

BURKINA FASO

UNITE-PROGRES-JUSTICE

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET
SUPERIEUR

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE

Présenté par :

SIRI Adama

Pour l'obtention du :

Diplôme d'Etudes Approfondies en Gestion Intégrée des

Ressources Naturelles

Option : Système de production végétale

Spécialité : Sciences du sol

Thème :

**Optimisation de la fertilisation minérale et rentabilité
économique de la production de riz irrigué dans la vallée du
Sourou (Burkina Faso)**

Soutenu le 28 mars 2015 devant le jury composé de :

Président du jury : Pr Irénée SOMDA, IDR/UPB

Membres du jury: Dr Bernard BACYE, IDR/UPB

Dr Sansan YOUL, IFDC/Burkina-Faso

Superviseur: Dr. Sansan YOUL, IFDC/Burkina-Faso

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

N°: __-2015

2015

"Poor soils can make poor people but poor people can restore the soil and reduce their poverty"

"Les sols pauvres peuvent rendre les gens pauvres mais les gens pauvres peuvent restaurer le sol et réduire leur pauvreté"

Nacro, 2007.

Table de matières	Pages
Dédicace.....	v
Remerciements.....	vi
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	viii
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures.....	x
Liste des photos.....	x
Résumé.....	xi
Abstract.....	xii
Introduction.....	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique.....	4
1.1. Notion sur la fertilité du sol.....	4
1.1.1. Fertilité chimique.....	4
1.1.2. Fertilité physique.....	5
1.1.3. Fertilité biologique.....	5
1.2. Généralité sur le riz.....	6
1.2.1. Origine et taxonomie.....	6
1.2.2. Importance de la riziculture au Burkina.....	6
1.2.3. Exigences de la plante du riz.....	7
1.2.3.1. Besoins en eau.....	7
1.2.3.2. Besoins en chaleur.....	8
1.2.3.3. Besoins en lumière.....	8
1.2.3.4. Sols.....	8
1.2.4. Effets de la fumure sur le sol et le rendement du riz.....	8
1.2.4.1. Nutrition minérale du riz.....	9
a. Nutrition azotée.....	9
b. Nutrition phosphatée.....	12

c. Nutrition potassique	13
1.3. Historique de la recherche de la fertilisation du riz au Burkina Faso	14
Chapitre II : Méthodologie.....	15
I. Présentation de la zone d'étude	15
1.1. Milieu	15
1.2. Climat.....	16
1.3. Végétation	16
1.4. Relief et Sols	17
1.5 Faune	17
1.6. Milieu humain	17
1.7. Elevage.....	18
1.8. Pêche	18
II. Matériel et méthodes	18
2.1. Matériels.....	18
2.1.1. Matériels végétal	18
2.1.2. Engrais minéraux	18
2.1.3. Sol	19
2.2. Méthodes.....	19
2.2.1. Essai multifactoriel N, P.....	19
2.2.1.1. Dispositif expérimental	19
2.2.1.2. Conduite des essais.....	20
2.2.1.3. Collecte des données et évaluation des rendements et des composantes rendements	21
2.2.1.4. Analyse des données	21
❖ Evaluation économique	21
2.2.1.5. Difficultés rencontrées	22
Chapitre III : Résultats et discussion.....	23
I. Résultats.....	23

1.1. Efficacité des engrais sur la productivité du riz paddy	23
1.1.1. Effet des traitements sur les rendements et composantes de rendements paddy et paille.....	23
1.1.1.1. Effet des traitements sur le rendement paddy	23
1.1.1.2. Effet des traitements sur le rendement paille	24
1.1.1.3. Effet des traitements sur le rendement 1000 grains	24
1.1.2. Effet des traitements sur les composantes rendements	24
1.1.2.1. Effet des traitements sur la hauteur moyenne des plantes à la maturité	24
1.1.2.2. Effet des traitements sur le tallage	25
1.1.2.3. Effet des traitements sur le nombre de panicule	25
1.1.3. Utilisation des nutriments	26
1.1.3.1. Effet des traitements sur l'absorption de l'azote et du phosphore dans les grains et la paille de riz	26
1.1.5. Réponse du riz à des doses croissantes de N et P	27
1.2. Evaluation économique des recommandations d'azote et de phosphore.....	28
1.2.1. Recommandation optimale du N/ha et du P/ha en fonction du type d'engrais, du prix de l'engrais et du paddy.....	29
II. Discussions.....	30
2.1. Efficacité des engrais sur la productivité du riz paddy	30
2.2. Evaluation économique des recommandations d'azote et de phosphore	32
Conclusion et recommandations	34
Références bibliographiques	36
ANNEXE	44
Annexe 1	i

Dédicace

A

Dieu tout puissant,

Mes parents,

Mes frères Moumouni et Samba,

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

Je dédie ce présent travail.

Remerciements

Nous rendons gloire à Allah, le tout Puissant, pour toute sa grâce malgré mes manquements. Qu'il ne cesse de nous pardonner et de nous guider.

Ce travail de recherche n'aurait vu le jour, sans le soutien multiforme dont nous avons pu bénéficier au plan institutionnel à travers ma structure d'accueil, le Centre International pour la Fertilité des Sols et le Développement Agricole (IFDC-Afrique) et le Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO) pour la bourse de stage dont nous avons bénéficié.

Au plan individuel, ce travail a connu l'implication effective de certaines personnes à qui nous tenons à témoigner toute notre gratitude, expression de notre profonde reconnaissance.

Nous sommes tout particulièrement, et profondément reconnaissants au **Dr Sansan YOUL**, chercheur et Représentant pays de IFDC/Burkina qui m'a accueilli, formé et encadré. Votre grand engagement dans la recherche et votre attachement à la recherche permanente de la perfection font de vous un modèle pour nous. Nous vous exprimons notre profonde reconnaissance pour votre inestimable contribution, vos critiques et votre disponibilité à notre égard, en dépit de vos multiples occupations ;

Nous sommes très reconnaissant au Professeur **Hassan Bismarck NACRO**, enseignant-chercheur à l'IDR, notre directeur de mémoire, pour la qualité de sa formation et pour avoir accepté de diriger ce travail malgré la multitude d'étudiants donc la supervision de leur travail lui échoit. Merci grandement pour votre constante disponibilité, votre rigueur scientifique depuis la formulation de cette étude, vos conseils et le temps consacrés pour l'encadrement de ce travail ;

Nous remercions **M. Jean OUEDRAOGO**, grand frère et doctorant à l'UPB, pour son appui, ses multiples conseils et sa contribution à l'analyse des données et à l'élaboration de ce mémoire;

Notre reconnaissance va à l'endroit de nos **enseignants-chercheurs** dont nous avons eu la chance de bénéficier de leur savoir et expérience au cours de cette formation de DEA ;

Nous sommes très reconnaissant envers les chercheurs et l'ensemble du **personnel de l'IFDC** pour leur accueil chaleureux dont nous avons bénéficié et leurs appuis multiples et multiformes dont nous avons bénéficié ;

Nous remercions également le Directeur et l'ensemble du personnel de la Direction Régionale de la Recherche Agricole et Environnementale (**DRREA**) Nord-Ouest, station de Di ;

Merci à **M. Marc B. IDO**, technicien à la DRREA du Nord-Ouest pour son soutien moral et sa constante disponibilité lors de la conduite des essais ;

Nous remercions le **Dr Hamado SAWADOGO**, responsable du programme GRN de la DRREA Nord-Ouest, pour nous avoir accueillis au sein du programme,

Nous remercions l'**AMVS** pour la collaboration qui a permis l'installation de nos essais en milieu paysan sur les périmètres irrigués de la vallée du Sourou ainsi que les conseillers agricoles des différentes coopératives agricoles et de tout le personnel de la DAPVA;

Nous remercions particulièrement **M. Moussa ZIDA**, Ingénieur à l'**AMVS**, que nous appelons grand-frère, pour son appui multiple ;

Particulièrement, nous remercions également mon grand frère et aîné, **M. Oumar SIRIMA**, Ingénieur Halieute, pour ses conseils qui m'ont certainement inspiré et orienté en agronomie ;

Nous rendons volontiers hommage à toute ma famille pour la chaleur humaine, l'amour et l'appui multiple et multiforme ;

A nos amis (es) qui sont devenu (es) pour moi des frères et sœurs nous vous réitérons toute notre gratitude. **M. BALOGOUN Ibouaïman**, notre grande sœur **Dr BANDAOGO Alimata**, **M. BAMBARA Franck Abdel Aziz**, **M. DRABO Malick**, à tous les camarades de la formation **GIRN 2013-2014**, ... merci ;

A tous ceux qui ont apporté leurs corrections et suggestions pour la qualité de notre document, nous leur disons merci ;

A tous ceux dont les noms n'apparaissent pas dans ce document. Ce silence ne cache en rien la reconnaissance que nous leur accordons.

SIGLES ET ABREVIATIONS

ADRAO : Centre du Riz pour l’Afrique (ex Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l’Ouest) ;

AMVS : Autorité de Mise en valeur de la Vallée du Sourou ;

ANOVA : Analyse de Variance

BEF: Brun Eutrophe Ferruginisé

BEV: Brun Eutrophe Vertique

BUNASOLS : Bureau National des Sols ;

CERCI : Centre d’Expérimentation du Riz et les Cultures Irriguées

DAP : Di-Ammonium Phosphate

DAPVA : Direction de l’Appui à la Production et à la Valorisation Agricole

DGESS : Direction Générale des Statistiques Sectorielles

FAO : Fond des Nations Unies pour l’Alimentation ;

FKR: Farakobà Riz

GIFS : Gestion Intégrée de la Fertilité des sols

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

INERA : Institut de l’Environnement et de Recherches Agricoles ;

INSD : Institut National de la statistique et de la Démographie ;

IRAT : Institut de Recherches Agronomiques Tropicales

JAR : Jour Après Repiquage ;

KCl: Chlorure de Potassium ;

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

MASA : Ministère de l’Agriculture et de la Sécurité Alimentaire ;

MO : Matière Organique ;

NERICA: Nouveau Riz pour l’Afrique ;

NPK: Azote, Phosphore, Potassium;

SAS: Statistical Analysis System

TR : Taux de Recouvrement ;

TSP: Triple Super Phosphate

Liste des tableaux	Pages
Tableau I: Classe de fertilité des sols au Burkina Faso.....	5
Tableau II: Classes des taux de perte d'éléments nutritifs en Afrique subsaharienne (kg/ha/an)	6
Tableau III: Quantité d'engrais minéral à apporter en fonction des doses N, P et K	20
Tableau IV: Résultat d'analyse du sol d'étude.....	19
Tableau V: Variation des rendements paddy, paille et poids de 1000 grains en fonction des doses d'azote et de phosphore	23
Tableau VI: Effet de doses combinées de N, P et K sur les composantes du riz.....	25
Tableau VII: Effet des traitements sur l'absorption de l'azote et du phosphore dans les grains et la paille de riz	26
Tableau VIII: Optimum de N/ha en fonction du prix de l'urée et du paddy	29
Tableau IX: Optimum de P/ha en fonction du type d'engrais, du prix de l'engrais et du paddy.....	29

Liste des figures	Pages
Figure 1: carte de la zone d'étude	15
Figure 2: Pluviométrie de la saison 2012-2013 à Niassan dans la vallée du Sourou.....	16
Figure 3: Courbe de réponse du riz avec des doses croissantes d'azote.....	27
Figure 4: Courbe de réponse du riz avec des doses croissantes de phosphore	28
Figure 5: Dispositif expérimental (essai factoriel).....	ii

Liste des photos	Pages
Photo 1: Piquetage et délimitation des parcelles	i
Photo 2: Application de la deuxième fraction des engrais.....	i
Photo 3: Opération de récolte du riz de l'essai à la maturité.....	i
Photo 4: Riz à la maturité	i
Photo 5: Opération de battage parcellaire du riz	i
Photo 6: Opération de battage suivi des pesés.....	i

Résumé

Les recommandations de fertilisation pour la culture du riz sont souvent anciennes et générales. Dans l'optique d'améliorer l'efficacité de l'utilisation des engrais en vue d'intensifier la production rizicole dans la vallée du Sourou, une mise à jour des recommandations de fertilisation s'avère nécessaire. Pour ce faire, une approche communautaire par des essais soustractifs a été menée, durant deux campagnes agricoles (2011-2012) dans la vallée du Sourou (région nord-ouest du Burkina Faso), sur les périmètres rizicoles. Ces essais ont révélé l'azote et le phosphore comme étant les éléments nutritifs limitant la production rizicole. Ce résultat a conduit la formulation de notre présente étude afin de déterminer le niveau optimal de ces nutriments, en vue d'une réactualisation des formules de fertilisation dans la vallée du Sourou. Ainsi, notre essai factoriel est formulé à base de niveaux croissants d'azote et de phosphore. Les traitements comprenaient trois niveaux d'azote et trois niveaux de phosphore respectivement 69N, 92N, 120N et 30P, 40P, 50P. Ainsi, l'essai était composé de 9 traitements avec un contrôle absolu et 3 répétitions. L'analyse des résultats par la régression quadratique, suivant deux scénarii de coût des engrais, montre que l'azote et le phosphore affectent les doses à apporter. Il ressort également de notre étude, que les doses optimales varient entre 119 et 136 unités d'azote et 24 à 32 unités de phosphore. En outre, l'utilisation du DAP serait plus efficace que le complexe NPK (14-23-14) habituellement vulgarisé et utilisé. Cette étude permet une amélioration de la productivité et de la rentabilité du riz à travers une fertilisation efficace et raisonnée. Les rendements pourraient connaître une augmentation sensible et une diminution du niveau d'utilisation de l'azote, avec l'apport de l'urée sous la forme granule.

Mots clés : Azote, Phosphore, efficacité, optimisation, rentabilité, productivité, Burkina Faso

Abstract

Fertilization recommendations for rice production are often old and general. In order to improve the efficiency of fertilizer use to increase rice production in the Sourou Valley, an update of fertilizer recommendations needed. To do this, a community approach by subtractive testing was conducted during two growing seasons (2011-2012) in the Sourou valley, the north-western region of Burkina Faso, the rice growing areas. This test revealed the nitrogen and phosphorus as the limiting nutrient rice production. This result led the formulation of our study to determine the optimal level of these nutrients to a updating of fertilizer formulas in the Sourou Valley. So our test factorial is formulated with increasing levels of nitrogen and phosphorus. Treatments included three nitrogen levels and three levels of phosphorus, respectively, 69N, 92N, 120N and 30P, 40P, 50P. Thus, the test consisted of 9 treatments with absolute control and three repetitions. Results Analysis by quadratic regression, according to two scenarios shows that costs of fertilizer nitrogen and phosphorus affect the doses to make. It is clear from our study that the optimal dose varies between 119 and 136 units of nitrogen and phosphorus from 24 to 32 units. In addition, the use of DAP seems more effective than NPK complex (14-23-14) usually popularized and used. This study improved productivity and profitability of rice through efficient and fertilization. Yields could know a significant increase and decrease the level of utilization of nitrogen with the contribution of urea in pellet form.

