

Burkina Faso
UNITE-PROGRES-JUSTICE

**MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE,
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE DE DEA

OPTION : Système de Production Végétale/ Spécialité : Science du sol

THEME : Effet de différentes sources d'azote sur la réponse de quatre variétés de riz à l'azote à la Vallée du Kou au Burkina Faso

Présenté par :

BANDAOGO Alimata Arzouma

Maître de stage : Dr FOFANA Bidjokazo

Directeur de mémoire : Pr SEDOGO P Michel

JUIN 2010

N° : 00-2010

Table des matières

Table des matières	i
DEDICACE	iii
REMERCIEMENTS	iv
SIGLES ET ABREVIATIONS	v
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vii
Liste des cartes	vii
Résumé	viii
Abstract	ix
Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	3
I.1 Exigences de la plante du riz	3
I.2 Dynamique de l'azote et prélèvement d'azote par la plante dans les systèmes de riziculture irriguée.....	3
I.2.1 Dynamique de l'azote.....	3
I.2.2 Utilisation et prélèvement de l'azote par la plante de riz	5
I.2.3 Impact du placement profond de l'urée super granulée.....	6
I.2.3.1 Importance agronomique	6
I.2.3.2 Importance socio-économique.....	8
I.3 Variation du pH dans la lame d'eau	9
Chapitre II : Matériel et méthodes	11
II. 1 Présentation de la zone d'étude.....	11
II.1.1 Climat.....	11
II.1.2 Végétation	13
II.1.3 Sols.....	13
II.2 Matériel utilisé	14
II.2.1 Matériel végétal.....	14
II.2.2 Fumures minérales utilisées	14
II.2.3 Sols utilisés	15
II.3 Méthodes	15
II.3.1 Essais soustractifs	15
II.3.1.1 Dispositif expérimental des essais soustractifs	15
II.3.1.2 Paramètres mesurés	16
II.3.2 Evaluation des technologies d'apport de l'urée	18
II.3.2.1 Dispositif expérimental	18
II.3.2.2 Paramètres mesurés sur le sol	18
II.3.2.3 Observations et mesures phénologiques	19
II.3.2.4 Evaluation des rendements et des composantes de rendement	19
II.3.2.5 Conduite de l'essai	20
II.4 Analyse de données.....	21
Chapitre III : Résultats et discussion	23
III.1 Résultats.....	23
III.1.1 Essais soustractifs	23
III.1.1.1 Influence des traitements sur le rendement grain	23
III.1.1.2 Influence des traitements sur le rendement paille.....	23

III.1.1.3 Influence des traitements sur l'absorption totale des grains et de la paille en azote	24
III.1.1.4 Influence des traitements sur l'absorption totale des grains et de la paille en phosphore ...	24
III.1.1.5 Influence des traitements sur l'absorption totale des grains et de la paille en potassium	24
III.1.2 Evaluation de l'urée super granulée avec le perlurée	25
III.1.2.1 Etat de perméabilité du sol utilisé pour l'expérimentation « perlurée – USG ».....	25
III.1.2.2 Influence du type d'urée et de la dose d'urée sur les valeurs du pH de la lame d'eau	25
III.1.2.3 Evolution du pH de la lame d'eau en fonction du type d'urée	26
III.1.2.4 Influence du type d'urée et de la dose d'urée sur la hauteur des plants à la maturité	27
III.1.2.5 Influence du type d'urée et de la dose d'urée sur la teneur en azote de la biomasse à l'initiation paniculaire.....	27
III.1.2.6 Analyse des composantes de rendement et du rendement selon les variétés	29
III.1.2.7 Effet des traitements sur le rendement grains des variétés	31
III.1.2.8 Effet des traitements sur le rendement paille.....	32
III.1.2.9 Effet des traitements sur l'absorption en azote des grains des variétés.....	33
III.1.2.10 Effet des traitements sur l'absorption en azote des pailles des variétés	34
III.1.2.11 Effet des traitements sur l'absorption en azote par les grains et par la paille de riz.....	35
III.1.2.12 Effet des traitements sur l'absorption du phosphore par les grains et par la paille de riz .	37
III.1.2.13 Effet des traitements sur l'absorption en potassium par les grains et par la paille de riz..	38
III.2 Discussion.....	39
III.2.1 Essais soustractifs	39
III.2.2 Evaluation des technologies d'apports de l'urée	40
III.2.2.1 Evolution du pH de la lame d'eau	40
III.2.2.2 Impact de la dose et du type d'urée sur le rendement et l'absorption des éléments N, P et K des variétés.....	41
Conclusion	43
Références bibliographiques.....	42
Annexes	46

DEDICACE

A

ma famille

et

A

tous les chercheurs qui œuvrent pour le

développement agricole au Burkina Faso

Que DIEU les bénisse !

