

BURKINA FASO

Unité-Progrès-Justice

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (M.E.S.R.S.I)**

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO (U.P.B)

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (I.D.R)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

Présenté en vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL.

Option: Agronomie

Thème:

**EVALUATION DE L'EFFICACITE DES DOSES D'ENGRAIS
POUR LA PRODUCTION DE RIZ PLUVIAL A L'OUEST DU
BURKINA-FASO**

Présenté par: KAM Koï Evariste

MAITRE DE STAGE: Dr SERME Idriss

CO-MAITRE DE STAGE: Dr OUATTARA Korodjouma

DIRECTEUR DE MEMOIRE: Dr COULIBALY Kalifa

N°:

Décembre 2016

DEDICACE

Ce présent mémoire est dédié à :

- Mon père Sié Lompo KAM,**
- Ma maman chérie feu Fatou SOU,**
- Mes frères et ma sœur,**
- Ma chère tendre chérie Marie NAZZARO.**

Merci à tous d'avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui !

Que Dieu vous donne toujours la force et longue vie afin que vous puissiez davantage nous soutenir!!

Table des matières	Pages
DEDICACE.....	i
Remerciements.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES ANNEXES.....	vi
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	vi
RESUME.....	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCTION.....	1
Chapitre 1: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
1.1. GENERALITES SUR LE RIZ	4
1.1.1. Origine et systématique du riz	4
1.1.2. Description du riz	4
1.1.3. Génétique du riz	5
1.1.4. Ecologie du riz	5
1.1.5. Types de riziculture	6
1.1.6. Maladies du riz	8
1.1.7. Mauvaises herbes	8
1.1.8. Oiseaux et rongeurs	9
1.1.9. Variétés de riz	9
1.1.10. Contraintes majeures à la production du riz	9
1.1.11. Importance de la riziculture au Burkina Faso	10
1.2 GESTION INTEGREE DE LA FERTILITE DES SOLS.....	11
1.2.1 Définitions de la fertilité du sol	11
1.2.2 Fertilisation du riz	12
1.2.3 Importance de la fertilisation équilibrée	13
1.2.4 Contraintes à la GIFS	14
1.2.5 Pratiques de la GIFS.....	15
Chapitre 2: MATERIEL ET METHODES	17
I. Présentation du milieu d'étude	17
2.1.1. Situation géographique	17
2.1.2. Climat	18
2.1.3. Sol	19
II. Matériel.....	19

2.2.1. Matériel végétal	19
2.2.2. Fertilisants	20
2.2.3. Sol	21
III. Méthodes.....	21
2.3.1. Dispositif expérimental.....	21
2.3.2. Conduite des essais	22
2.3.3. Paramètres mesurés.....	23
2.3.4. Caractéristiques physico-chimiques du sol avant application des fumures	24
2.3.5. Caractéristiques chimiques du fumier appliqué.....	25
2.3.6. Paramètres de fertilité des sols	25
2.3.7. Analyses chimiques	25
2.3.6. Courbes de réponse du riz suivant les doses croissantes d'azote.....	27
2.3.7. Calcul du ratio valeur sur coût (RV/C).....	28
2.3.8. Analyses statistiques.....	28
Chapitre3: RESULTATS ET DISCUSSION.....	28
3.1 RESULTATS	28
3.1.1 Effets des formules d'engrais et de la fumure organique sur les éléments totaux (N, P et K) dans le sol	28
3.1.2 Effets des formules d'engrais et de la matière organique sur les paramètres chimiques du sol.....	29
3.1.3 Effets des variétés et de la matière organique sur la croissance du riz.....	32
3.1.4 Relation entre les doses croissantes d'azote (N) et le rendement paddy	34
3.1.5 Effet des variétés, des formules d'engrais et de la matière organique sur les rendements paddy et paille du riz.....	35
3.1.6 Calculs économiques (RVC: rapport valeur sur coût).....	37
3.2 DISCUSSION	40
3.2.1. Effet des formules d'engrais et de la matière organique sur les paramètres chimiques du sol	40
3.2.2. Effet de la variété et de la matière organique sur la croissance du riz	41
3.2.3. Effets variété, des formules d'engrais et de la matière organique sur les rendements paddy et paille du riz.....	42
3.2.4. Le rapport de la valeur sur le coût (RVC).....	45
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	48
ANNEXES.....	i

Remerciements

Tout d'abord, je remercie DIEU le Tout-puissant pour sa protection durant tout ce stage voire depuis ma naissance à nos jours suivi de mes deux parents dont je suis issu du fruit de leur amour.

Toute ma gratitude va au projet OFRA (Optimiser la Recommandation de l'Engrais pour l'Afrique) et ses coordinateurs pour le soutien financier et en matériels afin que ce travail soit rendu possible. Je remercie aussi tout le personnel de la station de SARIA, ma structure d'accueil, pour leur collaboration.

Mes remerciements vont également à l'endroit de mes maîtres de stage Dr Idriss SERME, chercheur; Dr Korodjouma OUATTARA, directeur de l'INERA/Kamboinsé et du directeur du mémoire Dr Kalifa COULIBALY, enseignant chercheur à l'IDR/UPB pour leur immense contribution à la réalisation et réussite de ce travail de recherche.

J'exprime ma gratitude envers M. MAGANE Bakary, le technicien, pour m'avoir accepté chez lui durant toute ma phase terrain, pour tout son soutien multiforme et ses sages conseils.

J'exprime aussi ma gratitude à tout le corps enseignant de mon institut pour la qualité de l'enseignement et leurs sages conseils ainsi qu'aux membres du jury de soutenance qui, par leurs commentaires et précieuses contributions, ont enrichi ce travail.

J'adresse également mes remerciements à:

- Tout le personnel du laboratoire Sol-Eau-Plante de Farako-Bâ pour leur franche collaboration,
- Dr Salifou OUEDRAOGO, directeur de l'Ordre de Malte France au Burkina Faso, enseignant à l'IDR/UPB pour tout son soutien multiforme et ses sages conseils;
- Tous les membres de ma famille pour leurs soutiens et conseils;
- Ma chérie Marie NAZZARO pour son soutien durant tout ce stage;
- Tous les ouvriers (LANOU Miché et René) pour leur aide dans ma collecte de données.

J'ai également eu à partager des moments de joie et de peine avec des amis et collègues à Houndé tout comme à Bobo. Que chacun de vous trouve par ces lignes, mes sincères remerciements.

PUISSE DIEU, LE MISERICORDIEUX, RECOMPENSER VOS DIFFERENTS ACTES!!!

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Importance des types de riziculture au Burkina Faso	11
Tableau 2: Caractéristiques de la variété de riz pluvial FKR45N et de WAB 99-84 (FKR59).....	20
Tableau 3: Doses de N, P, K appliquées par traitement.....	21
Tableau 4: Caractéristiques physico-chimiques du sol en début campagne	24
Tableau 5: Caractéristiques chimiques du compost appliqué	25
Tableau 6: Effets des formules d'engrais et de la fumure organique sur les éléments totaux (N, P et K) dans le sol.....	28
Tableau 7: Effet des formules d'engrais et de la matière organique sur le pH-Eau du sol.....	29
Tableau 8: Effet des formules d'engrais et de la matière organique sur le phosphore assimilable au cours du cycle.....	31
Tableau 9: Effet des formules d'engrais et de la matière organique sur la dynamique du potassium dans le sol au cours du cycle.....	32
Tableau 10: Effet variétal sur les rendements paddy et paille du riz	35
Tableau 11: Effet des formules d'engrais et de la fumure organique sur les rendements paddy et paille du riz	37
Tableau 12: Rentabilité économique des formules d'engrais par variété de riz	39

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Planche de photos montrant les différents types de riziculture	8
Figure 2: Evolution des superficies (ha), des productions (kg) et des rendements (kg par ha) du riz au Burkina Faso de 2005 à 2013	11
Figure 3: Photo de la carte de la zone d'étude (Boni/Houndé).....	17
Figure 4: Evolution pluviométrique annuelle de Boni de 2010 à 2014	18
Figure 5: Distribution pluviométrique en 2015 à la station de BONI.	19
Figure 6: Dispositif expérimental pour chaque variété de riz pluvial.....	22
Figure 7: Effet de la matière organique sur l'évolution de l'azote ammoniacal au cours du cycle..	30
Figure 8: Effet des formules d'engrais sur l'évolution de l'azote ammoniacal au cours du cycle ...	30
Figure 9: Effet de la variété sur la croissance en hauteur au cours du cycle de production du riz ...	33
Figure 10: Effet de la matière organique sur la croissance en hauteur au cours du cycle de production du riz	33
Figure 11 a: Courbes de réponse du riz	34
Figure 11 b: Courbes de rentabilité économique des variétés de riz suivant le niveau d'azote	34

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Calendrier culturel de l'expérimentation à la station de BONI	i
Annexe 2: Doses des éléments minéraux appliqués par traitement	ii
Annexe 3: Effet des formules d'engrais et de la matière organique sur les paramètres chimiques su sol.....	iii
Annexe 4: Effet des formules d'engrais et de la fumure organique sur les rendements paddy et paille par variété de riz	iv

SIGLES ET ABREVIATIONS

ANOVA: Analyse de Variance.

CERAT: Centre de l'Environnement de Recherches Agricoles et Techniques.

CIRAD: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.

CNRST: Centre National de la Recherche Scientifique et Technique.

DGPER: Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale.

DGPSA: Direction Générale des Prévisions et des Statistiques Agricoles

DPAH: Direction Provinciale de l'Agriculture de Houndé.

FAO: Food and Agricultural Organization.

FCFA: Franc de la Communauté Financière Africaine.

FKR: Farako-Bâ Riz.

GIFS: Gestion Intégrée de la Fertilité du Sol.

IDR: Institut du Développement Rural.

INERA: Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles.

JAS: Jour Après Semis.

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

MFAA: Ministère Français de l'Agriculture et l'Agroalimentaire.

N, P, K: Azote, Phosphore, Potassium.

PIB: Produit Intérieur Brut.

SOFITEX: Société des Fibres Textiles.

TSP: Triple Super Phosphate.

UPB: Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso.

RESUME

Le défi actuel réside dans le développement d'options de fertilisation peu onéreuses et accessibles à la majorité des producteurs. Ainsi, dans le but de déterminer l'option de fertilisation minérale pour une amélioration de la production du riz pluvial à l'Ouest du Burkina Faso, une expérimentation a été conduite à la station expérimentale de la SOFITEX/Houndé dans le village de Boni.

Un dispositif en split-plot en blocs complètement randomisés comportant deux variétés de riz pluvial (WAB99 84 et FKR45N) avec trois répétitions a été installé sur un sol ferrugineux tropical à texture limono-sableuse. Deux niveaux de fertilisation organique (0 t/ha et 5 t/ha de matière organique) en grandes parcelles et seize niveaux de fertilisation minérale (T1:0N-0P-0K (témoin); T2: 30N-0P-0K; T3: 60N-0P-0K; T4: 90N-0P-0K; T5: 120N-0P-0K; T6:0N-15P-0K; T7: 30N-15P-0K; T8:60N-15P-0K; T9: 90N-15P-0K; T10: 120N-15P-0K; T11: 90N-7,5P-0K; T12: 90N-22,5P-0K; T13: 90N-15P-10K; T14: 90N-15P-20K; T15: 90N-15P-30K; T16: 90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B) en parcelles secondaires ont été appliqués. Les paramètres de croissance et de rendements induits ont été évalués ainsi que les paramètres chimiques du sol. Les résultats ont montré que les fertilisations minérale et organique ont eu un effet positif sur les paramètres chimiques du sol étudiés. En effet, la formule d'engrais 90N-0P-0K a enregistré la meilleure valeur de pH-eau (5,21) et les formules d'engrais 90N-15P-30K (18,91 mg/kg de sol); 90N-15P-30K (63,6 mg/kg de sol) et 90N-7,5P-0K (43,79 mg/kg de sol) ont donné les teneurs les plus élevées à la maturité respectivement en phosphore assimilable, en potassium disponible et en azote ammoniacal. Par ailleurs, les formules d'engrais 120N-15P-0K (888,69 kg/ha) et 90N-15P-30K (976,11 kg/ha) ont donné les meilleurs rendements paddy avec la FKR45N tandis qu'avec la WAB99 84, nous avons 120N-0P-0K (1893,94 kg/ha); 90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B (1675,40 kg/ha); (60N-15P-0K et 90N-15P-20K) (1646,20 kg/ha) et 120N-15P-0K (1544,20 kg/ha). Les meilleurs rendements paille ont été obtenus avec les formules d'engrais (120N-0P-0K; 60N-0P-0K et 120N-15P-0K) (1311,19 kg/ha) pour la FKR45N et 120N-15P-0K (2185,31 kg/ha) pour la WAB99 84. L'application de la fumure organique n'induit aucun effet significatif sur les rendements paddy et paille. La détermination des formules d'engrais économiquement viables a été faite à l'aide des Ratios Valeur/Coût (RVC > 2) qui ont indiqué que seul le traitement T2 de formule 30N-0P-0K avec un ratio de 2,10 est économiquement rentable avec la production de la variété WAB99 84 dans cette zone de Boni.

L'adoption finale de cette formule d'engrais pour la production de cette variété dans cette zone doit être faite après un test en milieu réel.

Mots clés: Riz pluvial; fertilisation organique; formules d'engrais; Burkina Faso.

ABSTRACT

The present challenge resides in the development of fertilization options little costly and accessible to the majority of producers. Thus, in the aim to determine the mineral fertilization option to improve pluvial rice production in the Western region of Burkina Faso, an experiment was carried out at the experimental station of SOFITEX/Houndé in Boni's village.

A split-plot arranged in a randomized complete block design including two varieties of pluvial rice (WAB99 84 and FKR45N) with three replications was installed on a tropical ferruginous soil with a sandy loam texture. Two levels of organic fertilization (0 t/ha and 5 t/ha of organic matter) in principal plots and sixteen levels of mineral fertilization (T1: 0N-0P-0K (control); T2: 30N-0P-0K; T3: 60N-0P-0K; T4: 90N-0P-0K; T5: 120N-0P-0K; T6: 0N-15P-0K; T7: 30N-15P-0K; T8: 60N-15P-0K; T9: 90N-15P-0K; T10: 120N-15P-0K; T11: 90N-7,5P-0K; T12: 90N-22,5P-0K; T13: 90N-15P-10K; T14: 90N-15P-20K; T15: 90N-15P-30K; T16: 90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B) in secondary parcel were applied. The parameters of growth and output led have been valued as well as the chemical parameters of soil. The results showed that the mineral and organic fertilization had a positive effect on soil's chemical parameters studied. The fertilizer 90N-0P-0K recorded the best value of pH-water (5,21) and, the fertilizers 90N-15P-30K (18,91 mg/kg of soil); 90N-15P-30K (63,6 mg/kg of soil) and 90N-7,5P-0K (43,79 mg/kg of soil) gave the best contents to the maturity respectively in assimilated phosphorous, in available potassium and in nitrogen ammoniac. Otherwise, the formulas of manure 120N-15P-0K (888,69 kg/ha) and 90N-15P-30K (976,11 kg/ha) gave the best outputs paddy with the FKR45N while with the WAB99 84, we have 120N-0P-0K (1893,94 kg/ha); 90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B (1675,40 kg/ha); (60N-15P-0K and 90N-15P-20K) (1646,20 kg/ha) and 120N-15P-0K (1544,20 kg/ha). The best straw yields has been gotten with the formulas of manure (120N-0P-0K; 60N-0P-0K and 120N-15P-0K) (1311,19 kg/ha) for FKR45N and 120N-15P-0K (2185,31 kg/ha) for WAB99 84. The application of the organic manure didn't lead a meaningful effect on the outputs paddy and straw. The determination of the formulas of economically viable manures has been made with the Value Cost Ratio (VCR) that indicated that only the fertilizer (T2): 30N-0P-0K with 2,10 as ratio is economically profitable with the production of the variety WAB99 84 in this zone.

The final adoption of this formula for the production of this variety in this zone must be made after test in real environment.

Key words: Pluvial rice; organic fertilization; formulas of manure; Burkina Faso.

INTRODUCTION

L'agriculture est un secteur important de l'économie burkinabè. Elle contribue pour 35 à 40 % au PIB et occupe plus de 80 % de la population active. Elle contribue substantiellement à la couverture des besoins alimentaires de la population. Malgré son importance, le secteur agricole burkinabè n'a pas connu de développement conséquent depuis les indépendances. La sécurité alimentaire n'est pas régulièrement assurée d'une année à l'autre et l'incidence de la pauvreté demeure élevée dans les zones rurales où l'agriculture est plus pratiquée. De telles contre-performances sont dues à des contraintes de natures diverses dont: l'insuffisance et la mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies; les systèmes extensifs d'exploitation conduisant à une dégradation des ressources naturelles; le faible niveau d'équipements techniques et l'insuffisance d'innovations techniques (KABORE, 2007). Par ailleurs, l'irrégularité et la baisse de la pluviométrie, la pauvreté des sols et la faible fertilisation sont de nos jours, les contraintes majeures qui limitent fortement les rendements au champ (BAMBARA, 2012). A ces contraintes s'ajoute la pression démographique sur les terres qui conduit à un raccourcissement de la durée de la jachère, voire une tendance à sa disparition au profit d'une agriculture sédentaire de type "minier". Cette agriculture se traduit par l'utilisation de peu ou pas d'intrants agricoles et l'exportation des résidus de récolte. Ce système qui appauvrit considérablement le sol est aussi à la base de la chute des rendements (SOME *et al.*, 2006). La baisse de la fertilité des sols est surtout attribuée aux effets de l'érosion hydrique; la faible fertilisation équilibrée en éléments minéraux et l'insuffisance d'apports réguliers et raisonnés de matière organique. La matière organique intervient dans le recyclage des éléments nutritifs et dans la régulation de la nutrition des cultures (SEDOGO, 1993; PIERI, 1989).

Le prélèvement des éléments nutritifs du sol par les cultures contribue le plus au processus de dégradation des sols. L'Afrique perd chaque année 8 millions de tonnes d'éléments nutritifs du sol et plus de 95 millions d'hectares de terre ont été dégradés au point de réduire significativement la productivité (HENAO et BAANANTE, 2006 cités par ABGA, 2013). Au moins 85 % des pays africains souffrent chaque année, d'un prélèvement par an des nutriments de plus de 30 kg/ha et 40 % des pays subissent des pertes de plus de 60 kg/ha de nutriments (Banque mondiale, 2006; HENAO et BAANANTE, 2006 cités par ABGA, 2013).

Les éléments nutritifs exportés ne sont pas remplacés adéquatement. Le Burkina Faso a le plus bas taux d'utilisation d'engrais minéraux, environ 10 kg/ha d'éléments nutritifs (N, P₂O₅, K₂O) par an par rapport à une moyenne de 90 kg/ha au niveau mondial, 60 kg/ha au Proche Orient et 130 kg/ha en Asie (FAO, 2003). Cette faible consommation des engrais par les producteurs serait liée au coût élevé des engrais minéraux. La production du riz souffre ainsi d'apports insuffisants et souvent inadaptés

de fertilisants (engrais minéraux ou organiques) (BAMBARA, 2012) en ce sens que les engrais sont majoritairement utilisés sur les cultures plus exigeantes telles que le coton, le maïs et le sorgho.

Pour pallier ces baisses de la fertilité des sols et celles du rendement, il existe des options de gestion de la fertilité telles que: la fertilisation minérale par les engrais chimiques, la fertilisation organique par l'utilisation de compost, d'engrais vert, de légumineuses fixatrices d'azote atmosphérique, de fumier, de la fiente, l'utilisation des techniques culturales par la pratique des associations culturales et des rotations (GALA *et al.*, 2011). Les recommandations d'engrais ont été développées depuis les années 1974 surtout pour le coton. Ces mêmes recommandations pour le coton étaient également appliquées dans la production céréalière. Ainsi, les recommandations d'engrais pour le riz sont générales et anciennes (HIEN *et al.*, 1992 cités par TRAORE, 2015). Il est donc impératif de réactualiser ces recommandations en tenant compte de la spécificité des zones agro-écologiques. En effet, le défi actuel réside dans le développement d'options de fertilisation peu onéreuses et accessibles à la majorité des producteurs.