Keywords: Nitrogen, Phosphorus, efficiency, optimization, profitability, productivity, Burkina Faso

Introduction

Le riz (*Oryza sativa* L.) constitue l'aliment de base pour plus de la moitié de la population mondiale (Siri, 2012). La production mondiale de riz augmente graduellement chaque année. Elle est passée de 685 millions de tonnes de paddy en 2009, à 722 559 584 tonnes de paddy en 2011 (FAO, 2011). Malgré cette augmentation de la production de plus en plus croissante, l'Afrique y contribue très faiblement de l'ordre de 6% (FAO, 2011). Cependant, en Afrique, plus spécifiquement dans la partie ouest, le riz est l'une des principales denrées céréalières. La consommation moyenne par habitant du riz est passée de 13 kilogrammes dans les années 60, à 18 kilogrammes en 2009 (IFDC, 2009).

Au Burkina Faso, la production moyenne quinquennale, 2009 à 2014, est de 269 975 tonnes (MASA, 2014) avec une demande globale annuelle en riz croissante, et atteindrait les 825.000 tonnes à l'horizon 2015 (MAHRH, 2010). Cependant, moins du tiers des besoins en riz est couvert par la production nationale, ce qui crée un déséquilibre entre l'offre et la demande. Le pays est alors contraint d'importer des quantités importantes de riz sur le marché international, mobilisant d'énormes ressources financières (MAHRH, 2010).

Compte tenu de l'importance de cette denrée céréalière au Burkina, le pays s'est doté d'une stratégie nationale de promotion de la riziculture avec des ambitions d'autosuffisance clairement affichées. L'une des principales actions de cette stratégie de promotion de la riziculture repose sur l'amélioration de la gestion de la fertilité des sols rizicoles. D'un constat général, le mode de fertilisation dominant dans le système de production rizicole au Burkina Faso est la fertilisation minérale (Guengané, 2014). Cependant, la disponibilité de l'engrais constitue une contrainte majeure car le pays dépend de l'extérieur pour son acquisition. De plus, son coût élevé en fait de lui le principal facteur dans le compte d'exploitation en riziculture intensive. La gestion efficace de la fertilisation et la rentabilité économique de la production rizicole, dépendraient alors de la maîtrise d'une fertilisation efficiente.

Malgré toutes les dispositions prises pour soutenir la riziculture nationale, les rendements en riz paddy demeurent relativement faibles par rapport au potentiel des variétés améliorées introduites (Segda, 2006 ; Siri, 2012). En effet, le rendement potentiel du riz irrigué (production seulement limitée par le climat et les performances de la variété utilisée) au Burkina Faso peut atteindre 8-10 t ha⁻¹, mais les rendements réels tournent autour de 3 à 5 t ha⁻¹ (Dingkuhn et Sow, 1997; Wopereis *et al.*, 1999). Cette situation est causée par de nombreuses contraintes qui minent la riziculture irriguée, dont la chute de la fertilité des sols

(Wopereis *et al.*, 1999).

Sur le plan de la qualité du sol, la culture continue sans une gestion adéquate et intégrée de la fertilité du sol a entraîné une baisse du niveau de sa fertilité. Les aspects négatifs les plus apparents sont la réduction de la quantité d'azote dans le sol associée à la diminution du taux de matière organique, et l'envahissement des terres cultivées par les mauvaises herbes (Batiano *et al.*, 2004). La dégradation progressive des terres qui ont déjà une faible fertilité naturelle, sont continuellement vidées de leur contenu en éléments nutritifs et impacte négativement sur les faibles rendements.

Pour améliorer la productivité des sols en riziculture, diverses doses d'engrais ont été proposées. Ces doses ne tiennent malheureusement pas compte de la spécificité de la fertilité initiale des sols des différents périmètres rizicoles. Cependant, l'apport de doses d'engrais non appropriées aux sols et aux besoins des cultures, constitue une perte d'éléments nutritifs et un gaspillage de devises, et peut même conduire à une pollution de l'environnement (Ezui, 2010). En outre, cet apport peut être insuffisant pour permettre à la culture d'exprimer son potentiel, afin de parvenir au rendement escompté. Ainsi, il est important d'optimiser les apports d'engrais afin de rentabiliser les doses apportées et de rendre durable cette exploitation des terres et d'accroître les rendements.

C'est dans cette optique qu'au Burkina, le Centre International pour le Développement des Engrais (IFDC) a développé et mis en œuvre une approche communautaire de développement et de mise à jour de recommandations des formules d'engrais, particulièrement pour le riz dans la vallée du Sourou. C'est dans le cadre de cette activité qu'a été initiée la présente étude intitulée « **Optimisation de la fertilisation minérale et rentabilité économique de la production de riz irrigué dans la vallée du Sourou (Burkina Faso)** ».

La présente étude vise à l'intensification de la culture du riz à travers une gestion optimale de la fertilisation minérale en riziculture irriguée. De façon spécifique, il s'agira :

- ✎ d'évaluer la réponse du riz irrigué à des doses croissantes d'azote et de phosphore afin d'en identifier les niveaux optimaux ;
- ✎ d'évaluer la performance agro-économique des doses formulées à travers la courbe de réponse du riz aux doses croissantes de fertilisants ;
- ✎ de dégager l'optimum des éléments fertilisants N et P en fonction des différents engrais complexes NPK et binaires DAP.

Les hypothèses de notre étude sont les suivantes :

- ☞ H1 : L'azote est l'élément minéral le plus limitant en riziculture au Sourou ;
- ☞ H2 : Le niveau optimal d'azote et de phosphore est supérieur à celui vulgarisé ;
- ☞ H3 : L'engrais binaire Diamoniumphosphate (DAP) permet une meilleure amélioration agro-économique de la production rizicole dans la vallée du Sourou par rapport au complexe NPK.

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

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1.1. Notion sur la fertilité du sol

La fertilité du sol est un concept très complexe. Autrefois définie comme l'aptitude d'un sol à produire, la fertilité des sols a connu une évolution dans sa définition avec le temps (Pieri, 1989 ; Delville, 1996 ; Ouédraogo, 2009). En effet, selon Sawadogo *et al.* (2009), la fertilité d'un sol représente, dans un climat donné, son aptitude à assurer de façon régulière et répétée la croissance des cultures et l'obtention de récoltes. Mando (2001) l'a défini comme sa capacité à fonctionner dans les limites d'un écosystème aménagé ou naturel, afin de soutenir la production animale ou végétale, à maintenir voire améliorer la qualité des systèmes auxquels il est lié. Elle englobe en particulier la teneur en matière organique du sol, sa structure, sa capacité de rétention en eau et son activité biologique. Toutefois, la fertilité du sol est la résultante de diverses composantes qui amènent à distinguer la fertilité chimique, la fertilité physique et la fertilité biologique.

1.1.1. Fertilité chimique

Cette notion fait référence à la nutrition minérale des végétaux à travers la biodisponibilité des éléments nutritifs ainsi que le bon fonctionnement des mécanismes de fixation et d'échange de ceux-ci (Traore, 2003). La notion de richesse d'un sol est plus communément associée à celle de la fertilité au point de créer une confusion. Il convient de distinguer l'abondance des éléments nutritifs dans le sol due à la nature de la roche mère et à la quantité d'éléments mobilisables, qui dépend de l'ambiance physico-chimique et biologique. L'importance des réserves mobilisables et de leur passage sous forme assimilable détermine la capacité d'un sol à se maintenir chimiquement fertile ou au contraire à s'épuiser rapidement (Pieri, 1989).

À travers l'analyse chimique du sol, les qualités et les défauts du sol peuvent être connus en vue de l'amélioration du rendement tant en qualité qu'en quantité, ainsi que la préservation de l'environnement (Badjissaga, 2007). Ces analyses donnent une image exacte de la nature, la quantité, la concentration et des possibilités de dissémination des éléments nutritifs dans le sol. L'utilisation de ces données nécessite la connaissance de quelques normes d'interprétation, qui sont expliquées brièvement à travers le tableau 1 suivant.

Tableau I: Classe de fertilité des sols au Burkina Faso

Classe (interprétation) pour chaque paramètre		Très bas	Bas	Moyen	Elevé	Très élevé
Matière organique	%	0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	>3
	<i>Cotation</i>	1	2	3	4	5
Somme des bases échangeables	<i>még/100g</i>	<1	1 - 6	6 - 11	11 - 16	>16
	<i>Cotation</i>	1	2	3	4	5
pH eau	<i>Valeurs</i>	<4,5	4,6 - 5	5,1 - 5,5	5,6 - 6	6,1 - 7,3
		>9	8,5 - 9	7,9 - 8,4	7,4 - 7,8	
	<i>Cotation</i>	1	2	3	4	5
Somme des cotations		<4,4	4,5 à 7,5	7,6 à 10,5	10,6 à 13,5	13,6
Classe de fertilité des sols		Très bas	Bas	Moyen	Elevé	Très élevé

Source : BUNASOLS, 1990.

1.1.2. Fertilité physique

La fertilité physique résulte d'un ensemble de propriétés physiques (structure, porosité, différents états sous l'influence de l'humidité). Cette notion correspond au potentiel de production lié à l'ensemble de ses propriétés physiques (aération, cohésion, humidité, etc.) (Naitormbaïdé, 2012 ; Guengane, 2014). Ces propriétés physiques peuvent être affectées par certaines pratiques culturales.

1.1.3. Fertilité biologique

La fertilité biologique d'un sol résulte principalement de l'activité biologique due à la présence de plusieurs groupes d'êtres vivants: la faune, les micro-organismes et les racines. Selon Pieri (1989), l'activité biologique intervient dans la fertilité du sol soit directement pour la nutrition des plantes et la fixation biologique de l'azote de l'air par les légumineuses, soit indirectement par son impact sur l'évolution du stock organique des sols et les conséquences multiples qui en résultent (structure des sols, complexe argilo-humique, développement des racines, etc.). Dans le même sens, Ouattara (2011) montre que la fertilité biologique est d'une importance capitale et dépend de la fertilité chimique ainsi que de la fertilité physique.

La dégradation de la fertilité a entraîné le déclin de la fertilité des sols, caractérisée par des sols ayant de faibles teneurs en éléments nutritifs, facteur limitant à la production agricole que la pluviométrie (FAO, 1994 ; Badjissaga, 2007). En effet le déclin de la fertilité des sols est une détérioration des propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol. Dans une évaluation de l'état d'épuisement des éléments nutritifs effectuée en 1990 (FAO, 1994), des

bilans ont été calculés pour les terres arables de 38 pays de l'Afrique subsaharienne. Quatre classes de taux de pertes d'éléments nutritifs ont été établies (tableau II)

Tableau II: Classes des taux de perte d'éléments nutritifs en Afrique subsaharienne (kg/ha/an)

Classe	N	P2O5	K2O
Basse	<10	<4	<10
Modérée	10-20	4-7	10-20
Forte	21-40	8-15	21-40
Très forte	>40	>15	>40

Source : Stoorvogel et Smaling, 1990

1.2. Généralité sur le riz

1.2.1. Origine et taxonomie

Le riz est la plante vivrière la plus cultivée dans le monde. Cependant, il est difficile de déterminer avec exactitude l'époque à laquelle sa domestication par l'homme a commencé, même si sa culture a été signalée en Asie il y a plus de 10000 ans (Angladette, 1966 ; Gue, 2001). C'est une céréale de la famille des Poacées. Toutes les variétés cultivées proviennent essentiellement de deux espèces (Angladette, 1976) :

- l'espèce *Oryza glaberrima* Steud originaire d'Afrique de l'Ouest, dont les variétés sont généralement tolérantes aux maladies, aux insectes et aux mauvaises herbes;
- l'espèce *Oryza sativa* L. originaire d'Asie et dont les variétés sont reconnues pour leur rendement élevé. Elles sont cependant moins rustiques que celles originaires d'Afrique (*O. glaberrima*).

Les hybrides interspécifiques issus du croisement réussi effectué par les chercheurs du Centre du riz pour l'Afrique (AfricaRice (ex ADRAO)) des deux espèces de riz cultivé *Oryza sativa* et *Oryza glaberrima* constituent le «NERICA » (New Rice for Africa) (ADRAO, 2008). Elles héritent les avantages des deux parents (Eurêka, 2005).

1.2.2. Importance de la riziculture au Burkina

La production nationale de riz est encore modeste. Elle serait de l'ordre de 305 382 tonnes pour la campagne agricole 2013-2014 avec une hausse de 23,2% par rapport à la moyenne quinquennale (MASA, 2014). Cependant, cette production couvre moins de 50% des besoins en consommation. Le Burkina importe des quantités de plus en plus importantes de riz pour combler le déficit de la production nationale et cela se traduit par la sortie de devises (en moyenne 15 à 20 milliards de francs CFA par an) (Segda, 2006). La place du riz ne cesse

donc de croître dans la balance commerciale et l'accroissement de la production nationale de riz s'impose comme une nécessité du point de vue économique.

La consommation moyenne par habitant du riz ne cesse de croître en Afrique. En effet, elle est passée de 13 kilogrammes dans les années 60, à 18 kilogrammes en 2009 (IFDC Report, 2008). Cette augmentation de la consommation entraîne également une augmentation nette de la demande globale annuelle en riz au Burkina. Elle atteindrait les 825.000 tonnes à l'horizon 2015 (MAHRH, 2010).

Ainsi, la riziculture constitue de plus en plus un élément stratégique de la recherche de la sécurité alimentaire du Burkina Faso. Cette stratégie est actuellement développée par l'aménagement et la mise en valeur de nouveaux bas-fonds (riziculture pluviale) et de périmètres comme celui du Sourou, mais aussi par l'intensification de la riziculture irriguée. La superficie de riz irriguée est relativement faible (seulement 21% des superficies emblavées en riz) (EUREKA, 2005), mais sa contribution dans la production nationale de riz commercialisé atteint plus de 52% (EUREKA, 2005 ; Segda, 2006). Cette contribution du riz irrigué bien qu'en croissance, peut être fortement améliorée car les rendements réalisés sont encore très en dessous des rendements potentiels ou réalisables (Wopereis *et al.*, 1999). Cependant, dans la production végétale en général et rizicole en particulier, le paramètre le plus important est incontestablement le rendement. Son amélioration est l'objectif principal de toutes les recherches et stratégies de production. En effet, le potentiel de production du riz irrigué (production seulement limitée par le climat et les performances de la variété utilisée) au Burkina Faso peut atteindre 8-10 t ha⁻¹, mais les rendements réels tournent autour de 3 à 5 t ha⁻¹ (Dingkuhn et Sow, 1997; Wopereis *et al.*, 1999 ; Segda, 2006). Il existe donc une marge de productivité.

1.2.3. Exigences de la plante du riz

1.2.3.1. Besoins en eau

Le riz (*Oryza sativa* L.) croît et se développe dans les conditions diversifiées et très contrastées de disponibilité en eau. Le riz doit disposer d'une quantité d'eau suffisante pendant une grande partie de la période végétative à la floraison, et de développement des panicules pour assurer une croissance vigoureuse et donner de meilleurs rendements. En effet, les rendements du riz commencent à baisser dès que la teneur en humidité du sol diminue pour atteindre une valeur comprise entre 70 et 80 % de la valeur de saturation (Doorenbos et Kassam, 1980 ; Gue, 2001). Ses besoins en eau sont également élevés et varient en fonction

des stades de croissance et de développement de la plante. Les besoins sont maxima pendant la floraison.

