

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	i
DEDICACE.....	iv
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES CARTES	viii
RESUME.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	4
1.1. Généralités sur le riz.....	4
1.1.1. Description générale de la plante de riz	4
1.1.1.1 Taxonomie.....	4
1.1.1.2 Morphologie du riz.....	4
1.1.1.3 Biologie du riz	5
1.1.2. Exigences écologiques du riz irrigué.....	6
1.1.2.1 Besoins en eau	6
1.1.2.2 Besoins en température	7
1.1.2.3 Besoins en lumière et en photopériodisme	7
1.1.2.4 Besoins en humidité	7
1.1.2.5 Besoins édaphiques	7
1.1.3. Différents types de riziculture	7
1.1.4 Production et consommation du riz au Burkina Faso.....	8

1.2. Gestion de la Fertilité des sols en Riziculture Irriguée	8
1.2. 1. Notion de fertilité	8
1.2.1.1 Fertilité physique	9
1.2.1.2. Fertilité chimique	9
1.2.1.3. Fertilité biologique	9
1.2.2 Critères de fertilité en riziculture irriguée	10
1.2.3. La fertilité des sols de rizières au Burkina Faso.....	10
1.2. 4. Fertilisation en riziculture irriguée	11
1. 2. 4. 1. Types de fumures et leurs effets sur le rendement et la fertilité du sol.....	11
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....	15
2.1. Description du milieu d'étude	15
2.1.1. Situation géographique.....	15
2.1.2. Climat et végétation	15
2.1.3. Sols	17
2.1.4 Caractérisation chimique globale des sols de la plaine de Bagré.....	17
2.1.5 Hydrologie, morphopédologie, géomorphologie	19
2.1.6 Recommandations culturelles.....	19
2.2. Matériel d'étude	19
2.2.1. Matériel végétal.....	19
2.2.2. Fertilisants utilisés.....	20
2.3. METHODES	20
2.3.1. Dispositif expérimental	20
2.3.2 Conduite de l'essai	21
Préparation du sol.....	21
Mise en place de la pépinière	22
Repiquage.....	22
Fertilisation minérale.....	22

Entretien	22
Prélèvements de sol	22
2.3.3 Analyse physico-chimique de sols	24
2.3.3 Mesure agronomique.....	24
2.3.4 Analyses statistiques des données	25
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	26
3.1 RESULTATS	26
3.1.3 EFFETS DES TYPES DE FUMURES SUR LE RENDEMENT PADDY	26
3.1.4 EFFETS DES TYPES DE FUMURES SUR L'EVOLUTION DES PARAMETRES CHIMIQUES.....	27
2.3 DISCUSSION	31
CONCLUSION	33
BIBLIOGRAPHIE	34

DEDICACE

A mes parents, OUEDRAOGO Tindegma et OUEDRAOGO Joanas née NANA pour leur soutien multiforme et constant,

A mes frères : Jonathan, Dieudonné et ma sœur Dorcas pour leur collaboration fraternelle,

A tous ceux qui m'ont apporté leur soutien moral, financier et matériel pendant les moments difficiles.

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est le résultat de dix (10) mois de travaux réalisés au sein du Programme Riz et Riziculture de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) de l'Ouest. Nous tenons à remercier tous les acteurs qui sont intervenus dans l'élaboration de ce document. Nos remerciements s'adressent :

- au Docteur Jacob SANOU, Directeur Régional de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles de l'Ouest pour nous avoir accueilli au sein du Centre;
- au Docteur Ibrahima OUEDRAOGO, Chef du Programme Riz et Riziculture pour avoir autorisé notre stage au sein de sa structure ;
- au Docteur Zacharie SEGDA, Directeur Général du Bureau National des Sols (BUNASOLS), notre maître de stage, pour avoir accepté la tutelle scientifique de ce travail. Nous lui réitérons nos sincères remerciements pour tous les efforts consentis;
- au Docteur Bernard BACYE, Directeur de l'Institut du Développement Rural (IDR) et notre Directeur de mémoire pour son implication personnelle à l'aboutissement de notre travail ;
- au Docteur Fernand SANKARA, Directeur Adjoint aux Affaires Pédagogiques (DAAP) et l'ensemble du corps enseignant ;
- à Monsieur Louis Poulouma YAMEOGO, Doctorant en Agropédologie/Nutrition des Plantes au programme Riz et Riziculture pour son accompagnement;
- à Monsieur Pierre SAYAOGO, pour son soutien technique tout au long du stage;
- à Monsieur Gassi LOUGUE, toutes nos gratitude pour ses multiples conseils dans la réalisation de ce document.

Nous ne saurions passer sous silence le rôle joué par Mr ZONGO Fidèle et Arouna SIGUE, techniciens au sein du Programme GRN/SP de l'Est (Fada N'Gourma) pour leur contribution aux observations et à la collecte de données.

Merci aux camarades stagiaires Aboubacar TRAORE, Aristide BAKO et Stanislas AMOUN nous vous remercions pour votre collaboration.

A tous mes amis Mamadou KIENDREBEOGO, Justin OUEDRAOGO, Siriki TRAORE, Yaya ZOUGOURI et Barwendé NANEMA.

LISTE DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS

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

AO : amendement organique

AO+fmv : parcelles avec amendement organique plus fumure minérale et avec une culture de riz

AO+riz : parcelles avec amendement organique et avec une culture de riz

AO-riz : parcelles avec amendement organique mais sans culture de riz

CARD : Coalition pour le Développement de la Riziculture en Afrique

CEC: Capacité d'Echange Cationique

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

EPA: Enquête Permanente Agricole

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

FKR: Farako-bâ Riz

fmv : parcelles avec fumure minérale vulgarisée et avec une culture de riz

fmv+fov : parcelles avec fumure minérale vulgarisée plus fumure organique vulgarisée et avec une culture de riz

fov: parcelles avec fumure organique vulgarisée et supportant une culture de riz

IDR: Institut du Développement Rural

INERA: Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

IRRI : International Rice Research Institute

JAR : Jours Après Repiquage

LTFE: Long Term Fertility Experiment

NPK: Azote-Phosphore-Potassium

RYMV: Rice Yellow Mottle Virus

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Caractéristiques physico-chimiques du sol (limono-sableux) avant l'expérimentation (saison humide 2002).....	18
Tableau II: Caractéristiques des variétés FKR19 et FKR 64	20
tableau III: Teneurs des paramètres chimiques du compost utilisé.....	20
Tableau IV :Effets des types de fumures sur le rendement paddy.	26
Tableau V: Effets de fumures sur l'évolution des paramètres chimiques	29

LISTE DES FIGURES

Figure 1: La morphologie de la plante de riz.....	5
Figure 2: Figure montrant la dernière feuille ou feuille paniculaire	5
Figure 3: Dispositif expérimental de l'essai "matières organiques" en station à Bagré	23

LISTE DES CARTES

Carte N° 1 : Carte phytoclimatique du Burkina Faso.....	16
--	----

RESUME

Un essai de fertilisation a été conduit sur la plaine rizicole de Bagré au Burkina Faso dans le but de suivre l'évolution du rendement et de la fertilité de sol. L'objectif de notre étude a été d'évaluer les effets de la fumure minérale, organique et organo-minérale sur le rendement et la fertilité de sol au cours de la campagne sèche 2016. Un dispositif expérimental (split plot) a été utilisé avec deux variétés de riz en parcelles principales et huit modes de gestion de la fumure organo-minérale en parcelles secondaires. Les rendements les plus élevés ont été observés avec les traitements apportant la fumure minérale soit en combinaison la fumure organique ou l'amendement organique. Des surplus de rendement de 3098 kg/ha, 3830 kg/ha et 4143 kg/ha ont été observés respectivement avec la fumure minérale ou en association avec la fumure organique ou avec l'amendement organique par rapport au témoin absolu. La mise en culture contribue à une baisse des teneurs du sol en pH, en phosphore assimilable, en magnésium et en potassium échangeables et à une hausse des teneurs du sol en carbone organique, en calcium échangeable et en capacité d'échange cationique. La variété FKR 64 s'est montrée plus productive que la variété FKR 19. La riziculture irriguée sur la plaine de Bagré affecte les paramètres chimiques qui en retour agissent sur la fertilité du sol et sur rendement paddy.

Mots clés : mode de gestion de la fumure, rendements, fertilité du sol, témoin absolu, paramètre chimique.

ABSTRACT

In irrigated rice plain of Bagré, in Burkina Faso experimentation was established during nineteen successive seasons to determine paddy yield and soil fertility. Object of our research was evaluated effects of mineral manure, organic manure and organo-mineral manure application of chemicals parameters and paddy yield during of 2016 dry season. The experimental selected was a split plot with two rice varieties in main plots and eight modes of fertilizer managements combining organics and mineral fertilizer in secondary plots. Superior yield paddy has observed with the treatments mineral manure or combining organic fertilizer. Over-productions of 3098 kg/ha, 3830 kg/ha and 4143 kg/ha has observed respectly by mineral manure or in combining organic manure or organic amendment compared to fallow. ' Irrigation contributed to increase pH, calcium exchangeable and phosphor assimilabe rate and decrease potassium and magnesium exchangeable rate. Variety FKR 64 was more yielding that variety FKR 19. In irrigated rice plain of Bagré affect chemicals parameters what determine soil fertility and yield paddy.

Keywords: modes of fertilizer management, paddy yield, soil fertility, fallow, chemical parameters.

INTRODUCTION

Au Burkina Faso, l'économie est dominée par la production agricole, qui occupe environ 80% de la population et contribue à près de 40% au Produit Intérieur Brut ou "PIB"(FAO, 2011). La production céréalière représente à elle seule 67,3% des terres emblavées avec 4% pour la production rizicole (EPA, 2015).

Selon l'Enquête Permanente Agricole (EPA, 2015) la production rizicole a été de 347 501 tonnes de paddy durant la campagne 2014-2015. Elle ne couvre que 59,54% des besoins de la population soit un déficit de 236 058 tonnes que l'Etat doit compléter par des importations. De ce fait, l'accroissement de la production serait un enjeu stratégique dans la recherche de solution contre l'insécurité alimentaire.

Depuis la crise alimentaire de 2008, l'Etat a entrepris des politiques d'aménagements hydro-agricoles, d'aménagements de bas-fonds et de subvention des intrants (en particulier engrais et semences) au profit des producteurs. Le pays dispose d'importantes terres exploitables soit environ 500 000 ha de bas-fonds aménageables, près de 233500 ha de terres irrigables dont moins de 10% exploitées et environ 1 200 barrages et retenues d'eau.

Malgré les atouts dont dispose ce secteur, les rendements moyens nationaux pour la campagne 2014-2015 tournent autour de 2,4 t/ha (EPA, 2015) alors que le potentiel de rendement en riziculture irriguée peut atteindre 8-10 t/ha (Dingkuhn et Sow, 1997; Wopereis et *al.*, 1999 cités par Segda, 2006). Cette situation s'expliquerait par la faible fertilité potentielle des sols et une absence de stratégies de gestion de la fertilisation à long terme des rizières.

Face à cette situation, il est primordial d'initier des stratégies permettant d'augmenter les rendements tout en améliorant la fertilité des sols. C'est dans ce contexte que les essais de fertilisation de longue durée ont été mis en place. Depuis les années 1960, le Burkina Faso expérimente les essais de fertilisation de longue durée dans le but d'améliorer la production agricole. La plupart de ces expériences a été menée avec la fumure organo-minérale en condition aérobie. Ils ont permis non seulement d'accroître les rendements mais aussi d'améliorer la fertilité des sols (Hien, 1990, Bado *et al.*, 2012, Bationo *et al.*, 2012). En riziculture irriguée, ces études sont récentes, pourtant le besoin de la population est de plus en plus pressant. Comment produire plus et de façon durable pour satisfaire les besoins alimentaires en riz de la population ? Une méthode de fertilisation à long terme a été initiée

sur la plaine irriguée de de Bagré en 2002, dans le but de suivre l'évolution du rendement de la fertilité du sol suite l'application de la fumure minérale, organique et organo-minérale.

Les recherches conduites par Segda (2006) sur la plaine irriguée de Bagré sur une période de 5 campagnes rizicoles ont montré une augmentation de la production et une accumulation de la matière organique dans le sol, source d'espoir pour la satisfaction des besoins alimentaires en riz. Cependant, peu de données existent sur l'évolution des rendements et de la fertilité des sols pour une période plus longue de production rizicole irriguée.