Ainsi, cela pourrait passer par l'évaluation des performances agronomiques et/ou économiques des formules de fumures et des recommandations des formules d'engrais spécifiques par variété pour une production durable en fonction de ces zones agro-écologiques du pays.

C'est dans ce contexte que cette étude intitulée «Evaluation de l'efficacité des doses d'engrais pour la production de riz pluvial à l'Ouest du Burkina Faso» a été initiée dans la zone de Houndé, village de Boni sur un sol ferrugineux tropical dont l'objectif général est de contribuer à l'augmentation de la productivité du riz pluvial dans la zone Ouest du Burkina Faso par la détermination des doses appropriées de formules d'engrais.

Spécifiquement, il s'agit de:

- évaluer l'effet des fertilisations minérale et organique sur les paramètres chimiques du sol;
- évaluer la réponse du riz aux éléments nutritifs;
- recommander des formules d'engrais pour le riz sur un sol ferrugineux tropical.

Le présent mémoire va s'articuler autour de trois chapitres dont la revue bibliographique, qui traite des généralités sur le riz et la gestion intégrée de la fertilité du sol; le matériel et les méthodes utilisés dans la conduite de l'étude et, les résultats obtenus et la discussion.

Chapitre1: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1.GENERALITES SUR LE RIZ

1.1.1. Origine et systématique du riz

Le riz est une céréale de la famille des poacées (anciennement graminées), cultivée dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes pour son fruit, ou caryopse, riche en amidon. Les riz appartiennent au genre *Oryza* L. qui comprend 23 espèces, dont deux sont cultivées, *Oryza sativa* L., originaire de l'Asie, la plus cultivée et *Oryza glaberrima* Steud., ou riz de Casamance, originaire d'Afrique de l'Ouest (CISSE, 2011).

O. sativa comporte 2 sous-espèces; l'une, *indica*, utilisée en culture aquatique en zone tropicale, l'autre, *japonica* utilisée en culture aquatique en zone tempérée et en culture pluviale en zone tropicale (OUATTARA, 2014).

Aujourd'hui, des variétés hybrides *sativa-glaberrima* combinant les qualités des deux espèces sont diffusées sous le nom «*Nérica*».

1.1.2. Description du riz

Le riz est une plante annuelle glabre à chaume dressé ou étalé de hauteur variable, allant de moins de 1m jusqu'à 5m pour les riz flottants. C'est une plante prédisposée au tallage, formant un bouquet de tiges, à racines fasciculées. Le nombre de talles, de feuilles et la surface foliaire augmentent au cours de la phase végétative (ARRAUDEAU et VERGARA, 1992).

Un pied de riz peut comporter plus de 2000 racines et chacune pouvant porter 10 à 30 radicelles, elles-mêmes portant de nombreux poils absorbants (OUATTARA, 2014).

La durée de la phase végétative varie suivant les variétés tandis que les phases de reproduction et de maturation sont à peu près constantes pour la plus part des variétés. En effet, la phase reproductive qui commence en début initiation paniculaire, dure environ 35jours et la maturation, commençant à la floraison, 30 jours environ d'où le cycle total semis-récolte est de 80 à 180 jours voire plus parfois. La différence de cycle est liée à la durée de la phase végétative (ARRAUDEAU et VERGARA, 1992).

Les fleurs, en épillets uniflores, sont groupées en panicules de 20 à 30 cm, dressées ou pendantes selon la variété.

La floraison commence dès l'épiaison (35 jours après le début de la formation de la panicule) et dure une quinzaine de jours; décelable chez les variétés non cléistogames (les fleurs ne s'ouvrent pas à maturité, chez les fleurs cléistogames) par l'apparition des étamines dont les anthères portées par de

fins filets s'échappent des glumelles temporairement entrouvertes (ARRAUDEAU et VERGARA, 1992). Les fleurs s'ouvrent successivement de haut en bas de la panicule et des racèmes. Dans un champ, la floraison dure deux à trois semaines. La panicule individualisée prend 5 à 9 jours pour fleurir, la touffe environ trois semaines. La maturation des panicules n'entraîne pas toujours un flétrissement immédiat du feuillage et, chez certaines variétés, les dernières feuilles restent parfois vertes après maturité du grain. A maturation complète, le paddy (ensemble glumes, glumelles et caryopse) prend une couleur brun plus ou moins foncé selon les variétés.

1.1.3. Génétique du riz

Les données taxonomiques les plus récentes considèrent que le genre *Oryza* compte lui-même 24 espèces (génomes A à K, $2n = 24$ ou 48), dont deux sont cultivées, *Oryza sativa* (génome A, $2n = 24$) à distribution mondiale et *Oryza glaberrima* (génome A, $2n = 24$), cantonnée à l'Afrique de l'Ouest (COURTOIS, 2007).

Oryza sativa est une céréale autogame avec moins de 1 % d'allogamie (CHANDRARATNA, 1964 cité par COURTOIS, 2007). Les structures génétiques traditionnellement cultivées sont donc essentiellement des lignées pures.

1.1.4. Ecologie du riz

Le riz 0. *Indica* est cultivé sous les tropiques humides tandis que le riz 0. *Japonica* convient mieux aux climats tempérés et subtropicaux.

La température optimale pour le développement du riz se situe entre 30°C et 35°C avec un zéro de germination compris entre 10°C et 13°C. Au-dessus de 45°C, il n'y a pas de germination (BOUGMA, 2013; OUATTARA, 2014).

La période végétative totale est d'environ de 90 à 150 jours selon la variété; ce qui est dû à la température et la sensibilité à la durée du jour.

L'évapotranspiration du riz est située entre 700-850 mm d'eau. Cela a des influences sur la riziculture pluviale sous les isohyètes inférieurs à 950mm d'eau dans la mesure où toute la pluie tombée n'est pas profitable pour la culture. Mais au Burkina Faso, les variétés de riz pluvial de 90 et 100 jours peuvent être cultivées dans les zones où la pluviométrie est supérieure à 800 mm (TIEMTORE, 2001). Le riz est une plante de jours courts et exigeante en lumière dont l'ensoleillement constitue un facteur important dans sa production. Ses besoins en eau se situent entre 800 à 1000 mm d'eau en culture pluviale stricte (ARRAUDEAU, 1998 cité par BOUGMA, 2013). Le riz pluvial est une culture exigeante en azote et lorsqu'il est cultivé sur les sols pauvres en éléments minéraux, cela conduit à de faibles rendements actuellement constatés (COMPAORE *et al.*, 2001; TRAORE *et al.*, 2001).

La riziculture au Burkina se prête à une large gamme de sols mais plus adaptée sur les sols lourds dans lesquels les pertes d'eau par percolation sont faibles (TRAORE, 2009). Les sols convenant au riz pluvial strict sont ceux riches et meubles avec une bonne capacité au champ. Le pH optimum est de 6 à 7 (MORAU, 1986; BOUGMA, 2013).

Les périodes optimums de semis sont très variables. La précocité des semis suit un gradient Nord – Sud. La période de semis est plus étalée dans le sud que dans le Nord de la région Ouest. La période optimale de semis se situe entre mi-juin et mi-juillet (TIEMTORE, 2001).

1.1.5. Types de riziculture

Le riz est cultivé dans des milieux très variés couvrant une large gamme d'altitudes et de latitudes. Cette plante, d'origine aquatique, et donc assez exigeante en eau par rapport à d'autres céréales, est surtout caractérisée par une grande plasticité vis-à-vis de ses conditions d'alimentation hydrique (Planche photo n°1). C'est sur ce point que se fondent la plupart des classifications des types de rizicultures (COURTOIS, 2007). Au Burkina Faso, il existe trois principaux types de riziculture dont la riziculture irriguée, la riziculture de bas fond et la riziculture pluviale stricte (TRAORE *et al.*, 2015):

1.1.5.1 Riziculture irriguée

La riziculture irriguée est celle pratiquée dans les bas-fonds et petites plaines inondables dont les apports d'eau sont souvent contrôlés. Ainsi, des infrastructures hydro-agricoles permettent de maîtriser la date d'entrée et de retrait de l'eau dans la rizière, ainsi que la hauteur de la lame d'eau. C'est dans ce type de riziculture, qui couvre 55 % des superficies cultivées et assure 75 % de la production mondiale, que s'est faite la «Révolution verte» des années 1960. L'utilisation simultanée de variétés demi-naines très productives, d'engrais minéraux et de pesticides, associée à une bonne maîtrise de l'enherbement grâce au repiquage et au désherbage manuel, a permis d'atteindre par récolte des rendements moyens de 4-5 t/ha et des maxima de 10 t/ha. La monoculture du riz est souvent la règle et, dans certains climats chauds, l'utilisation de variétés précoces et non photosensibles permet jusqu'à trois cycles de culture par an. Avec l'accroissement du coût de la main d'œuvre, la tendance est à l'abandon du repiquage au profit du semis. Au Burkina, elle occupe environ 23 % de la superficie rizicole et contribue pour 53 % environ, à la production nationale en riz avec des rendements de 4 à 7 t/ha selon la DGPER (2011) cité par OUATTARRA (2014).

1.1.5.2 Riziculture inondée ou de bas-fond

Suivant le degré d'aménagement des bas-fonds, ce type de riziculture peut être scindé en deux sous-types:

- la riziculture de bas-fonds non aménagés mais inondés par les crues des marigots et les eaux de ruissellement. Elle est pratiquée avec des variétés de riz locales;

- la riziculture de bas-fonds aménagés avec maîtrise partielle de l'eau. Deux types de bas-fonds aménagés se distinguent à ce niveau : les bas-fonds aménagés simples et les bas-fonds améliorés.

Au niveau national, parmi ces deux types de riziculture de bas-fonds, la riziculture de bas-fonds non aménagés constitue l'essentiel de l'activité rizicole; ce qui a placé la riziculture de bas-fonds en tête en terme de superficie: 38.000 ha en 1987. Les rendements moyens varient entre 1,0 t/ha pour les bas-fonds non-aménagés, 1,5 t/ha pour les bas-fonds aménagés simples et 3 t/ha pour les bas-fonds améliorés. Elle occupe 70 % des superficies rizicoles et fournissent 43 % de la production nationale DGPER, (2009) cité par BOUGMA, (2013).

1.1.5.3 La riziculture pluviale stricte

Le riz pluvial est le riz qui est cultivé sans être immergé, c'est-à-dire non pas dans une rizière, mais dans un champ. Il peut être utilisé comme culture de couvre-sol (lors des cultures sans-labour) protégeant le sol de l'érosion avant semis d'une autre plante (parfois désherbé avec un pesticide). Ce mode de culture est dit «riziculture pluviale». Il est aujourd'hui notamment développé en Afrique de l'ouest, et dans quelques zones tropicales à titre expérimental ou de culture traditionnelle. Les rendements sont plus faibles, mais moins dépendant d'une ressource abondante en eau. Ce type de riziculture représente 13 % des surfaces en Asie mais respectivement 60 et 75 % en Afrique et en Amérique Latine (COURTOIS, 2007).

Aussi appelée riziculture de plateau, elle est essentiellement présente dans le Sud-Ouest et l'Ouest du pays (au sud de l'isohyète 800 mm) (KABORE, 2007). Elle exige des terres où l'alimentation hydrique du riz est exclusivement assurée par les eaux de pluies, sans influence de la nappe phréatique. La riziculture pluviale occupe 9-10 % des superficies rizicoles et 5 % de la production nationale (BOUGMA, 2013; OUATTARA, 2014; TRAORE *et al.*, 2015). Le rendement moyen qui y est obtenu est de 800 kg/ha avec des variétés à cycle court entre 90 à 100 jours selon NACRO (1994) cité par OUATTARA (2014).



1-Riziculture irriguée



2-Riziculture inondée

Source: COURTOIS, 2007



3- Riziculture pluviale

Source : KAM, 2016

Figure 1: Planche de photos montrant les différents types de riziculture

1.1.6. Maladies du riz

Le riz pluvial est en général cultivé sur des sols aérobies. L'absence d'eau de submersion crée autour des plants de riz des microclimats différents qui favorisent le développement de certaines maladies. Les plus courantes rencontrées dans le riz pluvial sont les maladies fongiques (Pyriculariose, Helminthosporiose), bactériennes (flétrissement bactérien des feuilles, bactériose des stries translucides) (EUREKA, 2005 cité par OUATTARA, 2014).

1.1.7. Mauvaises herbes

Les mauvaises herbes sont connues pour être le deuxième facteur limitant la riziculture après l'eau. L'enherbement des parcelles durant le premier mois de culture peut entraîner l'abandon des parcelles de riz par les producteurs. Les pertes de rendements en l'absence de désherbage peuvent aller jusqu'à

70 %. Les besoins en main d'œuvre pour le désherbage manuel peuvent être estimés à 40 % des besoins globaux de main d'œuvre de l'exploitation, ce qui limite l'extension des superficies rizicoles. La période critique de l'enherbement en riziculture pluviale est avant 42 jours après le semis au Burkina Faso (NACRO *et al.*, 2014).

Les adventices sont des plantes indésirables qui entrent en compétition avec les plantes utiles pour les éléments essentiels à la croissance et au développement. Elles peuvent servir d'hôtes pour les maladies et les insectes (TRAORE, 2009).

1.1.8. Oiseaux et rongeurs

Les oiseaux constituent un facteur non négligeable de baisse de rendement. Leur effet devient très important pendant la phase épiaison.

Le mange mil, *Quelea quelea* L., est le plus connu et le plus dangereux dans une grande partie de l'Afrique sahélienne et soudanienne (TRAORE, 2009).

Selon KARAMAGE (2001), l'espèce de rat *Arvicanthisniloticus* (rat broussard) est la plus dévastatrice dans les rizières du Burkina Faso.

1.1.9. Variétés de riz

La diversité génétique du riz est considérable avec plus de 150.000 variétés cultivées dans le monde et 107.000 accessions environ dans la banque de gènes de l'IRRI (dont 5.000 accessions d'espèces sauvages). Cette diversité provient de croisements naturels d'*O. sativa* avec des formes sauvages ou adventices d'*O. rufipogon* ou de croisements intra-*sativa* combinés à la sélection naturelle et humaine depuis la domestication (COURTOIS, 2007).

Notre étude s'est portée particulièrement sur deux variétés de riz pluvial (WAB99 84 et FKR45N).

1.1.10. Contraintes majeures à la production du riz

Bien que la riziculture soit connue de longue date au Burkina Faso, son développement demeure stationnaire à comparer à celui des autres céréales. Cela peut s'expliquer par le fait que sa production rencontre d'énormes difficultés dont:

- (i) L'insuffisance et la mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies;
- (ii) les systèmes extensifs d'exploitation conduisant à une dégradation des ressources naturelles;
- (iii) la forte pression démographique pesant sur le foncier et sur l'extension des superficies cultivables;
- (iv) le faible niveau d'équipements techniques;
- (v) le manque ou l'insuffisance d'innovations techniques (KABORE, 2007);
- (vi) Persistance des maladies du riz;

- (vii) La pauvreté des paysans/producteurs car ayant d'énormes difficultés pour s'approprier des intrants chimiques;
- (viii) Les mauvaises herbes;
- (ix) Les oiseaux et rongeurs.

1.1.11. Importance de la riziculture au Burkina Faso

Au Burkina Faso, le développement de la riziculture constitue un des éléments majeurs de l'accroissement indispensable des ressources alimentaires. Ces dernières années des efforts ont été fournis en matière de recherche rizicole en vue d'accroître le rendement et la production du riz.

Le riz occupe la 4^{ème} place des céréales cultivées après le sorgho, le mil et le maïs, tant du point de vue des superficies, de la production que de la consommation annuelle par tête (INERA, 2008 cité par TRAORE *et al.*, 2015).

La consommation du riz est surtout importante dans les villes. En effet, plus de 1/3 de la consommation céréalière des habitants de la capitale politique, Ouagadougou, est constituée par le riz ce qui équivaut à la moitié du budget de consommation dans les ménages pauvres. En outre, la consommation en riz connaît un taux d'accroissement grandissant s'expliquant par l'accroissement de la population et celui de la consommation moyenne annuelle de riz par habitant. De 4,5 kg en 1960, la consommation annuelle per capita du riz est passée à 14,8 kg en 1992 et à 20 kg en 2003. et atteindrait même les 50 kg/personne/an en milieu urbain (Ouagadougou et Bobo-Dioulasso) (MAHRH, 2006). Les estimations prévoient une consommation annuelle de riz de 30 kg/tête à l'horizon 2010 pour une population de 15 millions (KABORE, 2007).

La production nationale de riz ne couvre pas les besoins du pays. C'est ainsi que le Burkina Faso procède chaque année à d'importantes importations de riz pour combler le déficit. De 1992 à 1997, les importations sont passées de moins de 10 milliards de FCFA à plus de 18 milliards de FCFA (SIBOMANA, 1999) alors que pour ces dernières années, elles s'élèvent de 400.000-500.000 tonnes pour 30 milliards de FCFA de sortie de devises. En effet, cette sortie de devises va à près de 130 milliards de FCFA pour 2015 (OUATTARA, 2014).

Quatrième production du Burkina Faso, le riz constitue la première céréale d'importation du pays. Dans un contexte de flambée des prix des produits de première nécessité, au plan international et de difficultés à aménager les bas-fonds, les chercheurs dans le domaine agricole, semblent trouver une solution: le riz pluvial strict ou riz de plateau. Jadis produit sur des sols très humides ou submergés, il est désormais possible de cultiver du riz sur des terrains favorables aux autres céréales.

Cependant, au cours de la campagne agricole 2010-2011, on avait une superficie de 21066 ha pour une production totale de 31186 tonnes (KABORE, 2011 cité par TRAORE *et al.*, 2015).

La figure 2 montre l'évolution des superficies, des productions rizicoles et des rendements du riz au Burkina Faso.

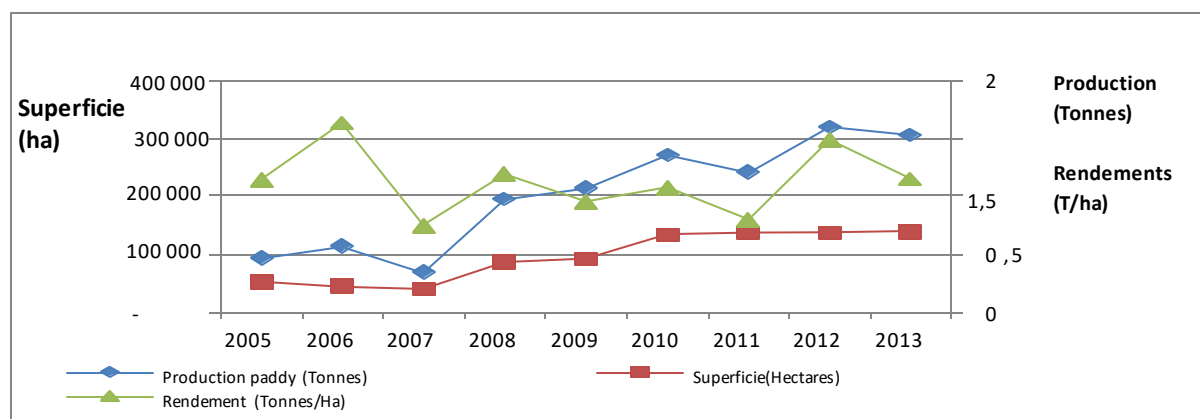


Figure 2: Evolution des superficies (ha), des productions (kg) et des rendements (kg par ha) du riz au Burkina Faso de 2005 à 2013.

Source: MAFAP/SAPAA, 2015.

Le tableau 1 traduit l'importance des différents types de riziculture au Burkina Faso. Il indique que la riziculture irriguée est principalement celle présentant de meilleurs rendements suivie de celle de bas-fonds. Cependant, la riziculture de bas-fonds est la plus pratiquée sur le plan national partant des superficies emblavées qui sont de 61% des superficies totales consacrées à la riziculture.