1.2.3.2. Besoins en chaleur

Les températures optimales pour une bonne végétation du riz se trouvent entre 30° et 34°C. Selon les variétés, le zéro de germination du riz se situe entre 10°C et 13°C. La floraison exige une température optimale comprise entre 27°C et 29°C. Pendant la maturation, la température doit être au moins de 19°C. Le tallage du riz est également amoindri par le froid. En culture aquatique, la température de l'eau est également importante. Le minimum est de 13-14°C, l'optimum de 30-34°C et le maximum de 38-40°C. À 50°C la plante meurt.

1.2.3.3. Besoins en lumière

La lumière intervient fortement dans la croissance et la productivité du riz en favorisant le tallage et en augmentant le nombre d'épillets par panicule. Selon le Mémento de l'agronome 2006, les rendements les plus élevés de riz sont obtenus sous forte luminosité, 400 cal/jour/cm². Une insolation insuffisante est nuisible en riziculture car la photosynthèse est réduite. Dans les pays tropicaux, l'insolation est insuffisante pendant la saison des pluies car la nébulosité est élevée (Bandaogo, 2010). Les faibles intensités lumineuses retardent l'épiaison et la maturation des variétés précoces mais avancent légèrement la date de la maturation des variétés tardives (Siri, 2012).

1.2.3.4. Sols

La culture du riz se prête à plusieurs types de sol, mais elle préfère les sols lourds dans lesquels les pertes d'eau par percolation sont faibles (Doorenbos et Kassam, 1980 ; Nadié, 2008). Par conséquent, les sols qui contiennent moins de 25 % d'argile et un sous-sol perméable ne sont pas recommandés en riziculture irriguée. Les sols aptes à la riziculture sont alors des sols profonds, très argileux donc très peu perméables, ayant une capacité de rétention en eau et une capacité d'échange cationique élevées (Cissé, 2011). Par ailleurs, la culture de riz a une bonne tolérance à l'acidité avec un pH optimal de 5,5 à 6 (Koné, 2010).

1.2.4. Effets de la fumure sur le sol et le rendement du riz

L'absorption des éléments nutritifs du sol par les cultures ne peut s'opérer indéfiniment (Tel, 1981 ; Siri, 2012). Il faut rendre au sol ce qu'il a perdu grâce à l'apport d'engrais organiques et/ou inorganiques ; les quantités apportées correspondant aux quantités absorbées par les plantes et celles perdues par lessivage, érosion ou fixation (par dénitrification dans le cas de l'azote). Les

engrais chimiques ont pour rôle essentiel d'apporter les éléments nutritifs aux plantes. Ils sont appréciés pour leur effet rapide et leur facilité d'emploi. Cependant ils doivent être utilisés efficacement. En effet, l'efficacité des engrais se révèle souvent inférieure aux attentes escomptées. En occurrence, pour les cultures en milieu tropical, les pertes d'azote peuvent atteindre 50% ; en riziculture irriguée elles sont rarement inférieures à 30% (Wopereis *et al.* 1999). En outre, étant donné la diversité des sols consacrés à la riziculture et la variabilité de l'importance du poids en éléments fertilisants exportés par les récoltes, les formules de fumure à généraliser doivent être basées sur les résultats obtenus en essais ainsi que l'étude des coûts qui permettent pour un même type de sol, de recommander qualitativement et quantitativement les éléments fertilisants nécessaires (Yaméogo, 2009).

1.2.4.1. Nutrition minérale du riz

Une bonne alimentation minérale du riz assure une bonne maturité du grain et permet d'obtenir un bon rendement non seulement en paddy, mais aussi en riz blanchi après usinage (Gros, 1974). Les éléments fertilisants majeurs sont l'azote qui est le pivot de la fumure, le phosphore et le potassium (Yaméogo, 2009).

a. Nutrition azotée

L'azote constitue l'élément le plus important dans la nutrition du plant de riz. Il permet une croissance vigoureuse des plantes de riz pendant la phase végétative et favorise le tallage. Un apport d'azote pendant cette phase se manifeste par un verdissement de la culture correspondant à un accroissement de la teneur en chlorophylle et donc un accroissement de la photosynthèse. Mais dès que l'azote devient un facteur limitant, cela entraîne à la fois une réduction de l'indice foliaire et de l'intensité photosynthétique par unité de surface foliaire (Yoshida, 1981). En effet, la teneur en azote par unité de surface foliaire est fortement corrélée avec l'intensité photosynthétique (Yoshida, 1972).

▪ *Dynamique de l'azote*

Dans un sol rizicole, la submersion est le facteur déclenchant l'ensemble des phénomènes de réduction, puisque la lame d'eau mise en place constitue un obstacle à la réalimentation du sol en dioxygène, la diffusion des gaz étant environ 1000 fois plus lente dans l'eau que dans les pores gazeux (Segda, 2006). La nature organique de l'urée fait que sa transformation nécessite l'intervention d'une enzyme capable de briser les liaisons C-O. Celle-ci est fournie par une large gamme de microorganismes présents dans le sol. L'azote d'abord libéré sous forme d'ammoniac (NH_3), qui peut soit se volatiliser, soit se dissoudre dans l'eau du sol pour donner

de l'ammonium (NH_4^+). L'ammonium peut être soit absorbé par les plantes, mais à moindre degré que les nitrates, soit se fixer par charges électriques négatives des colloïdes du sol, soit se transformer lors de la nitrification en nitrate. Il peut se transformer sous certaines conditions en ammoniac et se volatiliser. Les nitrates sont immédiatement absorbés par les plantes en cas de besoin, sinon ils peuvent être entraînés en profondeur par l'eau d'irrigation. Cela est dû au fait que leur charge électrique négative ne leur permet pas d'être retenus par les colloïdes du sol. Les nitrates du sol peuvent être aussi perdus sous forme de gaz d'oxydes d'azote (NO , NO_2 ,...) par dénitrification, en cas d'excès d'eau.

▪ *Importance de l'azote dans la nutrition des plantes*

L'azote favorise l'utilisation des hydrates de carbone, stimule le développement et l'activité racinaire, favorisant ainsi l'exportation des autres éléments minéraux et la croissance des plantes (Stevenson, 1986). C'est donc le pivot de la fumure (Gros, 1967) Il est essentiel pour la synthèse des enzymes de la photosynthèse (Lamaze *et al.* 1990).

D'autres rôles lui sont attribués tels que le retard de la sénescence et de la maturation ; il contribue souvent aussi à un affaiblissement des résistances mécaniques de la plante (verse des céréales) et leur confère une plus grande sensibilité à certaines maladies cryptogamiques (Vilain, 1993).

L'alimentation en azote détermine directement le rendement potentiel. Aussi l'effet de l'azote sur le rendement est spectaculaire et l'azote est considéré comme le pivot de la fertilisation (Bertrand et Gigou, 2000).

D'une façon générale, il en sort qu'il existe une relation étroite entre l'azote et le rendement des cultures, une relation résumée par la loi énoncée par Mitscherlich : En cas d'apports au sol de doses croissantes d'éléments fertilisants, les augmentations des rendements obtenus sont de plus en plus faibles au fur et à mesure que les quantités s'élèvent et que la récolte est proche de son maximum (Gros, 1967).

❖ *Principales sources d'azote*

• *Sol*

Des expériences réalisées sur le riz (Chabalié, 1976) ont permis d'observer que l'azote du sol est prépondérant dans la nutrition azotée des plantes; soit près de deux fois la part des engrais dont le coefficient réel d'utilisation varie de 30 à 45%.

La première source d'azote organique utilisée par les plantes est l'azote du sol. En absence de tout apport d'engrais, les plantes non fixatrices d'azote utilisent l'azote du sol durant leur cycle

physiologique. Chaque type d'amendement influe selon sa nature sur la fourniture de l'azote et sur les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol. La qualité des amendements organiques et leur capacité à fournir l'azote sont généralement évaluées par leur rapport C/N (Stevenson, 1984).

- **Amendements organiques**

Les résidus organiques laissés sur le sol après les récoltes constituent une litière temporaire. De par leurs minéralisations et leurs importances dans la dynamique de l'azote, elle influence directement la nutrition des plantes et les propriétés physico-chimiques des sols (Sedogo *et al.*, 1994). De nombreux auteurs dont Sedogo (1981) et Pieri (1989) constatent que la baisse de la teneur en matière organique dans le sol est la cause majeure de l'appauvrissement chimique des sols. Cependant, dans la plupart des pays d'Afrique, les résidus de récolte sont souvent exportés des champs pour d'autres utilisations (Poss *et al.*, 1997).

- **Engrais minéraux**

L'azote du sol et les amendements organiques ne suffisent pas pour atteindre des rendements optimums (Bado, 2002). Des engrais azotés sont utilisés comme complément d'azote pour augmenter les rendements et intensifier la production végétale.

Dans les pays de l'Afrique sub-saharienne, les sols sont exploités sans ou avec très peu d'apport d'engrais organiques et minéraux. C'est pourquoi certains auteurs comme Bationo (1994), caractérisent l'agriculture africaine de manière «*en ce sens qu'elle prélève du sol, chaque année, plus d'éléments nutritifs qu'elle n'en retourne au sol* ». C'est l'une des causes de dégradations des sols.

Cependant l'utilisation des engrais est faible à cause de coûts relativement élevés comparativement aux faibles revenus des producteurs. L'engrais enrichit le sol. En effet les sols qui reçoivent régulièrement des engrais permettent d'obtenir des rendements plus élevés et une bonne réponse aux engrais : on parle d'un effet " vieille grasse " (Boniface et Trocmé, 1988 ; Bosc, 1988 ; Morel *et al.*, 1994 ; Bertrand et Gigou, 2000) car souvent sur un sol épuisé, même en apportant de fortes doses d'engrais, on n'arrive pas à atteindre un rendement aussi élevé que celui obtenu sur les sols régulièrement fertilisés.

Par ailleurs, on connaît cependant certaines limites à leur utilisation. Selon Kekeh (1999), l'efficacité des engrais se révèle souvent inférieure aux attentes escomptées. Pour les cultures en milieu tropical, les pertes d'azote peuvent atteindre 50%. En riziculture irriguée elles sont rarement inférieures à 30% (Wopereis *et al.*, 1999). De plus selon Kekeh (1999), l'utilisation

continue et exclusive d'engrais chimiques de type NPK entraîne l'acidification du sol, son appauvrissement en oligo-éléments et à moyen terme, la diminution de la production.

- ***Plantes fixatrices d'azote : importance des légumineuses dans les systèmes de culture***

La plus grande partie de l'azote de la biosphère (79%) se trouve dans l'atmosphère (Foth, 1990). Mais, seul un nombre réduit de genres bactériens vivant librement ou en symbiose avec les plantes sont capables de réduire l'azote moléculaire de l'atmosphère. Par la symbiose entre les bactéries réductrices de l'azote atmosphérique, une grande partie des légumineuses utilisent principalement l'azote provenant de l'atmosphère. Dans une revue de littérature, Peoples *et al.*, (1995) donnent le potentiel de fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses. En effet, les légumineuses tropicales comme le niébé (*Vigna unguiculata*), l'arachide (*Arachis hypogea*) et le soja (*Glycine max*) peuvent fixer respectivement 32 à 89, 22 à 92 et 0 - 95% de leur besoin en azote dans l'atmosphère (Bado, 2002). Comme on le constate, les quantités d'azote fixé sont très variables d'une espèce à l'autre et pour une même espèce car l'activité symbiotique est influencée par les souches bactériennes, l'espèce végétale et les facteurs du milieu (Wani *et al.*, 1995).

b. Nutrition phosphatée

Le phosphore permet une meilleure croissance racinaire, favorise un tallage plus actif avec des talles fertiles et agit sur le bon développement des grains en élevant leur valeur alimentaire. Il avance son épiaison et agit positivement sur sa productivité (Adam, 2000). Des recherches ont été menées pendant plusieurs années pour étudier l'importance de la déficience en phosphore des sols, estimer le besoin en phosphore des principales cultures et évaluer le potentiel agronomique des différents engrais phosphatés ainsi que les phosphates naturels locaux (Bationo *et al.*, 1990).

Le phosphore a un rôle dans une série de fonctions du métabolisme de la plante et il est l'un des éléments nutritifs essentiels nécessaires pour la croissance et le développement des végétaux. Il est considéré, avec l'azote (N) et le potassium (K), comme un constituant fondamental de la vie des plantes et des animaux. Il a des fonctions à caractère structural dans des macromolécules telles que les acides nucléiques et des fonctions de transfert d'énergie dans des voies métaboliques de biosynthèse et de dégradation. A la différence du nitrate et du sulfate, le phosphore n'est pas réduit dans les plantes mais reste sous sa forme oxydée la plus élevée (Marschner, 1995).

Dans les terres agricoles, il est essentiellement présent sous forme d'anions orthophosphates (Bertrand et Gigou, 2000). Tout comme l'azote et pour les mêmes raisons, les symptômes de carences apparaissent d'abord sur les feuilles âgées. Les rendements décroissent par réduction soit par croissance foliaire bien avant d'affecter le coefficient de conversion du rayonnement photosynthétique chez le maïs (Plenet *et al.*, 2000), soit du nombre de ramifications chez les plantes comme les graminées (Rodriguez *et al.*, 1998)

c. Nutrition potassique

Le potassium est l'élément nutritif absorbé en plus grandes quantités que tous les autres éléments minéraux. Il y a dans les sols, une quantité abondante de K. Malheureusement, la portion assimilable par la plante est minime. A l'intérieur du sol, le K est disponible sous formes qu'on peut répartir en trois catégories : relativement indisponible (90% à 98%), lentement disponible (1% et 10%) et facilement disponible (0,2% et 2%) (Achille, 2006).

Les consommations de luxe sont fréquentes pour le K et rares pour le P, n'entraînant jamais de toxicité mesurable (Bosc, 1988 ; Boniface et Trocmé, 1988). Cette consommation s'explique par le fait que le coefficient réel d'utilisation des engrais potassiques est généralement supérieur à celui des engrais phosphatés (Fardeau *et al.*, 1984).

Dans les terres, il est présent à 99% sous forme minérale (Fardeau et Bruno, 2002). Le K des résidus végétaux quitte les cellules végétales à leur mort, et rejoint le sol. Ce qui justifie de prendre le K des résidus végétaux comme le premier des engrais potassiques appliqués à la culture à venir (Lefèvre et Hiroux, 1976).

Le potassium favorise le tallage et accroît la taille et le poids des grains. Il améliore le régime hydrique de la plante et accroît sa tolérance à la sécheresse, au gel et à la salinité. Il lui donne plus de rigidité pour lutter contre la verse et accroît la résistance de la plante aux maladies cryptogamiques (Gros, 1979). Il régularise la fécondation et favorise la migration des réserves vers les grains (Yoshida, 1972). Enfin, il accroît la réponse de la plante au phosphore.

Une alimentation déficiente en K est traduite par des signes de carences. Ces signes sont le jaunissement des feuilles puis leur brunissement suivi de lésions nécrotiques (taches de tissus morts) sur le bord des feuilles âgées. Sur les céréales, il y a jaunissement de la pointe et du bord des feuilles. Des phénomènes de verse, notamment sur le maïs, accompagnent souvent une carence en K.