C'est dans cette optique que notre étude a été conduite sous le thème : « **Effets de la fumure minérale, organique et organo-minérale sur le rendement du riz irrigué et la fertilité du sol sur la plaine de Bagré au Burkina Faso : évaluation de la campagne sèche 2016.**

Dans le but de mieux cerner les changements qui pourraient survenir sur le rendement et la fertilité de sols suite à l'application des fumures à long terme, nous avons initié et conduit les activités de la campagne de contre saison sèche 2016.

L'objectif global est de contribuer à une augmentation durable de la production en vue de satisfaire les besoins et exigences de la population. Il s'agira d'une manière spécifique de :

- d'évaluer les effets du type de fumure sur le rendement paddy.
- d'évaluer les effets de la fumure minérale, organique et organo-minérale sur le comportement de certains paramètres chimique du sol.

Deux hypothèses soutiennent notre étude. Ce sont :

- la mise en culture continue des sols en riziculture irriguée conduit à une diminution des teneurs du sol en matière organique;
- l'application de la fumure organique permet d'améliorer la fertilité des sols et les rendements du riz en riziculture irriguée.

Le présent document s'articule autour des points suivants :

- une introduction ;
- trois chapitres dont :
 - ✓ le chapitre n°1 consacré à la revue bibliographique ;

- ✓ le chapitre n°2 le matériel et la méthodologie utilisés ;
- ✓ le chapitre n°3 consacré aux résultats et à la discussion.
- une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Généralités sur le riz

1.1.1. Description générale de la plante de riz

1.1.1.1 Taxonomie

Le riz est une graminée autogame d'origine tropicale, appartenant au genre *Oryza*. Il compte une vingtaine d'espèces parmi lesquelles deux sont cultivées : *Oryza sativa* L. et *Oryzaglaberrima* Steud (Arraudeau, 1998).

L'espèce *Oryza sativa* L. est issue d'*Oryza rufipogon* (Lacharme, 2001 a). Elle est originaire d'Asie. L'espèce *sativa* comprend deux sous espèces : l'*indica* et la *japonica*. L'*indica* a un fort tallage et des grains longs et fins tandis que la *japonica* a un tallage moyen et des grains courts et arrondis.

Oryza glaberrima Steud est originaire d'Afrique et compte deux principaux types: le type pluvial et le type flottant. L'écosystème (pluvial pour le type pluvial et aquatique pour le type flottant) et la précocité (précoce pour le pluvial et tardif pour l'aquatique) sont les caractères distinctifs de ces deux types (Arraudeau, 1998).

1.1.1.2 Morphologie du riz

La hauteur de la plante varie de 0,5 à 1,5 m et peut même atteindre 10 m pour le riz flottant (ADRAO, 1992). La morphologie est faite d'organes végétatifs (racines, tiges et feuilles) et reproducteurs (l'inflorescence et le fruit) (figure1).

L'organisation végétative est faite d'un système racinaire de type fasciculé. La tige est ronde et creuse. Elle est constituée d'un certain nombre de nœuds et d'entre-nœuds. Chaque nœud porte une feuille et un bourgeon qui se transforme en une talle. Quant aux feuilles, elles sont sessiles et plates. La dernière feuille avant la panicule s'appelle feuille paniculaire (figure2).

Pour ce qui est des organes reproducteurs, l'inflorescence est en forme de panicule et est portée par le dernier entre-nœud de la chaume. Elle se compose d'une base ou cou paniculaire, d'un axe portant des branches primaires et secondaires avec des pédicelles et des épillets. Le fruit ou le riz paddy est un caryopse enveloppé par deux glumelles.

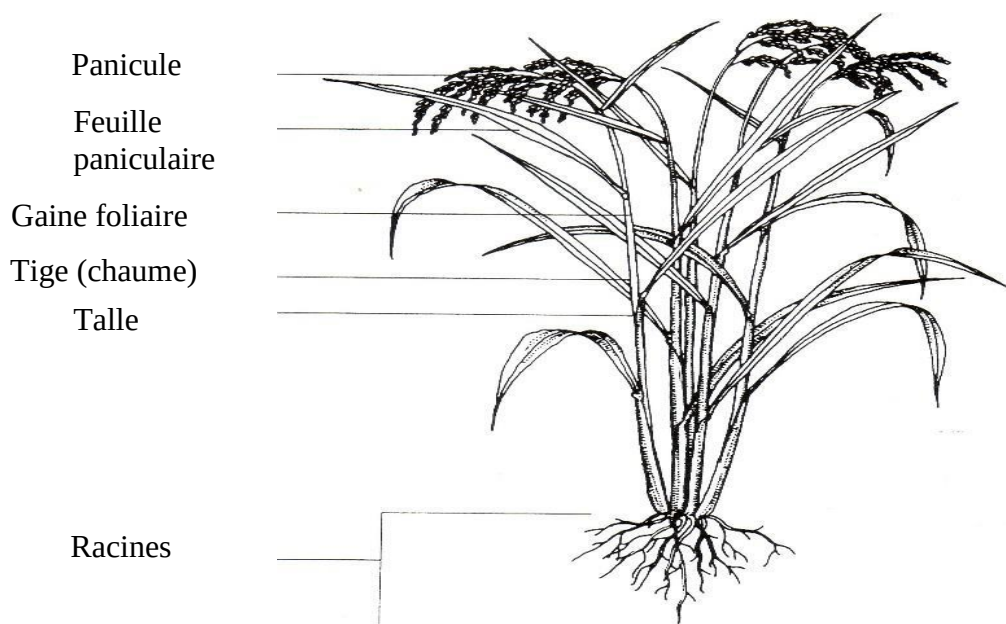


Figure 1: La morphologie de la plante de riz

Source : ADRAO (1995)

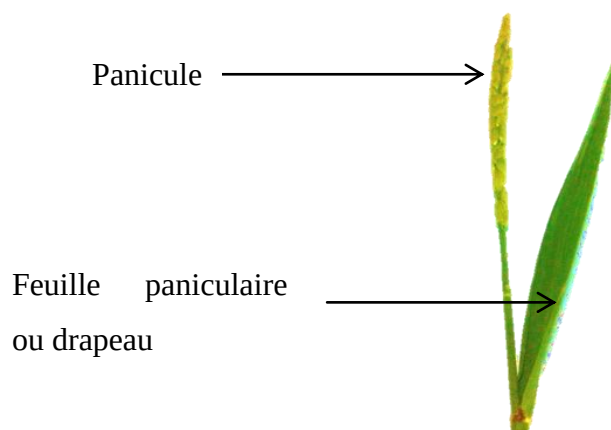


Figure 2 : Figure montrant la dernière feuille ou feuille paniculaire

Source : Ouédraogo (2016)

1.1.1.3 Biologie du riz

Le cycle végétatif des variétés de riz cultivées varie entre 90 et 170 jours (Vergara, 1984). Au Burkina, le cycle semis-maturité est de 97 à 115 jours pour les variétés pluviales et de 115 à 145 jours pour les variétés irriguées (INERA, 2005). Le cycle végétatif du riz varie en fonction des variétés, des conditions climatiques, des pratiques culturales et se compose de trois phases : végétative, reproductive et de maturité.

Phase végétative

Selon l'ADRAO (1995), cette phase s'étend de la germination à l'initiation paniculaire. Durant cette phase, la plante traverse les stades de développement suivants : germination-émergence, plantule, tallage et élongation des entre-nœuds (selon le type de variétés). Cette phase est influencée par les températures basses et la photopériode (longueur du jour), qui peuvent, lorsque la variété est sensible, allonger sa durée. La plupart des pratiques culturales s'opèrent durant la phase végétative, notamment la lutte contre les mauvaises herbes (sarclage ou traitement chimique), la fertilisation, la lutte contre les insectes et les maladies.

La phase reproductive

Elle dure en général de 21 à 30 jours (Sié et *al.*, 2009). Elle comporte les stades d'initiation paniculaire, de montaison et d'épiaison. Elle est caractérisée par la naissance de la panicule et le développement des épillets et des organes reproducteurs. La phase reproductive n'est pas affectée par la photopériode, cependant elle est très sensible aux températures basses, à la sécheresse (déficit hydrique) et à la salinité, qui peuvent occasionner la stérilité des organes reproducteurs des épillets, ce qui se traduit par des grains vides.

La phase de maturité

Elle s'étale de la floraison à la maturité où le grain passe des stades laiteux, pâteux à la maturité définitive. Elle a également une durée relativement fixe d'environ 30 jours, quelles que soient la variété et la saison (Vergara, 1984). Elle est sensible aux aléas climatiques tels que les températures élevées, les vents violents et la sécheresse (déficit hydrique) durant les 15 premiers jours qui suivent la floraison (stade pâteux). Le drainage des parcelles ou arrêt de l'irrigation au stade pâteux n'a pas d'influence négative sur la production, il est même bénéfique pour le riz ; il homogénéise la maturation et facilite la récolte.

1.1.2. Exigences écologiques du riz irrigué

1.1.2.1 Besoins en eau

La culture du riz irrigué exige beaucoup d'eau. Ces besoins en eau évoluent en fonction du cycle végétatif de la plante et des conditions édaphiques. Ces besoins oscillent de 1200 à 2000 m³/ha/an en écologie irriguée. La phase d'initiation paniculaire est particulièrement sensible.

1.1.2.2 Besoins en température

La température est le facteur le plus déterminant dans la production du riz (Balaro et al, 2014). L'optimum le long du cycle est entre 28 et 30°C, le minimum vers 13-14°C et le maximum vers 38-40°C. La germination est inhibée au-delà de 45°C (Arraudeau, 1998).

1.1.2.3 Besoins en lumière et en photopériodisme

L'ensoleillement agit directement sur la croissance de la plante et par conséquent détermine le rendement (Grist, 1981 cité par Koné, 2010). L'intensité lumineuse optimale requise est atteinte pour des valeurs moyennes de radiation solaire de 350 à 450 calories/cm/jour (Balaro et al 2014). Le riz est par essence une plante de jours courts, initiant les primordia floraux en réponse à des jours courts (Arraudeau, 1998). Le photopériodisme a une forte influence sur la durée du cycle et le rendement.

1.1.2.4 Besoins en humidité

Le riz a besoin d'une humidité relative de 70 à 80% durant la floraison qui est la phase la plus sensible. Une humidité relative inférieure à 40% ne permet pas l'ouverture des épillets (Balaro et al., 2014).

1.1.2.5 Besoins édaphiques

En culture irriguée, les sols à proportion équilibrée en argile, limon et sable sont propices et donnent de meilleurs rendements (Doorembos et Kassam, 1987, cités par Nadié, 2008). Les sols alluvionnaires sont propices à la culture du riz surtout en irrigué du fait de leur teneur en éléments minéraux et en matières organiques. En riziculture irriguée le pH optimal se situe entre 5,5 et 7,2 (Koné, 2010 ; De Datta, 1981; Landon, 1991; Narteh et Sahrawat, 1999 cités par Segda 2006).

1.1.3. Différents types de riziculture

En fonction de l'alimentation hydrique, trois modes de rizicultures sont pratiqués au Burkina Faso. Selon la DGPER (2011) il s'agit de la :

- riziculture irriguée constituant le mode le plus performant de production de riz avec des rendements de 4 à 7 tonnes/ha, elle occupe en moyenne 23% des superficies rizicoles et fournit près de 53% de la production nationale en riz ;
- riziculture de bas-fond occupant 67% des superficies totales exploitées et fournit 42% de la production nationale. Le rendement moyen varie de 1,3 t/ha (bas-fonds non-

aménagés) à 2,5 t/ha (bas-fonds aménagés). Le potentiel en rendement est de 4t/ha pour les bas-fonds aménagés ;

- riziculture pluviale stricte représentant 10% des superficies dévolues au riz (4000 ha), elle fournit 5% de la production nationale en riz avec un rendement moyen de 1 t/ha.

1.1.4 Production et consommation du riz au Burkina Faso

La production du riz s'est accrue au cours de ces dernières années. Sur la période 2007-2014, elle a connu une hausse de 404% (passant de 68 916 tonnes en 2007 à 347 501 tonnes en 2014) et la superficie de 256% (passant de 40 535ha à 144 261 ha) contre une progression des rendements de 42% (CARD, 2014). Cette nette amélioration s'explique par des mesures de soutien au secteur rizicole, en témoigne la Stratégie Nationale de Développement de la Riziculture (SNDR). Initiée en 2009, elle a pour objectif global de contribuer à une augmentation durable de la production nationale de riz en quantité et en qualité afin de satisfaire aux besoins et exigences des consommateurs. Les efforts consentis ont permis de relever la contribution de la filière rizicole à la croissance économique passant de 8, 10, 12 à 15 milliards de FCFA respectivement pour les années 2008, 2010, 2012 et 2014 (CARD, 2014). Outre les mesures d'accompagnements, la production rizicole bénéficie d'un potentiel d'environ 500 000 ha de bas-fonds aménageables ; de près de 233.500 ha de terres irrigables dont moins de 10% exploitées et environ 1 200 barrages et retenues d'eau (FAO, 2014).