Tableau 1: Importance des types de riziculture au Burkina Faso

Types de riziculture	Production		Superficies		Rendements
	Tonnes	%	Hectares	%	Tonnes/hectare
Pluvial	9020	9	7517	16	1,2
Bas-fond	42718	45	29353	61	1,2 à 2,2
Irriguée	44056	46	10885	23	3,8 à 4,5
Total	95974	100	47755	100	---

Source : DGPSA et MAHRH (2006) cité par KABORE, 2007

1.2 GESTION INTEGREE DE LA FERTILITE DES SOLS

1.2.1 Définitions de la fertilité du sol

- La fertilité d'un sol répond de la facilité avec laquelle la racine peut, en quantités suffisantes, bénéficier dans ce sol, des différents facteurs de la croissance végétale: chaleur, eau, ensemble des éléments chimiques nécessaires à la plante, substances organiques de croissance. Cette définition implique d'une part, l'existence ou la production dans le sol d'éléments nutritifs, d'autre part, le transfert de ces éléments nutritifs à la plante (CHAUSSOD, 1996).

- Selon Bio Suisse/FIBL (2013), la fertilité du sol est un processus à la fois écologique et biologique. Un sol fertile est celui capable de:
 - Fournir des récoltes saines pendant des générations en ayant besoin de peu d'engrais, de produits phytosanitaires et d'énergie;
 - Dégrader rapidement des polluants comme les pesticides;
 - Stocker de manière efficace, les éléments nutritifs et le gaz carbonique (CO₂), prévenant ainsi l'eutrophisation des rivières, des lacs et des mers tout en contribuant à la diminution du réchauffement climatique.
- Le concept de la fertilité des sols est très ancien et très complexe. La définition de la fertilité du sol a évolué avec le temps. Autrefois, elle était perçue comme une conséquence directe de la qualité de la terre décrite parce qu'on peut observer, sans mesures chimiques: la texture essentiellement. La notion de fertilité est donc ambiguë. Elle renvoie à la fois aux caractéristiques du sol et à ce qu'en fait l'agriculteur (cultures et techniques). Ainsi, la fertilité du sol pour un agriculteur, c'est sa capacité à fournir aux plantes cultivées les éléments nutritifs dont elle a besoin pour se développer et donner des graines, des fruits, des tubercules ou des feuilles en quantités importantes (ABGA, 2013). Pour le (MFAA, 2006 cité par ABGA, 2013), la fertilité du sol désigne l'aptitude du sol à assurer de façon soutenue et durable la croissance des plantes et l'obtention de récoltes. La fertilité du sol résulte de la combinaison de ses composantes physicochimiques et biologiques qui détermine l'approvisionnement des plantes en éléments nutritifs et les conditions de croissance et fonctionnement des racines (ABGA, 2013).

1.2.2 Fertilisation du riz

La fertilisation est un ensemble de pratiques coordonnées ayant pour objectif d'assurer aux plantes cultivées une alimentation correcte dans l'ensemble des éléments nutritifs. Elle a pour objectif:

- de créer, améliorer ou maintenir les caractéristiques biologiques et physico-chimiques du sol aptes à optimiser l'absorption par les plantes des éléments nécessaires à leur croissance et aux rendements.
- d'assurer la complémentation des fournitures en provenance du sol (BAMBARA, 2012).

Les besoins en éléments nutritifs et la réponse aux engrais varient non seulement d'une culture à l'autre, mais aussi d'une variété à l'autre de la même culture. Une variété locale ne répondra pas aussi bien à l'application d'engrais qu'une variété améliorée. Ainsi, une variété hybride réagit généralement beaucoup mieux aux engrais et produit des rendements plus élevés que les variétés locales.

Dans la détermination des besoins en engrais des cultures, d'autres facteurs sont à prendre en considération. Il faut par exemple tenir compte des éléments nutritifs fournis par le sol.

Il arrive aussi qu'une partie des éléments nutritifs appliqués reste inaccessible aux racines des plantes par suite de fixation, lessivage ou autres pertes. Par conséquent, les besoins des cultures en éléments nutritifs sont en général supérieurs aux exportations de ces éléments par ces cultures (FAO *et al.*, 2003).

Les premières recommandations d'engrais ont été faites depuis les années 1974 pour le coton surtout et par conséquent, ces mêmes formules d'engrais coton étaient appliquées aux différentes cultures céréalières sans tenir compte des différentes zones agro-écologiques du pays (HIEN *et al.*, 1992 cités par TRAORE, 2015).

En riziculture pluviale, il est recommandé deux types de fumures à savoir la fumure de fond (200 kg/ha de NPK) et celle de couverture (Urée: 35 kg/ha au premier sarclage et 65 kg/ha à l'initiation paniculaire soit 40-45JAS). Pour assurer leurs processus vitaux, les plantes ont toujours besoin de larges quantités de N, P et K dits éléments majeurs mais aussi d'éléments mineurs (ARRAUDEAU et VERGARA, 1992). Selon (NEPAD, 2013 cité par TRAORE *et al.*, 2015), les doses d'engrais utilisés au Burkina Faso pour les terres cultivées sont évaluées à 9 kg/ha.

La fertilisation organique a consisté en l'apport de la matière organique (fumier de vache dans notre cas) dans les essais. L'objectif est de maintenir et d'améliorer le stock de matière organique du sol. En effet, la matière organique, par sa minéralisation progressive dans le sol, favorise la production végétale en améliorant les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol (OUATTARA, 2014). Selon FAO *et al.*, 2003, la matière organique améliore la structure, diminue l'érosion du sol, a un effet régulateur sur sa température, et permet au sol de stocker davantage d'eau, contribuant ainsi à améliorer significativement la fertilité du sol. En outre, la matière organique est un milieu de culture pour les organismes vivants dans le sol.

Pour le même auteur, grâce à ces propriétés, les engrais organiques sont souvent à la base de l'obtention de meilleurs effets résultant de l'utilisation des engrais minéraux. La combinaison d'engrais organiques et minéraux (Systèmes Intégrés de Nutrition des Plantes, SINP) crée les meilleures conditions de production pour les cultures, car la matière organique/les engrais organiques améliorent les propriétés du sol alors que les engrais minéraux apportent aux plantes les éléments nutritifs qui leur sont nécessaires. La matière organique n'étant pas suffisante car souvent non disponible en grandes quantités pour assurer le niveau de production agricole escompté par le producteur, il s'avère donc important de la compléter par les engrais minéraux (FAO *et al.*, 2003).

1.2.3 Importance de la fertilisation équilibrée

Les plantes sont comme les humains en ce sens qu'elles ont aussi besoin d'un régime alimentaire équilibré pour mieux croître et se développer. Elles ne peuvent donc pas se contenter d'un excédent

d'un type unique d'aliments. Ainsi, une nourriture mal composée et déséquilibrée rend les êtres humains malades; d'où le même raisonnement chez les plantes (FAO *et al.*, 2003).

Etant donné que l'azote est "le moteur de la croissance végétale", les effets d'une application azotée sur une culture sont normalement effectifs, rapides, et évidents: les plantes prennent une couleur vert-foncée et montrent une forte croissance (FAO *et al.*, 2003; NDIAYE et SIDIBE, 1992). Toutefois, une fumure azotée excessive et déséquilibrée appliquée sur une culture de céréales ou de riz peut augmenter la sensibilité à la verse, intensifier la compétition avec les adventices et les attaques par les insectes et les ravageurs, causant ainsi des pertes substantielles de la production de céréales ou de paddy (pour d'autres cultures, elle diminuera leur qualité, notamment leur aptitude à la conservation). Sans apport de phosphore et de potassium, l'efficacité de l'utilisation de l'azote baisse, alors qu'avec un épandage de tous les éléments nutritifs, l'efficacité de l'utilisation du phosphore et du potassium augmente progressivement, ce qui prouve une interaction entre ces éléments nutritifs. En effet, lorsque la concentration en phosphore dans le sol est basse, l'efficacité des apports en azote peut être faible (FAO *et al.*, 2003).

Pour ce faire, le phosphore doit être appliqué surtout au moment du labour afin d'améliorer la fertilité d'ensemble du sol. La réponse du riz pluvial à la potasse est en générale faible sauf dans les sols fortement carencés. Lorsqu'un sol est suffisamment riche en potasse, cela empêche la verse et des maladies telles que l'helminthosporiose. Ainsi, pour son efficacité dans certains sols, il est important de fractionner les apports en potasse (ARRAUDEAU et VERGARA, 1992).

Il est donc suggéré que, pour les sols épuisés en éléments nutritifs, ayant été cultivés depuis longtemps sans apports de tous les éléments nutritifs, sans compter les pertes minérales inévitables, la fertilisation déséquilibrée en faveur de l'azote ne va pas seulement à l'encontre des bonnes pratiques agricoles, mais elle est aussi à l'origine de gaspillage de travail et de capital, nuisible à l'environnement et ne constituent pas une pratique durable. Les autres éléments nutritifs jouent également un rôle essentiel. Il a été démontré que les éléments nutritifs qui sont présents dans le sol en quantités les plus faibles, que ce soit des éléments nutritifs majeurs ou secondaires ou oligo-éléments, limitent le rendement et/ou affectent la qualité des récoltes. Ceux-ci ne peuvent être substitués par quelques autres éléments que se soient. Il faut donc comprendre que, pour les bonnes pratiques agricoles, la fertilisation équilibrée signifie un approvisionnement en azote, en phosphore et en potassium qui tient compte des réserves du sol et correspond aux besoins de la plante pour réaliser les rendements escomptés (FAO *et al.*, 2003).

1.2.4 Contraintes à la GIFS

La gestion intégrée de la fertilité du sol vise l'utilisation optimale et durable des réserves en nutriments dans le sol, des engrais minéraux et des amendements organiques.

La fertilité du sol dépend de son origine (sols alluviaux, sols développés sur des différents types de roche mère), sa texture, sa structure, sa teneur en matière organique et de la gestion de cette fertilité par le producteur dans le passé. Un bon indicateur pour la fertilité d'un sol est sa couleur. Des sols avec des couleurs foncées sont en général riches en matière organique. Les sols rouges caractéristiques pour une bonne partie de l'Afrique subsaharienne sont en général acides et très pauvres en matière organique (WOPEREIS *et al.*, 2008) cité par ONASANYA, (2015).

La principale contrainte à la production dans l'agriculture des petits exploitants en Afrique est la faible fertilité des sols. En effet, les pays de l'Afrique subsaharienne figurent parmi ceux qui enregistrent les taux d'épuisement des nutriments les plus élevés dans le sol. Après les récoltes, les résidus de récolte sont principalement consommés durant la saison sèche par les animaux transhumants, ce qui correspond à une exportation d'éléments nutritifs des champs. Cette agriculture extensive à très faibles intrants sans recyclage des résidus de récolte entraîne des bilans négatifs en éléments nutritifs et ne permet pas d'entretenir la fertilité des sols à long terme (BADO, 2002; DRABO, 2009 cités par ABGA, 2013).

En Afrique en général et particulièrement au Burkina Faso, les modes d'exploitation des sols sont essentiellement de type « minier », ce qui a conduit inexorablement à une raréfaction de la ressource organique. Plusieurs facteurs concourent à cet état des faits dont le plus important est la minéralisation (KABORE, 2010). En effet, la matière organique (MO) « morte » subit une série de biotransformations : décomposition et finalement minéralisation par des micro-organismes, avec libération de CO₂ et la vitesse de ces phénomènes dépend de la composition de la MO et des conditions physico-chimiques locales (humidité, température, oxygène.).

Par ailleurs, en plus de la minéralisation, plusieurs autres facteurs liés aux changements climatiques, à la forte croissance démographique et à l'inadéquation des pratiques agricoles concourent à accentuer cette dégradation de la matière organique du sol (MOS) et la raréfaction des ressources organiques à l'échelle des écosystèmes. SANCHEZ *et al.* (1997) cité par ABGA (2013), ont conclu que l'épuisement de la fertilité des sols dans les petites exploitations agricoles constitue la principale cause biophysique de la baisse de la production alimentaire par habitant en Afrique. Ainsi, au regard de ces contraintes, les méthodes de gestion intégrée des éléments nutritifs associant engrais minéraux importés, amendements organiques, minéraux locaux et techniques de conservation des eaux et des sols sont considérées aujourd'hui comme des alternatives techniques pour restaurer et améliorer la fertilité des sols.

1.2.5 Pratiques de la GIFS

La gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) est la nouvelle approche actuelle adoptée dans la gestion de la fertilité des sols. Elle vise l'utilisation optimale et durable des réserves en nutriments

dans le sol, des engrais minéraux et des amendements organiques (WOPEREIS *et al.*, 2008 cité par ONASANYA, 2015). La matière organique fournit un approvisionnement équilibré en éléments nutritifs et aide à maintenir et améliorer l'état physique et biologique du sol (ASIMI, 2009; OUATTARA, 2009).

La GIFS préconise l'utilisation maximale des ressources localement disponibles et l'application combinée des intrants organiques et minéraux, économiquement et socialement acceptable. Une masse croissante d'analyses économiques confirment les effets positifs de la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) sur les rendements grains et les revenus. La GIFS permet non seulement de préserver les ressources environnementales pour la communauté toute entière, mais aussi et surtout d'optimiser les coûts de production et les rendements au niveau de l'entreprise agricole individuelle.

De nombreuses expérimentations de longue durée ont montré qu'une gestion rationnelle des engrais minéraux et des amendements organiques permettait d'augmenter les rendements des cultures et de maintenir durablement la fertilité des sols (BATIONO et MOKWUNYE, 1991; BADO *et al.*, 1997 cités par ABGA, 2013; SEDOGO, 1993). Ainsi, les pratiques d'amendements organiques et l'utilisation rationnelle des engrais minéraux s'avèrent être des stratégies incontournables de gestion intégrée de la fertilité du sol.

Chapitre 2: MATERIEL ET METHODES

I. Présentation du milieu d'étude

2.1.1. Situation géographique

L'étude a été menée dans la province du Tuy, chef-lieu Houndé. Elle a une superficie de 5632 km². La province du Tuy est située entre la latitude 11° et 12° Nord et la longitude 1° et 4° Ouest (DPAH, 2015).

Selon OUATTARA, (2015), le site d'étude est situé entre les latitudes 11°09' et 11°06' Nord et les longitudes 03°.25' et 03°.28' Ouest du méridien Greenwich.

La ville de Houndé chef-lieu de la province, est située à 105 km à l'Est de Bobo-Dioulasso sur la route nationale N°1 (DPAH, 2015).

Elle est limitée:

- Au Nord par la province du Mouhoun,
- A l'Est par la province des Balé,
- A l'Ouest par la province du Houet,
- Au Sud par les provinces de la Bougouriba et du Ioba.

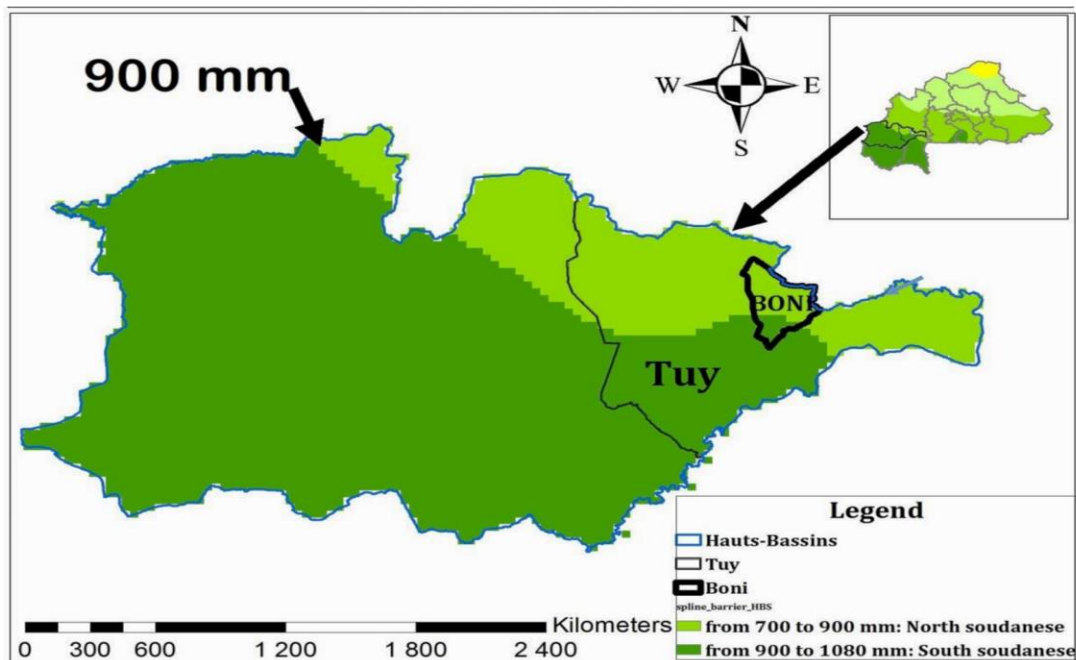


Figure 3: Photo de la carte de la zone d'étude (Boni/Houndé).

Source: OULA, 2014

2.1.2. Climat

Le climat est de type sud soudanien, entre les isohyètes 800-1000 mm d'eau environ par an et connaît cependant des baisses allant parfois à 600 mm.

Il est caractérisé par deux grandes saisons: une saison humide d'Avril à Octobre et une saison sèche de Novembre à Mars. La province du Tuy est relativement bien arrosée par les pluies (DPAH, 2015). En effet, la pluviométrie au cours des dernières années a connue l'évolution suivante à BONI (figure 4):

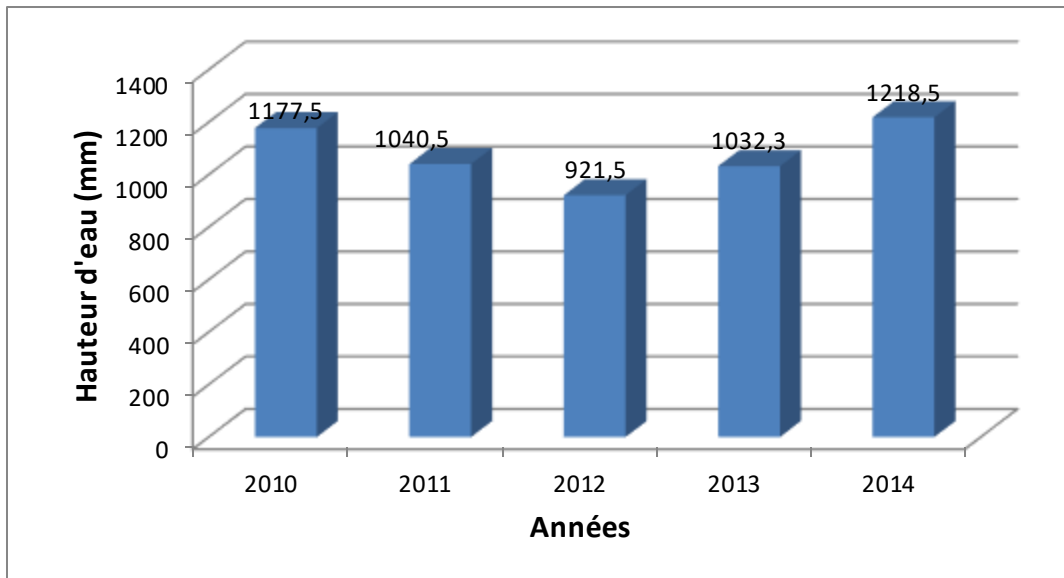


Figure 4: Evolution pluviométrique annuelle de Boni de 2010 à 2014

Source: DPAH, 2015.

Durant toute la campagne 2015-2016, la plus forte quantité de pluie a été enregistrée au mois d'Août. Elle est de 264 mm en 15 jours de pluie. Par contre, la plus faible quantité de pluie a été enregistrée en novembre et vaut 08 mm en un seul jour. Le cumul pluviométrique de cette campagne était de 834,5 mm (figure 5).