1.3. Historique de la recherche de la fertilisation du riz au Burkina Faso

Le pays a connu par le passé des recherches en matière de la fertilisation minérale du riz en condition irriguée. Des études du centre d'expérimentation du riz et les cultures irriguées (CERCI) en 1979 et 1980 ayant pour objectif de trouver des doses économiquement applicables sur le riz dans le périmètre de la Vallée du Kou préconisaient des doses de 300 kg d'engrais NPK (14 - 23 - 14) au repiquage et 200 kg d'urée (46% N) au tallage soit au total 134 unités de N /ha, 69 unité de P205 /ha et 42 unités de K20 /ha.

Plus récemment sur la plaine aménagée de Bagré, Segda *et al.* (2005) recommandaient une fumure alternative de 116 kg de N/ha en saison humide et en saison sèche pour des doses respectives de phosphore et de potassium de 20,9 kg/ha et 19,9 kg/ha en hivernage comme en contre saison en remplacement de la fumure classique de 105 kg de N/ha en saison sèche et humide ; les doses de phosphore et de potassium étant respectivement de 31,4 kg/ha et 29,9 kg/ha. Ces résultats montrent une augmentation de la dose de N contre une diminution de celles de P et K.

Actuellement, les doses de fumures minérales vulgarisées dans la vallée du Sourou sont 200 kg d'engrais NPK (14-23-14) et 200 kg d'urée (46% N), c'est-à-dire 120 unités de N/ha, 20 unités de P/ha et 23,3 unités de K/ha. Cependant, les recherches ont montré dans la vallée du Sourou, l'azote et le phosphore étant les éléments limitants en riziculture irriguée (Siri, 2012 ; Kpoda, 2013).

Chapitre II : Méthodologie

I. Présentation de la zone d'étude

1.1. Milieu

Cette étude a été conduite sur les périmètres irrigués de la vallée du Sourou (voir carte de la figure 1) courant la campagne agricole sèche 2013. La vallée du Sourou est située dans la partie Nord-Ouest du Burkina Faso dans la province du Sourou à environ 270 km de Ouagadougou avec les coordonnées géographiques de 03 ° 20 ' longitude Ouest et 13 ° 00 ' latitude Nord. C'est une vaste plaine irrigable avec plus de 5000 ha aménagés. C'est une zone favorable à la riziculture irriguée de par la disponibilité de l'eau d'irrigation et la nature des sols. En effet, les sols dominants sont les sols bruns, les sols hydromorphes, les vertisols, les sols peu évolués d'apport colluvio-alluvionnaire (Faggi et Mozzi P., 2000). Ils ont une texture fine, une forte capacité de rétention d'eau, une faible perméabilité, donc favorable à la riziculture irriguée.

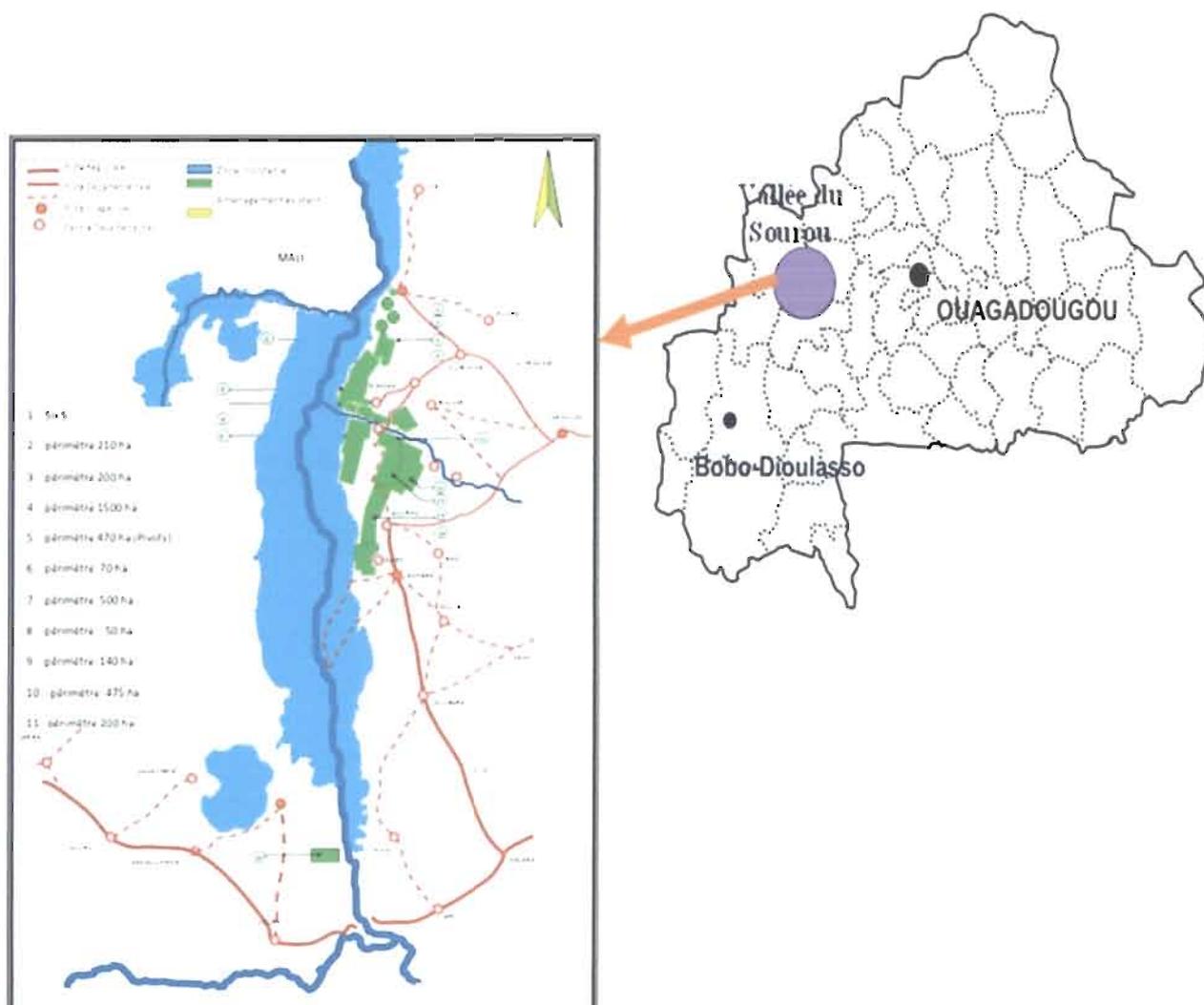


Figure 1: carte de la zone d'étude

1.2. Climat

La vallée du Sourou a un climat de type nord soudanien. Selon le découpage phytogéographique (Fontes J. et Guinko S., 1995), la vallée du Sourou se situe entre deux grands secteurs:

- Le secteur subsahélien caractérisé par une pluviométrie comprise entre 550 et 750 mm par an;
- le secteur nord soudanien, dont la pluviométrie est comprise entre 700 et 900 mm par an.

Le climat de la vallée du Sourou est, comme partout au Burkina Faso, caractérisé par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison pluvieuse de durées inégales. La saison hivernale va en de juin à octobre et la pluviométrie est fortement variable d'une année à l'autre. On remarque une forte irrégularité des précipitations d'une année à l'autre. L'évaporation est à son degré maximum juste avant le début de la saison des pluies et augmente progressivement vers le nord où la couverture végétale se fait de plus en plus rare. La pluviométrie enregistrée au cours de cette campagne 2012-2013 (voir figure 2) est de 722,3 mm repartis sur 57 jours.

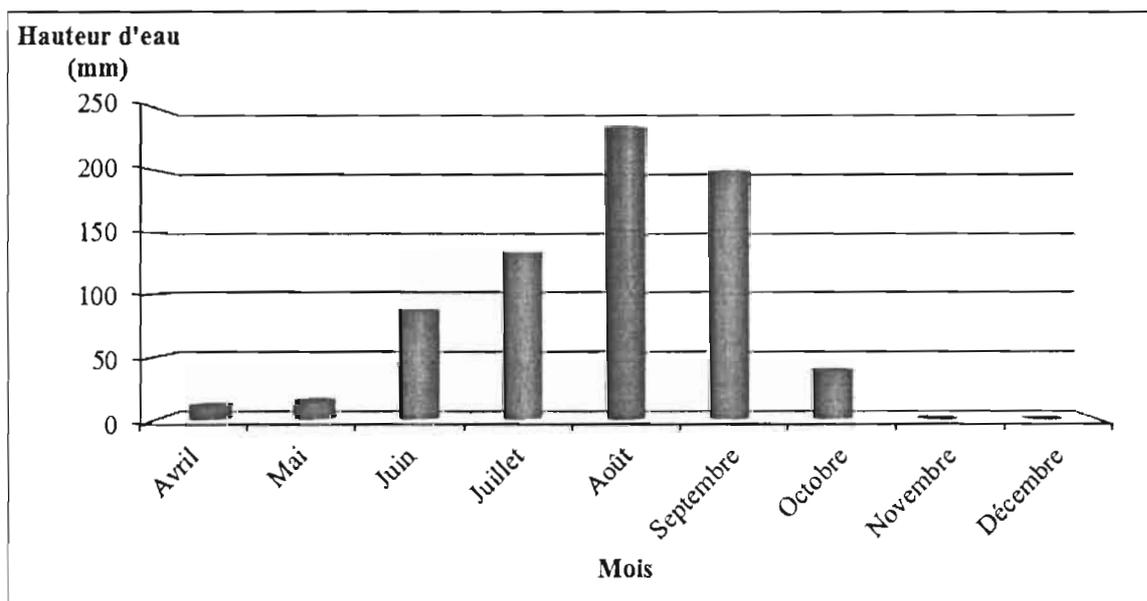


Figure 2: Pluviométrie de la saison 2012-2013 à Niassan dans la vallée du Sourou

1.3. Végétation

Les formations végétales naturelles rencontrées dans la vallée sont constituées d'une savane arborée et arbustive, et d'une forêt galerie le long du cours d'eau. Les formations végétales de la vallée du Sourou abritent diverses essences dont *Mitragina inermis* (Willd.), *Acacia seyal* (Brenan.), *Balanites aegyptiaca* (Delile.), *Anogneisus leiocarpus* (Guill. & Perr.), *Vitellaria*

paradoxa (Gaertner.), *Lanea microcarpa* (Engl. & K. Krause), *Parkia biglobosa* (Jacq.), *Piliostigma* sp. Avec la pression démographique, on assiste à des mises en cultures répétées et à un surpâturage dans le lit majeur de la vallée du Sourou, entraînant la progression de formations dégradées à *Aristida mutabilis* et à *Panicum laetum*, de même que la disparition du Karité (*Vitellaria paradoxa*), (Bethemont *et al.*, 2003).

Le tapis herbacé est dominé par *Loudetia togoensis*, *Andropogon ascinodis* et *Pennisetum pedicellatum*.

1.4. Relief et Sols

Le relief de la vallée est constitué d'un ensemble de plaines peu accidentées. L'altitude moyenne est de 250 m. Les sols dominant sont les sols bruns, les sols peu évolués d'apport colluvio-alluvionnaire, les sols hydromorphes, les vertisols. Ils ont une texture fine, une forte capacité de rétention d'eau, une perméabilité basse, une faible aération des horizons sub-superficiels, un fort compactage, un pH moyen et un degré élevé de saturation en bases : Ca, Mg (Faggi *et al.*, 2000). Ces sols ont une bonne teneur minérale, limitée toutefois par des carences en matière organique, en azote, en phosphore et en potassium.

La riziculture irriguée est pratiquée essentiellement sur les sous-groupes de sols bruns eutrophes tropicaux vertiques (BEV) et sols bruns eutrophes tropicaux ferruginisés (BEF).

1.5 Faune

La pression démographique induite par les aménagements hydro agricoles a favorisé l'amenuisement des ressources fauniques de la zone. Les petits mammifères et les oiseaux sont fréquemment rencontrés dans la rive ouest du Sourou. Aussi on note la présence d'une faune aquatique abondante favorisée par le fleuve Sourou et son affluent le Dèbé. Elle est constituée par les hippopotames les crocodiles et diverses espèces de poissons. Plus de 50 espèces de poissons migrent dans la zone (Sher, 1999). Les captures concernent principalement trois espèces appartenant au genre *Tilapia*. Les principales familles de poissons sont : *Cichlidae*, *Mormyridae*, *Cyprinidae*, *Polypteridae* et *Bagridae*.

1.6. Milieu humain

La population de la vallée est estimée à soixante-trois mille cent soixante-treize (63 173) habitants (INSD, 2007). Les ethnies Marka et Dafing constituent la population la plus importante et la plus ancienne de la vallée du Sourou. A leurs côtés, coexistent les Samo, les migrants Mossi, les Bwaba et les éleveurs transhumants tels que les Peulhs et les Rimaïbé de

la région de Barani, et d'autres minorités ethniques. Les activités économiques du Sourou autres que l'agriculture, restent centrées sur l'élevage et la pêche.

1.7. Elevage

L'importante biomasse des bourgoutières et la disponibilité de l'eau sont autant d'atouts pour l'élevage. La zone connaît un élevage extensif à trois systèmes de productions : la grande transhumance, la petite transhumance et l'élevage sédentaire, tout ceci étant pris en compte dans le Schéma directeur d'aménagement de la vallée (1986). Le système de transhumance est le fait des Peulh éleveurs de profession, tandis que le système sédentaire est pratiqué par les agriculteurs. Les facilités offertes par le site en eau et en pâturage, ont attiré des Peulh originaires de la région de Tougan (rive Est) et du Nord Yatenga. L'élevage bénéficie également des sous-produits des cultures irriguées comme fourrage.

1.8. Pêche

Par rapport aux pratiques traditionnelles, la création d'une vaste retenue d'eau a relancé la pratique de la pêche. L'important plan d'eau (de 100 000 ha à son maximum) s'avère propice aux espèces piscicoles planctophages ou autres, de sorte que la retenue fournit maintenant 800 tonnes de poisson. Dans la vallée du Sourou, la pêche constitue donc un sérieux appoint dans les comptes régionaux, d'autant qu'un pêcheur qui immerge ses filets le soir et les relève le matin, gagne de 4000 à 5 000 francs CFA par jour contre 500 francs pour un salarié agricole (Zoungrana *et al.*, 2005).

II. Matériel et méthodes

2.1. Matériels

2.1.1. Matériels végétal

Le matériel végétal est constitué de la variété de riz recommandé, à savoir la FKR 62N. C'est une variété NERICA avec un cycle semis-maturité de 118 jours et un rendement potentiel de 5 à 7 tonnes/ha.

2.1.2. Engrais minéraux

L'urée (46% d'azote), le triple super phosphate (TSP avec 46% de P_2O_5) et le chlorure de potassium (KCl contenant 60% de K_2O) ont été utilisés.

Le TSP et KCl ont été apportés en fumure de fond tandis que l'urée a été apportée en deux fractions : une première fraction 14 jours après repiquage (JAR) et l'autre au 40^{ème} jour après repiquage.

2.1.3. Sol

L'étude a été conduite sur un sol de type brun eutrophe dont les caractéristiques physicochimiques sont données dans le tableau IV.