Malgré l'augmentation de rendement suite au soutien que bénéficie la production, les besoins alimentaires de la population ne sont entièrement satisfaites. La production nationale ne couvre à peine que 47 pour cent des besoins de la population. Cet accroissement de la demande est estimé à 7% par an (DGPER, 2011). Cela s'explique par l'augmentation de la population et aux changements des habitudes alimentaires dans lesquelles le riz prend une place de plus en plus importante. En effet, la consommation annuelle par tête est passée de 18 kg en 1999 à 35 kg en 2013 (FAO, 2014) et atteint 50 kg par personne dans les centres urbains de Ouagadougou et de Bobo-Dioulasso.

Ainsi, le Burkina Faso importe le complément pour satisfaire la demande. En 2013, le Burkina Faso a dépensé plus de 61,9 milliards de FCFA pour les importations (FAO, 2014).

1.2. Gestion de la Fertilité des sols en Riziculture Irriguée

1.2. 1. Notion de fertilité

La fertilité d'un sol se définit comme étant son aptitude à produire des récoltes en fonction de ses qualités intrinsèques et des techniques culturales utilisées (Soltner, 2005).

On distingue la fertilité actuelle qui se mesure par le rendement actuellement obtenu et la fertilité potentielle qui se mesure par le rendement maximum que l'on pourrait obtenir suite à l'action améliorante de l'homme sur les facteurs modifiables de fertilité.

De ce fait, la fertilité d'un sol est une notion complexe qui dépend de la culture en place, du climat, et des capacités techniques du producteur.

Un sol est dit fertile lorsqu'il permet, pour une culture donnée, une production considérée comme importante relativement aux techniques culturales utilisées et au climat de la zone (Lacharme, 2001 b). En règle générale, on considérera la fertilité d'un sol en fonction de différents facteurs physiques (profondeur, perméabilité, aération, compacité), chimiques (acidité, capacité d'échanges, disponibilité en éléments nutritifs, carences et toxicités, taux de matière organique) et biologiques.

1.2.1.1 Fertilité physique

La fertilité physique d'un sol est due à sa structure, sa porosité, sa texture et à ses caractéristiques hydriques. Ces facteurs interviennent dans la production végétale à travers l'aération du système racinaire, la circulation et la rétention en eau, la disponibilité en éléments nutritifs, la croissance et le développement des racines et l'activité biologique du sol. Un sol physiquement riche est friable, poreux et aéré avec environ 60% de matières solides et 40% du volume réservé à l'eau et à l'air (Bougma, 2013).

1.2.1.2. Fertilité chimique

La fertilité chimique d'un sol est liée à certains facteurs tels que le complexe absorbant, l'acidité du sol, les teneurs et les formes des éléments nutritifs et les teneurs et la qualité de la matière organique du sol. Un sol est chimiquement fertile lorsque ces facteurs permettent (i) le stockage des éléments nutritifs utilisables par les cultures; ces éléments nutritifs doivent être sous forme soluble contenue dans la solution du sol, (ii) influencent la disponibilité en nutriment, la structure, la capacité de rétention d'eau et les éléments nutritifs. Selon Pieri (1989) la capacité d'un sol à se maintenir chimiquement fertile ou au contraire à s'épuiser rapidement dépend de l'importance des réserves utilisables et leur passage sous forme assimilable.

1.2.1.3. Fertilité biologique

L'activité biologique est liée à la présence des racines des végétaux, de la faune et de la microflore. La faune et la microflore contribuent à la fertilité biologique à travers (i) l'aération du sol, (ii) la dégradation puis la minéralisation de la matière organique avec libération des

éléments nutritifs assimilables pour la plante, (iii) la fixation de l'azote moléculaire par les bactéries fixatrices (rhizobium), (iv) la solubilisation des minéraux insolubles (phosphates) par les champignons (mycorhizes). Les activités microbiennes influencent considérablement la fertilité chimique et physique du sol (Roose, 1977 et Soltner, 1986 cités par Millogo, 2002).

1.2.2 Critères de fertilité en riziculture irriguée

La culture de riz irrigué est un cas particulier en ce qui concerne la fertilité des sols. En effet, il est recherché des sols ayant une perméabilité très faible de façon à limiter les pertes d'eau par une trop forte infiltration. Les sols aptes à la riziculture sont des sols profonds, homogènes, très argileux donc très peu perméables, ayant une bonne capacité de rétention en eau et une capacité d'échange cationique (CEC) élevée (LACHARME, 2001 a). Ces sols ont une vie microbienne faible du fait de la situation anaérobie induite par la lame d'eau.

Les autres facteurs essentiels de la fertilité d'un sol rizicole sont : l'absence de toxicité, l'absence d'organismes pathogènes, un faible stock de graines de mauvaises herbes, une bonne richesse en éléments fertilisants et une pente du terrain nulle ou très faible (Hien, 2012).

1.2.3. La fertilité des sols de rizières au Burkina Faso

Au Burkina Faso, les sols sont dans l'ensemble très pauvres en matière organique avec des teneurs variant entre 1 et 8 mg C kg⁻¹ sol (Bationo et Buerkert, 2001 cités par Segda, 2006).

En riziculture irriguée, les teneurs en matière organique et en azote total du sol sont généralement élevées. Mais, au fil des années on remarque une baisse de la capacité nutritive du sol en azote qui serait due à une dégradation continue de la qualité nutritive du sol provoqué par l'intensification des cultures (Segda, 2006). 30 à 60% des sols des périmètres irrigués sont peu adaptés à la riziculture du fait de leur faible profondeur ou d'une texture grossière (sableux, sablo-limoneux) les rendant filtrants et ne permettant pas le maintien de la lame d'eau (Hien, 2012). Les périmètres du Sourou, de Karfiguéla et de Douna sont sujets à ce phénomène (Traoré, 2007 cité par Hien 2012). Certains sols de la Vallée du Kou et certains bas-fonds de la Comoé sont sujets à des phénomènes de toxicité ferreuse. Au Sourou, les riziculteurs sont confrontés aux problèmes de remontée saline (Nadié, 2008).

Au niveau de la plaine de Bagré, malgré un taux moyennement élevé de matière organique de 1,42%, Segda *et al* (2003) rapportent des teneurs très faibles en éléments majeurs (N, P et K).

1.2. 4. Fertilisation en riziculture irriguée

La fertilisation est un ensemble de pratiques culturales coordonnées ayant pour objectif d'assurer aux plantes cultivées une alimentation correcte en éléments nutritifs par des apports de matières fertilisantes (engrais) (Falisse et Lambert, 1994 cités par Sangaré, 2008). Pour ce faire, une bonne connaissance de la fertilité potentielle du sol est nécessaire.

1. 2. 4. 1. Types de fumures et leurs effets sur le rendement et la fertilité du sol

✓ Fumure organique

Il s'agit d'apports de la matière organique dans le sol. Ces apports peuvent être du compost, du fumier, de la paille et des engrais verts. La matière organique joue un rôle important dans la gestion d'une meilleure fertilité du sol. Elle vise à maintenir et à améliorer le stock de matière organique dans le sol. Elle influence les propriétés chimique, physique et biologique du sol entraînant une condition favorable à l'amélioration des rendements.

Selon Sedogo *et al* (1994), la matière organique influence directement la nutrition des plantes et les propriétés physico-chimiques des sols grâce à sa minéralisation et son importance dans la dynamique de l'azote. Tessier (2005) affirme que les apports de matière organique améliorent la productivité du sol à travers :

- la stimulation de l'activité biologique qui accroît l'humus du sol par le biais de la décomposition des résidus de culture ;
- l'amélioration de la structure du sol (protection contre l'érosion) permettant ainsi une meilleure aération du sol, une augmentation de sa résistance à la compaction et de la capacité de rétention de l'eau ;
- la libération et rétention des minéraux limitant le lessivage.

Diallo *et al* (2010) ont étudié l'effet de la fumure organique sur la croissance et le rendement du riz NERICA et ont montré que (i) l'amendement organique contribue à accélérer et réduire le temps de l'épiaison ; à accroître le rendement ; le nombre de talles et la hauteur des plantes (36,9 cm sur sol sans fumure à 85,96 cm sur sol enrichi de la MO).

En système irrigué, Segda (2006) à Bagré (5 campagnes rizicoles consécutives) au Burkina Faso et Bado *et al* (2010) à Fanaye (18 ans) au Sénégal ont démontré que l'application de la fumure organique contribue à l'accumulation de l'azote et du carbone organique dans le sol et à une hausse de la capacité d'échange cationique.

L'application de la fumure organique augmente les rendements mais ne permet pas de les stabiliser durablement (Feller, 1995 ; Segda *et al.*, 2013).

✓ **Fumure minérale**

La fumure minérale est l'ensemble des apports d'engrais minéraux qui sont des fertilisants apportant aux sols des quantités variables de substances nutritives dont une plante a besoin pour accomplir un cycle entier de croissance. Les plus utilisés sont les engrais azotés (NPK, urée, le sulfate d'ammonium), phosphatés (le triple super phosphate ou TSP, les phosphates naturels), potassiques (chlorure de potassium, sulfate de potassium) et aussi la chaux magnésienne. Ils sont plus solubles et agissent plus rapidement dans le sol, mais n'apportent pas de matière organique. Ces substances appelées substances nutritives essentielles sont classées en deux groupes selon Laura van Schöll. (1998):

- les macroéléments dont les plantes ont besoin en grandes quantités : carbone (C) hydrogène (H) ; oxygène (O) ; azote (N) ; phosphore (P) ; potassium (K) ; calcium (Ca) ; soufre (S) ; magnésium (Mg) ;
- les oligoéléments, dont les plantes ont besoin en petites quantités seulement: fer (Fe) ; manganèse (Mn) ; bore (B) ; zinc (Zn) ; cuivre (Cu) ; molybdène (Mo).

D'après Segda (2002), les exigences du riz en éléments nutritifs dépendent de ses différentes phases de croissance et de développement. Ces phases sont fortement dépendantes des besoins en éléments majeurs que sont l'azote, le phosphore et le potassium.

L'azote représente 1 à 4 pour cent de la matière sèche végétale. Il est le moteur de la croissance végétale (FAO, 2003). Il est disponible pour les plantes dans le sol sous forme de nitrate (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+). Sa disponibilité pour le riz dépend de la fourniture du sol en azote minéral et particulièrement en nitrate qui, contrairement à l'ammonium, est très mobile et circule donc facilement vers la racine. Cela est vrai en conditions de cultures pluviales. En irrigué, du fait de l'inondation plus ou moins permanente, c'est l'ammonium NH_4^+ qui est essentiellement plus disponible et utilisée par la plante de riz (Yoshida, 1981; Sahrawat, 1983 cités par Segda, 2006). L'azote est très important pour la formation des protéines dans la plante. Il stimule la croissance des tiges et des feuilles et est responsable de la couleur verte des feuilles. Selon Arrauveau (1998) la teneur en azote du plant de riz augmente avec la croissance jusqu'à atteindre une valeur maximum, puis décroît en fin de cycle. Avant le début du tallage, les plantes de riz absorbent du sol à peu près 25% de l'azote

et du repiquage jusqu'en début épiaison, le riz aurait consommé près de 90% de l'azote. L'excès d'azote se traduit soit par des feuilles grandes et succulentes (riches en eau) ou par l'arrêt de la croissance qui se traduit par des feuilles qui restent petites et fibreuses (Laura van Schöll, 1998).

Le processus de libération de l'azote minéral est tributaire du dessèchement du sol, de ce fait l'irrigation sera critique pour la minéralisation. En plus du régime hydrique, Broadbent (1979) a conclu que le processus de minéralisation est affecté par la température du sol, la sécheresse suivie par la saturation en eau du sol, la nature et la quantité de la matière organique et la teneur en argile. Le processus de libération de l'azote minéral est proportionnel à l'azote total (N), à la Capacité d'Echange Cationique (CEC), au rapport C/N, mais inversement proportionnelle au pH, au carbone organique et au contenu en argile du sol (Sahrawat, 1983, Ireneo et *al.*, 1996, Antonopoulos 1999).

Sur la plaine irriguée de Bagré au Burkina Faso, l'application de l'azote durant trois saisons de culture a induit une augmentation moyenne de rendement de 31% (Segda, 2006).