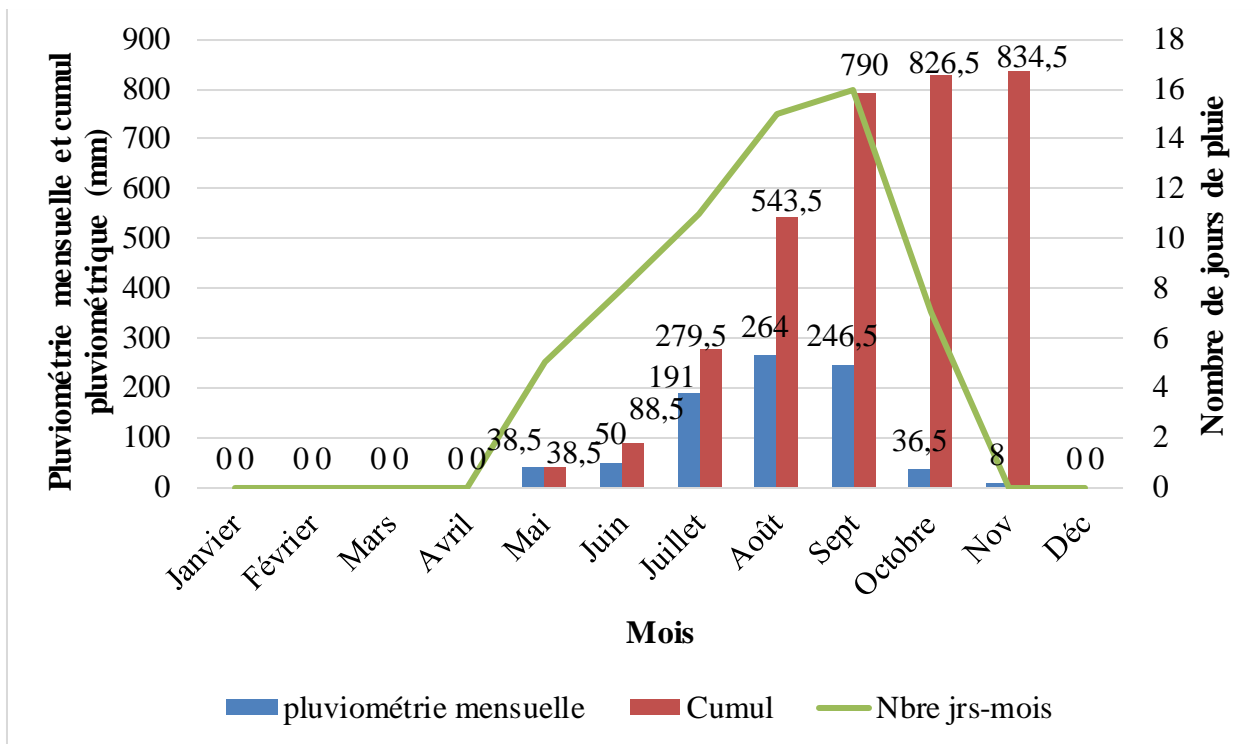


Figure 5: Distribution pluviométrique en 2015 à la station de BONI.

Source: Station SOFITEX/BONI, 2015

Nbre jrs-mois = nombre de jours de pluie par mois

2.1.3. Sol

On rencontre les types de sols suivants dans la ferme de Boni:

- Les sols ferrugineux riches en sesquioxyde de fer;
- Les sols bruns eutrophes, riches en éléments alcalins;
- Des sols hydromorphes;
- Les cuirasses occupent une partie importante soit 20 % de la superficie de la ferme. Ce sont des zones impropres à l'agriculture. Toutefois les terres aptes à l'agriculture représentent 50 % de la superficie de la ferme (CERAT, 1999).

II. Matériel

2.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé était essentiellement constitué de deux variétés de riz pluvial: la variété WAB 99-84 et FKR 45N, toutes deux provenant de la station de recherche de l'INERA/Farako-Bâ. Le tableau suivant donne les caractéristiques de chacune des variétés.

Tableau 2: Caractéristiques de la variété de riz pluvial FKR45N et de WAB 99-84 (FKR59).

Caractéristiques	Variété FKR	Variété WAB 99-
	45N	84
Origine	ADRAO Bouaké	Campinas
Hauteur de la plante (cm)	115	94
cycle semis-maturité (JAS)	95	95-100
Tallage	Moyen	Bonne
Port de la feuille paniculaire	érigé	érigé
Poids de 1000grains (g)	34,3	32,7
Largeur du grain paddy (mm)	2,87	2,8
Longueur du grain paddy (mm)	10,14	9,34
Couleur glumelle-apex à maturité	Fauve-Incolore	Paille-incolore
Résistance à la verse	Bonne	Très bonne
Résistance à la Pyriculariose	Assez bonne	Très bonne
Réponse à l'azote	Bonne	Bonne
Rendement potentiel (T/ha)	3-4	5
zone de culture: pluviométrie	≥800mm	≥800mm

Source: INERA, 2016.

2.2.2. Fertilisants

Les fertilisants utilisés au cours de l'expérimentation sont surtout la fumure organique (fumier de bovins provenant de la station de Farako-Bâ) et celle minérale (engrais spécifiques utilisés par le projet OFRA). Le tableau 4 donne les doses de N, P, K appliquées par traitement.

Tableau 3: Doses de N, P, K appliquées par traitement

Traitements	N, P, K (Kg/ha)
T1	0-0-0
T2	30-0-0
T3	60-0-0
T4	90-0-0
T5	120-0-0
T6	0-15-0
T7	30-15-0
T8	60-15-0
T9	90-15-0
T10	120-15-0
T11	90-7,5-0
T12	90-22,5-0
T13	90-15-10
T14	90-15-20
T15	90-15-30
T16	90-15-20-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B

2.2.3. Sol

Les essais ont été mis en place sur un sol ferrugineux tropical.

III. Méthodes

2.3.1. Dispositif expérimental

Le dispositif est un split-plot (parcelles subdivisées) avec trois répétitions dont les amendements organiques étaient en parcelle principale et la fertilisation minérale en parcelles secondaires pour chacune des deux variétés de riz pluvial. Il a été mis en place dans la station de la SOFITEX/Houndé, dans le village de Boni à 10 km de la ville de Houndé soit à 110 km de Bobo sur l'axe Bobo-Ouaga. L'essai avait une superficie de 40 m*49 m = 1960 m². La fertilisation minérale a été combinée à deux niveaux de fumure organique: 0 tonne/ha de MO et 5 tonnes / ha de MO. Une allée de 2m séparait les

blocs. Chaque bloc était subdivisé en 16 parcelles élémentaires d'une superficie de $3\text{ m} \times 6\text{ m} = 18\text{ m}^2$. Il n'y a pas d'allée entre les traitements (Figure 6).

Ce dispositif est donc composé de trois niveaux de facteurs dont:

- ❖ Facteur 1: en parcelles principales
 - Sans matière organique
 - Avec matière organique
- ❖ Facteur 2: fertilisation minérale dans les parcelles élémentaires.
- ❖ Facteur 3: deux variétés de riz pluvial.

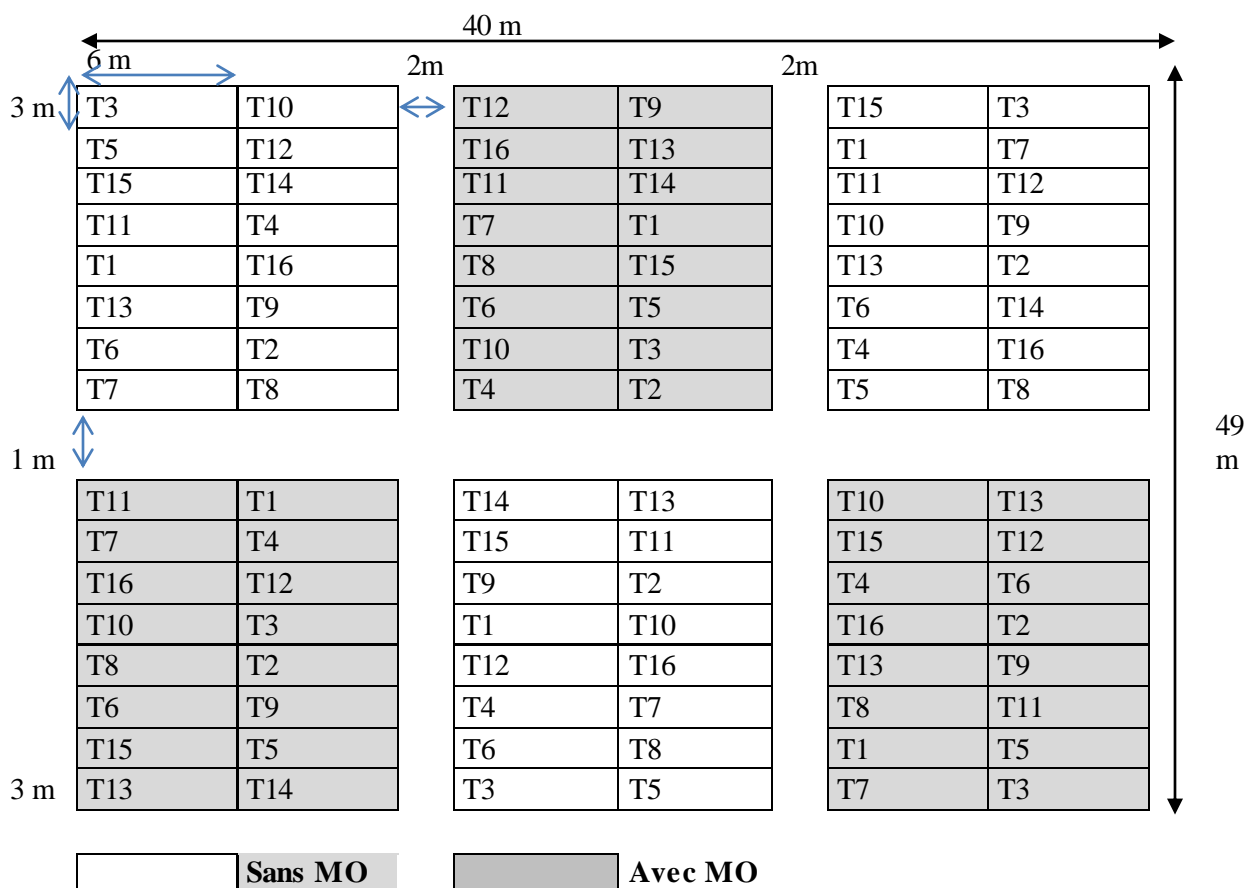


Figure 6: Dispositif expérimental pour chaque variété de riz pluvial.

2.3.2. Conduite des essais

2.3.2.1. Préparation du sol et semis

Le sol a été labouré à l'aide d'un tracteur à environ 20 cm de profondeur puis nivelé manuellement. Les semis ont été effectués aux écartements de 20 cm entre les lignes et 20 cm entre les poquets (soit

30 lignes et 15 poquets/ligne) pour chaque variété. La matière organique a été apportée un jour avant semis de chaque variété (WAB 99-84 et FKR 45N) à raison de 5 t/ha soit 9 kg/parcelle élémentaire. La variété WAB99 84 a été semée le 14/07/2015 et la variété FKR45N, le 21/07/2015 à raison de 3-4graines/poquet à 3cm de profondeur. Les resemis ont été effectués 8 jours après semis (8 JAS).

2.3.2.2 Entretien de la culture

Cette activité a essentiellement consisté aux sarclages/dés herbages, au démariage et aux apports d'engrais minéraux (N, P, K). Trois sarclages manuels (18 JAS; 46 JAS; 58 JAS pour la WAB99 84 et 23 JAS; 42 JAS; 62 JAS pour la FKR45N) ont été effectués par variété suivis d'un désherbage manuel deux mois après semis de chaque variété. Pour favoriser la croissance et le bon développement de la culture, un démariage a été effectué pour ne laisser que quatre talles par poquet à 29 JAS et à 44 JAS respectivement pour la variété WAB99 84 et FKR45N. Notons qu'un repiquage a été effectué au niveau de la variété FKR45N dû à un faible niveau de levée au niveau des répétitions 2 et 3.

Les premiers apports minéraux (NPK) ont été effectués à 20 JAS et 27 JAS respectivement pour la WAB99 84 et la FKR45N. L'application de l'urée (46 % de N) a été faite en deux fractions dont la deuxième application à 48JAS pour la WAB99 84 et à 45 JAS pour la FKR45N correspondant à la phase début initiation paniculaire de chacune des deux variétés. Aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué. Les sources des nutriments étaient des engrais simples comme l'urée (46 % de N) pour N, le Triple Super Phosphate (TSP) pour le P et le KCl pour K; le soufre (S) pouvant provenir de CaSO₄ ou le S élémentaire (Voir annexe2 pour les doses appliquées par variété et par traitement).

2.3.3. Paramètres mesurés

2.3.3.1. Croissance des plantes

Le travail a consisté à choisir dix (10) poquets par traitement dans la surface utile délimitée dans chaque parcelle élémentaire en excluant 4 lignes de bordure de chaque côté. Un démariage a été effectué dans chaque poquet pour ne laisser que deux (2) plants par poquet afin de mieux observer l'évolution en hauteur des plants. Ainsi, les mesures de la croissance en hauteur dans chacun des poquets retenus par traitement et par variété ont été effectuées en quatre phases. La première mesure a été effectuée à la phase initiation paniculaire; la deuxième à la phase début floraison; la troisième à la fin floraison et la dernière mesure à la maturité.

2.3.3.2. Rendement et ses composantes

Les composantes du rendement ont été mesurées dans les parcelles utiles délimitées dans chaque parcelle élémentaire en excluant 4 lignes de bordure de chaque côté de la parcelle. Ces composantes du rendement étaient: le nombre de panicules récoltées, le poids des panicules récoltées, le poids des

grains et le poids de la paille sèche. Le nombre de panicules a été déterminé après la récolte par comptage manuel. Notons aussi que le nombre de poquets récoltés a été déterminé par comptage après la récolte sur la parcelle utile.

Après la récolte, le poids des panicules, le poids de la paille sèche et le poids paddy par traitement, ont été évalués à l'aide d'un peson à pile après 72 heures de séchage des panicules. Les rendements ont été obtenus par une extrapolation à l'hectare.

2.3.4. Caractéristiques physico-chimiques du sol avant application des fumures

Le tableau 4 présente les caractéristiques physico-chimiques du site d'étude avant application des fumures. La valeur du pH-eau (4,57) caractérise l'acidité du sol. Les teneurs en éléments minéraux N, P et en carbone (0,46) sont également faibles. Les teneurs en sable, limon et argile sont respectivement de 39,40 %, 43,35 % et 17,25 %.

Tableau 4: Caractéristiques physico-chimiques du sol en début campagne

Paramètres du sol	valeurs
pH (1/2.5 H ₂ O)	4,57
Carbone organique (%)	0,46
N Total (%)	0,06
P-Assimilable (mg/kg)	4,32
Bases échangeables (Cmol/kg)	
Calcium (Ca ²⁺)	1,12
Magnésium (Mg ²⁺)	0,32
Potassium (K ⁺)	0,11
Sodium (Na ⁺)	0,04
somme des anions (S)	1,59
Taux de saturation (S/CEC) (%)	27,00
CEC (Cmol/kg)	5,80
Sable (%)	39,40
Limon (%)	43,35
Argile (%)	17,25

Source: OUATTARA, (2015)

2.3.5. Caractéristiques chimiques du fumier appliqué

Les résultats des analyses chimiques du fumier appliqué sont présentés dans le tableau 5. Ceux-ci ont montré un rapport C/N < 20 (17,02) ce qui atteste la bonne qualité de ce compost. Cependant sa teneur en azote était relativement faible (1,2 %).

Tableau 5: Caractéristiques chimiques du compost appliqué

	Carbone	N Total	C/N	P Total	K Total
Paramètres	(%)	(%)		(%)	(%)
Valeurs	20,59	1,21	17,02	0,41	2,15

Source: OUATTARA, (2015)

2.3.6. Paramètres de fertilité des sols

Dans l'optique d'un bon suivi des paramètres chimiques du sol, une caractérisation des substrats de fertilisation a été effectuée; ce qui a nécessité un prélèvement du fumier utilisé et de sol. Pour ce faire, des échantillons composites de sol ont été prélevés avant la mise en place des essais et traitements suivant l'horizon 0-20 cm.

D'autres prélèvements ont été effectués au cours du développement cultural sur neuf traitements (T1; T4; T9; T11; T12; T13; T14; T15 et T16) et par variété chaque deux semaines suivant l'horizon 0-20 cm en quatre dates. Le premier prélèvement a été effectué à la phase initiation paniculaire; la deuxième à la phase début floraison; la troisième en fin floraison et la dernière à la maturité. Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une tarière sur trois points pour constituer un échantillon composite, suivant la diagonale du traitement par répétition et par variété. Le prélèvement se faisait le même jour dans les parcelles des deux variétés.

2.3.7. Analyses chimiques

Tous les échantillons prélevés ont été envoyés au laboratoire Eau-Plante-Sol à Farako-Bâ, Gestion des Ressources Naturelles/Systèmes de Production (GRN/SP) pour les analyses. Les échantillons de sol ont été conservés dans le congélateur puis une partie de chaque échantillon a été séchée, broyée et tamisée pour les analyses de pH-Eau, K disponible et de P assimilable; et l'autre partie, toujours conservée au frais pour l'analyse de l'ammonium.

❖ **pH-eau**

Le pH du sol a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre électrique suivant le rapport sol/eau distillée de 1/2,5 (AFNOR, 1981). L'acidité est un révélateur des conditions physico-chimiques et biologiques qui règnent dans le sol. La technique a consisté à prélever 20 g de sol broyé à 2 mm que l'on a introduit dans un flacon dans lequel on a ajouté 50 ml d'eau distillée. Le mélange a été agité pendant 30 minutes et laissé au repos pendant 30 minutes après agitation avant la lecture à l'aide du pH-mètre électrique calibré avec les solutions tampons à pH respectivement 7,00 et 4,00.

❖ **K disponible**

La méthode de HANWAY et HEIDEL, (1952) a été utilisée dans cette partie. L'extraction du potassium (K) disponible a été effectuée à l'aide d'une solution formée par l'acide chlorhydrique (HCl) à 0,1 N et l'acide oxalique (H₂C₂O₄) à 0,4 N. La durée d'extraction était 2 heures dont 1 heure d'agitation du mélange (2,5 g de sol+25 ml de la solution d'extraction: Acétate d'ammonium à 1 N) et 1h de filtration à l'aide d'un béccher et d'un papier filtre par échantillon. Ensuite, la lecture a été faite à l'aide d'un photomètre à flamme (Voir annexe 5).

$$\text{K. disponible (mg kg}^{-1}\text{)} = \frac{C \times 25}{\text{Poids sol (g)}}$$

C = Concentration de potassium dans le filtrat.

25 = volume d'acétate d'ammonium.

❖ **P. assimilable**

La méthode utilisée pour le dosage du phosphore assimilable était celle de BRAY I (BRAY et KURTZ, 1945). L'extraction a été faite grâce à une solution mixte de fluorure d'ammonium (NH₄F) à 1N et d'acide chlorhydrique (HCl) à 0,5 N avec 2 g de sol broyé à 2 mm. Cela a permis d'extraire le phosphore acido-soluble et une grande partie du phosphore lié au calcium. La lecture a été faite à l'aide du spectromètre à 880 nm comme longueur d'onde.

$$\text{P. assimilable (mg/kg de sol)} = \frac{(S-B) \times D \times (14 + W)}{W \text{ (g)}}$$

Où: S = concentration de P dans l'échantillon (mg/l) lu au spectrophotomètre

B = concentration de P dans le tube (mg/l) lu au spectrophotomètre.

D = facteur de la dilution (standard 1 pour les échantillons non dilués).

W = poids de l'échantillon

14 = volume d'extractant.

