système de culture à base de riz pluvial, l'apport de BP+Compost+Urée doit être favorisée. Cette gestion intégrée des fumures dans un système à base de riz pluvial pourrait contribuer à réduire la pauvreté et pourrait ainsi augmenter la capacité des producteurs à investir dans la gestion des sols permettant ainsi de contribuer à la sécurité alimentaire. L'amélioration de la production du riz pluvial strict dans la zone sud soudanienne du Burkina Faso nécessite une approche intégrée englobant l'utilisation conjointe des intrants compost, Burkina phosphate et Urée et la contribution de la rotation.

Nos travaux se sont intéressés aux aspects effets des rotations, fumures et interaction rotations fumures sur le rendement paddy du riz pluvial strict. Il serait important de continuer ce travail sur plusieurs années afin d'évaluer la disponibilité en élément nutritifs au cours d'un cycle, afin d'évaluer l'impact multi annuel des rotations et des fumures sur les propriétés des sols et la productivité du riz pluvial strict dans un système de rotation à base de riz pluvial strict. Une analyse économique plus fine permettrait également de faire ressortir les avantages socio-économiques des options de fertilisation et de système de culture proposées.

Références bibliographiques

- ADDINSOFT., 2004.** XLSTAT Pro Version 7.5.2, www.xlstat.com
- ADRAO, 1992.** Manuel illustré de riziculture pluviale. IRRI/IRAT-CIRAD. Montpellier, France, 284 p.
- ADRAO, 1995.** Formation en production rizicole. Manuel du formateur. Sayce publishing. Royaume Uni. 305 p.
- Agate A., 1999.** Effet d'une fertilisation azotée et phosphatée sur la production d'une «association maïs-mucuna ». Mémoire d'Ingénieur Agronome, UB-ESA, Lomé, 75 p.
- Angladette A., 1966.** Le riz. Edition Maisonneuve et Larose. Paris, France, 930 p.
- Arraudeau A., 1998.** Le riz irrigué. Le Technicien d'Agriculture Tropicale. Edition Maisonneuve et Larose, Paris, France, 321 p.
- Arraudeau A. et Vergara B. S., 1992.** Manuel illustré de riziculture pluviale, 284 p.
- Bado B. V., 1991.** Etude de l'efficacité du Burkina Phosphate en riziculture. INERA, 42 p.
- Bado, B. V., Sedogo M. P., Cescas M. P., Lompo F.& Bationo A., 1997.** Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. Cahiers Agricultures. Vol. 6 : 571 – 575 p.
- Bado B.V., 2002.** Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudaniennes du Burkina Faso. Thèse présentée à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention du grade de Philosophie Doctor (Ph. D.) pp 1- 90.
- Bado B.V. et Ouattara S., 2002.** Mise au point d'une nouvelle formule d'engrais minéral NPK pour la riziculture au Burkina Faso 22 p.
- Bationo A. and B. R. Ntare 2000.** Rotation and nitrogen fertilizer effects on pearl millet, cowpea and groundnut yield and soil chemical properties in a sandy soil in the semi-arid tropics, West Africa. Journal of agricultural Science 134: 277-284.
- Bertrand R. et Gigou J., 2000.** La fertilité des sols Tropicaux. Le Technicien d'Agriculture Tropicale. Maisonneuve et Larose. Paris, France, 397 p.
- Chong-Ho Wang, 2013.** Effects of Different Organic Materials on Crop Production under a Rice–Corn Cropping Sequence, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 44:20, 2987-3005, DOI: 10.1080/00103624.2013.829084.
- CIRAD-Gret, 2009.** Mémento de l'agronome. Editions Quæ, 1699 pages.