Le **phosphore (P)** compte pour 0,1 à 0,4 pour cent de la matière sèche (FAO, 2003). Les plants l'absorbent sous forme d'ions (H_2PO_4^- ou HPO_4^-). Il joue un rôle important dans la respiration et l'apport d'énergie. Il stimule le développement des racines des jeunes plantes ; la floraison, la précocité et le remplissage des grains.

Sa disponibilité dans le sol est tributaire de deux grands types de réactions physico-chimiques : les réactions de précipitation/dissolution et les réactions d'adsorption/désorption (Frossard et *al.*, 2004). La réaction d'adsorption du phosphore se déroule à la surface d'oxydes métalliques (oxydes ou hydroxydes de fer, d'aluminium et de manganèse), d'argile et de substances organiques. Elle diminue lorsque le pH augmente, par conséquent lorsque la surface de l'oxyde devient de plus en plus électro-négative (Geelhoed et *al.*, 1997).

L'apport de matière organique en quantité importante sur des sols cultivés pendant de longues périodes augmente la quantité du phosphore dans le sol (Dahal 1977, Condon et *al.*, 1990, Bunemann, 2004 et Tessier, 2005). Quand les conditions hydrologiques sont favorables la mise en culture et l'apport de fertilisants augmente les pertes en phosphore (Haygarth et Jarvis, 1999 ; Bruan et *al.*, 1994 cités par Frossard et *al.*, 2004). Ils affirment que les causes probables de ces pertes seraient le lessivage, la lixiviation et le ruissellement.

Sur la plaine irriguée de Bagré au Burkina Faso, l'application du phosphore a induit une augmentation moyenne de rendement de 19% durant trois saisons de culture (Segda, 2006).

Le **potassium (K)** tout comme l'azote représente 1 à 4 pour cent de la matière sèche de la plante (FAO, 2003) et a de multiples fonctions. Il confère à la plante de la force et la dote d'un important système racinaire aux ramifications étendues (Laura van Schöll, 1998). Le potassium participe à la synthèse des hydrates de carbone et des protéines, améliore le régime hydrique de la plante et accroît sa tolérance à la sécheresse, au gel et à la salinité (FAO, 2003). Ces derniers affirment que les plantes bien alimentées en potassium sont moins sensibles aux maladies. Il est retenu par les argiles et la matière organique, peu lessivables peuvent s'accumuler dans le sol à des niveaux très élevés.

Toutefois l'utilisation exclusive de la fumure minérale a d'énormes inconvénients tels que la destruction de certaines microflore et microfaunes du sol, l'approvisionnement de la matière organique qui conduit à la baisse de la fertilité des sols ; à l'apparition des ions aluminium ce qui acidifie le sol et à accumulation des nitrates (Bado, 2002, Barr *et al.*, 2002, Bationo *et al.*, 2012).

Sur la plaine irriguée de Bagré au Burkina Faso, l'application de potassium durant trois saisons de culture a induit une augmentation moyenne de rendement de 16% (Segda, 2006).

De nombreuses études ont démontré que l'utilisation judicieuse d'engrais minéraux conduit à une augmentation des rendements (Bationo *et al.*, 1998 ; Dejain *et al.*, 2010 ; Buerkert *et al.*, 2001 cités par Traoré 2012 ; Segda *et al.*, 2013,) qui décroissent après un certain temps d'utilisation (Hien *et al.*, 1992 cités par Lompo, 2005).

✓ **Fumure organo-minérale**

La fumure organo-minérale est la combinaison de la fumure minérale et de la fumure organique. Elle crée des 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.

En riziculture irriguée, l'application de la fumure organo-minérale améliore la fertilité des sols à travers l'accumulation de la matière organique et contribue à stabiliser les rendements paddy (Will *et al.*, 2000, Hinvu *et al.*, 2012 ; Segda *et al.*, 2013). La supériorité de la fumure organo-minérale se dégage également en cultures sèches (Bado, 1985, Sedogo, 1993).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1. Description du milieu d'étude

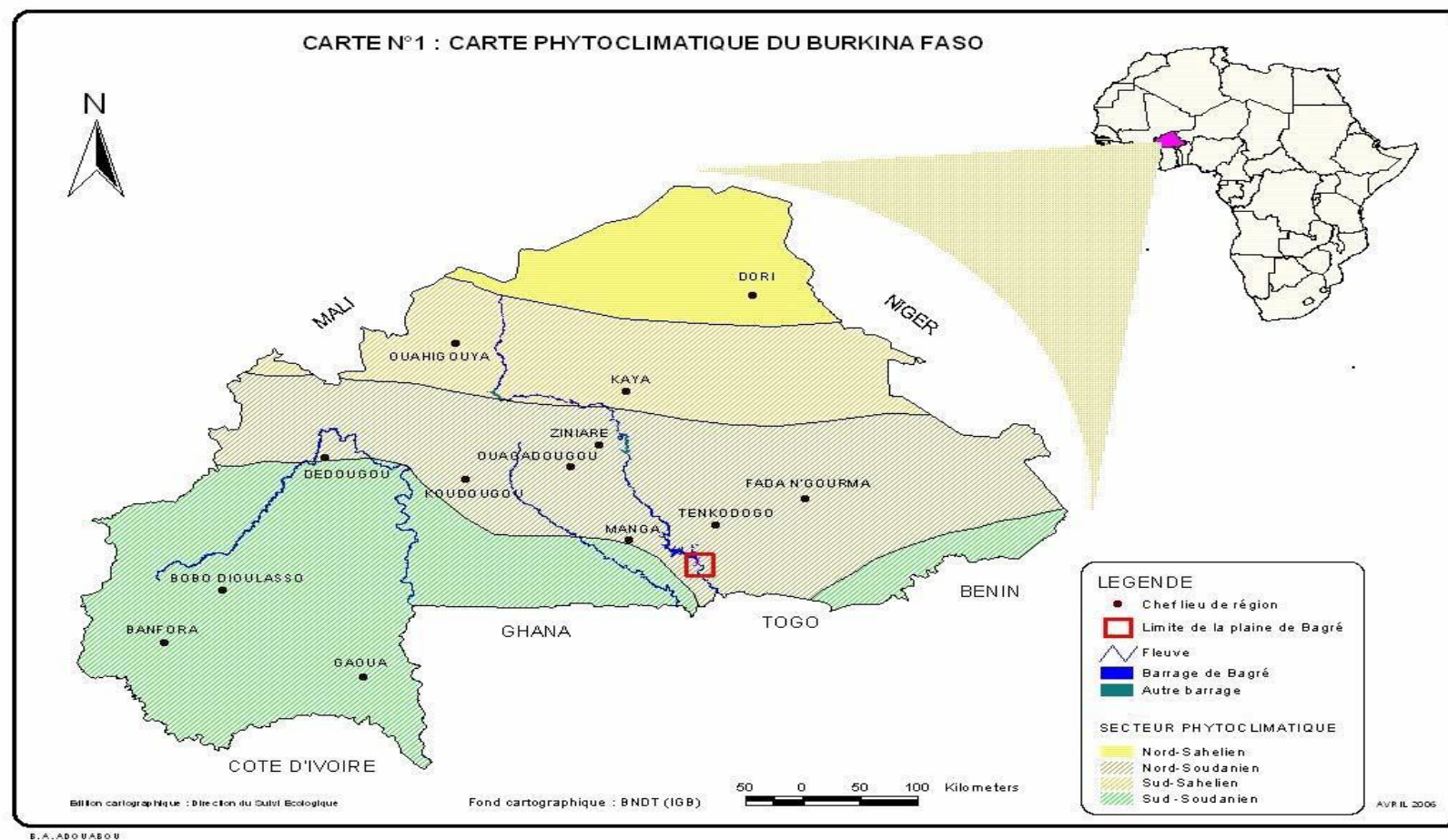
2.1.1. Situation géographique

Le périmètre rizicole de Bagré est situé dans la province de Boulgou à 200 km au Sud-Est de la ville de Ouagadougou et à 20 km de l'axe routier nationale n° 16 Tenkodogo - Frontière du Togo. Il a pour coordonnées géographiques 11°30' de latitude nord et de 0°25' de longitude ouest (carte 1).

2.1.2. Climat et végétation

La zone de Bagré appartient au climat Nord Soudanien selon la répartition de Fontes et Guinko (1995). Les précipitations annuelles sont comprises entre 750 et 1000 mm, avec une saison pluvieuse qui dure cinq à six mois. La durée moyenne de l'insolation est de l'ordre de 3 200 heures. Selon la station météorologique de Fada N'Gourma, les températures minimales moyennes sont de l'ordre de 23,5° entre Mai-Octobre et les maximales moyennes de 34,9°.

Selon le découpage phytogéographique présenté par Guinko (1984) (carte 1), la végétation est de type savane (herbeuse, arbustive, arborée et boisée). On y trouve des essences protégées comme le karité (*Vitellaria paradoxa*), le néré (*Parkia biglobosa*) ; des essences arbustives sont dominées par les Mimosaceae, les Caesalpiniaceae et les Combretaceae. La strate herbacée est dominée par des espèces annuelles comme *Andropogon pseudapricus* Stapf, et des graminées pérennes comme *Andropogon gayanus* Kunth.



2.1.3. Sols

La surface totale des périmètres aménagés dans la zone du Projet Bagré est de 3 100 ha. Les données pédologiques disponibles sur le périmètre de Bagré ont été recensées par BUNASOLS (1994) qui a porté sur 1 050 ha environ en aval (Bief A et B). Ces sols se sont développés sur des formations alluviales du Quaternaire. Selon Segda (2006) les caractéristiques physiques et chimiques relevées situent ces sols dans 13 unités pédologiques appartenant à cinq classes de sol de la classification française des sols (CPCS, 1967):

- les lithosols sur roche représentant 0,22% de la surface du périmètre soit 2,3 ha,
- les sols peu évolués occupant 291,7 ha soit 27,78% de la superficie du périmètre,
- les sols ferrugineux tropicaux dont la couverture spatiale est de 68,4 ha soit 6,52%,
- les sols hydromorphes occupant une superficie de 22,6 ha soit 2,15% de la surface du périmètre.
- les sols brunifiés couvrant une superficie de 665 ha représentant 63,33% de la surface totale. Ces sols sont aussi appelés "Gleysols district Fluvisols" (FAO, 1988), ou encore "bruns eutrophes tropicaux" selon la classification française.

Environ 80 à 90% des sols ont une profondeur utile de plus de 80 cm, ce qui les rend aptes aux cultures irriguées surtout le riz. Les sols sont formés en général à partir du matériau provenant de l'altération de la roche de nature basique. Le complexe d'altération est à dominance d'argile gonflante du type montmorillonitique.

2.1.4 Caractérisation chimique globale des sols de la plaine de Bagré

Une étude réalisée par Segda (2006) fait ressortir la caractérisation globale des sols de la plaine de Bagré. Il affirme que les valeurs du pH rencontrées (moyenne 6,60) se situent dans la plage "faiblement acide à neutre" (BUNASOLS, 1990), ce qui n'influence pas l'absorption des éléments minéraux par le riz. Les valeurs de la conductivité électrique (CE) sont très faibles ($0,05 \text{ mS cm}^{-1}$), indiquant que l'alcalinité ou la salinité ne sont pas des facteurs limitant actuels pour la riziculture irriguée sur la plaine de Bagré. Les valeurs moyennes (moyenne 0,80%, minima 0,45% et maxima 2,16%) ont été observées au cours de cette étude pour le carbone organique total. Pour la somme des bases échangeables (SBE) la valeur moyenne de $7,27 \text{ cmol kg}^{-1}$ de sol a été observée. Une étude du BUNASOLS (1994) indique des résultats similaires à Bagré. Les caractéristiques générales comme le pH et la conductivité électrique sont dans des plages favorables pour le développement du riz. Pour ce qui concerne le

calcium échangeable (Ca^{2+}), le magnésium échangeable (Mg^{2+}) et le sodium (Na^+) les valeurs moyennes de $4,64 \text{ cmol kg}^{-1}$, $2,20 \text{ cmol kg}^{-1}$ $0,26 \text{ cmol kg}^{-1}$ ont été observées respectivement. Dans la majorité des sols prélevés, l'étude montre que les valeurs de l'azote total (N total) (0,07%), du potassium échangeable (K^+) (0,15%) et du phosphore assimilable (Pass.) ($137 \text{ mg kg}^{-1} \text{ sol}$) sont faibles.

Les caractéristiques physico-chimiques du sol avant le début de l'expérimentation (saison humide 2002), sont consignées dans le tableau I.