❖ Ammonium (NH₄⁺-N)

La méthode utilisée était celle de DHYAN *et al.*, (1999). La technique a consisté à prélever 10 g de sol frais de chaque échantillon à introduire dans un flacon dans lequel on a ajouté 20 ml de la solution de chlorure de sodium (NaCl à 10 %) à PH = 2,5. Agiter pendant 30 mn à l'aide d'un agitateur magnétique puis renverser le mélange de chaque échantillon dans un tube Kjeldhal et y ajouter 20 ml de soude (NaOH) à 40 % pour la distillation. Le distillat a été recueilli dans un erlang contenant 10 ml d'acide borique (2 %) + 4 gouttes de l'indicateur coloré, en 2 mn 20 S et titré contre N/100 d'acide sulfurique (H₂SO₄) à l'aide du titreur.

10 g de sol frais de chaque échantillon a été prélevé dans des boîtes de nescafé et passé à l'étuve en 24 heures à 100°C pour la détermination du taux d'humidité.

$$\text{NH}_4^+ - \text{N (mg/kg de sol)} = \frac{(S-B) \times N \times 14 \times 1000}{\text{Poids sol (g)}}$$

Avec: S = le Volume d'acide utilisé par échantillon.

B = le Volume d'acide à utiliser contre espace et N = Normalité de l'acide.

❖ Le carbone organique total

Il a été déterminé à l'aide de la méthode WALKLEY-BLACK (1934). Le carbone est oxydé par un excès de bichromate de potassium en milieu acide sulfurique concentré. L'excès de bichromate est dosé par le sel de Mohr.

❖ L'azote total et le phosphore total

Les dosages de l'azote total et du phosphore total ont été faits à l'auto analyseur (Skalar) après une minéralisation classique. Le potassium total a été déterminé par photométrie de flamme JENWAY après minéralisation et l'azote total a été déterminé au spectrophotomètre.

2.3.6. Courbes de réponse du riz suivant les doses croissantes d'azote

Lorsque des effets significatifs des doses de nutriments sont observés, une fonction asymptotique du rendement sera déterminée. C'est ainsi que les courbes de réponse du riz à l'azote ont été obtenues à l'aide de la formule: **Rendement (t/ha) = a – bc^N**

Où **a** est proche du rendement maximal, **b** est le gain de rendement dû à l'application des éléments nutritifs, et le **c^N** détermine la forme de la réponse curviligne où **c** est un coefficient de courbure et **N** est la dose de nutriments (azote).

2.3.7. Calcul du ratio valeur sur coût (RV/C)

Le ratio valeur cout (RVC) a été déterminé par la formule suivante:

$$RV/C = \frac{x-y}{z}$$

Où:

x = revenu brut du rendement produit par le traitement non témoin. Il a été obtenu en multipliant le prix de vente de 1 kg de riz paddy sur le marché de la zone par le rendement paddy produit par le traitement non témoin;

y = revenu brut du rendement produit par le traitement témoin qui a été obtenu en multipliant le prix de vente de 1 kg de riz paddy sur le marché de la zone par le rendement paddy produit par le traitement témoin;

z = coût de l'engrais utilisé dans la production. Il a été obtenu en multipliant le prix de 1 kg de l'engrais spécifique par la quantité de l'engrais spécifique appliqué dans le traitement;

X-Y= bénéfice brut.

2.3.8. Analyses statistiques

Le logiciel Microsoft Office Excel 2010 a servi à la saisie des données ainsi qu'à la réalisation des graphiques. Les données obtenues ont été statistiquement analysées à l'aide du logiciel GenStat Discovery version 4. L'analyse de variance (ANOVA) a été complétée avec le test de Tukey (LSD de Fisher) au seuil de 5 %, chaque fois qu'une différence significative a été décelée entre les moyennes.

Chapitre3: RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

3.1.1 Effets des formules d'engrais et de la fumure organique sur les éléments totaux (N, P et K) dans le sol.

Les résultats montrent que les teneurs du sol en N, P et K ont varié en fonction des formules d'engrais et de la fumure organique (tableau 6). Les résultats statistiques ne révèlent pas de différence significative ($p > 0,05$) entre les traitements en fin campagne (maturité) pour chacun des paramètres. La teneur en azote total en fin campagne (maturité) a connu une baisse par rapport à celle de début campagne. Les teneurs les plus élevées ont été obtenues avec les formules 90N-15P-10K (0,69 %) pour le carbone total; les formules 90N-15P-10K (0,052 %) et 90N-7,5P-0K (0,052 %) pour l'azote total; 90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B (230 mg/kg) pour le phosphore total et 90N-22,5P-0K (2262 mg/kg) pour le potassium total en fin campagne (maturité). Cependant, ces teneurs ne sont pas statistiquement différentes de celles des autres traitements.

L'application de la matière organique a engendré un effet positif sur l'amélioration du taux de carbone total et de la teneur en potassium total en fin campagne montrant ainsi une différence très significative entre les parcelles amendées et celles non amendées en fumure organique.

Tableau 6: Effets des formules d'engrais et de la fumure organique sur les éléments totaux (N, P et K) dans le sol.

Formules	Carbone total (%)	N Total (%)	P Total (mg/kg)	K Total (mg/kg)
0N-0P-0K	0,64	0,048	151	2098
90N-0P-0K	0,65	0,05	149	1977
90N-15P-0K	0,65	0,048	144	1867
90N-7,5P-0K	0,7	0,052	153	2033
90N-22,5P-0K	0,64	0,049	149	2262
90N-15P-10K	0,69	0,052	148	2014
90N-15P-20K	0,63	0,048	140	1912
90N-15P-30K	0,65	0,047	152	2044
90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B	0,63	0,049	230	2048
Probabilité de F	0,981	0,985	0,118	0,91
LSD (0,05)	0,068	0,0046	30	249,4
<u>Matière organique</u>				
0 t/ha	0,61	0,047	158	1865
5 t/ha	0,7	0,052	157	2192
Probabilité de F	0,005	0,022	0,955	0,007
LSD (0,05)	0,032	0,0022	14,1	117,6

LSD= ppds= plus petite différence significative

3.1.2 Effets des formules d'engrais et de la matière organique sur les paramètres chimiques du sol

3.1.2.1 Effet des formules d'engrais et de la matière organique sur le pH eau

Le tableau 7 montre l'effet des formules d'engrais et de la matière organique sur le pH eau du sol. Les analyses statistiques n'ont révélé aucune différence significative entre les formules d'engrais (probabilité de F=0,091). Cependant, la plus grande moyenne des valeurs de pH eau a été obtenue avec le traitement 90N-0P-0K (5,21) qui n'est pas statistiquement différente du pH-eau des autres traitements.

L'application de la matière organique a engendré un effet positif sur l'amélioration du pH eau en fin campagne montrant ainsi une différence significative entre les parcelles amendées et celles non amendées en fumure organique. Les valeurs de pH-eau sont de 5,10 pour 0t/ha de matière organique et 5,16 pour 5t/ha de matière organique.

Tableau 7: Effet des formules d'engrais et de la matière organique sur le pH-Eau du sol

Fertilisants N, P, K (kg/ha)	Valeur de pH-eau
0N-0P-0K	5,15
90N-0P-0K	5,21
90N-15P-0K	5,14
90N-15P-10K	5,13
90N-15P-20K	5,16
90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B	5,03
90N-15P-30K	5,10
90N-22,5P-0K	5,18
90N-7,5P-0K	5,08
Probabilité de F	0,091
LSD (0,05)	0,116
Effet de la matière organique	
0 t/ha	5,10
5 t/ha	5,16
Probabilité de F	0,016
LSD (0,05)	0,055

LSD= ppds= plus petite différence significative

3.1.2.2 Evolution de l'azote ammoniacal ($\text{NH}_4^+ \text{--} \text{N}$)

Au cours du cycle de développement du riz, la teneur en azote ammoniacal a varié à la baisse quel que soit le niveau de fumure organique. Cependant ces teneurs sont restées plus élevées sur les parcelles ayant reçues la fumure organique pendant toute la durée des mesures (figure 7).

La figure 8 présente l'effet des formules d'engrais sur l'évolution de l'azote ammoniacal au cours du cycle. Les analyses statistiques n'ont pas montré de différence significative au seuil de 5% entre les formules d'engrais. La tendance générale de la teneur en azote ammoniacale était à la baisse pour

l'ensemble des formules d'engrais avec le temps. La meilleure teneur en azote ammoniacal à l'initiation paniculaire (IP) a été obtenue sous 90N-15P-20K (66,27 mg/kg de sol) suivie de 90N-7,5P-0K (61,78 mg/kg de sol) et avec 90N-7,5P-0K (43,79 mg/kg de sol) à la maturité.

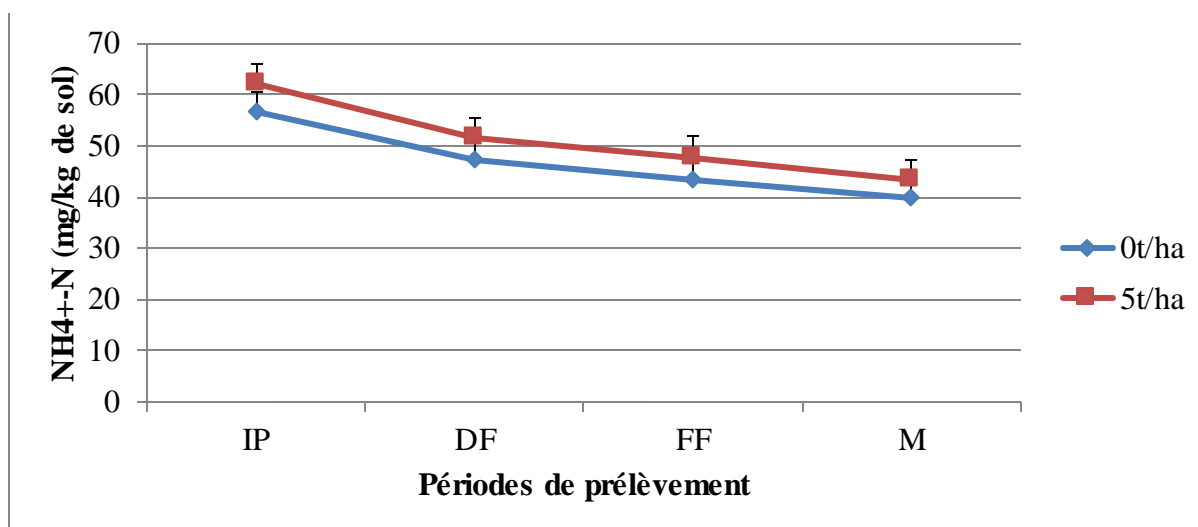


Figure 7: Effet de la matière organique sur l'évolution de l'azote ammoniacal au cours du cycle. IP=Initiation Paniculaire; DF=Début Floraison; FF=Fin Floraison; M=Maturité.

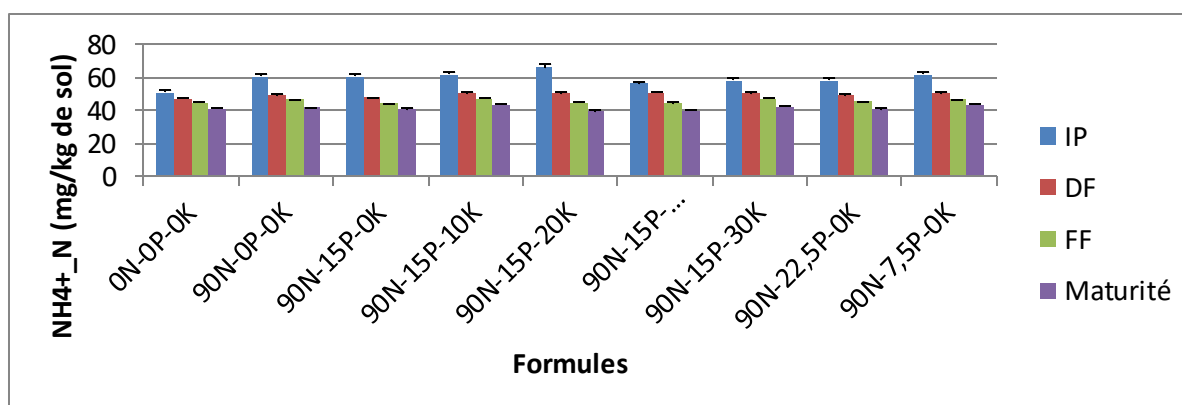


Figure 8: Effet des formules d'engrais sur l'évolution de l'azote ammoniacal au cours du cycle IP=Initiation Paniculaire; DF=Début Floraison; FF=Fin Floraison.

3.1.2.3 Evolution du phosphore (P) assimilable

Le tableau 8 présente l'effet des formules d'engrais et de la matière organique sur la dynamique du phosphore dans le sol au cours du cycle. Les analyses statistiques n'ont pas montré de différence significative au seuil de 5 % entre les formules d'engrais. La teneur en phosphore assimilable a connu une variation non considérable pour l'ensemble des formules d'engrais avec le temps. La meilleure teneur en phosphore assimilable à l'initiation paniculaire (IP) a été obtenue avec la dose 15 kg/ha de P sous 90N-15P-30K (22,88 mg/kg de sol) suivie de 90N-15P-0K (22,38 mg/kg de sol) et à la

maturité, avec la formule d'engrais 90N-15P-30K (18,91 mg/kg de sol) suivie de 90N-15P-20K (18,62 mg/kg de sol) et 90N-15P-10K (18,42 mg/kg de sol).

Les résultats ont révélé une variation considérable de la matière organique au cours du cycle montrant ainsi une différence significative entre les teneurs en P assimilable pour une même dose de matière organique suivant les périodes de prélèvement. Cependant, les analyses statistiques n'ont montré aucune différence significative en fonction de la dose de matière organique apportée au cours du cycle pour une même phase du cycle. En effet à la maturité, ces teneurs étaient de 18,05 mg/kg de sol pour 0 t/ha et 18,16 mg/kg de sol pour 5 t/ha de matière organique apportée (tableau 8).

Tableau 8: Effet des formules d'engrais et de la matière organique sur le phosphore assimilable au cours du cycle.

Fertilisants	P assimilable (mg/kg de sol)			
	Périodes de prélèvement			
	IP	DF	FF	Maturité
0N-0P-0K	21,17	17,03	17,65	17,68
90N-0P-0K	20,82	17,62	17,27	17,63
90N-15P-0K	22,38	16,64	16,27	18,02
90N-15P-10K	22,18	18,6	29,38	18,42
90N-15P-20K	19,94	18,33	17,61	18,62
90N-15P-30K	22,88	18,98	18,81	18,91
90N-7,5P-0K	18,71	17,76	15,52	17,67
90N-22,5P-0K	20,44	15,6	19,39	17,92
90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B	20,74	18,14	16,59	18,06
probabilité de F	0,971	0,971	0,971	0,971
LSD (0,05)	7,971	7,971	7,971	7,971
	Effet de la matière organique			
0 t/ha	20,48	15,72	20,74	18,05
5 t/ha	21,58	19,54	16,71	18,16
probabilité de F	0,794	0,794	0,794	0,794
LSD (0,05)	3,757	3,757	3,757	3,757

IP=Initiation Paniculaire; DF=Début Floraison; FF=Fin Floraison; LSD= ppds= plus petite différence significative.

3.1.2.4 Teneur en potassium (K) disponible

Le tableau 9 montre l'effet des formules d'engrais et de la matière organique sur la dynamique du potassium dans le sol au cours du cycle. Les analyses statistiques n'ont révélé aucune différence significative au seuil de 5 % entre les formules (probabilité de F = 0,196) au cours du cycle. Suivant les doses croissantes de K, La meilleure teneur a été obtenue avec la dose 30 kg/ha de K sous la

formule 90N-15P-30K (63,6 mg/kg de sol) et la plus faible avec 90N-15P-0K (53,1 mg/kg de sol) à l'initiation paniculaire (IP).

Les analyses statistiques ont révélé une différence très significative au seuil de 5 % entre les doses de fumures organiques suivant les dates de prélèvement (probabilité de F = 0,006). Avec apport de 5 t/ha, la plus grande teneur en potassium disponible a été observée en début floraison (DF) (65 mg/kg de sol)

Tableau 9: Effet des formules d'engrais et de la matière organique sur la dynamique du potassium dans le sol au cours du cycle.

Fertilisants	K disponible (mg/kg de sol)			
	Périodes de prélèvement			
	IP	DF	FF	Maturité
0N-0P-0K	62,8	55,3	46,1	59,4
90N-0P-0K	60,7	52,7	54,8	52
90N-15P-0K	53,1	47,8	41,3	43,7
90N-15P-10K	57,2	50,4	47,9	44,5
90N-15P-20K	60,7	49,8	47	47,7
90N-15P-30K	63,6	51,8	46,9	47
90N-7,5P-0K	57,2	52	43,1	45
90N-22,5P-0K	59,1	100,3	48,9	47,1
90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B	54,5	46,2	44,1	44,7
probabilité de F	0,196	0,196	0,196	0,196
LSD (0,05)	12,55	12,55	12,55	12,55
	Effet de la matière organique			
0 t/ha	54,5	46,7	43,4	48,4
5 t/ha	63	65,8	50	47,3
probabilité de F	0,006	0,006	0,006	0,006
LSD (0,05)	5,92	5,92	5,92	5,92

IP=Initiation Paniculaire; DF=Début Floraison; FF=Fin Floraison; LSD= ppds= plus petite différence significative.

3.1.3 Effets des variétés et de la matière organique sur la croissance du riz

3.1.3.1 Effet variété sur la croissance en hauteur au cours du cycle de production du riz

La figure 9 présente l'effet variétal sur la croissance en hauteur du riz au cours du cycle. Les résultats de l'analyse statistique ont permis de classer ces deux variétés en deux groupes distincts. Ainsi, la WAB99 84 a une croissance plus importante que la FKR45N. Les tailles des plantes ont évolué à partir de l'initiation paniculaire (IP) jusqu'en fin floraison (FF) avant d'être constantes jusqu'à la

maturité. Les hauteurs moyennes de la WAB99 84 et de la FKR45N étaient respectivement de 115,19 cm et de 98,86 cm en fin floraison.

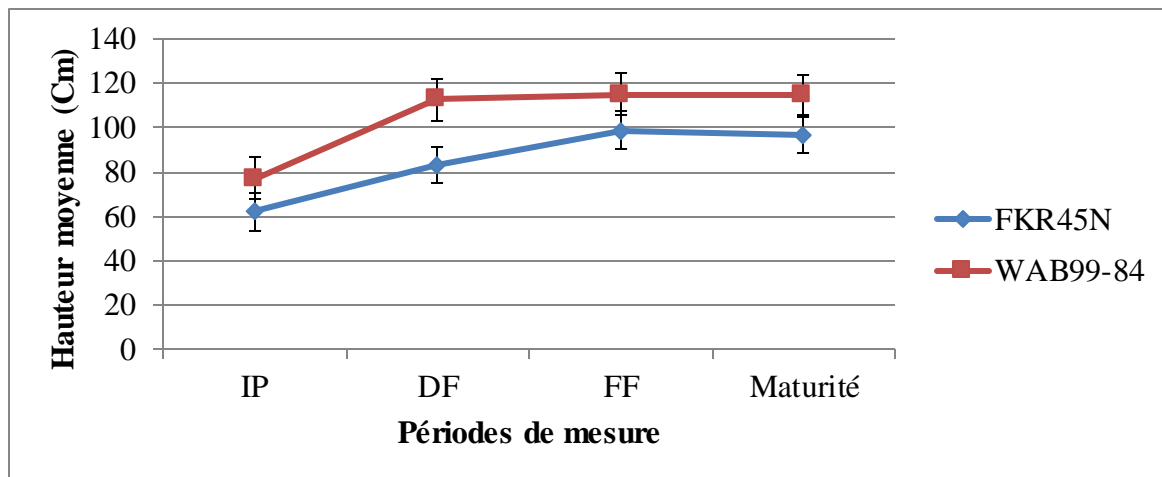


Figure 9: Effet de la variété sur la croissance en hauteur au cours du cycle de production du riz
IP=Initiation Paniculaire; DF=Début Floraison; FF=Fin Floraison.