- Coulibaly K., 2012.** Analyse des facteurs de variabilité des performances agronomiques et économiques des cultures et de l'évolution de la fertilité des sols dans les systèmes culturaux intégrant les légumineuses en milieu soudanien du Burkina Faso : approche expérimentale chez et par les paysans. Thèse de Docteur De L'université Polytechnique De Bobo Dioulasso. (Doctorat Unique). 165 pages.
- CNRA, 2010.** Bien fertiliser le riz pluvial en Côte d'Ivoire. 4 pages.
- Courtois B. et Jacquot M., 1983.** Le riz pluvial. Le Technicien d'Agriculture Tropicale. Edition Maisonneuve et Larose, Paris, 134 pages.
- Dawe D., Dobermann A., Moya P., Abdularachman S., Singh B, Lal P., 2000.** How widespread are yield declines in long-term rice experiments in Asia? Field Crop Res. 66:175-193.
- De Datta S.K., 1981.** Principles and practices of rice production. Wiley et Sons, New York, 618 pages.
- DGESS : Direction Générale des Etudes et Statistiques Sectorielles 2013.** Annuaire des Statistiques Agricoles. 228p.
- Delville P.L., 1996.** Gérer la fertilité des terres dans les pays du sahel. Diagnostics et conseils aux paysans. CTA-GRET. Collection << le point sur >> 397p.
- Dembele Y., Dakouo D. et Ouedraogo M., 2005.** Problématique de la commercialisation du paddy et stratégies d'adaptation des producteurs dans les grands périmètres irrigués de l'Ouest du Burkina Faso. Atelier régional sur les politiques rizicoles et sécurité alimentaire en Afrique Subsaharienne Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO), du 7 au 9 novembre 2005, Cotonou (Bénin), 17 p.
- Dobermann A. and White, P. F., 1999.** Strategies for nutrient management in irrigated and rainfed lowland rice systems. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 53 : 1-18.
- Dobelman J.P., 1976.** Riziculture Pratique 1. Riz irrigué. Presses universitaires de France, 93 p.
- Dobermann A., Cassman K.G., 2002.** Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. Plant Soil 247: 153–175.
- Donald C.M. et Hamblin J., 1976.** The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Advances in Agronomy 28: 361-405.
- Dufumier M., 1985.** Systèmes de production et développement agricole dans le «tiers-monde» Cahiers de la Recherche Développement, 6 : 31-38
- Duivenbooden N. V DE WIT C.T. et Van Keulen H., 1996.** Nitrogen, phosphorus and potassium relations in five major cereals reviewed in respect to fertilizer recommendations using simulation modelling. Fertilizer Research 44 : 37-49.

- Edzang M. J. J., 1999.** Incidence des systèmes de culture sur les rendements de cultures et évolution de la fertilité d'un sol ferrallitique dans l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur du Développement Rural, option agronomie, 78 p.
- Eureka, 2005.** Revue trimestrielle du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRS'T). Burkina Faso, Partenariat ADRAO INIERA, plus de dix ans aux services du développement rizicole, 74 p.
- Fageria N.K., 2010.** Optimal nitrogen Fertilization Timing for Upland rice. *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*, 1 – 6 August 2010, Brisbane.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1997.** Systems améliorés de riziculture pluviale. 90 p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005.** Bilans des éléments nutritifs du sol à différentes échelles : Application des méthodes intermédiaires aux réalités africaines. Bulletin FAO engrais et nutrition végétale 15, 158 p.
- Fontès J. et Guinko S., 1995.** Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso. Centre national de la recherche scientifique de l'université de Toulouse III, Institut de développement rural, Faculté des sciences et techniques de l'université de Ouagadougou. Ministère de la coopération Française, Projet campus 88313101, 65 p.
- Garg, B. K., Burman, U. and Kathju, S. 2004.** The influence of phosphorus nutrition on the physiological response of moth bean genotypes to drought. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167: 503–508.
- Haefele S.M, Wopereis MCS, Donovan C., 2002.** Farmers' perceptions, practices and performance in a Sahelian irrigated rice scheme. *Expl. Agric.* 38:197-210.
- Harmsen, K. and Moraghan, J. T. 1988.** A comparison of the isotope recovery and difference methods for determining nitrogen fertilizer efficiency. *Plant and Soil*, 105: 55–67.
- Hillebrand WF., Lundell G.E.F., Bright H.A., Hoffman J.I., 1953.** Applied inorganic analysis, 2^{ème} ed. JOHN WILEY and SONS, INC., New York, USA, 1034 p.
- Hien E., 2004.** Dynamique du carbone dans un acrisol ferrique du centre-ouest du Burkina : influence des pratiques culturales sur le stock et la qualité de la matière organique. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, France, 137 p.
- Hoshikawa K., 1990.** Significance of legume crops in improving the productivity of cropping systems. Paper presented at the International Symposium on the use of stable isotopes in plant nutrition, Soil Fertility and Environmental Studies. Vienna, Austria. 1- 20 pp