Tableau I: Caractéristiques physico-chimiques du sol (Limono-sableux) avant l'expérimentation (saison humide 2002)

Caractéristiques et composition chimique			
Types de constituants		Horizon 0-20 cm	Horizon 20-50 cm
Analyse granulométrique	Argile ($<2\mu\text{m}$), %	17,25	nd
	Limons fins (2-20 μm), %	6,75	nd
	Limons grossiers (20-50 μm), %	11,15	nd
	Sables fins (50-200 μm), %	26,53	nd
	sables grossiers (200-2000 μm), %	38,33	nd
Densité apparente	d. a (g cm^{-3})	1,69	nd
Matière			
organique	Carbone organique total (C org), %	0,74	0,49
	Azote total (N tot), %	0,056	0,041
	C/N	13	12
Potassium	Total (K tot), %	0,096	0,113
Phosphore	Assimilable (P ass.), $\text{mg kg}^{-1} \text{ sol}$	2,1	2,4
	Total (P tot), % $\text{mg kg}^{-1} \text{ sol}$	103	71
Bases échangeables	Calcium (Ca^{2+}), cmol kg sol	4	3,9
	Magnésium (Mg^{2+}), cmol kg sol	2,8	3
	Potassium (K^+), cmol kg sol	0,12	0,7
	Sodium (Na^+), cmol kg sol	0,16	0,26
	Somme des bases (SBE), cmol kg sol	7	7,2
	Capacité d'échange (CEC), cmol kg sol	7,7	7,9
	Taux de saturation, %	91	83,1
Réaction du sol	pH eau	6,1	6
	pH KCl	5,5	5,2

nd : non déterminé

Source: Segda (2006)

2.1.5 Hydrologie, morphopédologie, géomorphologie

Le régime hydrologique est constitué principalement du cours du fleuve Nakanbé qui reçoit en saison pluvieuse les eaux de ruissellement de l'ensemble de la zone par l'intermédiaire des rigoles plus ou moins marquées (Segda, 2006).

Le substratum géologique du périmètre est entièrement situé sur le socle antécambrien. Il est constitué principalement de roches métamorphiques relevant des formations d'âge indéterminé (probablement antébirrimien). On y rencontre également des formations alluviales du quaternaire (BUNASOLS, 1994).

La géomorphologie de la zone d'étude s'apparente aux interfluves correspondant à la partie de la surface fonctionnelle des milieux granitiques généralement de forme convexe et aux terrasses et bas-fonds alluviaux et colluvio-alluviaux (Sega, 2006).

2.1.6 Recommandations culturelles

A Bagré, la production de riz se fait en deux cycles de culture. Le premier cycle qui concerne la saison sèche (SS) va du 1er janvier au 30 juin. Le deuxième cycle pratiqué en saison humide (SH) va du 1er juillet au 31 décembre. Le semis direct et le repiquage sont appliqués. Il est réalisé dans l'intervalle juillet-Aout pour la SH et de janvier-février pour la SS. Les opérations de préparation de sol sont effectuées soit en traction animale, motorisée ou en mode manuel.

2.2. Matériel d'étude

2.2.1. Matériel végétal

Au cours de la campagne sèche 2016, les variétés FKR 64 et FKR19 ont été utilisées. Les caractéristiques de ces deux variétés sont consignées dans le tableau II.

Tableau II: Caractéristiques des variétés FKR19 et FKR64

	FKR 19	FRK 64
Espèce	<i>Oryza sativa</i>	<i>Oryza sativa</i>
Groupe variétal	indica	indica
Cycle semis-épiaison	85 j	85 j
cycle semis-maturité	120j	120 j
Hauteur	92 cm	90 cm
Tallage	moyen	bon
Port de la plante	érigé	érigé
Poids de 1000 grains	25,30 g	24,32 g
Résistance à la pyriculariose	moyenne	moyenne
Réponse à l'azote	bonne	bonne
Potentiel de rendement	5-6 t/ha	6-7t/ ha
Aire de culture	bas-fonds à régime hydrique favorable	irrigué et bas fond à régime hydrique favorable

Source : INERA/ Station de Farako-bâ

2.2.2. Fertilisants utilisés

Deux fertilisants ont été utilisés. Il s'agit :

- d'engrais constitué de constitué de NPK (12 :11 :10) et d'urée à 46% de N ;
- du compost provenant du programme de Gestion de Ressources Naturelles/ Système de Production (GRN/SP) dont les teneurs sont résumés dans le tableau si dessous.

Tableau III: Teneurs des paramètres chimiques du compost utilisé

Paramètres chimiques	pH	% Corg	%MO	% N total	C/N	P total (ppm)	K total (ppm)
Teneurs	7,35	16,83	29	1,063	16	1949,67	15818

2.3. METHODES

2.3.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental (figure3) est un Split plot de 6 blocs avec comme parcelles principales deux variété de riz. L'allée entre les blocs est de 1,5 m et de 1 m entre les parcelles principales. L'écart entre les parcelles secondaires est de 0,5 m. La superficie de chaque

parcelle élémentaire est de 30 m² (6 m x 5 m). La superficie totale de l'essai est de 3 609,6 m². Chaque traitement est répété six fois. Les parcelles secondaires sont constituées de huit modes de gestion de la fumure :

- T1: sol nu sans fertilisation ("témoin-riz")
- T2: sol cultivé sans fertilisation ("témoin+riz")
- T3: sol cultivé avec fumure minérale vulgarisée (fmv) ("fmv")
- T4: sol cultivé avec fumure organique vulgarisée (fov) ("fov")
- T5: sol cultivé avec fumure organique et minérale vulgarisée ("fmv+fov")
- T6: sol nu avec amendement organique (AO) ("AO-riz")
- T7: sol cultivé avec amendement organique (AO) ("AO+riz")
- T8: sol cultivé avec amendement organique et fumure minérale vulgarisée (fmv) ("AO+fmv")

NB : T est mis pour traitement

fmv = fumure minérale vulgarisée, soit 200kg/ha de NPK et 200kg/ha d'urée

fov = fumure organique vulgarisée, soit 6t/ha de composte par an

AO = amendement organique, soit 12t/ha de composte par an

2.3.2 Conduite de l'essai

La campagne s'est déroulée de Janvier à juin 2016. Plusieurs opérations ont conduit à sa réalisation. Quelques photos de ces opérations sont consignées dans les annexes (2 et 3).

Préparation du sol

Avant le repiquage, le sol a subi un labour manuel le 14 février 2016 suivi d'un hersage et d'un nivellement le 15 février 2016. Notons que le sol a été irrigué avant d'être labouré. La matière organique a été apportée au labour sous forme de compost. 24 sacs de 18 kg de fumure organique vulgarisée ont été épandus aux traitements T4 et T5. En plus de la fumure organique vulgarisée, l'amendement organique a été utilisé sur les traitements T6, T7 et T8 à raison de 36 kg par parcelle soit au total 36 sacs.

Mise en place de la pépinière

La pépinière a été mise en place le 26 janvier 2016 sur une superficie de 20m². Pour ce fait, 10 kg de chaque variété a été utilisé en raison de un kilogramme par mètre carré. Après la levée, la pépinière est submergée en eau sans excès pour faciliter le développement des plantules.

Repiquage

Le repiquage a été effectué le 25 février à l'âge de 29 jours après semis. Les plants à repiquer ont été arrachés, lavés et repiqués le même jour en ligne 2 brins par poquet à des écartements de 20 cm x 20 cm. Le repiquage a été effectué à une profondeur de 2 à 5 cm.

Fertilisation minérale

La fertilisation minérale utilisée était composée de 200 kg de NPK (12:11:10) et 200 kg d'urée. Le NPK a été appliqué le 26 février. L'apport de l'urée a été fait en trois fractions. La première fraction a eu lieu le 14 mars, la deuxième le 2 avril et la troisième le 26 avril.

Entretien

- **Irrigation**

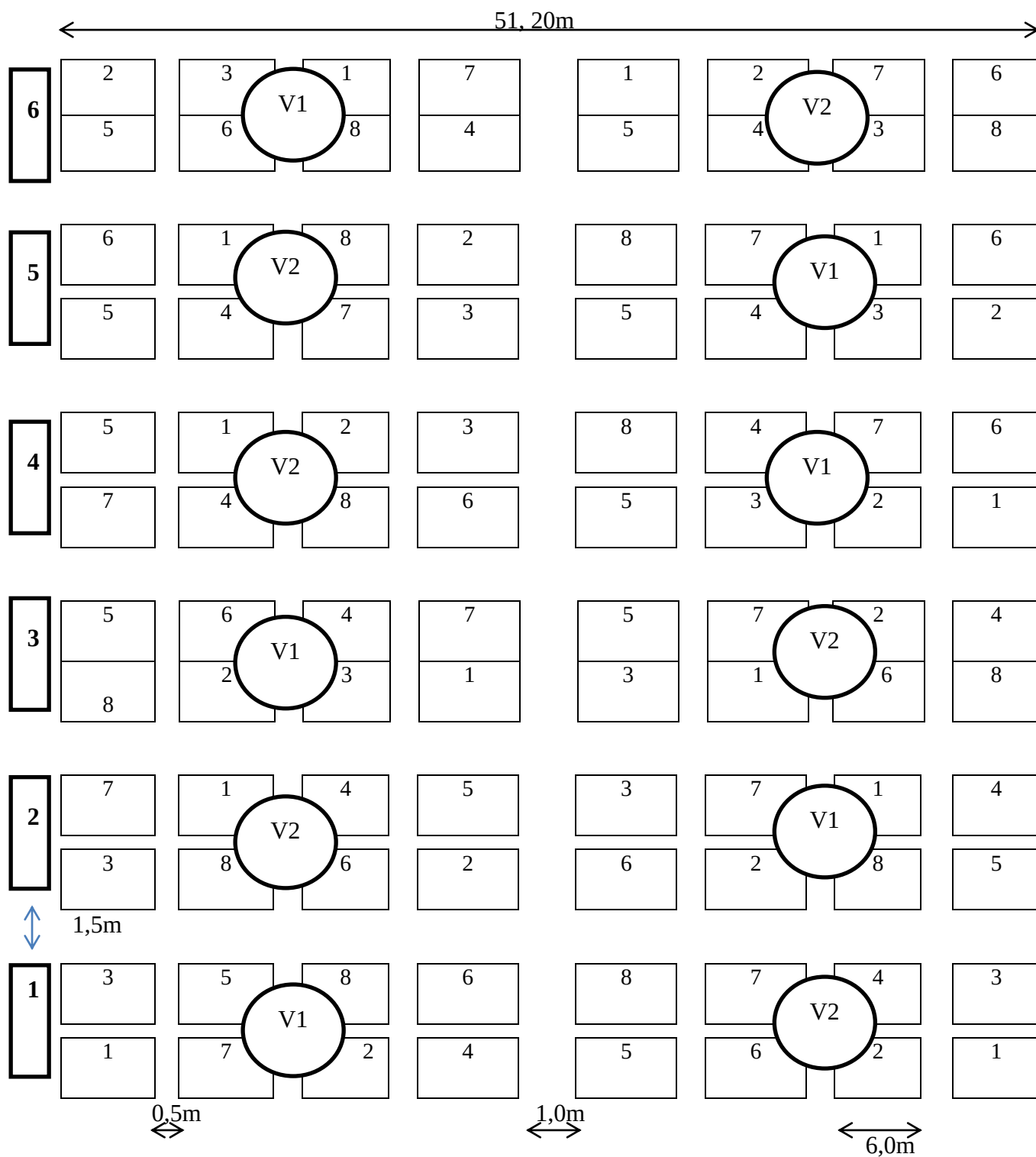
La lame d'eau a été un outil important pour l'entretien des cultures. Elle a permis de réguler la croissance et le développement du riz. La lame est maintenue à une hauteur de 1-15 cm. En cours de maturation, la parcelle est asséchée progressivement. Cette opération est capitale dans la formation et la qualité du grain.

- **Contrôle des adventices**

Le contrôle des adventices a été assuré par le désherbage manuel. Deux désherbages ont été effectués, le premier le 11 mars et le second le 29 mars.

Prélèvements de sol

Les prélèvements des échantillons de sols ont été effectués dans chaque parcelle élémentaire à l'aide d'une tarière, avant la préparation du sol. Pour tenir compte de l'hétérogénéité du milieu, un échantillon composite constitué d'un mélange de trois prélèvements a été fait à l'horizon 0-20 cm ou 20-50 cm. L'échantillon de sol a été séché à l'air puis passé au tamis à mailles de 2 mm de diamètre. Il a été ensuite conservé dans des sachets plastiques et tenu hors de portée de l'eau.