Tableau III: Résultat d'analyse du sol d'étude

Caractéristiques		Horizon		Méthode d'analyse (BUNASOL)
Origine/Niveau		0-20 cm	20-40 cm	
Granulométrie	Texture	A	A	Densimétrie par hydrométrie spécial calibré à 20°C
	Argile %	44,1	49,0	
	Limon totaux %	25,5	20,6	
	Sable totaux %	30,4	30,4	
Matière organique totale %		2,3	2,3	
Ct %		1,3	0,5	Walkley-Black, 1934 (Détermination de la matière organique par dosage du carbone organique dans les sols agricoles)
Nt %		0,1	0,0	Kjeldahl
C/N		14,0	12,5	
Pt ppm		134,0	181,8	Kjeldahl 1953
P assimilable ppm		5,6	7,4	Bray 1
Kt ppm		1534,2	1748,3	Kjeldahl 1953
K disponible ppm		175,1	943,8	Kjeldahl 1953
Ca ²⁺ méq/100g		6,8	6,7	
Mg ²⁺ méq/100g		3,8	3,7	
K ⁺ méq/100g		0,6	0,6	
Na ⁺ méq/100g		0,2	0,1	
Somme des bases méq/100g		11,4	11,2	Argent thiourée à 0.01 M (mélange de AgNO ₃ et le Thiourée (H ₂ NCSNH ₂))
CEC méq/100g		15,6	15,3	Argent thiourée à 0.01 M (mélange de AgNO ₃ et le Thiourée (H ₂ NCSNH ₂))
Taux de saturation S/T %		73,5	73,5	
pH eau		6,5	7,1	Suspension à 1: 2,5
pH KCl		6,0	6,1	Suspension à 1: 2,5

Source : Résultats analyse chimique du sol.

2.2. Méthodes

2.2.1. Essai multifactoriel N, P

2.2.1.1. Dispositif expérimental

Un essai d'une combinaison de doses croissantes d'azote et de phosphore a été implanté. Le dispositif expérimental utilisé est celui d'un essai factoriel avec trois répétitions (figure 5 annexes). Deux facteurs ont été étudiés, les niveaux d'azote et de phosphore. Trois niveaux, 69, 92 et 120 unités d'azote et trois niveaux, 30, 40 et 50 unités de phosphore ont été formulés. Chaque essai est alors constitué de 10 traitements dont un témoin absolu. Le niveau de K à apporter a été fixé à 40 unités pour rester dans la même dynamique que les essais

soustractifs. Les traitements ont été randomisés avec le logiciel SAS version 9.2 pour leurs allocations dans le dispositif du terrain. La superficie élémentaire est de 20 m².

Tableau IV: Quantité d'engrais minéral à apporter en fonction des doses N, P et K

Traitements	Unité de fertilisant N, P et K	Quantité d'engrais par hectare (Kg)		
		Urée	TSP	KCl
T0	0-0-0	0	0	0
T1	69-30-40	150	149	80
T2	69-40-40	150	199	80
T3	69-50-40	150	249	80
T4	92-30-40	200	149	80
T5	92-40-40	200	199	80
T6	92-50-40	200	249	80
T7	120-30-40	261	149	80
T8	120-40-40	261	199	80
T9	120-50-40	261	249	80

Dose Urée = Dose N à appliquer /0,46, dose TSP = 2,29 x Dose P à appliquer/0,46, Dose KCl = 1,2 x Dose K à appliquer /0,60

Des échantillons composites de sol ont été prélevés sur le site dans les horizons 10, 20, 30, 40 et 50 cm avant le labour et analysés au laboratoire pour évaluer leurs caractéristiques physicochimiques. Il a consisté en des prélèvements sur différents points aléatoires du site, puis regroupés par niveau pour constituer les échantillons composites. Ils ont été séchés à l'ombre, tamisés à 2 mm, puis stockés en vue des analyses de laboratoire.

2.2.1.2. Conduite des essais

❖ *Mise en place*

La préparation du sol a consisté à un labour à l'aide de charrue bovine suivi d'un hersage à l'aide de herse bovine. Les parcelles ont ensuite été mises en boue et suivi d'un planage (nivellement) afin de permettre une meilleure maîtrise de la lame d'eau. Après cette mise en boue et planage, s'en est suivi le piquetage pour délimiter les différentes parcelles élémentaires de 5 m² (photo 1 annexe1). Enfin, des diguettes de séparation de traitements ont été construites. Le repiquage du riz a été fait en utilisant des plants de trois (3) à cinq (5) semaines d'âges provenant des pépinières préalablement établies. Il a été fait suivant un écartement de 20 X 20 cm. Deux à trois plants par poquet ont été repiqués soit une densité d'environ 250 000 plants/ha.

❖ *Suivi et entretien*

L'irrigation a été faite à la raie, le maintien de la lame d'eau dans la rizière a été fonction des besoins en eau de la plante à ses différents stades phénologiques. Les parcelles élémentaires

sont séparées par des diguettes d'environ 30 cm de hauteur et chacune des parcelles est irriguée individuellement. Deux opérations de désherbage ont été effectuées, un avant l'apport de la première fraction d'engrais (photo2 annexe 1) et le second un mois après.

2.2.1.3. Collecte des données et évaluation des rendements et des composantes rendements

A la maturité (photo3, 4, 5 annexel), dans chaque parcelle élémentaire, un carré de rendement de 1 m² a été délimité pour l'évaluation des composantes du rendement. Les composantes de rendement évaluées ont été le nombre de talles et le nombre de panicules. L'évaluation du rendement dans chaque parcelle élémentaire a porté sur le poids paddy, de la paille de toute la superficie élémentaire et le poids de 1000 grains. Les rendements en paille et en paddy ont été calculés à partir des poids de paille et de paddy des parcelles utiles.

Après ces mesures, des échantillons de grains et pailles ont été prélevés et séchés à l'étuve au laboratoire pour la détermination de leur teneur en N, P et K.

2.2.1.4. Analyse des données

❖ Analyse des variances

Les rendements et composantes de rendements ont été soumis à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel statistique SAS version 9.2. La séparation des moyennes a été faite avec le test Tukey au seuil de 5%. Une régression quadratique a été effectuée pour évaluer la réponse du riz aux doses croissantes d'azote et de phosphore.

❖ Evaluation économique

A l'issue de la régression quadratique, des courbes de réponses d'azote et de phosphore ont été élaborées. La méthode utilisée par Dhuyvetter *et al.* (2000) a été utilisée pour déterminer le niveau optimum d'azote et de phosphore.

Cette méthode consiste à égaler la dérivée des équations des deux courbes au rapport du prix d'engrais (azote et phosphore) et du prix du paddy (production). La résolution de ces équations nous permet d'obtenir les différents niveaux optimaux d'azote et de phosphore dans la production du riz dans la vallée du Sourou.

Pour ce faire, deux scénarii ont été considérés pour chaque variable (prix des engrais, types d'engrais et coût du paddy à la collecte). En ce qui concerne le prix des engrais, la situation où les engrais sont subventionnés et la situation où les engrais sont payés sur le marché sans subvention ont été retenues. L'engrais binaire le DAP 18-46, beaucoup plus riche en

phosphore et le NPK 14-23-14 utilisé en riziculture ont été retenus comme source de fourniture d'engrais dans les scénarii. En fin, à travers les enquêtes réalisées par Siri (2012), deux prix du paddy ont été considérés, le prix au plus bas et le prix élevé du paddy.

Le coût des engrais minéraux est celui observé sur le marché local (18500f CFA pour un sac de 50 kg DAP et de NPK ; 17500 f CFA pour un sac de 50kg d'urée). Avec la subvention de l'Etat on a 13500f CFA pour un sac de 50 kg DAP et de NPK et 12500 f CFA pour un sac de 50kg d'urée. Le prix de la collecte du kg de paddy auprès des producteurs par les coopératives agricoles varie entre 125f CFA et 175f CFA.

2.2.1.5. Difficultés rencontrées

Des contraintes plus ou moins inévitables ont été rencontrées au cours de la réalisation pratique de l'expérimentation. En effet, des pannes récurrentes des stations de pompage d'eau d'irrigation ont entraîné la mise en place tardive des essais. Cette situation a amplifié d'avantage l'exposition des cultures de l'expérimentation aux attaques acridiennes. Ces attaques ont un peu influé sur les rendements.

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Résultats

1.1. Efficacité des engrais sur la productivité du riz paddy

L'interaction entre l'azote et le phosphore n'a pas été significative. Cependant, les doses croissantes d'azote et de phosphore permettent une amélioration des rendements.

1.1.1. Effet des traitements sur les rendements et composantes de rendements paddy et paille

1.1.1.1. Effet des traitements sur le rendement paddy

La variation du rendement paddy en fonction des traitements est présentée dans le tableau V. Il ressort de l'examen des résultats obtenus, que l'application des différentes doses a abouti à une répartition des combinaisons en trois groupes. De manière croissante, le premier groupe est constitué uniquement du témoin 0N0P0K qui présente le plus faible rendement (3166,7kg/ha). Ensuite, on a le second groupe constitué de deux traitements, 69N-40P-40K et 69N-50P-40K. Les autres traitements appartiennent au dernier groupe qui est celui des meilleurs rendements. Dans ce dernier groupe, les rendements sont compris entre 4783,3 kg/ha et 5333,3 kg/ha avec un gain minimal de 1616,6 kg/ha par rapport au témoin. Par ailleurs, le gain le plus élevé (2166,6 kg/ha) a été obtenu avec la dose 120N-40P-40K.

Tableau V: Variation des rendements paddy, paille et poids de 1000 grains en fonction des doses d'azote et de phosphore

Traitements	Rendement paddy	Rendement paille	Poids de 1000 grains (g)
T0 (0N-0P-0K)	3166,7 ^b	4633,3 ^b	25
T1 (69N-30P-40K)	4783,3 ^a	7266,7 ^a	25,33
T2 (69N-40P-40K)	4316,7 ^{ab}	6555,6 ^{ab}	24,33
T3 (69N-50P-40K)	4233,3 ^{ab}	6544,4 ^{ab}	25,33
T4 (92N-30P-40K)	4950 ^a	7266,7 ^a	24,33
T5 (92N-40P-40K)	5116,7 ^a	7744,4 ^a	25,33
T6 (92N-50P-40K)	4816,7 ^a	7522,2 ^a	25
T7 (120N-30P-40K)	5066,7 ^a	7733,3 ^a	24,67
T8 (120N-40P-40K)	5333,3 ^a	8000 ^a	24,67
T9 (120N-50P-40K)	5000 ^a	7333,3 ^a	24,33
Moyenne	4641,67	7060	24,83
CV%	10,62	9,68	6,0
Probabilité	0,0033	0,0009	0,98
Significative	HS	THS	NS

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% suivant le test de Tukey ; THS = Très Hautement Significatif ($P < 0.001$), HS=Hautement Significatif ($P < 0.01$), S= Significatif ($P < 0.05$), NS= Non Significatif.

Une différence hautement significative due à l'apport de différentes doses combinées d'azote et de phosphore a été observée sur le rendement paddy ($p < 0,0033$). L'effet des doses a eu une incidence sur le rendement avec un coefficient de variation (C.V) de 10,62%, et un rendement moyen de 4641,67 kg/ha.

1.1.1.2. Effet des traitements sur le rendement paille

En ce qui concerne le rendement paille (tableau V), il se dégage également trois groupes homogènes identiques à ceux obtenus avec le rendement paddy. Le traitement 120N-40P-40K donne encore le meilleur rendement (8000kg/ha). Il est suivi des traitements 92N-40P-40K, 120N-30P-40K, 92N-50P-40K, 120N-50P-40K, 92N-30P-40K et de 69N-30P-40K avec respectivement 7744,4 kg/ha, 7733,3 kg/ha, 7522,2kg/ha, 7333,3 kg/ha et 7266,7 kg/ha. Le témoin absolu demeure le moins performant avec 6950kg/ha. L'analyse de variance a fait ressortir une différence très hautement significative entre les traitements pour le rendement paille ($p < 0,0009$).

1.1.1.3. Effet des traitements sur le rendement 1000 grains

Cette variable renseigne sur les conditions de remplissage des grains après la floraison. Les meilleurs poids sont obtenus avec les traitements 92N-40P-40K, 69N-50P-40K et 69N-30P-40K (25,33 g) (Tableau V). L'effet des traitements n'est pas significatif sur le poids de 1000 grains ($p < 0,983$), tous les traitements forment un groupe homogène (tableau V).

1.1.2. Effet des traitements sur les composantes rendements

1.1.2.1. Effet des traitements sur la hauteur moyenne des plantes à la maturité

Les résultats sont présentés dans le tableau VI. Le traitement 120N-40P-40K donne les plantes les plus hautes avec une moyenne de 101,27 cm. Il constitue avec les autres traitements, autre que le témoin, un groupe homogène. Le témoin comporte les plantes les plus petites avec une hauteur moyenne de 87,46 cm. Les résultats statistiques montrent que les éléments minéraux N, P et K ont eu un effet hautement significatif sur la hauteur moyenne des plantes à la maturité ($p < 0,006$).

Tableau VI: Effet des traitements sur les composantes du riz

Traitements	Hauteurs moyen des plants	Nombre de talles/m ²	Nombre de panicule/m ²
Témoin	87,46 ^b	237,7	215,7
69N-30P-40K	95,52 ^a	296,3	287,0
69N-40P-40K	97,83 ^a	301,3	294,7
69N-50P-40K	97,14 ^a	268,0	261,0
92N-30P-40K	98,79 ^a	294,3	285,3
92N-40P-40K	97,21 ^a	284,3	278,7
92N-50P-40K	97,73 ^a	307,0	301,7
120N-30P-40K	100,69 ^a	279,0	274,0
120N-40P-40K	101,27 ^a	271,3	262,7
120N-50P-40K	100,21 ^a	288,3	282,7
Moyenne	97,39	282,8	274,3
CV%	3,5	11,2	11,9
Probabilité (5%)	0,006	0,337	0,175
Significative	HS	NS	NS

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% suivant le test de Tukey ; THS = Très Hautement Significatif ($P < 0.001$), HS=Hautement Significatif ($P < 0.01$), S= Significatif ($P < 0.05$), NS= Non Significatif.

1.1.2.2. Effet des traitements sur le tallage

Le traitement 92N-50P-40 K donne le plus grand nombre de talles (307 talles/m²), alors que le témoin présente le plus petit nombre de talles au mètre carré (237,7 talles/m²) (Tableau VI). Il n'y a pas de différence significative entre les traitements pour le nombre de talles ($p < 0,337$). On observe néanmoins trois groupes statistiquement homogènes (tableau VI).

1.1.2.3. Effet des traitements sur le nombre de panicule

Du tableau VI, trois groupes statistiques se dégagent et les traitements ne présentent pas de différence significative entre eux. Cependant, le meilleur nombre de panicules serait obtenu avec le traitement 92N-50P-40K avec une valeur moyenne de 301,7 panicules/m². Il forme un groupe statistiquement homogène avec cinq autres traitements (69N-30P-40K, 69N-40P-40K, 92N-30P-40K, 92N-40P-40K, 120N-50P-40K). Le témoin donne de faible nombre de panicules (215,7 panicules/m² en moyenne) mais n'est pas significativement différent de certain traitement.