- Houba V.J.G., Van Der Lee J.J. and Novozamsky I., 1995.** Soil Analysis Procedures. Other Procedures. (Soil and Plant Analysis, part 5B), Syllabus'1995.
- Hu Y., Jingping Y., Yamin L., Junjun H., 2014.** SPAD value and Nitrogen Nutrition Index for the Evaluation of Rice Nitrogen Status. *Plant Produ.Sci* 17 (1): 81-92.
- INERA, 1994.** Programme riz et riziculture. Document préparatoire du plan stratégique du CNRST. 49 p.
- INERA, 2009.** Programme riz et riziculture. Itinéraire technique en riziculture pluviale, 4 pages.
- IFDC, 2011.** Condensé des Activités du Projet CATALIST au Burundi pour la période 2006-2011. 40 p.
- Janssen B.H., 1993.** Integrated nutrient management : the use of organic and mineral fertilizers. p. 89-105. In : VAN REULER, H. and PRINS, W.H. (eds). The role of plant nutrients for sustainable crop production in sub-Saharan Africa. Ponsen and Looijen, Wageningen, Netherlands.
- Jassen B.H., 2010.** Methodologies for design, analysis and interpretation of fertilizer tests performed in the CATALIST program. Wageningen, Pays-Bas. 36 pages.
- Jouve P., 2003.** Système de culture et organisation spatiale des territoires Comparaison entre agriculture tempérée et agriculture tropicale, In : Dugué P., Jouve P.. (éds.). « Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux ». Actes du colloque international, Montpellier, France. 9 p.
- Karamage F. X., 2001.** Etude de l'influence de la fertilisation phosphatée sur les attaques de la cécidomyie africaine du riz, ses parasitoïdes et les foreurs de tige en riziculture irriguée. Mémoire de fin d'études, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo – Dioulasso, Burkina Faso, 95 p.
- Keeling, A. A., K. R. McCallum, and C. P. Beckwith. 2003.** Mature green waste compost enhances growth and nitrogen uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) and oilseed rape (*Brassica napus* L.) through the action of water-extractable factors. *Bioresource Technology* 90:127–132.
- Kima F., 1993.** Evaluation de variétés améliorées de riz dans trois zones agro-écologiques du Burkina Faso (Douna, Karfiguéla, vallée du Kou). Mémoire de fin de cycle. Institut de Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 60 pages.
- Kinyumu D.M., 2009.** Comparative Study on the Growth and Yield of NERICA Cultivated with Organic and Inorganic Fertilizers Participatory On-Farm Research at Marakwet District in Kenya. *Journal of Developpements in Sustainable Agriculture* 4: 106-117.