V1= FKR19 1="témoin-riz" 2= "temoin+riz" 3="fmv" 4="fov"

V2= FKR645="fmv+fov" 6="AO-riz" 7="AO+riz" 8="AO+fmv"

Figure 3: Dispositif expérimental de l'essai "matières organiques" en station à Bagré

2.3.3 Analyse physico-chimique de sols

Le pH eau a été mesuré par la méthode électrométrique au pH-mètre, après agitation pendant 30 minutes d'un mélange de 20 g de sol dans 50 ml d'eau distillée. Les rapports sols - solution étaient donc de 1/2.5.

Le carbone organique total a été déterminé à l'aide de la méthode Walkley-Black (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.

Les dosages de **l'azote total** et du **phosphore total** ont été faits à l'auto analyseur (Skalar) après une minéralisation classique.

Le **potassium total** a été déterminé par photométrie de flamme JENCONS (Walinga *et al.*, 1989) après minéralisation.

Le dosage du **phosphore assimilable** a été fait avec la méthode Olsen (Kuo, 1996).

Les **cations échangeables** (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+}), déplacés du complexe absorbant par une solution de thiourée d'argent [$\text{Ag}(\text{H}_2\text{NCNH}_2)$] ont été déterminés par spectrophotométrie (Chapman, 1965).

Le **calcium** et le **magnésium** ont été mesurés par spectrométrie d'absorption atomique (AAS, Spectrophotomètre 3110, Perkin Elmer), le sodium et le potassium par photométrie de flamme.

La **capacité d'échange cationique** a été déterminée suivant la méthode décrite par Rhoades (1982).

2.3.3 Mesure agronomique

Le rendement paddy a été mesuré. Les Prélèvements d'échantillons de plantes suivi les procédures décrites par WITT *et al.*, (1999); DOBERMANN et FAIRHURST (2000). Les rendements grains ont été mesurés sur une surface de 6 m² (3m x 2m).

A maturité, les touffes ont été coupées à une hauteur de 10 cm au-dessus du sol. Dans chaque parcelle élémentaire, le rendement paddy a été estimé sur une superficie de 6 m² (3 m x 2 m). La formule de Dobermann et Fairhurst (2000) a servi à déterminer le rendement paddy en ramenant le poids à 14% d'humidité.

$$\text{Rendement paddy (14\%humidité)} = \frac{(100 - \text{poidsgrain}14\% \text{ he})}{86} \times \frac{\text{poidsgrain } 6m^2(Kg) \times 10}{6m^2}$$

2.3.4 Analyses statistiques des données

L'ANOVA des données a été réalisé avec le logiciel STATA. Le Logiciel XLSTAT a été utilisé pour la comparaison des moyennes lorsque le test d'analyse de variance était significatif au seuil de 5% au moins.

Les logiciels Word et Excel de Microsoft office 2010 ont servies dans la saisie du texte, la construction des graphiques et l'élaboration des tableaux.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

3.1.3 EFFETS DES TYPES DE FUMURES SUR LE RENDEMENT PADDY

Les résultats sont présentés dans le tableau III.

Tableau IV : Effets des types de fumures sur le rendement paddy.

Traitements		Rendement (kg/ha)
Variété	FKR 19	3481 ^b
	FKR 64	3804 ^a
	Probabilité	0,005
	Signification	S
Fumures	Témoin + riz	1513 ^d
	Fmv	4611 ^b
	fov	2256 ^c
	fmv + fov	5343 ^a
	AO + riz	2465 ^c
	fmv + AO	5666 ^a
	Probabilité	< 0.0001
	Signification	HS
Interactions	Variétés*Fumures	NS (P = 0.327)

NB : Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% avec le test de séparation de moyenne de Fisher. HS = Très Hautement Significatif ; NS = Non Significatif.

L'interaction entre les variétés et les fumures n'est pas significative (P= 0.327), impliquant que les rendements obtenus avec les différentes fumures ne dépendent pas des variétés utilisées. Une comparaison est donc réalisée entre les variétés, toutes fumures confondues et entre les fumures, toutes variétés confondues. Entre les variétés, la différence a été significative (P=0,005). La FKR 64 avec un rendement de 3804 Kg.ha⁻¹ a été plus productive que la FKR 19 avec un rendement moyen de 3481 Kg.ha⁻¹.

Quant aux fumures, les résultats montrent une différence Hautement significative entre les rendements des différents traitements. Les meilleurs rendements sont obtenus avec les

traitements constitués de les combinaisons fumure minérale * fumure organique avec 5343 kg.ha⁻¹ et celle fumure minérale * amendement organique avec 5666 kg.ha⁻¹. Ces rendements sont significativement supérieurs au rendement obtenus avec la fumure minérale vulgarisée avec 4611 kg.ha⁻¹. Le traitement constitué par la fumure organique vulgarisée et celui constitué par l'amendement organique ont été significativement moins performantes que la fumure minérale vulgarisée avec respectivement 2256 et 2465 kg.ha⁻¹ de paddy. Le témoin absolu a été très peu productif avec seulement 1513 kg.ha⁻¹ de paddy récolté en moyenne, impliquant que l'évolution des rendements dépend des fumures.

3.1.4 EFFETS DES TYPES DE FUMURES SUR L'EVOLUTION DES PARAMETRES CHIMIQUES

Les résultats sont présentés dans le tableau IV.

L'interaction entre les variétés et les fumures n'est pas significative pour tous les paramètres chimiques mesurés, traduisant que les valeurs des paramètres chimiques contenues dans les différents traitements ne dépendent pas des variétés utilisés. Une étude comparative est ainsi réalisée entre les variétés, toutes fumures confondues et entre les fumures, toute variétés confondues pour chaque élément chimique mesuré.

Pour ce qui du **pH**, entre les variétés, les résultats montrent une différence significative ($P=0,000$) entre les différentes valeurs du pH. La valeur du pH (5,9) obtenu avec la FKR 64 est plus élevée que celle de la FKR 19 ($pH= 5,6$). Entre les fumures, la différence statistique entre les valeurs du pH est non significative ($P=0,319$). Par rapport au témoin absolu le pH évolue à la baisse pour tous les traitements. La mise en culture semble favoriser une baisse du pH. Les traitements constitués de les combinaisons fumure minérale * fumure organique et celle fumure minérale * amendement ; la fumure minérale seule et l'amendement organique ont la valeur du pH la plus élevée ($pH=5,9$).

L'application des différents types de fumure n'a pas eu une différence significative (**$P=0,824$**) sur l'évolution du taux du carbone organique dans le sol (**% OC**). La mise en culture semble contribuer à une augmentation des teneurs du taux du carbone par rapport au témoin absolu. Les traitements constitués d'amendement organique sans ou avec culture (AO-riz et AO+ riz) ont les valeurs du carbone organique les plus élevées. L'application de l'amendement organique semble favoriser une hausse du taux de carbone organique dans le sol. L'étude

comparative réalisée entre les variétés montre une différence significative (**P=0,0033**) entre les valeurs du taux carbone. Le taux de carbone obtenu avec la FKR 19 (%=0,66) est supérieur à celle obtenu avec la FKR 64 (0,62).

Par rapport au témoin absolu, **le taux de l'azote** évolue de façon très variable, à la hausse pour les traitements amendement organique sans culture et l'association fumure minérale-amendement organique, à la baisse pour les traitements témoin avec culture sans fertilisation, fumure organique et l'adjonction fumure organique*fumure minérale. Le taux de l'azote total est resté stable dans le traitement amendement organique avec culture. Les traitements association fumure minéral*amendement organique et l'amendement organique sans culture détiennent le taux de l'azote la plus élevée (%N=5,8). La différence est hautement significative ($P<0,0001$) entre les valeurs de l'azote des traitements mesuré entre les deux variétés FKR 64 (%N= 0,04) et FKR 19 (0 ,07). Quant aux fumures, les résultats traduisent une différence non significative ($P= 0,725$) entre les valeurs de l'azote des différents traitements. L'irrigation semble contribuer à une très grande variabilité dans les teneurs du sol des différents traitements en azote.

Le **phosphore assimilable** évolue à la baisse pour tous les traitements par rapport au témoin absolu. La mise en culture semble favoriser une baisse du phosphore assimilable dans le sol. Les traitements, amendement organique, fumure l'adjonction minérale et amendement organique ont les valeurs du phosphore assimilables les plus élevées. L'évolution à la baisse des valeurs du phosphore entre les traitements est non significative ($P=0,296$). La différence est non significative ($P=0,082$) entre les valeurs du phosphore mesurés entre les variétés.

Par rapport au témoin absolu, le **calcium échangeable** évolue à la hausse pour tous les traitements. Les traitements, fumure minérale avec une valeur de $7,688 \text{ cmol kg}^{-1} \text{ sol}$ ou en association avec l'amendement organique avec la valeur de $7,737 \text{ cmol kg}^{-1} \text{ sol}$ ont les valeurs du calcium échangeable les plus élevées. Les résultats montrent une différence non significative ($P= 0,431$) entre les valeurs du calcium des différents fumures. Il en est de même entre les variétés où la différence observée entre les valeurs du calcium est non significative ($P= 0,659$).

Tableau V: Effets de fumures sur l'évolution des paramètres chimiques

Traitements		pH	% C org	%N	Pass	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Acidité échangeable	CEC
Variétés	FKR 19	5,6 ^b	0,66 ^a	0,07 ^a	1,5 ^a	7,3	2,6	0,01	0,14	0,04 ^a	10,1
	FKR 64	5,9 ^a	0,62 ^b	0,04 ^b	0,9 ^a	7,2	2,5	0,01	0,14	0,00 ^b	9,9
	Probabilité	0,000	0,003	<0,001	0,082	0,659	0,443	0,514	0,345	0,000	0,499
	significativité	S	S	HS	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS
Fumures	Témoin - riz	5,688	0,645	0,055	0,790	7,081	2,596	0,129	0,137	0,015	9,958
	Témoin + riz	5,758	0,611	0,050	1,369	6,911	2,457	0,110	0,136	0,015	9,629
	Fmv	5,829	0,628	0,055	0,907	7,688	2,522	0,105	0,145	0,015	9,875
	fov	5,725	0,630	0,051	0,7960	7,309	2,620	0,119	0,137	0,024	10,209
	fmv + fov	5,888	0,624	0,054	0,941	7,208	2,472	0,103	0,137	0,014	9,934
	AO-riz	5,708	0,671	0,058	0,833	6,732	2,459	0,135	0,138	0,031	9,487
	AO + riz	5,883	0,648	0,055	2,105	7,680	2,527	0,109	0,134	0,028	10,478
	fmv + AO	5,908	0,637	0,058	1,704	7,737	2,488	0,114	0,136	0,035	10,509
	Probabilité	0,319	0,824	0,725	0,296	0,431	0,962	0,002	0,206	0,955	0,635
	significativité	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS
Interaction Variétés*fumures											
Probabilité		0,979	0,84	0,932	0,199	0,843	0,326	0,551	0,666	0,983	0,757
significativité		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NB : Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% avec le test de séparation de moyenne de Fisher. HS = Très Hautement Significatif ; NS = Non Significatif.

Le **magnésium échangeable** évolue à la baisse pour tous les traitements par rapport au témoin absolu. L'évolution à la baisse est plus remarquable avec les traitements fumure minérale en association avec la fumure organique ou l'amendement organique. La différence entre les variétés n'a pas été significative ($P=0,443$) de même que entre les fumures ($P=0,926$).

Par rapport au témoin absolu, Le **potassium échangeable** évolue à la baisse pour tous les traitements. La mise en culture semble contribuer à une baisse générale des teneurs du sol des différents traitements en potassium échangeable. Les traitements qui ne comportent pas de culture comme le témoin absolu et l'amendement organique sans culture ont les valeurs du potassium échangeable les plus élevées. La différence entre les fumures est significative ($P=0,002$) et non significative entre les variétés ($P=0,514$).

Par rapport au témoin absolu, le **sodium échangeable** évolue de façon très variable, à la hausse pour le traitement amendement organique sans culture, à la baisse pour les traitements amendements organique sans culture, fumure minérale seul ou associé à l'amendement organique et le pour le traitement témoin avec culture. La valeur du sodium échangeable est restée stable dans les traitements fumure organique ou associé à la fumure minérale. L'irrigation semble contribuer à une grande variabilité des teneurs du sol des différents traitements en sodium échangeable. La différence n'est pas significative ($P=0,206$) entre les valeurs du sodium échangeable des traitements et entre les valeurs du sodium échangeable des variétés ($P=0,345$).