1.1.3. Utilisation des nutriments

1.1.3.1. Effet des traitements sur l'absorption de l'azote et du phosphore dans les grains et la paille de riz

Le tableau VII présente l'effet des différents traitements sur l'absorption des trois principaux nutriments (N, P et K).

Tableau VII: Effet des traitements sur l'absorption de l'azote et du phosphore dans les grains et la paille de riz

Traitements	Absorption (N)	Absorption (P)	Absorption (K)
T0 (0N-0P-0K)	33,56 ^b	15,11	44,63 ^b
T1 (69N-30P-40K)	61,25 ^{ab}	17,66	73,42 ^a
T2 (69N-40P-40K)	47,71 ^{ab}	15,78	56,75 ^{ab}
T3 (69N-50P-40K)	52,07 ^{ab}	16,03	64,01 ^{ab}
T4 (92N-30P-40K)	72,85 ^a	19,37	62,19 ^{ab}
T5 (92N-40P-40K)	64,04 ^a	19,4	55,79 ^{ab}
T6 (92N-50P-40K)	77,68 ^a	19,8	53,61 ^{ab}
T7 (120N-30P-40K)	54,24 ^{ab}	17,76	61,77 ^{ab}
T8 (120N-40P-40K)	52,22 ^{ab}	20,08	66,43 ^{ab}
T9 (120N-50P-40K)	61,74 ^{ab}	20,04	56,93 ^{ab}
Moyenne	57,7	17,6	59,6
CV%	19,9	29,4	14,7
Probabilité (5%)	0,009	0,86	0,053
Significative	HS	NS	NS

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% suivant le test de Tukey ; THS = Très Hautement Significatif ($P < 0.001$), HS=Hautement Significatif ($P < 0.01$), S= Significatif ($P < 0.05$), NS= Non Significatif.

L'analyse de variances montre qu'il existe des différences hautement significatives uniquement pour l'absorption de l'azote. L'absorption des deux autres nutriments (P et K) ne présente pas de différences statistiques significatives entre les traitements.

En ce qui concerne l'absorption de l'azote, l'effet des doses a eu une incidence sur l'absorption totale de l'azote dans les grains et dans la paille, avec un coefficient de variation (CV) de 19,9%, et une absorption moyenne de 57,7 kg/ha. On observe que trois groupes homogènes se dégagent. Le 1^{er} est constitué du témoin sans engrais qui présente la plus faible absorption. Ensuite, les doses 69N-30P-40K, 69N-40P-40K, 69N-50P-40K, 120N-30P-40K, 120N-40P-40K et 120N-50P-40K, forment le deuxième groupe de traitements. Enfin, le troisième groupe constitué des traitements de 92N/ha, présente les meilleures absorptions. En effet, on observe que l'absorption en azote est plus élevée avec le traitement 92N-50P-40K

(77,68 kg/ha), suivi du traitement 92N-30P-40K (72,85 kg/ha) et du traitement 92N-40P-40K (64,04 kg/ha).

En ce qui concerne l'absorption des grains et pailles en phosphore, l'analyse montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les traitements. L'absorption moyenne en phosphore est de 17,6 kg/ha. Cependant, on observe que l'absorption est plus élevée avec le traitement 120N-40P-40K (20,08 kg/ha), suivi du traitement 120N-50P-40K (20,04 kg/ha).

L'analyse des variances n'a pas montré une différence significative entre les traitements au niveau de l'absorption des grains et pailles en potassium. Toutefois, la meilleure absorption est observée avec le traitement 69N-30P-40K (73,42 kg/ha) et le témoin sans engrais présente la plus faible absorption (44,63 kg/ha)

1.1.5. Réponse du riz à des doses croissantes de N et P

Les figures 3 et 4 nous montrent la réponse du riz à des doses croissantes d'azote et de phosphore à l'aide de la régression quadratique.

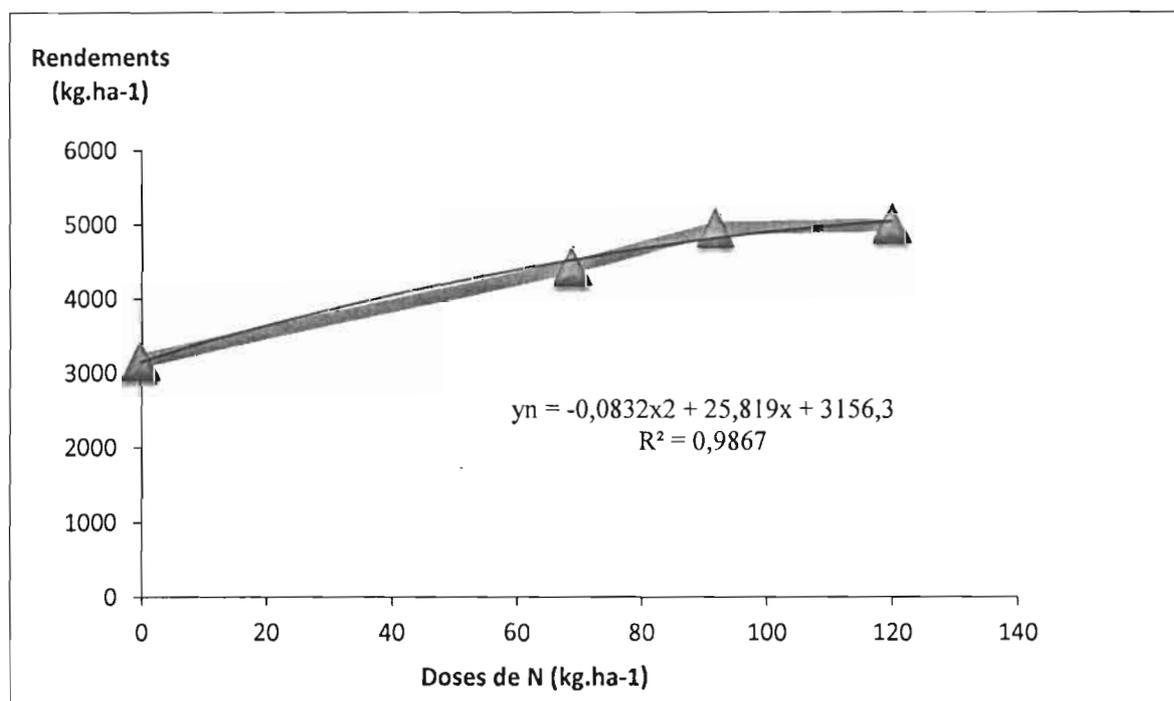


Figure 3: Courbe de réponse du riz avec des doses croissantes d'azote

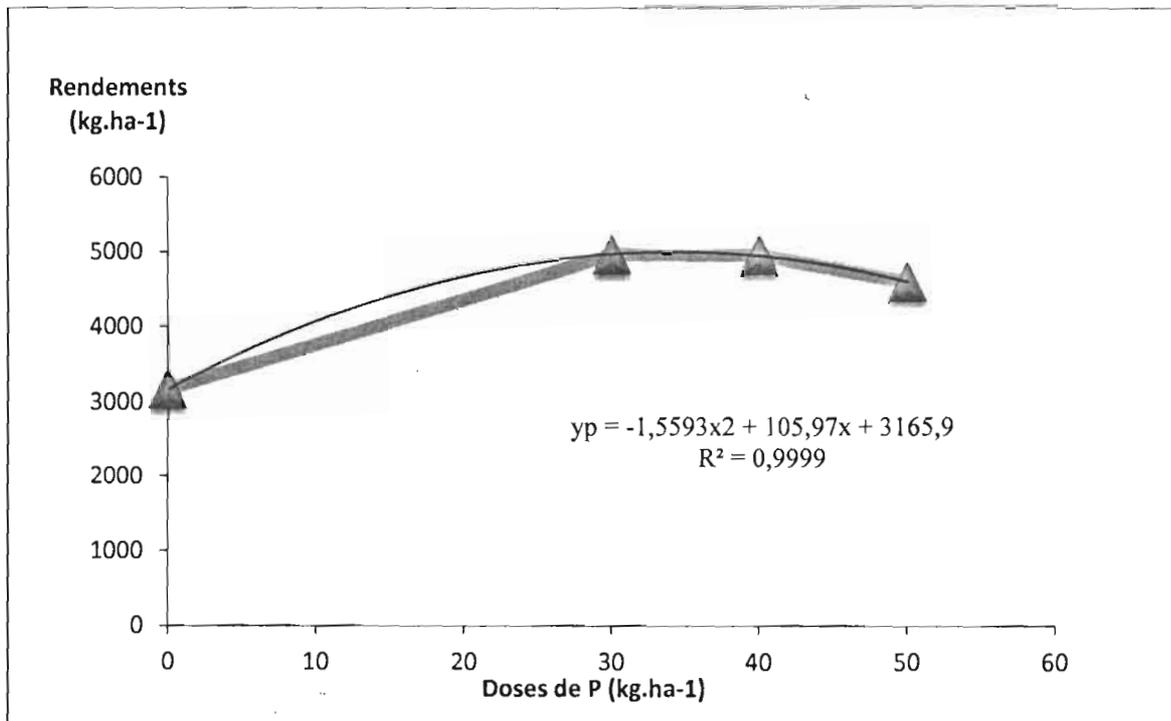


Figure 4: Courbe de réponse du riz avec des doses croissantes de phosphore

Il existe une corrélation significative étroite entre les doses des engrais minéraux appliqués et les rendements obtenus. Ainsi, on observe une augmentation de rendement liée aux doses croissantes d'azote et de phosphore. En outre, la dérivée des équations y_n ($y_n = -0,0832x^2 + 25,819x + 3156,3$ et $y'_n = -0,1664x + 25,819$) et y_p ($y_p = -1,5593x^2 + 105,97x + 3165,9$ et $y'_p = -3,1186x + 105,9$) s'annulent respectivement pour des valeurs de 155 et de 34. La recommandation biophysique de l'azote est alors plafonnée à 155N et celle du phosphore à 34P.

1.2. Evaluation économique des recommandations d'azote et de phosphore

L'évaluation de la performance agronomique et financière de fertilisation est un outil d'aide à la décision au producteur qui permet de guider le choix sur l'efficacité et la rentabilité de ses formules de fumures potentielles. Le potassium n'étant pas limitant en riziculture irriguée dans la vallée du Sourou, les résultats de l'essai NP nous permet d'obtenir des recommandations optimales d'azote et du phosphore. Ces recommandations sont fonction des coûts des engrais et du riz paddy, afin d'améliorer la rentabilité économique de la production rizicole.

1.2.1. Recommandation optimale du N/ha et du P/ha en fonction du type d'engrais, du prix de l'engrais et du paddy

Les résultats présentés dans les tableaux VIII et XI offrent différentes options de fertilisation en riziculture dans la vallée du Sourou liées aux coûts des intrants et les prix du paddy. En ce qui concerne les engrais, nous avons simulé deux cas de figure : une situation où les producteurs bénéficient de la subvention des engrais de la part de l'Etat, et une autre où les engrais proviennent du marché (sans subvention). Quant à la production, on a tenu compte de deux cas de figures en fonction de la fluctuation du prix de collecte du paddy: le prix bas et le prix élevé. De manière générale, les recommandations optimales en azote et en phosphore sont fonction du prix du paddy. On remarque que, plus le cours du riz est à son bas niveau, plus le niveau des recommandations en fertilisant est aussi faible. Cependant, plus l'engrais est moins cher, plus les recommandations haussent. En ce qui concerne l'azote, les recommandations varient entre 119 et 136 unités d'azote en fonction du cours du riz.

Tableau VIII: Optimum de N/ha en fonction du prix de l'urée et du paddy

Prix paddy	Recommandation Urée (unité N/ha)	
	Prix Subventionné (f CFA)	Prix Marché (f CFA)
Prix paddy min (125 FCFA)	129	119
Prix paddy max (175 FCFA)	136	129

$$y_n = -0,0832x^2 + 25,819x + 3156,3$$

$$y'_n = -0,1664x + 25,819$$

Quant au phosphore, les recommandations varient de 24 unités à 32 unités de phosphore en fonction du type d'engrais complexe utilisé et du cours du riz. Toutefois, on remarque que les recommandations avec le DAP sont plus élevées que celle avec le complexe NPK.

Tableau IX: Optimum de P/ha en fonction du type d'engrais, du prix de l'engrais et du paddy

Prix paddy	Recommandation DAP 18-46		Recommandation NPK 14-23-14	
	Prix Subventionné (f CFA)	Prix Marché (f CFA)	Prix Subventionné (f CFA)	Prix Marché (f CFA)
Min (125 FCFA)	31	29	27	24
Max (175 FCFA)	32	31	29	27

$$y_p = -1,5593x^2 + 105,97x + 3165,9$$

$$y'_p = -3,1186x + 105,97$$

II. Discussions

2.1. Efficacité des engrais sur la productivité du riz paddy

L'évolution des rendements du riz paddy suit celle des doses d'engrais appliqués. On observe une augmentation des rendements du riz paddy de 3116,7 kg/ha avec le traitement témoin, à 5333,3 kg/ha avec 120N40P40K. Ainsi, on remarque aisément que l'augmentation du niveau de fumure se traduit par une augmentation du rendement. De plus, la fertilisation minérale du riz irrigué s'accompagne toujours de gain de rendement, qui se situe entre 4 et 6 t/ha (Bationo *et al.*, 1995). Cette augmentation est aussi fonction de la variété du riz dont les potentiels sont variables.

Au-delà de l'amélioration des rendements, cette évolution des rendements laisse voir une hiérarchisation et une importance des éléments N, P et K. Ceci démontre que les éléments N et P sont les deux éléments limitatifs de la production du riz dans la vallée du Sourou. Nos résultats sont en accord avec ceux de nombreux auteurs (Pieri, 1989 ; IFDC, 2008 ; Bandaogo, 2010). Selon ces auteurs, l'azote et le phosphore sont les éléments majeurs limitant la production céréalière en générale et celle du riz en particulier. C'est dans le même sens que les auteurs tels que Bationo *et al.* (1991) ont montré que l'azote et le phosphore sont les deux premiers facteurs limitant les rendements des cultures sur les sols des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest.