- Klee M., Zach B. and Neumann K., 2000.** Four thousand years of plant exploitation in the Chad Basin of northeast Nigeria. I. The archaeobotany of Kursakata. *Vegetation History and Archaeobotany* 9 : 223-237.
- Lacharme M., 2001.** Le plant de riz : données morphologiques et cycle de la plante. Fascicule 2, 40 p.
- Ogundare K., Samuel A., Aiyelari P., 2012.** Organic amendment of an ultisol: effects on soil properties, growth, and yield of maize in Southern Guinea savanna zone of Nigeria. *International Journal Of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 1(11):1-7.
- Ouedraogo E., 2004.** Soil Quality improvement for Crop Production in Semi-arid West Africa. *Tropical Resource Management Papers*. N°51, ISBN 90-6754-732-8. Published as thesis, Wageningen University ISBN 90-5808-992-4.
- MAHRH, 2009.** Forum national sur la commercialisation du riz, 65 p.
- PAFR/ONRIZ, 2004.** Situation de la filière riz au Burkina Faso, 17 p.
- Pan G.X., Smith P., and Pan W.N., 2009.** The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereal in China. *Agric.Ecosyst. Environ.*129:344-348. Doi:10.1016/j.agee.2008.10.008.
- Perry L.J. and Olson R.A., 1975.** Yield and quality of corn and grain sorghum and residues as influenced by N fertilization. *Agronomy Journal* 67 : 816-818.
- Powel J.M. et Hons F.H., 1992.** Fertilizer nitrogen and stover removal effects on sorghum yields and nutrient uptake and partitioning. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 39 : 197-211.
- Powel J. M and Mohamed S., 1987.** Nitrogen and phosphorous transfer in crop-livestock system in West Africa. *Agric. Syst* 25: 261-277.
- Portères R., 1950.** Vieilles agricultures de l'Afrique intertropicale. Centres d'origine et de diversification variétale primaire et berceaux d'agriculture antérieurs au XVIe siècle. *L'Agronomie tropicale*, 5 (9/10): 489-507.
- Rabat, 2003.** Les engrais et leurs applications. Précis à l'usage des agents de la vulgarisation agricole, 4ème édition, 77 p.
- Rahman S.M., Ken-ichi K., Yuka S., Shuhe M., and Ho A., 2013.** Early growth stage water management effects on the fate of inorganic N, growth and yield in rice. *Soil Science and Plant Nutrition* 59, 921-932.
- Rai K.D., 1965.** Study of rain-grown sorghum and maize in the central rainlands of the Sudan. I. Effect of fertilizers on crude protein content and nitrogen accumulation. *Indian Journal of Agronomy* 10 : 139-144.

- Sagna M.A. et Marchal D., 1992.** Fertilisation. Centre d'édition, de reproduction et de diffusion de documents pédagogiques. Bureau de Pédologie et Programme Engrais FAO du Sénégal, 92 p.
- Schvartz, C. ; Muller, J.C. et Decroux, J., 2005.** Guide de la fertilisation raisonnée. 10 pages.
- Scoones I., 2001.** Dynamics and diversity. Soil fertility and farming livelihoods in Africa. Earthscan Publications Ltd., London, United Kingdom, 244 p.
- Sébillotte, M., 1993.** L'agronome face à la notion de fertilité. *Natures-Sciences-Sociétés*, 1(2) : 128-142.
- Sedogo M.P., Bado V., Hien V., Lompo F., 1991.** Utilisation efficace des engrais azotés pour une augmentation de la production vivrière: l'expérience du Burkina Faso. In *Ellevating soil fertility constraints to increase crop production in West Africa* A.U. MOKWUNYE Ed: 115-123.
- Sedogo M. P., 1993.** Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de Doctorat. Université nationale de Côte d'Ivoire. 329 p.
- Segda Z., Lompo F., Wopereis M.C.S., Sedogo P.M., 2001.** Amélioration de la fertilité du sol par utilisation du compost en riziculture irriguée dans la Vallée du Kou au Burkina Faso. *Agronomie Africaine* 13 (2): 45-58.
- Segda Z., 2002.** Agronomie et techniques culturales du riz. Formation participative en gestion intégrée de la production et déprédateurs du riz. INERA, 67 p.
- Segda Z., 2006.** Gestion 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, UFR/SVT. Université de Ouagadougou, Burkina Faso. 202 p + publications.
- Sibomona I., 1999.** Etude de l'effet des pratiques culturales sur la cécidomyie africaine du riz : cas de la fumure azotée et des écartements entre les plants de riz. Mémoire de fin d'études de l'Institut de développement rural Université polytechnique de Bobo Dioulasso pp 30 – 80.
- Sie M., Dogbe, S. et Diatta., M., 2009.** *Sélection variétale participative du riz*. Manuel du technicien. ADRAO, Cotonou, Bénin, 118 p.
- Singh, R.K. et Singh, C.V. 1990.** Central Rainfed Upland Rice Research Station annual report 1990. Hazaribagh, Inde, ICAR.
- Soltner D., 1990.** Les bases de la production végétale. Tome I - Le sol, 18ème édition. Sciences et Techniques Agricoles, 456 p.
- SNDR, 2011.** Stratégie Nationale de Développement de la Riziculture, 43 p.
- Tanaka, A., Yamaguchi, J., Miura, S. and Tamaru, H. 1984.** Comparison of fertilizer nitrogen efficiency among field crops. *Soil Science and Plant Nutrition*. 30: 199–208.