Comparativement au témoin absolu, les valeurs de la **capacité d'échange cationique (CEC)** évoluent à la hausse. Les traitements fumure minérale*amendement organique et amendement organique sans culture ont les valeurs de capacité d'échange cationique les plus élevées. La différence n'est pas significative entre les valeurs de la capacité d'échange cationique des traitements ($P=0,635$). Entre les variétés, la différence n'est pas significative ($P=0,499$).

L'**acidité échangeable** évolue de façon très variable de suite à la mise en culture. Les traitements comportant l'amendement organique ont les valeurs les plus élevées. La différence observée entre les différentes valeurs de l'acidité échangeables entre les fumures n'est pas significative ($P=0,9555$). Quant aux variétés, la différence est significative ($P=0,000$) entre les valeurs de l'acidité échangeables.

2.3 Discussion

Les résultats de l'analyse statistique ont montré que les fumures ont eu un effet positif sur le rendement. Les rendements les plus significatifs ont été obtenus avec les traitements ("fmv"), ("fmv +AO") et ("fmv + fov"). Nos résultats sont conformes à ceux obtenus par Saleque et *al.* (2004) et Segda (2006).

Les rendements obtenus avec la fumure organique seule ("fov" ou "AO") sont inférieurs à ceux obtenus avec la fumure minérale seule ("fmv"). Les résultats traduisent que la fumure minérale vulgarisée ("fmv") seule permet une augmentation très significative des rendements paddy comparé à la fertilisation organique. Cette différence s'expliquerai par la nature des fumures. La fumure minérale seule est un engrais alors que la fumure organique est un amendement. L'engrais utilisé NPK (10 11 12) a été élaboré par Segda en 2006. Il est spécifique au site et contient des éléments fertilisants agissant directement sur les composants des rendements. La minéralisation du compost est lente ne permettant pas aux plantes absorbées systématiquement les éléments chimiques déterminant le rendement. Le compost vise à améliorer le stock de la matière organique dans le sol. En effet, l'utilisation en irriguée de la fumure organique seule ("fov" ou "AO") en cinq saisons n'a pas permis de stabiliser les rendements (Segda, 2006). L'association de la fumure organique et la fumure minérale vulgarisée contribue à un accroissement des rendements paddy.

La différence significative obtenue entre les rendements des variétés pourrait s'expliquer par leurs adaptations aux différentes aires écologies. En effet, les variétés FKR 19 et FKR 64 s'adaptent dans les différentes aires écologiques. La FKR 64 communément appelée TS2 s'adapte mieux en irriguée qu'en bas-fond comparativement à la FKR 19. En outre les caractères agro-morphologiques considérés comme paramètres du rendement, à savoir le nombre talles, le nombre de panicules sont favorable pour la FKR 64 que pour la FKR 19. Ainsi, la FKR 64 a un rendement potentiel de 6-7t/ha contre 5-6t/ha pour la FKR 19.

L'application des fumures minérales et organo-minérales en riziculture irriguée induit des variations au niveau des processus chimiques qui se déroulent dans le sol inondé. Ces modifications affectent la fertilité des sols.

L'irrigation entraîne une baisse des valeurs du pH. Les valeurs du pH les plus élevés sont observés avec les traitements apportant la fumure minérale et la fumure organo-minérale. Les valeurs de pH sont comprises entre 5,6 et 6. En riziculture pluviale, le pH optimal se situe entre 5,5 et 6,5, tandis que pour la riziculture irriguée, il se situe entre 5,5 et 7,2 (De Datta,

1981, Landon, 1991, Narteh et Sahrawat, 1999 et Koné, 2009). Sur le site de Bagré les valeurs observées se situent dans la tranche favorable au bon développement et à la croissance du riz. L'inondation semble contribuer à une augmentation des teneurs en calcium échangeable à l'exception des traitements témoin avec culture et l'amendement organique sans culture. La baisse observée peut-être causée par les pertes de CO₂ et la transformation du bicarbonate soluble en carbonate insoluble (Narteh et Sahrawat, 1999). La mise en culture à entrainer une baisse des teneurs du phosphore assimilable. En effet, selon (Haygart et Jarvis, 1999 ; Bruan et *al.*, 1994 cités par Frossard et *al.*, 2004) cet état est attribué à des phénomènes comme la lixiviation, le lessivage et le ruissellement.

Les changements observés dans les paramètres chimiques suite à la submersion des sols sont principalement contrôlés par la matière organique et le fer réduit du sol (Narteh et Sahrawat, 1999). Ils affirment que ces changements chimiques incluent la libération des macro et micro nutriments qui sont fonction des caractéristiques du sol en particulier de la structure de la matière organique et du fer réduit. Haefele et *al.* (2004) ont prouvé que la fertilisation en riziculture irriguée entraine une augmentation de la matière organique et l'azote total. Au Sénégal, plus précisément à Fanaye, l'adjonction des fertilisants N, P, K sur une période de 18 ans a conduit à une hausse de la teneur en carbone (7,1g/ha) par rapport à la jachère (Bado et *al.*, 2010).

CONCLUSION

Notre travail a été conduit sur la plaine irriguée de Bagré dans le Centre Est de Burkina Faso. Il avait pour but d'évaluer les effets de la fumure minérale, organique et organo-minérale sur le rendement du riz irrigué et la fertilité du sol.

Il ressort de l'étude que les valeurs des paramètres chimiques contenues dans les différents traitements ne dépendent pas des variétés utilisées. L'analyse comparative ainsi réalisée entre les différents types de fumures pour chaque élément chimique mesuré a révélé que l'application des fumures n'a pas eu d'effets significatifs sur le pH, le phosphore assimilable, le magnésium échangeable, la capacité d'échange cationique, l'azote, du carbone organique, le calcium échangeable, le sodium et l'acidité échangeable. Par contre, pour ce qui est du potassium échangeable l'application des fumures a eu un effet significatif.

Les résultats obtenus pour la seule saison de culture font ressortir l'effet positif de la combinaison fumure organique et fumure minérale sur le rendement paddy. Les rendements tendent à augmenter pour les traitements qui reçoivent de la fumure organo-minérale. Sans apport d'engrais (témoin + riz), les rendements obtenus est de 1513 kg/ha. L'apport de la fumure minérale seule permet d'obtenir un rendement additionnel de 3098 kg/ha. Des rendements additionnels de 3830 kg/ha et de 4153 kg/ha sont obtenus en combinant respectivement la fumure organique et l'amendement organique avec la fumure minérale.

La différence de rendement obtenu entre la variété FKR19 et la variété FKR 64 est significative. La FKR64 est plus productive que la FKR 19.

L'étude des performances agronomiques (rendement et fertilité) est très importante pour l'élaboration des stratégies de gestion de fertilisation. Dans le souci d'accompagner les producteurs dans l'amélioration de leurs systèmes de fertilisation, il est important d'initier dans les années à venir une étude des performances économiques. Le rendement économique serait un outil important pour la diffusion de cette méthode de fertilisation auprès des producteurs.

BIBLIOGRAPHIE

ADRAO, 1992. Manuel illustré de riziculture pluviale. IRRI / IRRAT-CIRAD. Montpellier, France, 284p.

ADRAO, 1995. Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest.

Antonopoulos, V.Z., 1999. Comparison of different models to simulate soil temperature and moisture effects on nitrogen mineralization in the soil. J. Plant Nutr. Soil Sci. 162, 667-675.

Arnaud, S.T., Stewart, R.J., J.W.B. et Frossard, E., 1988. Application of the "pedogenic index" to soil fertility studies in Saskatchewan. Geoderma 43, 21-32

Arrauudeau, M., 1998. Le riz irrigué. Tome I et Tome II, édition Maisonneuve et Larose, Paris, France, 659 p.

Bacyé, B., 1987. Contribution à la mise au point d'un système de lutte rationnelle contre les insectes ravageurs du riz : surveillance et expérimentation phytosanitaire sur le périmètre rizicole de la vallée du Kou. Mémoire de fin d'études, ISP, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 76 p.

Bado, B.V., 1985. Amélioration et une efficacité agronomique naturelle par l'utilisation des matières organiques. Mémoire de fin d'étude, ISP, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 107p.

Bado, B.V., 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso. Thèse de doctorat: Université de Laval (Québec).

Bado, B.V., Lompo, F., Bationo, A., Segda, Z., Sedogo, M.P., Cescas, M.P et Mel, V.C. 2012 Nitrogen Recoveries and Yields Improvement in Cowpea sorghum and Fallow sorghum Rotations in West Africa Savanna 758-767.

Bado, V.B., Lompo, F., Sedogo, M.P., Morant, P., 1985.Fertilité-fertilisation Rapport de synthèse INERA; 49p.

Balaro, G., Goura, B., Soule, B.G., Gansari, S. 2014 Analyse des impacts politiques et stratégiques mises en œuvre par l'Etat dans la filière riz, 73 p.

Bationo, A., Lompo, F., Koala, S. 1998. Research on nutrient flows and balance in west Africa : state-of-the-art. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 71, 19-35.

Bationo. A, Buerkert. A., Piepho, H.P. 2001. Efficient phosphorus application strategies for increased crop production in sub-Saharan West Africa. *Field Crops Research*, 72, 1-15.

Bationo. A., Waswa, B., Abdou. A., Bado. B.V., Bonzi. M., Iwuafor. E., Kibunja. C., Kihara. J., Mucheru. M., Mugendi. D., Mugwe. J., Mwale. C., Okeyo. J., Olle. A., Roing, K and Sedogo, P.M. 2012. Overview of Long Term Experiments in Africa. *Lessons learned from Long-term Soil Fertility Management Experiments in Africa*, 26 p.

Bhattacharyya P., Nayak A.K, Shahid M., Tripathi R., Mohanty S., Kumar A., RajaR., Panda B.B., Lal B., Gautam P., Swain C.K, Roy K.S., Dash P.K., 2015. Effects of 42-year long-term fertilizer management on soil phosphorus availability, fractionation, adsorption–desorption isotherm and plant uptake in flooded tropical rice. *The Crop Journal* 3 (2015), 387 – 395

Bougma B.A., 2013. Effets des précédents culturels et des fumures sur la qualité du sol et les rendements du riz pluvial. Mémoire de fin d'études, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 46 p.

Brar, B.S., Chhina, H.S., Randhawa, P.S., Dhillon, N.S and Benipal, D.S., 2002. Long Term Fertilizer of organic and inorganic fertilizers use on N availability under intensive cropping system; Department of soil, Punjab Agricultural University, Ludhiana-141004, India, 9 p.

Breniere, J., 1983. Principaux ennemis du riz en Afrique de l'Ouest et leur contrôle. 2ème ed ADRAO, Monrovia, Liberia, 87 p.

Broadbent, F.E., 1979. Mineralization of organic nitrogen in paddy soils. In: "Nitrogen and rice", Proceed. IRRI, Los Banos, Philippines: 105-118.

Bünemann, E., 2003. Phosphorus dynamics in a Ferralsol under maize-fallow rotations: the role of the soil microbial biomass. PhD Dissertation, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Dissertation in preparation, published in autumn 2003.

CARD, 2014. Performance dans la riziculture en Afrique: Expérience du Burkina Faso, 15 p.

Chapman, H.D., 1965. Cation exchange capacity. In: Methods of Soil Analysis. Black, C.A. (Ed.) Agronomy 9 Am. Soc. Agron., Madison, WI: pp. 891–901.

Condron, L. M., Frossard, E., Tiessen, H., Newman, R. H. & Stewart, J. W B., 1990. Chemical nature of organic phosphorus in cultivated and uncultivated soils under different environmental conditions. Journal of Soil Science 41, 41-50.

Dakouo, D., Dembele, Y., et Ouedraogo, M., 2005. Problématique de la commercialisation du paddy et stratégies d'adaptation des producteurs dans les grands périmètres irrigués de l'Ouest du Burkina Faso .Atelier régional sur les politiques rizicoles et sécurité alimentaire en Afrique Sub-saharienne Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO), du 7 au 9 novembre 2005,Cotonou (Bénin), 17 p.

Dalal, R. C., 1977. Soil organic phosphorus. Advances in agronomy 29, 83-113.

Dejian, W, Can.W et Gang.Z., 2010.Long-Term fertilization effects on grain yield and soil fertility in the paddy soil of Yangtse Delta in China; Institute of Science, Chinese Academy, Nanjing, China. Article Published from 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 – 6 August, Brisbane, Australia. P 23-25 consulted 10/14/2015.

DGPER, 2011. Stratégie Nationale de Développement de la Riziculture, 43 p.

Diallo D., Tamini Z., Barry B., AO Faya AO., 2010. *Effet de la fumure organique sur la croissance et le rendement du riz NERICA 3 (WAB 450 IBP 28HB) à Faranah.* Int. J. Biol. Chem. Sci. 4(6): 2017-2025.