3.1.3.2 Effet de la matière organique sur la croissance en hauteur au cours du cycle de production du riz

La figure 10 présente l'effet de la matière organique sur la croissance en hauteur du riz. Les résultats montrent une évolution croissante des valeurs en fonction des dates de mesure quel que soit le niveau de fumure organique avec des hauteurs significativement élevées avec l'application de 5 t/ha de matière organique. A la maturité, la hauteur moyenne de la WAB99 84 était de 120,44 cm et celle de la FKR45N était de 95,65 cm avec apport de 5 t/ha de matière organique.

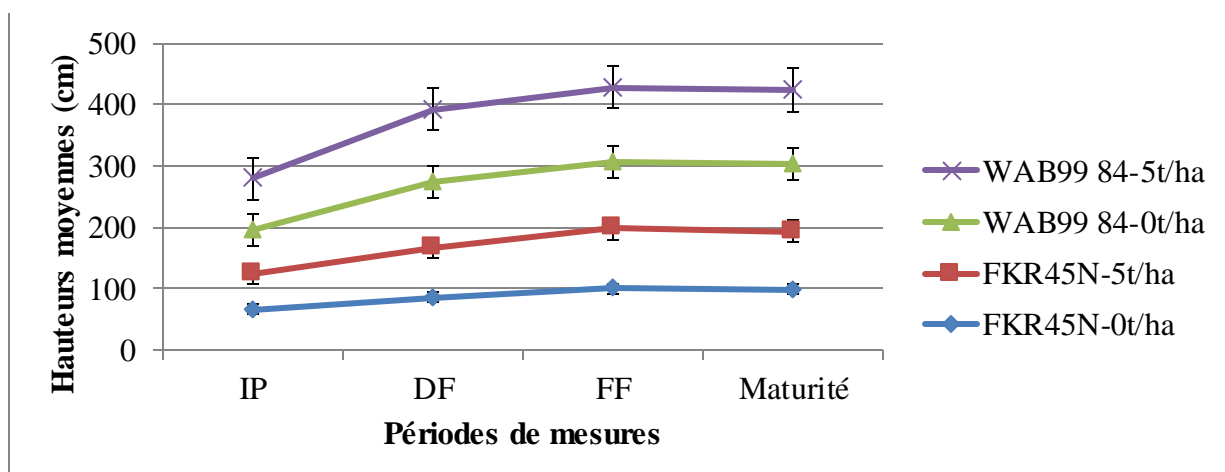


Figure 10: Effet de la matière organique sur la croissance en hauteur au cours du cycle de production du riz

IP=Initiation Paniculaire; DF=Début Floraison; FF=Fin Floraison.

3.1.4 Relation entre les doses croissantes d'azote (N) et le rendement paddy

Les figures 11 a et 11 b présentent respectivement la réponse du riz aux doses croissantes d'azote et la rentabilité économique de chaque niveau d'azote pour les deux variétés de riz pluvial étudiées. Les courbes de réponse montrent que toutes les deux variétés de riz étudiées ont répondu positivement à la fumure azotée, avec une réponse plus forte avec la variété WAB99 84. Les rendements paddy ont varié de 645 kg/ha à 923 kg/ha pour la FKR45N et de 898 kg/ha à 1457,50 kg/ha pour la WAB99 84 respectivement pour 0 kg/ha de N et 120 kg/ha de N. Pour la FKR45N le rendement maximum a été obtenu à partir de la dose 30N. Par contre pour la WAB99 84, la courbe est restée croissante ce qui indique que le riz n'a pas atteint son optimum avec l'application de 120N (figure 11 a).

La figure 11 b montre la rentabilité économique par variété suivant les doses croissantes d'azote (0 kg/ha; 30 kg/ha; 60 kg/ha; 90 kg/ha et 120 kg/ha). Pour la WAB99 84, le graphique montre que l'optimum économique de l'utilisation de l'azote était à 88 kg/ha de N, tandis qu'il était à 30 kg/ha de N pour la FKR45N dans cette région.

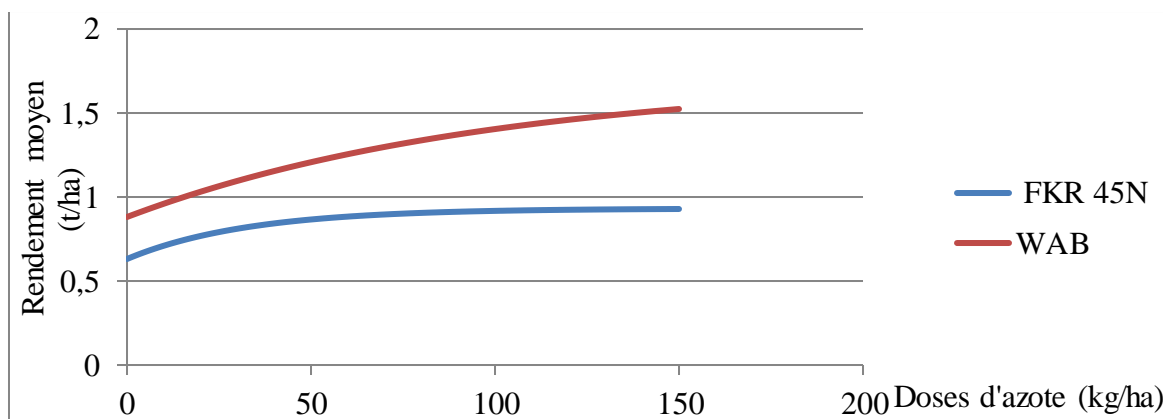


Figure 11 a: Courbes de réponse du riz

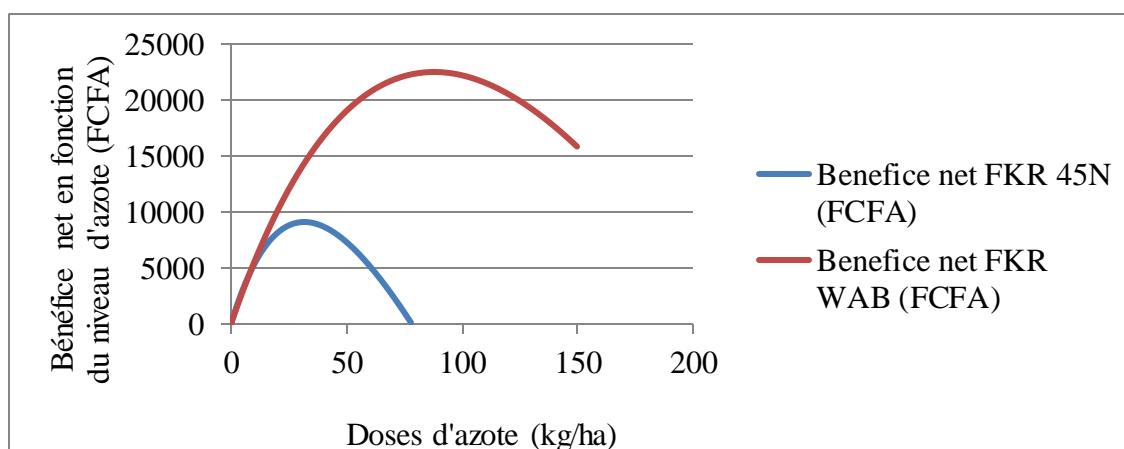


Figure 11 b: Courbes de rentabilité économique des variétés de riz suivant le niveau d'azote

3.1.5 Effet des variétés, des formules d'engrais et de la matière organique sur les rendements paddy et paille du riz

3.1.5.1 Effet des variétés sur les rendements paddy et paille du riz

Les analyses statistiques n'ont révélé aucune différence significative entre les rendements paddy et paille de ces variétés au seuil de 5 % (tableau 10). Cependant, la variété WAB99 84 a donné les rendements paddy et en paille numériquement plus élevés que ceux de la FKR45N. Les rendements paddy sont compris entre 664,7 kg/ha et 1376,75 kg/ha avec une moyenne de 1020,72 kg/ha.

Les rendements en paille ont suivi l'ordre de 1040,76 kg/ha à 1852,96 kg/ha avec une moyenne de 1446,86 kg/ha.

Tableau 10: Effet variétal sur les rendements paddy et paille du riz

Variétés	Rendements grains (kg/ha)	Rendements paille (kg/ha)
FKR45N	664,7	1040,76
WAB99 84	1376,75	1852,96
Probabilité de F	0,079	0,087
LSD (0,05)	919,099	1106,921

LSD= ppds = plus petite différence significative

3.1.5.2 Effet des formules d'engrais et de la matière organique sur le rendement paddy et paille du riz

Les analyses statistiques ont révélé une différence significative entre les formules d'engrais au seuil de 5 % pour les rendements paddy (tableau 11). Le meilleur rendement paddy a été obtenu avec la formule d'engrais 120N-0P-0K (1340 kg/ha avec un gain de 80,35 % par rapport au témoin) suivie des traitements 90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B (1238 Kg/ha soit 66,62 % le rendement du témoin); 120N-15P-0K (1216 kg/ha avec un gain de 63,66 % par rapport au témoin) et 90N-15P-10K (1209 kg/ha avec un gain de 62,72 % par rapport au témoin). Le plus faible rendement a été attribué au témoin (743 kg/ha). Les gains de rendement paddy avec l'application des fertilisants minéraux ont varié de 7,81 % à 80,35 % par rapport au témoin. Le traitement diagnostic 90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B (1238 Kg/ha) a donné un gain supplémentaire de 25,94 % par rapport au traitement 90N-15P-20K grâce aux éléments minéraux mineurs (S, Zn, Mg, B) en supplément (Tableau 11).

Quant aux rendements paille, les analyses statistiques ont révélé une différence hautement significative entre les formules d'engrais au seuil de 5 % (tableau 11). Les valeurs ont variées de 1056,24 kg/ha à 1748,25 kg/ha respectivement avec les formules d'engrais 30N-0P-0K et 120N-15P-

0K. Les gains en paille suivent l'ordre de 0,58 % à 37,94 %. Les traitements 30N-0P-0K; 60N-15P-0K; 90N-0P-0K; 30N-15P-0K ont produit moins de paille que le témoin soit une perte respectivement de -16,66 %; -3,44 %; -2,29 % et -2,29 % (Tableau 11). De façon générale, les meilleurs rendements paddy et paille ont été obtenus avec les doses élevées d'azote combinées ou non à une dose de phosphore et de potassium.

Pour ce qui est de la fumure organique, les résultats statistiques n'ont montré aucune différence significative au seuil de 5 % pour la fumure organique. En effet, les rendements moyens paddy étaient rangés dans l'ordre de 959,72 kg/ha à 1081,73 kg/ha respectivement avec 0 t/ha et 5 t/ha de matière organique. Ceux de la paille étaient de 1425,92 kg/ha pour 0 t/ha de matière organique et 1467,80 kg/ha de matière organique.

Tableau 11: Effet des formules d'engrais et de la fumure organique sur les rendements paddy et paille du riz

Formule N-P-K	Rendement grains (kg/ha)	Gain par rapport au témoin (%)	Rendement paille Kg/ha	Gain par rapport au témoin (%)
0-0-0	743		1267,4	
30-0-0	801	7,81	1056,24	-16,66
60-0-0	1064	43,20	1566,14	23,57
90-0-0	1013	36,34	1238,34	-2,29
120-0-0	1340	80,35	1675,41	32,19
0-15-0	845	13,73	1347,61	6,33
30-15-0	932	25,44	1238,34	-2,29
60-15-0	1071	44,15	1223,78	-3,44
90-15-0	881	18,57	1675,41	32,19
120-15-0	1216	63,66	1748,25	37,94
90-7,5-0	954	28,40	1602,56	26,44
90-22,5-0	903	21,53	1274,77	0,58
90-15-10	1209	62,72	1682,69	32,77
90-15-20	983	32,30	1486,01	17,25
90-15-30	1136	52,89	1464,16	15,52
90-15-20-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B	1238	66,62	1602,56	26,44
Probabilité de F	0,039		<,001	
LSD (0,05)	357,103		356,06	
<u>Effet de la matière organique</u>				
0t/ha	959,72			1425,92
5t/ha	1081,73			1467,80
Probabilité de F	0,756			0,86
LSD (0,05)	365,206			618,259

LSD= ppds= plus petite différence significative

3.1.6 Calculs économiques (RVC: rapport valeur sur coût)

Le tableau12 présente la rentabilité économique des différentes formules d'engrais sur les deux variétés de riz. Ces résultats mettent en exergue les formules d'engrais économiquement rentables à travers le Ratio Valeur/Coût (RVC). Ainsi, la formule d'engrais est économiquement rentable lorsque $RVC > 2$ (WOLFF, 1995). Cependant, selon (DELVILLE, 1996 cité par POUYA, 2008):

-si $RV/C < 1$, la technique ou la formule d'engrais n'est pas rentable, au contraire une perte d'argent est enregistrée;

-si $RV/C = 1$, la technique ou formule d'engrais 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.

Dans la présente étude, suivant les formules d'engrais, les RVC de la variété WAB99 84 sont rangés de 0,34 à 2,10 tandis qu'avec la FKR45N, les RVC sont inférieurs à 2 pour toutes les formules d'engrais. Le RVC le plus élevé (2,10) a été obtenu avec la formule d'engrais 30N-0P-0K avec la variété WAB99 84.

Tableau 12: Rentabilité économique des formules d'engrais par variété de riz.

Variétés	Formules d'engrais N-P-K (kg/ha)	Revenu brut (FCFA)	Bénéfice net (FCFA)	Coût d'engrais (FCFA)	RVC
WAB99 84	0N-0P-0K	139860	-	-	-
	30N-0P-0K	187937	48077	22946	2,10
	60N-0P-0K	201050	61190	45892	1,33
	90N-0P-0K	203235	63375	68639	0,92
	120N-0P-0K	284091	144231	91389	1,58
	0N-15P-0K	170454	30594	33750	0,91
	30N-15P-0K	187937	48077	56696	0,85
	60N-15P-0K	246941	107081	79642	1,34
	90N-15P-0K	174825	34965	102389	0,34
	120N-15P-0K	231644	91784	125139	0,73
	90N-7,5P-0K	174825	34965	85514	0,41
	90N-22,5P-0K	203235	63375	119390	0,53
	90N-15P-10K	246941	107081	118989	0,90
	90N-15P-20K	205419	65559	127289	0,52
	90N-15P-30K	194493	54633	118989	0,46
90N-15P-20K-15S-2,5Zn- 10Mg-0,5B	251312	111452	124928	0,89	
FKR 45N	0N-0P-0K	83042	-	-	-
	30N-0P-0K	52448	-30594	22946	-1,33
	60N-0P-0K	118007	34965	45892	0,76
	90N-0P-0K	100524	17483	68639	0,25
	120N-0P-0K	118007	34965	91389	0,38
	0N-15P-0K	83042	0	33750	0,00
	30N-15P-0K	91784	8742	56696	0,15
	60N-15P-0K	74301	-8741	79642	-0,11
	90N-15P-0K	89598	6557	102389	0,06
	120N-15P-0K	133304	50262	125139	0,40
	90N-7,5P-0K	111452	28410	85514	0,33
	90N-22,5P-0K	67745	-15297	119390	-0,13
	90N-15P-10K	115821	32780	118989	0,28
	90N-15P-20K	89598	6557	127289	0,05
	90N-15P-30K	146417	63375	118989	0,53
90N-15P-20K-15S-2,5Zn- 10Mg-0,5B	120192	37151	124928	0,30	

RVC=Ratio Valeur/Coût. 150 FCFA/kg de riz paddy.

Source: Données de la zone d'étude

3.2 DISCUSSION

3.2.1. Effet des formules d'engrais et de la matière organique sur les paramètres chimiques du sol

En ce qui concerne l'évolution des paramètres chimiques au cours du développement cultural, des variations ont été observées suivant les formules de fumure. Cependant, les résultats statistiques n'ont révélé aucune différence significative au seuil de 5 % entre les formules d'engrais sur le pH du sol. En effet, le meilleur pH a été obtenu avec la formule d'engrais 90N-0P-0K (5,21). Dans la présente étude, toutes les formules d'engrais ont donné un pH en fin de cycle supérieur à celui avant application de fumures (4,57); ce qui montre que les fumures minérales permettent d'améliorer dans une certaine mesure, le pH du sol. Nos résultats infirment ceux obtenus par SEGDA *et al.* (2013) qui ont obtenu à Bagré dans le cadre des effets induits du type de fumure sur les paramètres chimiques du sol et sur le rendement paddy, une diminution du pH du sol avec la fertilisation minérale (en NPK). Cependant, nos résultats confirment les travaux de TRAORE (2015) qui a obtenu sur le maïs, une réduction de l'acidification du sol lorsqu'elle appliquait ces mêmes formules d'engrais sur un sol similaire au nôtre à Farako-Bâ.

Au cours du cycle, la tendance générale des teneurs du sol en azote ammoniacal, en phosphore assimilable et en potassium disponible était à la baisse. Les analyses statistiques n'ont révélé aucune différence significative au seuil de 5 % entre les formules d'engrais suivant ces paramètres chimiques. Au cours du développement cultural, la plante prélève les éléments minéraux du sol pour sa croissance et son développement. Par conséquent, cette diminution des teneurs s'expliquerait par les échanges entre la plante et le sol au cours de son développement et la baisse de la matière organique. Selon (FAUCK, MOUREAUX et THOMANN, 1969; CHARREAU et FAUCK, 1969; ROOSE, 1981; COINTEPAS et MAKILO, 1982 cités par MOREAU, 1986), la mise en place d'une culture induit un déséquilibre des bilans hydriques et minéraux pouvant conduire à une acidification du sol. Les faibles teneurs en azote obtenues dans les parcelles fertilisées comparativement au témoin au cours du cycle pourraient être dues à des pertes par volatilisation, par ruissellement. Nos résultats corroborent ceux de OUATTARA (2015) qui a travaillé sur le sorgho sur le même site. Des études similaires ont été conduites par TRAORE (2015) qui a obtenu des teneurs en azote ammoniacal supérieures dans la parcelle témoin par rapport à celles fertilisées. RAKOTOARISOA *et al.* (2010) ont obtenus des résultats à Madagascar qui attestent que les pertes d'azote par ruissellement sont plus élevées sur sol labouré que sur sol cultivé sans travail de sol.

Les teneurs élevées en azote obtenues à l'initiation paniculaire peuvent s'expliquer par l'apport de la deuxième fraction d'urée à ce stade de croissance du riz. La teneur en azote ammoniacal la plus élevée a été obtenue avec la dose 90 kg de N/ha sous la formule d'engrais 90N-7,5P-0K (43,79 mg/kg de

sol). Nos résultats confirment ceux obtenus par TRAORE (2015) sur un sol similaire au nôtre lorsqu'elle appliquait ces mêmes formules d'engrais.

Les meilleures teneurs en phosphore assimilable ont été enregistrées avec la dose 15 kg de P/ha et avec les formules 90N-15P-30K (18,91 mg/kg de sol); 90N-15P-10K (18,42 mg/kg de sol). Nos résultats sont en contradiction avec ceux obtenus par TRAORE, (2015) qui avait obtenu sur un sol similaire au nôtre, les meilleures teneurs en phosphore assimilable avec la dose 22,5 kg/ha de P sur le maïs lorsqu'elle appliquait ces mêmes différentes doses de P. Ces résultats pourraient s'expliquer par la différence de nos spéculations produites.

Les résultats ont montré que la variation du phosphore assimilable en fonction des formules d'engrais au cours du cycle est non significative. Les teneurs en phosphore assimilable sont élevées dans le sol comparativement aux doses appliquées. SEGDA *et al.* (2013) ont montré à Bagré que la fertilisation minérale (en NPK) augmente la teneur en P assimilable. En effet, BOUGMA (2013) a obtenu les meilleures teneurs en P assimilable avec les fumures contenant le NPK, sur le riz pluvial. Cette constance des teneurs en P assimilable dans le sol au cours du cycle nous ferait penser que le phosphore a été immobilisé dans le sol et qu'une faible quantité a été utilisée par les plantes. Le phosphore favorise le tallage et augmente de ce fait les rendements. Par conséquent, les faibles rendements enregistrés seraient liés à sa faible assimilabilité par les cultures.