- Tapsoba, M., 1997.** Contribution à l'étude des besoins nutritifs du riz pluvial dans la zone Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle. Institut du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Burkina Faso, 70 p.
- Tejada, M., and J. L. Gonzalez. 2006.** Crushed cotton gin compost on soil biological properties and rice yield. *European Journal of Agronomy* 25:22–29.
- Thiessen, H., E.Cuevas, and P.Chacon. 1994.** The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature* 371:783:-785. Doi: 10.1038/371783a0.
- Thieu, T. P. T., Takeo, Y., and Moe., 2014.** Effect of Nitrogen Application Timing on Growth, Grain Yield and Eating Quality of the KD18 and Th3-3 Rice Varieties. *Journal of Fact. Agriculture., Kyushu University* 59 (1), 55-64.
- Traore O., Traore K., Bado B., 2007.** Crop rotation and soil amendments: impact on cotton and maize production in a cotton based system in western Burkina Faso. *Int. J. Biol Chem. Sci.* Vol 1, No 2. Pp 143-150.
- Vanlauwe B., Diels J., Sanginga N., Merckx R. 2002.** Integrated Plant Nutrient Management in sub-Saharan Africa: From Concept to Practice. CABI, Wallingford, UK, 352 p.
- Van, Reuler, H., 1997.** *Les engrais et l'agriculture durable : estimation du budget des éléments.* IFDC-Afrique, Lomé.
- Walkley, A., & Black, J. A. 1934.** An examination of the Detjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromatic acid titration method. *Soil Science* 37, 29-38.
- UNPRB et Oxfam Avril 2011,** Extraits de l'étude de marché sur le riz local.
- USDA, 2013** « Senegal: Grain and feed annual/2013 West Africa: Rice annual », GAIN Report.
- WARDA, 2008.** NERICA: the New Rice for Africa compendium. EA Somado, RG Geui and So Keya (eds). Cotonou, Benin, 195 p.
- Wopereis M.C.S. and Maatman A., 2002.** Improving farming livelihoods in sub-Saharan Africa: the case for integrated soil fertility management. In : IFDC, Proc of the ISFM training, 7-12 Octobre, Lomé, IFDC-Division Afrique. 25 p.
- Yoshida S., 1981.** Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute (IRRI), Los banos-Laguna, Philippines, 269 p.

Annexes

Annexe 1 : Calendrier cultural

- préparation du champ : 31 mai au 01 juin 2013 ;
- semis : 25 au 26 juin 2013 ;
- sarclage (1) : 15 et 16 juillet 2013 ;
- sarclage (2) : 23 au 26 juillet 2013 ;
- sarclage (3) : 09 et 16 août 2013 ;
- **application engrais** (nature ; dose ; méthode d'application) :
 - engrais de fonds

Le compost a été apporté huit (8) jours avant le semis à raison de 5t/ha (17 kg/sous traitement).

Le BP a été apporté huit (8) jours avant le semis à raison de 500 kg/ha le 17 juin 2013 (1kg/sous traitement).

- engrais de couverture

Le NPKSB a été apporté le 12 juillet 2013 à raison de 200 kg/hectare.

L'urée a été apportée en deux fractions :

1. la première fraction 50 kg/ha a été appliquée le 25 juillet 2013 ;
 2. la deuxième fraction a été appliquée le 9 août 2013 à raison 50kg/ha.
- **Récolte** : 01 octobre 2013.

Annexe 2 : Photos sur l'essai



Photo 1 : application d'engrais sur le riz



Photo 4 : riz au tallage



Photo 3 : mesure de la hauteur des plants



Photo 4 : observation sur la maturité