De plus, la grande majorité des sols d'Afrique de l'Ouest en général et ceux du Burkina Faso en particulier, sont très pauvres en matière organique avec des teneurs variant entre 1 et 8 mg C kg⁻¹ sol (Bationo et Buerkert, 2001 ; Segda, 2006), et avec comme conséquence, une faible disponibilité en azote. Les résultats de Pieri (1989) ont montré que le phosphore est l'élément le plus déficitaire dans les sols de savane au Sud du Sahara. Tous les résultats de ces auteurs confirment la faible fourniture de nos sols en ces deux éléments majeurs que sont l'azote et le phosphore, ce qui justifie leur limitation dans la production rizicole. Au regard de ces résultats, le potassium ne semble pas limiter la production rizicole dans la vallée du Sourou. Ces résultats sont en conformité avec ceux obtenus par divers auteurs (Wopereis *et al.*, 1999; Haefele, 2001; Haefele *et al.*, 2003), observés sur plusieurs périmètres irrigués en Afrique soudano sahélienne. L'explication possible serait que le potassium échangeable représente seulement une faible proportion du potassium total du sol (9,9%), et que les racines de riz peuvent avoir accès au potassium à travers d'autres sources (Haefele *et al.*, 2004). Buri *et al.* (1999) ont observé des niveaux élevés de potassium dans les sols de plusieurs plaines

est particulièrement complexe. En effet, le phosphore inorganique du sol se trouve dans une très large mesure adsorbé, ou co-précipité, sur les oxydes de fer (Fe) et d'aluminium (Hinsinger, 2001 ; Segda, 2006). Seulement la réduction des oxydes de Fe III et donc leur dissolution en Fe^{2+} , entraîne une libération du phosphore et, de fait, une augmentation de la bio-disponibilité du phosphore suite à l'inondation des rizières (Segda, 2006). Cet élément est peu mobile, et l'observation de bilans partiels positifs à travers notre essai, démontre certainement une accumulation du phosphore dans le sol au-delà du seuil optimal.

2.2. Evaluation économique des recommandations d'azote et de phosphore

Au regard des recommandations des niveaux optimaux d'azote et de phosphore, on constate que ces niveaux sont fonction du prix des fertilisants et du prix du paddy à la collecte auprès du producteur. De tels résultats ont été démontrés par Dhuyvetter *et al.* (2000). De plus, ces auteurs démontrent que les recommandations d'options économiquement rentables d'unités d'azote sont influencées par celles du phosphore dans la production céréalière en aménagement irrigué. Ces niveaux peuvent augmenter jusqu'à un seuil maximal de la fourchette optimale. Ainsi, ces recommandations tiennent compte de la relation entre la valeur de la production et l'investissement du producteur en engrais. Les recommandations de niveaux de fertilisant sont d'autant élevées, que les coûts des engrais sont faibles et le prix de collecte du paddy favorable. Dans le même ordre, Valérie Kelly et Anastase Murekezi (2000) ont montré qu'il est important de connaître les engrais à recommander pour les différentes cultures et les zones de culture ainsi qu'avoir une bonne connaissance de leur rentabilité au niveau de l'agriculteur en fonction des différents scénarii prix intrant/récolte. En effet, différents facteurs affectent le niveau d'utilisation des engrais, notamment le potentiel agronomique ¹ et le potentiel agro-économique ² des engrais (Valérie Kelly et Anastase Murekezi, 2000). De plus, ces auteurs affirment que, plus le prix des intrants est bas et celui des produits récoltés haut, plus la demande des engrais sera élevée. Ainsi, cette situation assure une meilleure rentabilité de la production rizicole au niveau du producteur, elle lui permet une marge d'investissement plus élevée en engrais minéraux pour augmenter les rendements, sans dépasser les recommandations maximales en N et P identifiées, et améliorer

¹ Le potentiel agronomique est une fonction de la réponse physique de la plante à une application d'engrais dans un environnement donné (sols, climat, etc.). Il s'agit de la technologie interagissant avec la plante et son environnement pour donner un certain rendement.

² Le potentiel agro-économique est une fonction du rendement et de l'influence du prix des intrants et des produits récoltés.

la rentabilité. En outre, le choix du type d'engrais complexe utilisé pour la fourniture du phosphore est important. On remarque que, avec les mêmes coûts, le sac du diammonium phosphate (DAP 18-46) et du NPK (14-23-14), les recommandations en phosphore sont d'autant plus élevées selon que l'on utilise le DAP. Cela est dû au fait que l'engrais binaire (le DAP), a une forte teneur en phosphore par rapport au complexe NPK. De plus, son utilisation serait plus avantageuse en fourniture d'azote à cause de sa teneur relativement élevée par rapport au NPK. Ces caractéristiques font que l'option DAP utilise moins d'engrais, donc plus économique. Nos résultats sont en accord avec ceux de Valérie Kelly et Anastase Murekezi (2000) à travers les études menées au Rwanda sur les recommandations de fertilisation du riz qui ont abouti à une combinaison de DAP/urée étant la meilleure combinaison rentable.

A travers nos résultats, les recommandations optimales d'azote dans la vallée du Sourou se situent entre 119 et 136 unités/ha en fonction du cours du riz paddy. La recommandation actuelle se situe dans cette marge (120 unités d'azote), cependant elle peut être revue à la baisse avec la maîtrise de l'utilisation de l'azote à travers le placement profond de l'urée sous sa forme granulée. En effet, l'azote de l'urée simple appliqué à la volée, serait sujet à des pertes de l'ordre de 2/3 de l'azote apporté (Yaméogo *et al.*, 2013). Quant au phosphore son niveau optimal en fonction du cours du riz se situe entre 24 et 32 unités/ha. Nos recommandations sont légèrement supérieures à celles de la vulgarisation qui sont proches de celles obtenues par Segda (2006) dans la plaine de Bagré (21 unités de P/ha) à travers la modélisation. Ces résultats peuvent s'expliquer par la différence de niveau de la fourniture des sols de ces différents sites en phosphore. Toutefois, cette étude, tout comme celle menée sur les périmètres rizicoles de Bagré par Segda (2006) contribue à une reformulation des formules de fertilisations minérales dans la vallée du Sourou en riziculture irriguée.

Conclusion et recommandations

L'autosuffisance alimentaire est un challenge pour le développement socioéconomique du Burkina Faso. D'une manière générale, le développement rural passe par la recherche et la maîtrise des pratiques agricoles qui améliorent les revenus des producteurs et les conditions de vie. La riziculture est un domaine stratégique du pays, et occupe une grande partie des producteurs. Cependant, diverses contraintes limitent cette filière, notamment son maillon production. Pourtant, le riz constitue l'une des principales denrées des ménages du pays et est fortement fourni par le biais de l'importation. Cette situation est imputable à un manque de maîtrise de la production. En effet, les rendements en riziculture irriguée demeurent relativement faibles, même en condition de maîtrise d'eau, au Burkina Faso et en particulier à la vallée du Sourou. L'objectif global de cette présente étude visait à l'intensification de la culture du riz à travers une gestion optimale de la fertilisation minérale en riziculture irriguée. En effet, le diagnostic de la fertilité chimique des sols dans la vallée du Sourou révèle que le phosphore et l'azote constituent les éléments limitatifs de la production rizicole. Des réponses significatives à l'application des doses croissantes d'azote et de phosphore ont été observées. Nos recherches ont confirmé à travers les résultats obtenus, nos trois hypothèses de départ :

- l'azote est l'élément minéral le plus limitant en riziculture au Sourou ;
- le niveau optimal d'azote et de phosphore est supérieur à celui vulgarisé ;
- l'engrais binaire Diamoniumphosphate (DAP) permet une meilleure amélioration.

Cette étude offre des niveaux optimaux d'azote et de phosphore en riziculture dans la vallée du Sourou. Mieux, elle offre des options optimales de fertilisation en fonction du cours de la production (riz paddy) d'où une reformulation des formules d'engrais. Elle révèle, en outre, l'efficacité comparative des engrais complexes. En effet, l'engrais binaire DAP est plus approprié en riziculture dans la vallée du Sourou, par rapport au complexe NPK (14-23-14) présentement vulgarisé et utilisé. Cette option conjuguée avec une bonne gestion des résidus de récolte permettra de mieux gérer le niveau de potassium dont les teneurs sont très élevées dans la biomasse. Elle offrira par ailleurs une meilleure gestion de la productivité des terres agricoles et assurera la durabilité du système sous culture.

Par le biais de cette étude, nous pensons avoir contribué à la recherche alternative pour une amélioration de la production rizicole irriguée au Burkina, dans la vallée du Sourou. De plus, cette étude offre une amélioration de la rentabilité de la production rizicole, donc une ambition d'amélioration des revenus des producteurs et de leur condition de vie. En fin, elle intègre trois notions capitales dans la fertilisation minérale : l'efficacité, l'efficacé, et la

rentabilité économique, gages de la maîtrise de la production agricole et particulière en riziculture irriguée.

En perspective, l'étude de reformulation des formules de fertilisation en riziculture reste à approfondir à travers des essais de validation de ces formules optimales développées. Aussi, ces essais pourront intégrer l'évaluation de l'effet combiné de la matière organique sur le rendement et sur les propriétés physicochimiques du sol. En fin, il serait intéressant d'évaluer la maîtrise du niveau de l'azote à travers l'apport de l'urée sous la forme granule qui permettrait une augmentation significative des rendements et une diminution du niveau d'utilisation de l'azote, d'où une efficacité économique.

Références bibliographiques

- Adam Y. N., 2000.** Etude d'une fumure à base de burkinaphosphate sur le riz irrigué à la Vallée du Kou, dans l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études de l'IDR, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 73 p.
- ADRAO, 2008.** Responding to the rice crisis. Annual Report. 60 p.
- Angladette A., 1966.** Le riz. Techniques agricoles et productions tropicales. G.P. Moissonneuse et Larosse Paris, France. 879 p.
- Angladette A., 1976.** Le riz, G-P, édition Maisonneuve et Larose, Paris, France, 930 p.
- Badjissaga M., 2007.** Identification des éléments nutritifs majeurs limitant et des stratégies appropriées de fertilisation sous culture de maïs dans l'Ogou-Est. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Université de Lomé, Togo, 68 p.
- 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 Laval, Québec, 197 p.
- Bandaogo A., 2010.** Amélioration de la fertilité azotée en riziculture irriguée dans la vallée du Kou à travers la technologie du placement profond de l'urée super granulée, mémoire DEA, IDR, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 66p.
- Bationo A, Kimetu J, Ikeru S, Kimani S, Mugenda D, Odendo M, Silver M, Swift MJ, N. Sanginga N, 2004.** The Africa Network for soil biology and fertility: New challenge and opportunities. In Bationo (Ed): Managing of Nutrient Cycles to sustain soil fertility in Sub-Saharan Africa. Academy of science publishers, Nairobi, Kenya, 1-23p.
- Bationo A. & Buerkert A, 2001.** Soil organic carbon management for sustainable land use in Sudano-Sahelian West Africa. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 61: 131-142.
- Bationo A., 1994.** Gestion de la fertilité des sols. In : FAO : cours de formation : le travail du sol pour une agriculture durable.
- Bationo A., Ndunguru B.J., Ntare B.R., Christianson C.B., Mkwunye A.U. 1991.** Fertilizer management strategies for legume-based cropping systems in the West-African semi-arid tropics. In: C. Johansen, K.K. Lee & K.L. Sahrawat (Eds.), *Phosphorus nutrition of grain legumes in the semi-arid tropics*, ICRISAT: 213-226.

- Bationo, A., Buerkert, A., Sedogo, M.P., Christianson, B.C. & Mkwunye, A.U. 1995.** A critical review of crop residue use as soil amendment in the West Africa Semi-arid tropics. In: Powell, M., Ferrandez, S., Williams, T.O. and Renard, C. (eds) Livestock and Sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of Sub-Saharan Africa II. *Technical papers*. Proceedings International conference, Addis Abeba, Ethiopia, 22-26 Nov 1993. Addis Abeba, Ethiopia: ILCA
- Bationo, A., Chien, S.H., Christianson, C.B., Henao, J. & Mkwunye, A.U. 1990.** A three year evaluation of two unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to Niger. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1772-1777
- Bertrand, R. & Gigou, J. 2000.** La fertilité des sols Tropicaux. Edition *Maisonneuse & Larose*. Paris, France, 397 p.
- Bethemont J., Faggi P. & Zoungrana T. P. 2003.** La Vallée du Sourou (Burkina Faso). Genèse d'un territoire hydraulique dans l'Afrique soudanosahélienne, l'Harmattan, Paris, France, 230 p.
- Boniface, R. & Trocmé, S. 1988.** Enseignements fournis par des essais de longue durée sur la fumure phosphatée et potassique. 2 essais sur la fumure phosphatée. In : Gachon (ed). Phosphore et potassium dans les relations sol-plante. Conséquences sur la fertilisation. INRA, Paris, France, pp 279-402.
- Bosc, M., 1988.** Enseignements fournis par des essais de longue durée sur la fumure phosphatée et potassique. 3 essais sur la fumure potassique. In Gachon (ed). Phosphore et potassium dans les relations sol-plante. Conséquences sur la fertilisation. INRA, Paris, France, pp 409-466..
- BUNASOLS, 1990.** Manuel pour l'évaluation des terres. Documentations techniques n°6, Ouagadougou, p. 181.
- Buri, M.M., Ishida F., Kubota D., Masunaga T., Wakatsuki T. 1999.** Soils of flood plains of West Africa: General fertility status. *Soil Sci. Plant Nutr.* 45: 37-50.
- Cassman, K.G., Kropff M.J., Gaunt J. Peng S. 1994.** A conceptual framework for nitrogen management of irrigated rice in high -yield environments. In: Hybrid Rice Technology. News Developments and Future Prospects. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines: 81-96.

- Cassman, K.G., Peng S., Olk D.C., Ladha J.K., Reichardt W., Dobermann A. Singh U. 1998.** Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems. *Field Crops Research* 56 (1-2): 7-39.
- Chabaliér, P.F. 1976.** Contribution à la connaissance du devenir de l'azote du sol et de l'azote de l'engrais dans un système sol-plante. Thèse de doctorat d'Etat, IRAT, Montpellier, 131 p.
- Cissé D., 2013.** Effet du mode de gestion des résidus de récolte sur le sol et les rendements du coton, du maïs et du sorgho au Burkina Faso. Mémoire de Mastère en gestion durable des terres. AGRHYMET, Niger. 81p.
- Dhuyvetter, K.C., A.J. Schlegel and T.L. Kastens, 2000.** Effect of phosphorus on economic nitrogen rate for irrigated corn-update. *Better Crops*, Vol. 84, Numero 3, pp. 9-11.
- Dingkuhn et Sow. 1997.** Potential yields of irrigated rice in the Sahel. p. 361–379. *In* K.M. Mie' zan, M.C.S. Wopereis, M. Dingkuhn, J. Deckers, and T.F. Randolph (ed.) *Irrigated rice in the Sahel: Prospects for sustainable development*. West Africa Rice Dev. Assoc. (WARDA), Bouake, Ivory Coast.
- Dobermann, A. et White P.F. 1999.** Strategies for nutrient management in irrigated and rainfed lowland rice systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 53: 1-18.
- Doorembos, J. et Kassam A.H. 1980.** Réponse des rendements à l'eau. *Bulletin d'irrigation et de drainage* n033. FAO, Rome, Italie. 221p.
- Eurêka, 2005.** Partenariat ADRAO-INERA, Plus de dix ans au service du développement rizicole. Trimestriel du CNRST, Ouagadougou, Burkina Faso. 74 p.
- Ezui, K S., 2010.** Optimisation de l'utilisation des engrais dans les systèmes de culture à base de manioc (*Manihot Esculenta Crantz*) sur terres de barre au Togo. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies Sciences des Agro-ressources et Génie de l'Environnement, Ecole Supérieure d'Agronomie, Université de LOME, 78 p.
- Faggi, P. et Mozzi P., 2000.** La territorialisation hydraulique dans la Vallée du Sourou (Burkina Faso), Université de Padova, 78 p.
- FAO, 1994.** Bases de données ventilées par sexe concernant les ressources humaines en agriculture. Données nécessaires et disponibilités. Rome
- FAO, 2011.** Annuaire statistique de la FAO (FAOSTAT).
- Fardeau, J.C. et Bruno, C. 2002.** Fertilisations phosphatée et potassique raisonnées : Quels défis face aux besoins des filières et aux enjeux territoriaux ? Paris, France, 23 p.
- Fontes, J. et Guinko S. 1995.** Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso : notice explicative. Ministère de la coopération Française. 67p. Haynes, 1986 ;
- Optimisation de la fertilisation minérale et la rentabilité économique de la production de riz irrigué dans la vallée du Sourou, Burkina Faso*