Les teneurs en K disponible ont varié en fonction des doses. La meilleure valeur de K. disponible a été obtenue avec la dose 30 kg/ha de K sous 90N-15P-30K (63,6 mg/kg de sol). Nos résultats sont en contradiction avec ceux obtenus par TRAORE (2015) qui avait obtenu la meilleure teneur avec la dose 20K sur un sol similaire au nôtre sur le maïs.

L'application de la matière organique a induit un effet significatif sur l'amélioration des paramètres chimiques du sol tels que l'azote ammoniacal et total, le potassium disponible et total ainsi que le carbone total et le pH-eau. De nombreuses études ont prouvé l'effet bénéfique d'application du compost sur non seulement l'amélioration de la fertilité du sol mais aussi sur l'augmentation des rendements grains (DIALLO *et al.*, 2010; SEDGA *et al.*, 2013; OUATTARA, 2014). Ainsi, les effets bénéfiques de l'application de la matière organique dans la production agricole sont une amélioration des propriétés chimiques du sol en éléments C, N, P et K (OUATTARA, 2014). Selon (FAO *et al.*, 2003), la matière organique améliore la structure, diminue l'érosion du sol, a un effet régulateur sur sa température, et permet au sol de stocker davantage d'eau, contribuant ainsi à améliorer significativement la fertilité du sol.

3.2.2. Effet de la variété et de la matière organique sur la croissance du riz

L'ANOVA a permis de classer ces deux variétés en deux groupes distincts en termes de croissance en hauteur. En effet, la variété WAB99 84 présentait des hauteurs moyennes significativement

différentes de celles de la FKR45N durant tout le cycle (figure 9). Par ailleurs, la WAB99 84 a donné une hauteur moyenne de 114,88 cm et la FKR45N, 96,94 cm à la maturité. Des études conduites par l'INERA (2016) ont montré que la hauteur moyenne de la variété FKR45N est supérieure à celle de la WAB99 84, soit 115 cm pour la FKR45N et 94 cm pour la WAB99 84. Cette différence de résultats des hauteurs moyennes pourraient s'expliquer par la différence des dates de semis et d'application des fumures ainsi qu'aux aléas climatiques constatés en phase de croissance. Un semé précoce permet à la culture de bénéficier d'une quantité suffisante des eaux de pluie pour une bonne croissance et un bon développement. (ARRAUDEAU et VERGARA, 1992) ont montré qu'une sécheresse au cours des premiers stades de la croissance et l'irrégularité des pluies étaient à l'origine des croissances lentes et irrégulières des plantes.

Dans la présente étude, l'application de la matière organique a eu un effet bénéfique sur les paramètres de croissance durant tout le cycle de développement du riz (figure 10). Il y a eu une augmentation considérable de la hauteur moyenne à partir de l'initiation paniculaire ce qui s'expliquerait par l'apport de la deuxième fraction d'urée. En effet, la matière organique joue non seulement un rôle dans la libération lente et régulière des éléments minéraux mais également dans la rétention de l'eau. Par conséquent cette capacité à retenir l'eau au sol pour la culture réduirait significativement l'effet de la sécheresse sur la plante au cours du cycle (DIALLO *et al.*, 2010); ce qui expliquerait cette augmentation des hauteurs moyennes du riz suite à l'application de 5 t/ha de matière organique. Des études similaires ont été conduites par (DIALLO *et al.*, 2010) qui ont montré que l'application de la matière organique augmentait les hauteurs des plants. OUATTARA (2014) a aussi obtenu une augmentation de la croissance des plantes en présence d'urée et des plantes présentant les meilleures croissances avec les formules de fumures de Burkina Phosphate associées à l'urée.

3.2.3. Effets variété, des formules d'engrais et de la matière organique sur les rendements paddy et paille du riz

Les rendements paddy et paille ne sont pas significativement différents entre les deux variétés au seuil de 5 %. Cependant, la WAB99 84 a donné les rendements paddy et paille numériquement plus élevés que ceux de la FKR45N (Tableau 10). Ces résultats pourraient s'expliquer par la différence des dates de semis et de fertilisation; la capacité de chaque variété à prélever les éléments minéraux du sol. Des résultats similaires ont été obtenus par TRAORE (2015) avec deux variétés de maïs sur un sol similaire au nôtre à la station de recherche de Farako-Bâ et par SEGDA *et al.* (2015) à Bagré avec deux variétés de riz en saison humide de 2003. Des études conduites par l'INERA (2016) ont montré que le rendement potentiel de la WAB99 84 était supérieur à celui de la FKR45N soit 3-4 tonnes/ha pour la FKR45N et 5 tonnes/ha pour la WAB99 84.

Les résultats obtenus ont montré que les rendements et leurs composantes (poids paille; poids paddy) ont varié significativement en fonctions des formules d'engrais. Tous les traitements ont donné de meilleurs rendements paddy par rapport au témoin (tableau 11). Le meilleur rendement paddy a été obtenu avec la formule d'engrais 120N-0P-0K avec un gain de 80,35 % par rapport au témoin suivie du diagnostic 90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B (66,62 % le rendement témoin); 120N-15P-0K (63,66 % le rendement témoin) et 90N-15P-10K (62,72 % le rendement témoin). Ces quatre formules d'engrais forment un groupe homogène et diffèrent significativement du témoin. Quant au rendement paille, la formule d'engrais 120N-15P-0K avec un accroissement de 37,94 % par rapport au témoin diffère significativement des autres traitements (tableau 11). Tous les autres traitements étant similaires. ABGA (2013) qui a travaillé sur le maïs dans la région de l'Est du Burkina Faso a obtenu des résultats similaires aux nôtres. L'auteur a obtenu une augmentation significative des rendements grains et paille avec l'application de ses différentes formules d'engrais par rapport au témoin. Des résultats similaires ont aussi été obtenus par ANDRIAMANANJARA (2011) à Madagascar. L'auteur a obtenu pour le système de culture à rotation, une augmentation significative du rendement en grain de voandzou et de riz pluvial suite aux apports à doses croissantes de phosphore.

La différence des rendements observée entre les traitements pourrait s'expliquer par la présence ou l'absence d'autres éléments minéraux (SANOGO *et al.*, 2010). La courbe de réponse des variétés aux doses d'azote (figure 9 a) indiquait que les rendements paddy augmentaient avec la dose croissante d'azote. NDIAYE et SIDIBE (1992) ont obtenu des résultats similaires au Sénégal. Ces auteurs ont obtenu une augmentation des rendements grains suivant les doses croissantes d'azote et ont montré que l'azote était le facteur limitant dans la production céréalière sur les sols ferrugineux tropicaux. Selon (WOPEREIS *et al.*, 2008 rapportés par TRAORE *et al.*, 2015), l'azote est incontestablement l'élément nutritif le plus important en riziculture. Nos résultats statistiques confirment cela par la forte relation entre dose d'azote et rendements paddy (figure 9 a). Ainsi, la formule d'engrais 120N-0P-0K se révèle la plus performante avec un gain de 80,35 % par rapport au témoin. Des études similaires ont été conduites par BAMBARA (2012) qui a obtenu une augmentation significative du rendement paille, des composantes du rendement grains et du rendement grains lorsqu'il appliquait des doses croissantes d'azote sur le maïs dans la zone Ouest du Burkina Faso.

Nos résultats mettent en exergue la bonne réponse du riz à l'azote; ce qui confirme les résultats obtenus par l'INERA (2016) qui a montré que ces deux variétés de riz répondaient bien à l'azote. De ce fait, il convient de souligner l'importance de l'azote et du phosphore dans la fertilisation du riz. Nos résultats corroborent également ceux de TRAORE *et al.* (2015) qui ont obtenu le rendement paddy le plus élevé avec leur plus grande dose de N (90 kg/ha) avec une augmentation de rendement paddy de 389 % par rapport au traitement sans apport d'azote.

En absence totale d'apport d'azote, le riz pluvial donne de faibles rendements paddy. Par conséquent, l'azote est un élément déterminant pour la croissance et le rendement des céréales (NDIAYE et SIDIBE, 1992). Une bonne nutrition minérale du riz ne peut être réalisée qu'avec un équilibre des différents éléments minéraux FAO *et al.* (2003). Nos résultats confirment cela avec la formule d'engrais 0N-15P-0K qui a donné un rendement paddy comparable à celui du témoin et la formule d'engrais 90N-15P-10K qui présente un rendement paddy significativement différent de celui du témoin avec apport de tous les éléments minéraux majeurs.

Dans la présente étude, tous les rendements sont en général faibles. Cela pourrait s'expliquer par: (i) l'implantation tardive des essais; (ii) les dates des opérations culturales tardives (sarclages et désherbage); (iii) la compétition entre culture et mauvaises herbes pour les nutriments; (iv) le mode d'épandage des engrais; (v) une poche de sécheresse survenue à l'initiation paniculaire/floraison; (vi) le faible taux de levée des plants après repiquage, (vii) l'action des oiseaux granivores; (viii) la faible assimilabilité du phosphore par les plantes; (ix) les verses constatées dans certains traitements. Selon (ARRRAUDEAU et VERGARA, 1992), le faible pourcentage d'épillets fertiles est dû à une sécheresse avant ou au moment de la floraison, une température supérieure à 35°C à la floraison ou la verse et que le faible poids des grains est dû aux conditions météorologiques défavorables après la floraison, à la pauvreté des sols et l'insuffisance de feuilles vertes pour l'élaboration suffisante d'éléments nutritifs.

L'application de la fumure organique ne présente aucune différence significative au seuil de 5 % entre les rendements paddy et entre ceux en paille. Cependant, il y'a une légère augmentation des rendements paddy et paille avec l'application du fumier (Tableau11). Ces résultats pourraient s'expliquer par la faible vitesse de minéralisation de la matière organique en phase de remplissage des grains conduisant la culture à prélever les faibles teneurs disponibles en azote et en P apportées par les engrais minéraux appliqués. La matière organique intervient dans le recyclage des éléments nutritifs et dans la régulation de la nutrition des cultures (SEDOGO, 1993; PIERI, 1989). La fertilisation organique augmente significativement les rendements des cultures et ce, quelle que soit la dose de fumure organique (ABGA, 2013). Nos résultats infirment ceux obtenus par OUATTARA (2015) qui a travaillé sur le sorgho sur le même site que le nôtre et ceux obtenus par ABGA (2013) sur le maïs dans la région de l'Est du Burkina Faso. Ces auteurs ont obtenu une augmentation significative des rendements grains et paille avec l'application de la fumure organique.

Cependant, pour d'autres chercheurs, les amendements organiques n'ont pas d'effet significatif sur l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs ou sur les rendements (OLK *et al.*, 1996; WIECHMANN *et al.*, 2004).

3.2.4. Le rapport de la valeur sur le coût (RVC)

Seule la production de la variété de riz WAB99 84 est économiquement rentable dans cette zone de Boni avec la fertilisation minérale. Selon (WOLFF, 1995), une formule d'engrais est économiquement rentable lorsque son $RVC > 2$. Une seule formule d'engrais a donné un $RVC > 2$ avec cette variété WAB99 84 (Tableau 12). Dans la présente étude, les RVC variaient avec les doses d'engrais. Ces résultats s'expliqueraient par le coût élevé des engrais spécifiques et le faible prix de vente du produit agricole. Nos résultats confirment ceux obtenus par TRAORE (2015) et OUATTARA (2015) qui ont obtenu des résultats similaires aux nôtres lorsqu'ils appliquaient leurs différentes formules d'engrais respectivement sur le maïs et le sorgho.

En fonction des doses d'azote, la figure 11 b indique une dose maximale de 30 kg/ha de N et 88 kg/ha pour une production rentable respectivement pour la FKR45N et WAB99 84 dans cette zone de Boni. Cependant, les résultats d'analyse économique (tableau 12) ont révélé le traitement T2 de formule 30N-0P-0K comme le traitement économiquement rentable avec un ratio de 2,10 pour la fertilisation minérale de WAB99 84 dans cette zone. Dans notre étude, des traitements à $RVC < 2$; $RVC < 1$ et $RVC < 0$; ont été enregistrés. Ces résultats indiquent que la production du riz avec ces formules d'engrais dans cette zone ne sont pas économiquement rentables pour le producteur. Nos résultats confirment ceux obtenus par OUATTARA (2015) sur le même sol avec la production du sorgho. L'auteur a montré que toutes les formules d'engrais utilisées n'étaient pas économiquement rentables pour le producteur tant bien qu'elles permettent d'enregistrer un rendement numériquement plus élevé que celui du témoin.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude relative à l'évaluation de l'efficacité des doses d'engrais afin de faire des recommandations d'engrais minéraux en riziculture pluviale dans l'Ouest du Burkina Faso, contribue à l'amélioration de la productivité du riz pluvial. La fertilisation raisonnée de la riziculture pluviale est une valeur à rechercher en matière d'utilisation des engrais minéraux en ce sens que la cherté des engrais minéraux a souvent été décriée par les petits producteurs. Une telle étude devient incontournable dans les conditions de culture particulières de changement climatique.

Le premier objectif a été d'évaluer l'effet de la fertilisation minérale et organique sur les paramètres chimiques du sol. Les fumures minérales et organiques appliquées ont eu un effet positif sur les teneurs en azote ammoniacal, en phosphore assimilable, en potassium et en carbone total ainsi que sur le pH du sol qui est un paramètre important à considérer dans la production agricole. Ainsi, les effets bénéfiques de l'application de la fumure organique en production agricole sont une amélioration des propriétés chimiques du sol à savoir en éléments C, N, P et K.

Le second objectif spécifique de la présente étude a été d'évaluer la réponse du riz aux éléments fertilisants. Pour tous les paramètres chimiques analysés, les rendements les plus élevés ont été observés avec les traitements apportant la fumure minérale. Les rendements paddy et paille ont varié significativement suivant les doses des formules d'engrais. Tous les traitements avec fumure minérale ont produit un rendement supérieur à celui du témoin. En effet, la formule d'engrais 120N-0P-0K a produit le meilleur rendement paddy avec un gain de 80,35 % par rapport au témoin. Elle est suivie des formules d'engrais 90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B (66,62 % de gain par rapport au témoin); 120N-15P-0K (63,66 % de gain par rapport au témoin); 90N-15P-10K (62,72 % de gain par rapport au témoin) et 90N-15P-30K (52,89 % de gain par rapport au témoin). Par ailleurs, les résultats ont montré que les deux variétés de riz ont une bonne réponse à l'azote.

Les rendements paddy et paille obtenus suite à l'application de la fumure organique ont été statistiquement non significatifs au seuil de 5 %.

Le troisième objectif spécifique était de recommander des formules d'engrais économiquement rentable pour la production du riz dans la zone de Boni. Aucune différence significative n'a été révélée entre les rendements paddy des deux variétés. Cependant, la WAB99 84 a produit des rendements numériquement plus élevés que ceux de la FKR45N sur ce site de Boni. Par ailleurs, les formules d'engrais 120N-15P-0K et 90N-15P-30K ont donné les meilleurs rendements grains avec la FKR45N tandis qu'avec la WAB99 84, nous avons 120N-0P-0K; 90N-15P-20K-15S-2,5Zn-10Mg-0,5B; 60N-15P-0K et 120N-15P-0K.

La détermination des formules d'engrais économiquement viables a été faite à l'aide des Ratio Valeur/Coût ($RVC > 2$). En effet, le traitement T2 de formule 30N-0P-0K se révèle le plus

économiquement rentable avec un ratio de 2,10 pour la production de WAB99 84. Ce résultat atteste que l'application de la fumure minérale dans la production du riz est profitable aux producteurs dans cette zone de Boni.

Ainsi, en se basant sur les calculs économiques, nous recommandons aux producteurs de cette zone la formule d'engrais 30N-0P-0K pour la production de la variété WAB99 84. Il convient également de tenir compte du niveau de fertilité chimique initiale du champ.

La présente étude ayant montré que les meilleurs rendements étaient obtenus avec des doses élevées d'azote, il serait donc important de songer à d'autres systèmes de culture afin de mobiliser plus d'azote au sol pour la culture. Il s'agit entre autre des:

-Rotations culturales;

-Associations culturales avec des légumineuses fixatrices.

Connaissant les conséquences d'une fertilisation déséquilibrée en faveur de l'azote, il serait important que les producteurs complètent cette fertilisation minérale par un apport de matière organique afin d'apporter à la culture les autres éléments minéraux majeurs et d'améliorer la structure du sol.

Il est impérieux de poursuivre cette étude en milieu réel afin de confirmer ces résultats pour une production économiquement viable dans cette zone; de refaire ces tests sur d'autres types de sol et sur d'autres variétés de riz.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABGA P. T., 2013:** Détermination des options de fertilisation organo-minérale et de densité de semis pour une intensification de la production du maïs dans la région de l'Est du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur du Développement Rural; option agronomie. Université Polytechnique de Bobo, Burkina Faso. 70P.
- ANDRIAMANANJARA A., 2011.** Système de culture a rotation voandzou – riz pluvial (*Oryza sativa*) sur les hautes terres de Madagascar. Rôle du voandzou (*Vigna subterranea*) sur la biodisponibilité du phosphore dans les ferralsols. Thèse doctorat. Option : Sciences agronomiques. Université d'ANTANANARIVO. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA). Madagascar. 186P.
- ARRAUDEAU M. A. et VERGARA B. S., 1992:** Manuel illustré de riziculture pluviale. International Rice Research Institute et Institut de Recherches Agronomiques tropicales et des cultures vivrières. Philippines-Montpellier, France. 284P.
- ASIMI S., 2009:** Influence des modes de gestion de la fertilité des sols sur l'activité microbienne dans un système de cultures de longue durée au Burkina Faso. Thèse doctorat. Option : systèmes de production végétale, spécialité: sciences du sol. Université Polytechnique de Bobo, Burkina Faso 179p.
- BADO R V., 2002.** Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Thèse Doctorat. Université Laval Québec, Canada. 197p.
- BADO R V., SEDOGO M. P., CESCAS M.P., LOMPO F. ET BATIONO A., 1997.** Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. Cahiers Agricultures 6. PP 571-575.
- BAMBARA F. A. A., 2012:**«Optimisation de la fertilisation azotée du maïs en culture pluviale dans l'ouest du Burkina Faso: utilisation du modèle agronomique DSSAT». Mémoire.d'Ingénieur du Développement Rural; option agronomie. Institut du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo. Burkina Faso. 60P.
- Banque Mondiale- Région Afrique, 2006:** Promoting Increased Fertilizer Use in Africa: lessons Learned and Good Practice Guidelines. Africa Fertilizer Strategy Assessment ESW Technical Report.
- BATIONO A. & MOKWUNYE A. U., 1991.** Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa: The experience of the Sahel. In: Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa. A. MOKWUNYE (Ed). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. PP 195-215
- BATIONO A., NDUNGURUR. J., NTARE R. R., CHRICTIANSON C.R & MOKWUNYE A.D.,1991.**Fertilizer management strategies for legume-based cropping systems in the West African Semi-Arid Tropics. In: Phosphorous nutrition of grain legumes in the semi-arid tropics. JOHANSEN,

C., LEE K.K. & SAHRAWAT K. L. (Eds), ICRSAT, PATANCHERU, A.P. 502324. Inde. PP 213-226.

BIOSUISSE/FIBL, 2013: «Les principes de la fertilité des sols: Construire sa relation avec le sol». Dossier; 32P.

BOUGMA B. A., 2013: Effets des précédents culturaux et des fumures sur la fertilité du sol et les rendements du riz pluvial. Mémoire de Master en Sciences du sol. Spécialité: Gestion Intégrée de la Fertilité du Sol (G.I.F.S). Institut du Développement Rural (IDR). Université Polytechnique de Bobo (UPB). Burkina Faso. 34P.