REMERCIEMENTS

Le présent mémoire est le fruit de la collaboration entre l'Institut de Développement Rural (IDR) et le Centre International de Fertilité et Développement Agricole (IFDC). Durant l'étude nous avons eu à recourir à l'aide de plusieurs personnes à qui nous avons l'honneur de témoigner toute notre reconnaissance. Nos remerciements s'adressent spécialement:

-Au **Pr SEDOGO Michel** chercheur à l'INERA Kambouinsin, notre Directeur de mémoire, pour ses suggestions et pour la touche finale qu'il a apporté au mémoire malgré ses multiples occupations ;

-Au **Dr FOFANA Bidjokazo** chercheur et coordinateur des projets de gestion des ressources naturelles de l'IFDC, notre Maître de stage pour avoir initié l'étude et pour l'attention particulière qu'il a prêtée au travail ;

-Au **Dr SANSAN Youl** chercheur à l'IFDC, pour ses différents conseils et pour avoir guidé lors de l'analyse des données ;

-Au **Dr BACYE Bernard** enseignant à l'IDR, pour les critiques et suggestions enrichissantes apportées au présent document ;

-Au **Dr Segda Zacharie**, Chercheur à l'INERA et Directeur Général de la maîtrise d'ouvrage de Bagré, pour ses suggestions et la correction apportée au document;

-A **Mr SANON Soungalo** ingénieur agronome à l'IFDC, pour avoir facilité le déroulement de nos travaux à la vallée du Kou ;

-A **Mr SANWIDI Raymond**, chef d'antenne de l'INERA à la vallée du Kou, pour avoir mis à notre disposition le matériel nécessaire pour la mise en place de nos essais ;

Nous remercions aussi tous: les techniciens qui nous ont aidé dans nos travaux en particulier **Mrs BELEM Pierre, OUEDRAOGO Boureima, SAWADOGO Noufou** pour leur disponibilité et leur soutien pendant la mise en place des différents essais ;

Mr SAWADOGO Abdoulaye, manœuvre à la vallée pour nous avoir aidés dans l'entretien de nos essais ;

L'ensemble des producteurs avec qui nous avons travaillé et pour la confiance qu'ils ont placée en notre étude ;

A mon père **BANDAOGO Lassane**, à ma mère **ZAMPOU ABIBA** et à mes frères et sœurs pour leur soutien inestimable ;

A tous mes amis **SOMDA Bienvenu, DJIRI Sita** et **SAMANDOULGOU Irène** pour leur soutien et leur encouragement.