- Foth, H. P., 1990.** Fundamentals of soil science. Henry, D., Foth (eds), John Wiley and Sons, New York: 336 p.
- Gros, A., 1967.** Engrais: guide pratique de la fertilisation (5 éd), Maison Rustique, Paris, 430 p
- Gros, A., 1979.** Engrais : guide pratique de la fertilisation (7 éd) Maison Rustique, Paris, 542 p.
- Gue, E., 2001.** Influence du régime hydrique sur la nutrition minérale et les composantes de rendement du riz irrigué à la Vallée du Kou, dans l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'étude, diplôme d'ingénieur, option agronomie. Université de Bobo Dioulasso/ IDR, 106 p.
- Guengané, R., 2014.** Pertinence et place des approches techniques de gestion de la fertilité des sols des bas-fonds rizicoles de la Région du Centre-Est au Burkina Faso, mémoire Master en gestion durable des terres, Centre Régional AGRHYMET, 64 p.
- Haefele, S.M., 2001.** Improved and sustainable nutrient management for irrigated rice-based cropping systems in West Africa. PhD thesis, Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, 241 p.
- Haefele, S.M., Wopereis M.C.S., Ndiaye M.K., Barro S.E., Ould Isselmou., M., 2003.** Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa. *Field Crops Research* 80 (1): 19-32.
- Haefele, S.M., Wopereis M.C.S., Schoenbohm A., Wiechmann H., 2004.** Long-Term Fertility Experiments for Irrigated Rice in the West African Sahel: Effect on soil characteristics. *Field Crops Research* 85 (1): 61-77.
- Hinsinger H., 2001.** Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil* 237: 173–195.
- IFDC Report., 2008.** Fertilizer and new demands: food, feed, fiber - Now fuel. 81p.
- IFDC, 2009.** An uptake on the work and progress at IFDC. Vol 34, N0. 3. 12p.
- INSD, 2007.** Résultats préliminaires du recensement général de la population et de l'habitat de 2006. In: Institut National des Statistiques et de la Démographie (INSD). Direction de la démographie, Ouagadougou, Burkina Faso.
- Kekeh, T. K., 1999.** Effet de l'amendement organique sur l'efficacité des engrais phosphatés et potassiques dans l'élaboration du rendement du maïs (*Zea mays L.*), Mémoire d'Ingénieur Agronome, UB-ESA, Lomé, Togo, 46 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 (irrigue) et tests de sélection variétale participative. Mémoire d'ingénieur du développement rural, Agronomie, UPB, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 72 p.
- Kpoda K C., 2013.** Evaluation de la capacité nutritive des sols dans les systèmes de production du riz irrigue de la vallée du Sourou au Burkina Faso: évaluation du modèle QUEFTS. Mémoire de mastère en science du sol. Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Institut du Développement Rural, Burkina Faso. 79 p.
- Lamaze T., S. Khamis, C. Foyer, J. Farineau, M.H. Valadier, et J.F. Morot-Gaudty. 1990.** Effet d'une limitation en N sur la photosynthèse chez le maïs. In : *Physiologie et Production du maïs*. INRA, Paris, 113-121.
- Lefèvre G. et Hiroux, G. 1976.** Bilans de la fumure, exportations et restitutions potassiques. *C.R. Ac. Agr.* 16 : 1131-1142.
- MAHRH, 2010.** Stratégie Nationale de Développement de la riziculture. MAHRH. 27p.
- Mando A., Zougmore R., Zombre NP. & Hien V. (2001).** Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique subsaharienne. In: Floret C., Pontanier R. (eds.). *La jachère en Afrique tropicale*. Vol. II. Paris : John Libbey, p. 311-339.
- Marschner B., 1995.** Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press London, UK, 889 p. WITT *et al.*, 1999.
- MASA, 2014.** Rapport de résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle 2013/2014, 77 p.
- Morel C., Tiessen, H., Moir, J.O. and Stewart, J.W.B. 1994.** Phosphorus transformations and availability under cropping and fertilization assessed by isotopic exchange. *Soil Sci. Soc. Am J.* 58: 1439-1445.
- Nadié 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.
- Naitormbaïdé M., 2012.** Incidence des modes de gestion des fumures et des résidus de récolte sur la productivité des sols dans les savanes du Tchad. Thèse de Doctorat Unique en développement rural, option Systèmes de Production végétale, spécialité

- Sciences du sol ; Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 192p.
- Ouattara A., 2011.** Etude de l'association de la fumure minérale et du compost dans une rotation coton-maïs en zone cotonnière ouest du Burkina. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Institut du Développement Rural, Burkina Faso. 41 p.
- Ouédraogo J., 2009.** Evaluation de la contribution de la macrofaune du sol sur la performance des mesures de conservation des eaux et des sols. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Institut du Développement Rural, Burkina Faso. 79 p.
- Pasandaran E, B Gulton, J.SRI Adiringsih, H, Aspari et S.Ri Rochayati., 1999.** Government policy support for technology promotion and adoption: a case study of urea tablet technology in Indonesia. *Nutrient cycling in Agroecosystems* 53: pages 113- 119.
- Peoples, M.P., Herridge, D.F. and J.K. Ladha. 1995.** Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant and Soil* 174: 3-28.
- Pieri C., 1989.** Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara. Ministère français de la Coopération et du Développement et CIRAD-IRAT, Paris, 444 p.
- Plenet, D., S. Etchebest, A. Mollier, Pellerin, S. 2000a.** Growth analysis of maize yield field crops under phosphorus deficiency: I. Leaf growth. *Plant and Soil*. 223: 117-130
- Poss, R.J., C. Fardeau and H. Saragoni. 1997.** Sustainable agriculture in the tropics: The case of potassium under maize cropping in Togo. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46: 205-213.
- Rodriguez, D. Pomar, M.C., Goudriaan, J. 1998.** Leaf primordia initiation, leaf emergence and tillering in wheat (*Triticum aestivum*, L.) grown under low-phosphorus conditions. *Plant and Soil*, 202: 149-157
- Sahrawat K.L., 1983.** Nitrogen availability indexes for submerged rice soils. *Advances in Agronomy* 36: 415-451.
- Sawadogo H., L. Bock, D. Lacroix et N. P. Zombré., 2009.** Restoration des potentiels du sol à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso). Base [En ligne], volume 12 (2008), numéro, 3, 279-290 URL : <http://popups.ulg.ac.be/1780-4507/index.php?id=2573>

- Scher S. J., 1999.** "Soil degradation: A threat to developing-country food security by 2020?" : Food Agriculture and the Environment. Discussion Paper. No. 27, International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- Sedogo M P., Lompo F. et Ouattara B., 1994.** Le carbone et l'azote dans différentes fractions granulométriques d'un sol ferrugineux tropical : effets de quatre types d'amendement organique. Science et technique. Vol 20 (3). 1936-1994. 110-120.
- Sédogo M.P., 1981.** Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride (Matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse de doctorat : Université de Nancy- France.
- Segda Z., 2006.** Gestion de la fertilité du sol pour une production améliorée et durable du riz (*Oriza sativa* L.) au Burkina Faso. Cas de la plaine irriguée de Bagré. Thèse présentée à l'UFR/ SVT. Thèse doctorat UO. BF, 202p + publications.
- Siri A., 2012.** Détermination de la capacité nutritive des sols en riziculture irriguée dans les périmètres de la vallée du Sourou : approche par les essais soustractifs, et utilisation du modèle QUEFTS-WS pour la formulation des options de fertilisations, mémoire ingénieur agronome UPB, 56p.
- Stevenson J. F., 1986.** Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. John Wiley & Sons, New York.
- Struif-Bontkes, T. Lamboni, D. et Ankou, A. K., 2002.** QUEFTS pour une fertilisation équilibrée. In : IFDC, Rapport Atelier Final sur l'utilisation des modèles et des SIG en Agriculture, 13 décembre 2002, Lomé. IFDC-Division Afrique, 2002, pp 6-9.
- Tel D. A., 1981.** Manuel sur l'analyse des sols et végétaux, département des Sciences et des Ressources Naturelles, Université de Guelph, Guelph Canada, pp 111-170.
- Traore S., Bakayoko M., Coulibaly B. S. & Coulibay A., 2003.** Amélioration de la gestion de la fertilité des sols et celle des cultures dans les zones sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest: une condition sine qua none pour l'augmentation de la productivité et de la durabilité des systèmes de culture à base de mil. 25p.
- Valérie Kelly et Anastase Murekezi., 2000.** Réponse et rentabilité des engrais au Rwanda, Synthèse des Résultats des Etudes du MINAGRI menées par le Food Security Research Project (FSRP) et l'Initiative sur la Fertilité des Sols de la FAO. 47 p.
- Vilain M., 1993.** La production végétale. Vol 1 : Composantes de la production végétale, 205 p.
- Wani S.P., Rupela, O.P. and K.K. Lee. 1995.** Sustainable agriculture in the semi arid tropics through biological nitrogen fixation in grain legumes. *Plant and Soil*. 174: 29-49

- Witt C., Dobermann, A., Abdulrachman, S., Gines, H.C., Guanghuo, W., Nagarajan, R., Satawatanant, S., T.T. Son, P.S. Tan, L.V. Tiem, Simbahan, G.C., Olk, D.C., 1999.** Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. *Field Crops Research*, 63, 113–138.
- Wopereis *et al.*, 1999.** Soil Fertility management in irrigated rice systems in the Sahel and Savannah regions of West Africa. Part I. Agronomic analysis. *Field Crops Research* 61: 125-145.
- Yaméogo P. L., 2009.** Contribution des granules d'urée dans l'amélioration de l'efficacité agronomique de l'azote en riziculture irriguée : Cas de la Vallée du Kou au Burkina Faso, mémoire d'ingénieur du développement rural. UPB, Burkina Faso, 60 p. Yoshida, 1972.
- Yaméogo P. L., Segda Z., Dakouo D., Sedogo M. P., 2013.** Placement profond de l'urée (PPU) et amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote en riziculture irriguée dans le périmètre rizicole de Karfiguela au Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences* 70:5523–5530.
- Yoshida S., 1981.** Fundamentals of rice crop science IRRI. Los Banos, (Phillipines). 113-115 p. Zoungrana *et al.*, 2005
- Zoungrana T.P., Bethemont J. et Faggi P., 2005,** De l'échec d'un projet à l'émergence d'un territoire : La vallée du Sourou (Burkina Faso), *Colloque d'Agadir*, 12-15 décembre 2005, 17 p.

ANNEXE

Annexe 1



Photo 2: Piquetage et délimitation des parcelles



Photo 1: Application de la deuxième fraction des engrais



Photo 3: Riz à la maturité



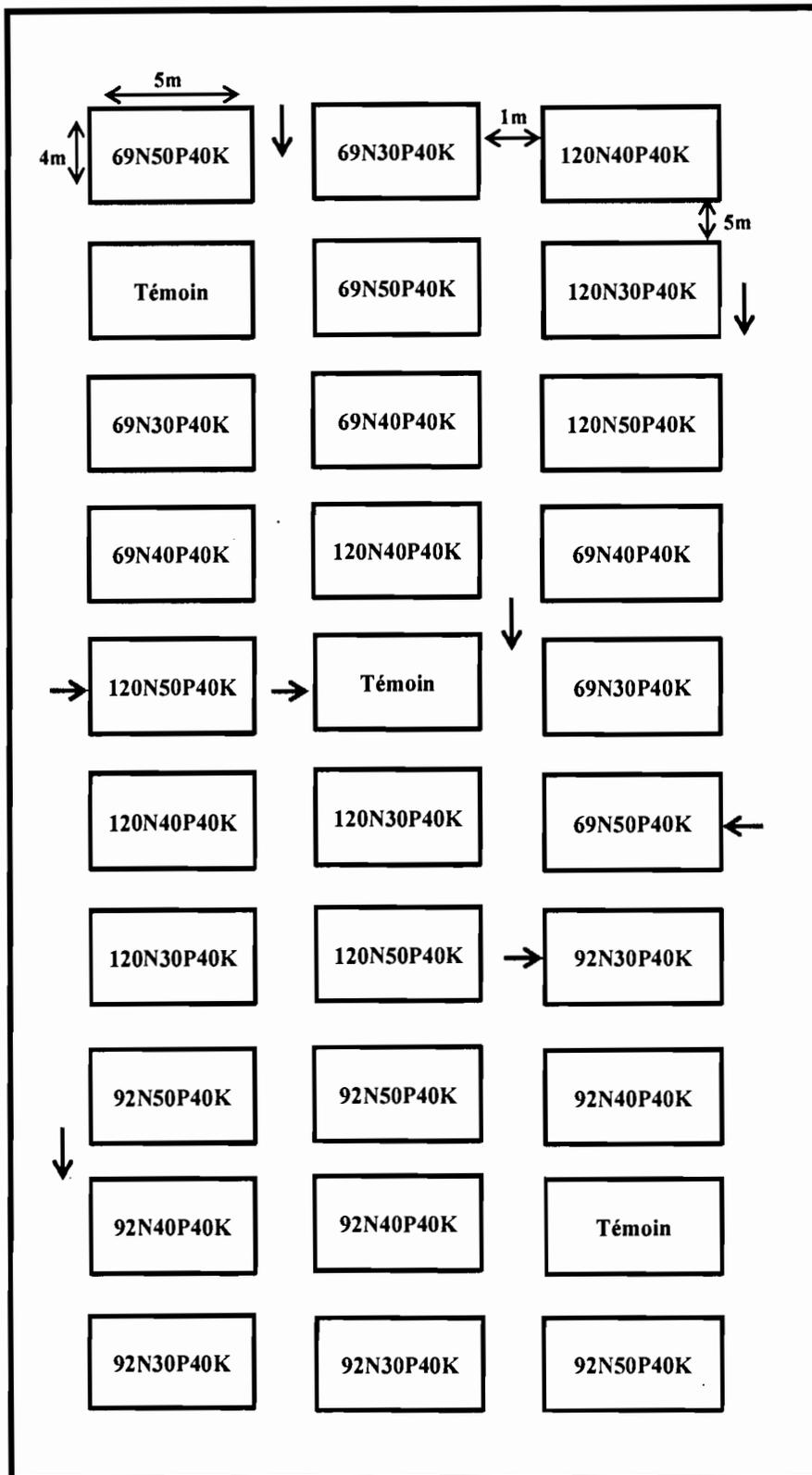
Photo 4: Opération de récolte du riz de l'essai à la maturité



Photo 5: Opération de battage parcellaire du riz



Photo 6: Opération de battage suivi des pesées



→ Sens d'irrigation

Figure 5: Dispositif expérimental (essai factoriel)