Diallo, L., 2002. Effet de l'engrais azote et de fumure sur les rendements du maïs. Mémoire d'ingénieur du développement rural/Option Agronomie. IDR/UPB. Burkina Faso, 71 p.

Dobermann, A., et Fairhurst, T.H., 2000. Rice: Nutritional disorders and nutrient management. International Rice Research Institute & Potash and Phosphate Institute, Singapore, 191 p.

EUREKA, 2002. Le riz au Burkina Faso. Magasin scientifique du CNRST n°41/42 (Avril-septembre) Ouagadougou, Burkina Faso., 80 p.

EURÊKA, 2005. Partenariat ADRAO-INERA, Plus de dix ans au service du développement rizicole. Trimestriel du CNRST, Ouagadougou, Burkina Faso., 74 p.

FAO, 2003. Les applications d'engrais. 4^{ème} édition, 84p.

FAO, 2011. Programme Nationale pour l'Intensification Durable des Systèmes de Production à base deriz. Ouagadougou : s.n., 2011.

FAO, 2014. Analyse des incitations par les prix pour le riz au Burkina Faso pour la période 2005-2013. Suivi et Analyse des Politiques Agricoles et Alimentaires, Burkina Faso, 59 p.

FAO. 1988. *FAO-UNSECO Soil Map of the World. Revised legend*, World Soil Resources Report 60, FAO, Rome.

Feller, C., 1995. La Matière Organique du sol : un indicateur de la fertilité. Application aux zones sahélienne et soudanienne. Agriculture et développement n°8, 34-41.

Fontes, J., Guinko, S., 1995. Carte de la végétation et du sol du Burkina Faso. Notice explicative. Ministère de la coopération française. Profet campus, 67 p.

Frossard, E., Julien, P., Neyroud, J.A et Sinaj, S., 2004. Le phosphore dans les sols. État de la situation en Suisse. Cahier de l'environnement no 368. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 180 p.

Frossard, E., Stewart, J. W. B. et Arnaud, R. J. S., 1989. Distribution and mobility of phosphorus in grassland and forest soils of Saskatchewan. Can. J. Soil Sci. 69, 401-416.

Geelhoed, J., Hiemstra, T. et Van Riemsdijk, W.H., 1997. Phosphate and sulfate adsorption on goethite: single anion and competitive adsorption. Cosmochimica et Geochimica Acta 61, 2389-2396

Guinko S., 1984. *Végétation de la Haute Volta*. Thèse de Doctorat es-Sciences Naturelles, Université de Bordeaux II, UER Aménagement et Ressources Naturelles, Département "l'homme et son environnement", (tome 1 et 2), 349 p.

Haygarth, P.M. et Jarvis, S.C., 1999. Transfer of phosphorus from agricultural soils. Advances in agronomy 66, 195-249.

Hien, H.J.D., 2012. Diagnostic des contraintes à la production rizicole dans le bas-fond aménagé de Boura : effets sur la productivité du riz et perspectives d'amélioration par les variétés NERICA. Mémoire d'ingénieur d'agriculture. Option : fertilité de sols, Centre Agricole Polyvalent de Matourkou. 90 p

Hien, V., 1990. *Pratiques culturales et évolution de la teneur en azote organique utilisable par les cultures dans un sol ferrallitique du Burkina Faso*. Thèse de Docteur de l'INPL, Nancy, 135 p.

Hinvi, J.C., Nonfon, R.C., Djenontin, J.P.A., Mensah, G.A., Gantoli, G et Horst, O., 2012. Fiche technique: Effets de la fumure organo-minérale sur le rendement de NERICA dans les Départements de l'Atacora et la Donga au Nord-Ouest du Bénin, 1 p.

INERA, 2005. SAWADOGO P.D. Partenariat ADRAO-INERA: Spécial Riz. [éd.]. *EURÉKA*. Septembre 2005, pp. 56-58

Ireneo J.M., Iwao, W., Grace, B.M., Jasper, G.T., 1996. Nitrogen mineralization in tropical wetland rice soils: I. Relationship with temperature and soil properties. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 42 (2), 229– 238.

IRRI, 1985. Problèmes en riziculture Guide d'identification 2ème ed, 172 p.

Koné, B.A., 2010. Evaluation de la tolérance de variétés de riz à la toxicité Ferreuse et aux ravageurs (insectes et maladies) sur les périmètres rizicoles de Banfora (Bas-fond) et de la vallée du Kou (irrigué) et tests de sélection variétale participative. Mémoire d'ingénieur du développement rural/Option Agronomie. IDR/UPB. Burkina Faso, 72 p.

Kuo, S., 1996. Phosphorus. In: Bigham, J.M. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. Soil Science Society of America / Am. Soc. Agron., Madison, WI: 869–920.

Lacharme, M., 2001 a. La fertilisation minérale du riz. Direction de la Recherche Formation Vulgarisation, Ministère du Développement Rural et de l'Environnement. 2001 a. p. 19, Fascicule 6.

Lacharme, M., 2001 b. *Le plant de riz: Données morphologiques et cycle de la plante* Fascicule 2. Direction de la Recherche Formation Vulgarisation, Ministère du Développement Rural et de l' Environnement. 2001 b. p. 22, Memento Technique de Riziculture.

Laura, V.C., 1998. Gérer la fertilité des sols. *Agrodok2*, 88p.

Letskeman, L. P., Tiessen, H. et Campbell, C. A., 1996. Phosphorus transformations and redistribution during pedogenesis of western Canadian soils. *Geoderma* 71, 201-218.

Lompo, D.J.P., 2005. Gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de culture de l'Ouest du Burkina Faso: évaluation des effets agronomiques et de la rentabilité économique de trois formules de fumures. Mémoire d'ingénieur du développement rural/Option Agronomie. IDR/UPB. Burkina Faso, 50 p.

Narteh L.T. et Sahrawat K.L., 1999. Influence of flooding on electrochemical and chemical properties of West African soils. *Geoderma*, 87: 179–207.

Nacro, S., 1994. Analyse d'un système tritrophique: la cécidomyie du riz et ses parasitoïdes au Burkina Faso. Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes, 118p.

Nadie, G., 2008. Evaluation multilocale de nouvelles variétés de riz en conditions de bas-fonds et irriguées de l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle. Institut du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Burkina Faso, 65 p.

Pernes-Debuyser, A., Tessier, D., 2001. Influence de matières fertilisantes sur les propriétés des sols : Cas des 42 parcelles de l'INRA à Versailles, 10 p.

Pieri, C., 1989. Fertilité des terres des savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. C.I.R.A.D. Paris, 444 p.

Rhoades, J.D., 1982. Cation exchange capacity. In: *Methods of Soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties* (Edited by Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R.) American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America. Inc. Madison, Wisconsin: 149–157.

Sahrawat, K.L., 1983. Nitrogen availability indexes for submerged rice soils. *Advances in Agronomy* 36: 415-451.

Sangaré M., 2008. Effet de la fertilisation minérale sur la croissance et le développement de 25 variétés de riz pluvial. Rapport de stage de fin de cycle Technicien supérieur; *CAPIM* Centre Agricole Polyvalent de Matroukou; 46 p + ANNEXE.

Sedogo M.P., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous cultures: incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de Doctorat Es- Sciences, FAST, ABIDJAN. 295 p

Sédogo, P.M., Lompo F., Ouattara B., 1994. Le carbone et l'azote dans différentes fractions granulométrique d'un sol ferrugineux tropical; effet de quatre types d'amendements organiques. *Sciences et technique* 20: 110-120.

Segda, Z., 2002. Agronomie et technique culturale du riz. Formation participative en de gestion intégrée de la production et déprédateur du riz en technique culturale. INERA Institut Environnement et de Recherches Agricoles, 67 p.

Segda, Z., 2006. Gestion de la fertilité du sol pour une production améliorée et durable du riz (*Oryza sativa* L.) au Burkina Faso. Cas de la plaine irriguée de Bagré, Thèse de Doctorat Spécialité: Sciences Biologiques Appliquées, Option: Biologie et Ecologie Végétales. Université de Ouagadougou/ Burkina-Faso, 222 p.

Segda, Z., BONZI, M., Haefele , M.S., Wopereis, M.C.S ., Hien, V., Sedogo, M.P, Guinko , S., 2003. Pratiques paysannes et efficacité d'utilisation de l'azote en riziculture irriguée dans la plaine de Bagré au Burkina Faso. *Science et technique*. Janvier-Décembre 2003, Vol. 27, 1 et 2, pp. 51-64.

Segda, Z., Lompo, F., Nacro, C.S., Wopereis et Sedogo, M.P., 2001. Amélioration de la fertilité du sol par utilisation du compost en riziculture irriguée dans la vallée du Kou au Burkina Faso, 14p.

Segda, Z., Yameogo, L .P., Sedogo, M.P., Gnankambary, Z., 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. Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie J. Soc. Ouest-Afr. Chim. (2013), 036 : 35 – 46 18 ème Année, Décembre 2013, 13 p.

Segda, Z., Yameogo, L.P., Bonzi, M., Sedogo, M.P., 2014. Le carbone et l'azote dans les différentes fractions granulométriques d'un sol brun eutrophe tropical sous irrigation de Bagré au Burkina Faso : effets de modes d'apports différents de matières organiques et minérales. *Journal of Applied Biosciences*. Published online at www.m.elewa.org on 30th June 2014, 10p.

Sié M., Dogbe S. et Diatta M., 2009. Sélection variétale participative du riz. Manuel du technicien. ADRAO, Cotonou, Bénin. 118 p.

Soltner, D., 2005. Les bases de la production végétale: le sol et son amélioration. [éd.] Dominique SOLTNER. 22. s.l. : Collection Sciences et techniques agricoles, 2005. p. 472. Vol. Tome 1.

Tessier, M., 2005. Quelques notions de fertilisation. Conseil pour le Développement de l'Agriculture du Québec, 50 p.

Tuyen, T.Q., Phung, C.V et Tinh, T.K., 2006. Influence of long term application of N, P, K fertilizer on major soil elements, Cuu Long Rice Research Institute, Co Do, Can Tho Can Tho University, p 92-96

Vats. M.R., 2004. Some statistical aspects of Long-Term Fertilizer Experiments, I.A.S.R.I; Library Avenue, New Delhi 110012, 9 p.

Vergara, B.S. 1984. *Manuel Pratique de Riziculture*. IRRI. Los Banos, Laguna, PHILIPPINES : s.n., 1984.p. 194, Rapport technique. ISBN 971-104-090-5

Walinga, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G. et Van Der Lee J.J., 1989. Plant analysis procedures. Dpt. Soil Sc. Plant Nutr. WAU. Wageningen, Syllabus, Part 7: 197-200.

Walkley, A., et Black J. A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromatic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.

Witt C., Cassman K.G., Olk D.C., Biker U., Liboon S.P., Samson M.I., Ottow J.C.G., 2000. Crop rotation and residue management effects on carbon sequestration, nitrogen cycling and productivity of irrigated rice systems. Plant Soil 225: 263–278

Witt, C., Dobermann, A., Abdulrachman, S., Gines, H.C., Wang, G., Nagarajan, R., Satawatananont, S., Tran, T.S., Pham, S.T., LE, V.T., Simbahan, G.C., OLK, D.C., 1999. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. Field Crops Research 63 (2): 113-138.

Wopereis, M.C.S., Defoer, T., Idinoba, P., Diack, S. et 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, Référence 8 : Connaissance de la plante de riz. Cotonou, Bénin: le Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO), P 27-35.

Annexe 1 : Planches photographique sur les operation de la mise en place de l' essai



N°1 (prise le 14/02/0216)



N°2 (prise le 14/02/0216)



N°3(prise le 15/02/0216)



N°4 (prise le 20.02.2016)



N°5 (prise le 20. 02. 2016)



N°6(prise le 20.02.2016)

Légende des photographies

1. Pépinière
2. et 3 Labour et piquetage
4. Epandage de la fumure organique
5. et 6 Parcelles après les opérations du travail du sol

Annexe3 : prelevement de sol



N°1 (prise le 18.02.2016)



N°2 (prise le 18.02.2016)



N°3 (prise le 18.02.2016)



N°4 (prise le 22.02.2016)

Légende des photographies

1. Prélèvement des échantillons de sols dans l'horizon 0-20cm et 20-50cm
2. Mise des échantillons dans des sachets plastiques
3. Assemblage des échantillons par bloc et par horizon dans des sacs plastiques
4. séchage des échantillons de sols prélevés à l'ombre sous serre à Farako-bâ