BRAY, R.H. & L.T. KURTZ., 1945. Determination of total, organic and available form of Phosphorous in soils. Soil Science. 59. PP39-45.

CASSMAN K.G., DOBERMANN A., STA. CRUZ P.C., GINES H.C., SAMSON M.I., DESCALSOTA J.P., ALCANTARA J.M.,DIZON M., OLK D.C., 1996. Plant soil. 182P, PP67-278.

CHANDRARATNA M.F., 1964: Genetics and breeding of rice. Longman, London UK, 389p

CHARREAU C., FAUCK R., 1969 - Mise au point sur l'utilisation agricole des sols de la région de Séfa (Casamance). Agronomie. Tropicale, XXV, 2.

CHAUSSOD R., 1996: «La qualité biologique des sols: évaluation et implications». Laboratoire de Microbiologie des Sols, INRA, 17 rue Sully- BV 1540-21034 Dijon; EGS 3_4_CHAUSSOD. Lu le 06/07/2015 à 18h15.18P.

CISSE D., 2011. Evaluation des performances agronomiques du placement profond de l'urée en riziculture irriguée dans la vallée du Sourou. Mémoire.d'Ingénieur du Développement Rural; option vulgarisation agricole. Institut du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo. Burkina Faso. 61P.

COINTEPAS J.P., MAKILO R., 1982 - Bilan de l'évolution des sols sous cultures intensives dans une station expérimentale en milieu tropical humide (Centrafrique). Cahier ORSTOM, série. Pédologie., XIX, 3. PP 271-282.

COMPAORE E., FARDEAU J.C., MOREL J.L., SEDOGO M.P. 2001. Le phosphore bio-disponible des sols: une des clés de l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest. Cahiers Agriculture, 2. PP 81-85.

COURTOIS B., 2007:«Une brève histoire de l'amélioration génétique du riz», CIRAD, UMR1096, TA40/03, 34398 Montpellier Cedex 5, France, 13P.

DABIN B., MAIGNIEN R., 1979 - Les principaux sols de l'Afrique de l'ouest et leurs potentialités agricoles. Cahier. ORSTOM, série. Pédologie., XVIII, n°4, PP 235-257.

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.

- DGPER, 2009.** Analyse de la compétitivité de la filière riz local au Burkina Faso. Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques.
- DHYAN S., CHHONKAR P.K., PANDEY R.N., 1999.** Soil, plant & water analysis - A method manual. IARI, New Delhi.
- DIALLO D., TAMINI Z., BARRY B. et FAYA A. O., 2010:** Effet de la fumure organique sur la croissance et le rendement du riz NERICA 3 (WAB 450 IBP 28HB) à Faranah. Faranah, Guinée. PP 2017-2025. Disponible sur <http://www.ajol.info/index.php/ijbcs>. Consulté le 18/04/2016 à 00h45.
- DPAH, 2015:**«Présentation générale de la province du Tuy», 23p.
- DRABO J., 2009.** Evaluation participative de la capacité nutritive des sols et des bilans minéraux dans les exploitations agricoles du micro bassin versant du Zondoma, dans le nord du Burkina Faso. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural. Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 49p.
- FAO, 2003:** Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique Subsaharienne, 10p.
- FAO, IFA et IMPHOS, 2003:**«Les engrais et leurs applications», Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole, Quatrième édition. 84P
- FAUCK R., MOUREAUX C., THOMA“ Ch., 1969 -** Bilans de l'évolution des sols de Sefà (Casamance Sénégal) après 15 années de culture continue. Agronomie Tropicale, 3,PP 263-301
- GALA B., TRAZIE J., CAMARA M., YAO-KOUAME A., KELI Z. J., 2011:**«Rentabilité des engrais minéraux en riziculture pluviale de plateau : Cas de la zone de Gagnoa dans le centre ouest de la Côte d'Ivoire». (46). Gagnoa, Côte d'Ivoire. PP 3153– 3162.
- HAEFELE S.M., WOPEREIS M.C.S., SCHOENBOHM A., WIECHMANN H., 2004.-** Field Crops Res. 85 (1), pp61-77.
- HANWAY, J.J. and HEIDEL H., 1952.** Soil analysis methods as used in Iowa state college soil testing laboratory. Iowa Agri. 57:1-31.
- HENAO J. & BAANANTE C.A., 2006.** Agricultural Production and Soil Nutrient Mining in Africa. Summary of IFDC Technical Bulletin, IFDC, Muscle Shoals, Alabama, USA. Disponible sur <http://www.idea.portea.fr/index.php?id=26>.
- HIEN, V., YOUL, S., SANOU, K., TRAORÉ, O., & KABORE, D., 1992.** Rapport de synthèse des activités du volet expérimentation du Projet Engrais Vivrier, 1986-1991. Résultats agronomiques et évaluations économiques des formules d'engrais à moindre coût pour les céréales. Ouagadougou, Burkina Faso: INERA.
- INERA, 2008.** Synthèse des tests PVS conduits en riziculture au Burkina Faso en 2006 et 2007. Convention ADRAO / INERA - PNUD, Burkina Faso, 30 p.
- INERA, 2016:** Fiche technique du riz pluvial NERICA (FKR45N). Burkina Faso. 2P.

INERA, 2016: Fiche technique du riz pluvial FKR59 (WAB99 84). Burkina Faso. 2P.

KABORE D. P., 2007: «Efficience technique de la production rizicole sur les périmètres aménagés du Burkina Faso». DT-CAPES N°2007-35, 1595, Burkina Faso. 30P.

KABORE S. P. 2011. La riziculture pluviale stricte, une contribution à l'accroissement de la production du riz au Burkina Faso. Mémoire d'Ingénieur du développement rural. Université Polytechnique de Bobo. Burkina Faso. 65p.

MAFAP/SAPAA, 2015-Riz au Burkina Faso: Améliorer la productivité, le fonctionnement des infrastructures routières et la transparence dans le circuit de commercialisation. Disponible sur www.agriculture.gov.bf.

MAHRH, 2006: « Analyse économique et financière de la filière riz au Burkina Faso », Agréer en collaboration avec Statistika.

MFAA, 2006. Indicateurs de durabilité des exploitations

MOREAU R., 1986- Fertilité des sols et fertilisation des cultures tropicales. ORSTOM Bondy. 58P

NACRO et al., 2014: Atelier « Production Rizicole au Burkina Faso : Enjeux, contraintes et perspectives », Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 12P.

NACRO S., 1994: Analyse d'un système trophique: la cécidomyie du riz et ses parasitoïdes au Burkina Faso. Thèse de Doctorat. Université de Rennes; PP 4-90.

NDIAYE M. & SIDIBE, 1992-Recherche de formules d'engrais N-P-K économiquement rentables pour la culture du maïs pluvial. ISRA. Dakar, Sénégal. 29P

NEPAD, 2013. Pratiques et options politiques pour améliorer l'élaboration et la mise en œuvre des programmes de subvention des engrais en Afrique subsaharienne. Analyse de politiques publiques, 93p.

ONASANYA E., 2015: «Référence 15: La gestion intégrée de la fertilité du sol», 12P. Consulté le 25/10/2015. 14h48.

OUATTARA B., 2009: Analyse-diagnostic du statut organique et de l'état structural des sols des agrosystèmes cotonniers de l'Ouest du Burkina Faso (Terroir de Bondoukou). Thèse doctorat. Sciences Naturelles; option: Gestion intégrée des ressources naturelles; spécialité: Sciences du sol. Université Polytechnique de Bobo. Burkina Faso. 186P.

OUATTARA D., 2015: Sorghum grain yield and nutrient dynamics under Varying rates of fertilizer applications in the Sub-sudanian zone of Burkina Faso. Mémoire de master en sciences des sols. Université des sciences et technologies de Kwamé Nkrumah, Ghana. 73P

OUATTARA L. A., 2014: Effet des rotations et des fumures à base du Burkina phosphate sur la croissance et le rendement du riz pluvial strict dans la zone Soudanienne du Burkina Faso. Mémoire de master en production végétale. Université Polytechnique de Bobo. Burkina Faso. 49P.

PIERI C., 1989-Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement au Sud du Sahara. Agridoc-International. Paris, France. 444p.

POUYA B. M., 2008-Contribution à l'évaluation des performances agro-pédologiques de formules de fumures organo-phosphatées dans la zone Est du Burkina Faso ; cas de trois villages de la province de la Tapoa (Kotchari, Peninga et Fantou). Mémoire d'ingénieur du développement rural (IDR). Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Burkina Faso. 90P.

RAKOTOARISOA J., OLIVER R., DUSSERRE J., MULLER B., DOUZET J.M., MICHELLON R., MOUSSA N., RAZAFINJARA L. A., RAJERARISON C. ET SCOPEL E., 2010: Bilan de l'azote minéral au cours du cycle du riz pluvial sous systèmes de culture en semis direct sous couverture végétale en sol ferrallitique argileux à Madagascar. Etude et Gestion des Sols, Volume 17, 2. Madagascar. PP 169 -186.

ROOSE E., 1981 - Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. ORSTOM T.D. no 30, 569 p.

SANOGO S., CAMARA M., ZOUZOU M., KELI Z., MESSOUM F. G., SEKOU A., 2010: Effets de la fertilisation minérale sur des variétés améliorées de riz en condition irriguée à Gagnoa, Côte d'Ivoire. (35) Gagnoa, Côte d'Ivoire. PP 2235 – 2243.

SEDOGOP.M., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture /incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de doctorat. Université de Cocody, Cote d'Ivoire, 285p

SEGDA Z., YAMEOGO L. P., GNANKAMBARY Z., SEDOGO M. P., 2013: Effets induits du type de fumure sur les paramètres chimiques du sol et sur le rendement paddy dans la plaine rizicole de Bagré au Burkina Faso. (036). Burkina Faso. PP 35 – 46.

SIBOMANA 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'étude. Ingénieur du Développement Rural; option agronomie. Université Polytechnique de Bobo. Burkina Faso.96P.

SOME N.A, HIEN V. & OUEDRAOGO S. J., 2006: Amélioration du statut organique d'un sol ferrugineux tropical lessivé sous jachère artificielle à *Andropogon* spp. au Burkina Faso: effet des traitements sur la chimie du sol. TROPICULTURA, 24, 4, Burkina Faso. PP 200-207.

TIEMTORE C. B., 2001: «Zonage agro climatique des cultures de riz pluvial, de coton et de maïs dans l'ouest du Burkina». Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural; option agronomie Université Polytechnique de Bobo. Burkina Faso. 101P.

TRAORÉ A., TRAORÉ K., BADO B V., TRAORÉ O., NACRO B. H.et SEDOGO M. P., 2015: Effet des précédents culturaux et de différents niveaux d'azote sur la productivité du riz pluvial strict sur sols ferrugineux tropicaux de la zone sud soudanienne du Burkina Faso. 9(6): Burkina Faso. PP 2847-2858.

TRAORE I. O., 2015: “Mineral fertilizer application and grain yield of two maize varieties in the sub-sudanian zone of Burkina Faso”. Mémoire d’Ingénieur en foresterie. Université des sciences et technologies de Kwamé Nkrumah. KUMASI, GHANA. 99P.

TRAORÉ O., SINA J. S., FROSSARD E. 2001. Disponibilité du phosphore de composts issus de déchets organiques pour le trèfle blanc (*Trifolium repens*). Cahiers Agricultures, 10: PP 389-396.

WOLFF H. T. P., 1995.-

WALKLEY A., BLACK J. A., 1934- Soil Science (37). PP 29-38.

WOPEREIS M. C. S., DEFOER T., IDINOBA P., DIACK S., DUGUÉ M.J., 2008.- Curriculum d’apprentissage participatif et recherche action (APRA) pour la gestion intégrée de la culture de riz de bas-fonds (GIR) en Afrique subsaharienne: Manuel technique. Le Centre du riz pour l’Afrique (ADRAO), Cotonou, Bénin. PP vi + 128

ANNEXES

Annexe 1: Calendrier cultural de l'expérimentation à la station de BONI

Variété de riz pluvial	WAB 99 84	FKR 45N
Labour	12/07/2015	20/07/2015
Application Compost	13/07/2015	15/07/2015
Semis	14/07/2015	21/07/2015
Reprise semis	22/07/2015	29/07/2015
1er sarclage	18JAS/10JAR	23JAS/15JAR
2è sarclage	46JAS/38JAR	42JAS/34JAR
3è sarclage	58JAS/50JAR	62JAS/54JAR
Démariage	29JAS/21JAR	44JAS/36JAR
Désherbage	71JAS/63JAR	70JAS/62JAR
1er apport NPK+Urée	20JAS/12JAR	27JAS/19JAR
2è apport(Urée)	48JAS/40JAR	45JAS/37JAR
Traitement phytosanitaire	Aucun	Aucun
Début initiation paniculaire	52JAS/44JAR	47JAS/39JAR
Fin initiation paniculaire	66JAS/58JAR	66JAS/58JAR
Récolte	104JAS/96JAR	106JAS/98JAR
Mesure de croissance1 (MC1)	55JAS/47JAR	48JAS/40JAR
MC2	69JAS/61JAR	62JAS/54JAR
MC3	83JAS/75JAR	76JAS/68JAR
MC4	97JAS/89JAR	90JAS/82JAR
Prélèvement sol 1(PS1)	57JAS/49JAR	50JAS/42JAR
PS2	71JAS/63JAR	64JAS/56JAR
PS3	85JAS/77JAR	78JAS/70JAR
PS4	99JAS/91JAR	92JAS/84JAR

JAS: Jour Après Semis; JAR: Jour Après Ressemé

Annexe 2: Doses des éléments minéraux appliqués par traitement

Traitement	Application de base				2 ^e application
	Urée	TSP	KCl or S	Paquet	Urée
Riz : parcelle élémentaire de 3 mx6 m=18 m²; quantité d'engrais par parcelle élémentaire en g					
30N	59	-	-	-	59
60N	118	-	-	-	118
90N	118	-	-	-	235
120N	118	-	-	-	352
0N-15P		135	-	-	-
30N-15P	59	135		-	59
60N-15P	118	135		-	118
90N-15P	118	135		-	235
120N-15P	118	135	-	-	352
90N-7.5P	118	68	-	-	235
90N-22.5P	118	203	36 ou 9	-	235
90N-15P-10K/5S	118	135	72 ou 18	-	235
90N-15P-20K/10S	118	135	108ou 27	-	235
90N-15P-30K/15S	118	135	72 ou 18	-	235
Diagnostic	118	135	72	139	235
La quantité totale d'engrais à appliquer par répétition en kg est: urée 4.83; TSP 1.49; KCl 0.58; S 0.11; 0.139 de mélange pour le traitement diagnostic					

Le paquet de diagnostic avec composé de 67%MgSO₄ ; 3,45% Bore granulaires et 7,35% de sulfate de zinc monohydrate.

**Annexe 3: Effet des formules d'engrais et de la matière organique sur les paramètres chimiques
su sol**

Traitements	FKR45N				WAB99 84			
	C (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	C (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
0N-0P-0K	0,83	0,059	129	1930	0,46	0,037	172	2267
90N-0P-0K	0,75	0,055	106	1671	0,55	0,044	192	2283
90N-15P-0K	0,75	0,056	111	1647	0,55	0,041	177	2087
90N-7,5P-0K	0,89	0,063	122	1969	0,51	0,04	183	2097
90N-22,5P-0K	0,78	0,056	119	2127	0,5	0,043	180	2397
90N-15P-10K	0,82	0,06	120	2077	0,55	0,043	177	1952
90N-15P-20K	0,73	0,054	108	2005	0,53	0,042	171	1819
90N-15P-30K	0,8	0,056	109	2106	0,49	0,038	196	1982
90N-15P-20K-15S-2,5Zn- 10Mg-0,5B	0,74	0,056	121	2192	0,53	0,042	338	1904
Probabilité de F	0,782	0,883	0,165	0,607	0,782	0,883	0,165	0,607
Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Effet de la matière organique								
0 t/ha	0,73	0,053	114	1953	0,49	0,04	201	1778
5 t/ha	0,85	0,061	118	1986	0,55	0,042	195	2398
probabilité de F	0,005	0,022	0,723	0,015	0,005	0,022	0,723	0,015
Signification	TS	S	NS	S	TS	S	NS	S

TS= Très Significatif, **NS** = Non Significatif, **S** = Significatif.

Fertilisants	NH ₄ ⁺ -N (mg/kg de sol)		P assimilable (mg/kg de sol)		K disponible (mg/ sol)	
	FKR45N	WAB99 84	FKR45N	WAB99 84	FKR45N	WAB99 84
0N-0P-0K	52,51	39,29	10,71	26,05	56,9	56,9
90N-0P-0K	51,84	46,96	10,32	26,36	49,1	49,1
90N-15P-0K	53,88	42,48	12,29	24,36	45,5	45,5
90N-15P-10K	56,05	45,31	11,46	32,83	48,3	48,3
90N-15P-20K	57,84	42,61	10,5	26,75	51,2	51,2
90N-15P-30K	55,74	40,06	11,66	28,13	51,5	51,5
90N-7,5P-0K	55,77	43,11	11,4	23,43	49,8	49,8
90N-22,5P-0K	54,59	41,97	13,86	22,81	50,6	50,6
90N-15P-20K-15S-2,5Zn- 10Mg-0,5B	57,52	43,64	12,13	24,63	47,6	47,6
probabilité de F	0,232	0,232	0,129	0,129	0,42	0,42
Signification	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Effet de la matière organique						
0 t/ha	53,39	40,14	10,62	26,87	49,3	49,3
5 t/ha	56,78	45,51	12,56	25,43	50,8	50,8
probabilité de F	<.001	<.001	0,077	0,077	0,026	0,026
Signification	HS	HS	NS	NS	S	S

HS = Hautement Significatif, **NS** = Non Significatif, **S** = Significatif

Annexe 4: Effet des formules d'engrais et de la fumure organique sur les rendements paddy et paille par variété de riz.

Formule	Rendement grains (Kg/ha)				Rendement paille (kg/ha)	
	VARIETES					
	FKR 45N	Gain par rapport au témoin (%)	WAB9 9 84	Gain par rapport au témoin (%)	FKR 45N	WAB9 9 84
0-0-0	553,61	-	932,4	-	786,71	1748,25
30-0-0	349,65	-36,84	1252,9 1	34,37	655,59	1456,88
60-0-0	786,71	42,11	1340,3 3	43,75	1311,1 9	1821,1
90-0-0	670,16	21,05	1354,9	45,31	1092,6 6	1384,03
120-0-0	786,71	42,11	1893,9 4	103,13	1311,1 9	2039,63
0-15-0	553,61	0,00	1136,3 6	21,87	946,97	1748,25
30-15-0	611,89	10,53	1252,9 1	34,37	874,13	1602,56
60-15-0	495,34	-10,53	1646,2 7	76,56	626,46	1821,1
90-15-0	597,32	7,90	1165,5	25,00	1238,3 4	2112,47
120-15-0	888,69	60,53	1544,2 9	65,63	1311,1 9	2185,31
90-7,5-0	743,01	34,21	1165,5	25,00	1238,3 4	1966,78
90-22,5-0	451,63	-18,42	1354,9	45,31	728,44	1821,1
90-15-10	772,14	39,47	1646,2 7	76,56	1252,9 1	2112,47
90-15-20	597,32	7,90	1369,4 6	46,87	1078,0 9	1893,94
90-15-30	976,11	76,32	1296,6 2	39,06	1107,2 3	1821,1
90-15-20-15S- 2,5Zn-10Mg-0,5B	801,28	44,74	1675,4 1	79,69	1092,6 6	2112,47
Probabilité de F	0,544		0,544		0,765	
LSD (0,05)	721,97 9		721,97 9		0,765	
0 t/ha	635,56		1449,5 9		836,419	994,32 1857,52
5 t/ha	693,84		1303,9		836,419	1087,1 9 1848,41
Probabilité de F	0,481		0,481		0,175	0,175
LSD (0,05)	732,83 1		732,83 1			618,259

LSD = ppds = plus petite différence significative