SIGLES ET ABREVIATIONS

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

FAO: Fonds des Nations Unis pour l’Agriculture et l’Alimentation

FKR: FaraKobà Riz

GE-eau: Génie de l’Environnement - eau

IDR: Institut de Développement Rural

ICRISAT: International Crops Research Institute for Semi – Arid Tropics

IFA: Association Internationale de l’industrie des Engrais

IFDC: International Fertilizer Development Center

INERA: Institut de l’Environnement et de Recherches Agricoles

INSD: Institut Nationale de la statistique et de la Démographie

IP: Initiation paniculaire

KCl: Chlorure de Potassium

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

PNTTA: Programme National de Transfert de technologie en Agriculture

PP : Pratique Paysanne

PPU: Placment Profond de l’Urée

TSP: Triple Super Phosphate

USG: Urée Super Granulée

Liste des tableaux

Tableau I: Variétés et leurs caractéristiques.....	14
Tableau II: Caractéristiques des sols utilisés	15
Tableau III: Doses d'engrais utilisés	16
Tableau IV: Quantités d'engrais simples dans les traitements du producteur.....	16
Tableau V: Dispositif expérimental des essais soustractifs.....	17
Tableau VI: Effet des traitements sur les rendements grain et paille.....	23
Tableau VII: Effet des traitements sur l'absorption totale en élément N, P et K des grains et de la paille	24
Tableau VIII: Caractéristique des composantes de rendement et du rendement	29
Tableau IX: Rendement grain (Kg/ha) des variétés en fonction les traitements.....	31
Tableau X: Rendement paille (Kg/ha) des variétés en fonction des traitements.....	33
Tableau XI: Absorption en azote (Kg/ha) des grains selon les traitements	34
Tableau XII: Absorption en azote (Kg/ha) de la paille selon les traitements	35
Tableau XIII: Absorption totale en azote (Kg/ha) des grains et de la paille selon les traitements..	36
Tableau XIV: Absorption totale en phosphore (Kg/ha) des grains et de la paille selon les traitements.....	37
Tableau XV: Absorption totale en potassium (Kg/ha) des grains et de la paille selon les traitements	39

Liste des figures

Figure 1: Transformation de l'azote dans un sol de riz irrigué par submersion (source : Chowdary et al, 2004).....	4
Figure 2: Répartition comparée de l'azote (N) entre super granulée et l'urée simple (Source: Roy (2003) et IFDC (2003)).....	8
Figure 3: Pluviosité moyenne annuelle de 1999 à 2009 à la Vallée du Kou.....	12
Figure 4: Evolution de la température	12
Figure 5: Pluviosité et évolution de l'évapotranspiration en 2009 à la Vallée du Kou.....	13
Figure 6: Technique d'application des granules d'urée	18
Figure 7: Evolution de l'infiltration du sol.....	25
Figure 8: Effet de la dose d'urée sur le pH de la lame d'eau	26
Figure 9: Evolution du pH de la lame d'eau en fonction du type d'urée	26
Figure 10: Comparaison de la hauteur des plants des variétés selon le type et la dose d'urée	27
Figure 11: Comparaison des teneurs en azote de la biomasse en fonction de la dose et le type d'urée	28
Figure 12: Comparaison des teneurs en azote des différentes variétés selon le type d'urée.....	28
Figure 13: Effet du type d'urée sur le nombre moyen de panicules/ touffe	30
Figure 14: Comparaison du rendement grain des variétés selon la dose et le type d'urée.....	32
Figure 15: Comparaison du rendement paille des variétés selon la dose et le type d'urée	33
Figure 16: Effet de la dose et du type d'urée sur l'absorption en azote des grains des variétés.....	34
Figure 17: Effet de la dose et du type d'urée sur l'absorption en azote des variétés	35
Figure 18: Effet des traitements sur l'absorption totale en azote des variétés	36
Figure 19: Effet des traitements sur l'absorption totale en phosphore des variétés	38
Figure 20: Effet des traitements sur l'absorption totale en potassium des variétés.....	39

Liste des cartes

Carte: Zone d'étude

Résumé

Une bonne maîtrise de l'utilisation de l'azote dans les systèmes de riziculture irriguée est un facteur essentiel dans l'amélioration de la productivité de la culture du riz. Une étude a été menée dans le périmètre rizicole de Bama (Vallée du Kou) en vue d'optimiser la fertilisation azotée en riziculture irriguée à travers l'utilisation de l'urée supergranulée (USG). L'étude a consisté à évaluer les performances agronomiques de l'urée supergranulée (USG) en comparaison avec l'urée ordinaire ou perlurée et d'identifier l'élément nutritif le plus limitatif de la riziculture à la Vallée du Kou à travers des essais soustractifs. L'évaluation de la performance agronomique de l'urée a été menée sur le terrain avec 4 variétés (TS2, FKR 62 N, FKR 19 et FKR 28), 2 doses d'urée (170 Kg/ha et 113 Kg/ha) et les 2 types d'urée. Au niveau des essais soustractifs le meilleur rendement grain (4955 Kg/ha) et meilleur rendement paille (7399 Kg/ha) ont été obtenus avec le traitement NPK. Les éléments N et P ont été identifiés comme étant les éléments nutritifs les plus limitatifs de la riziculture irriguée dans la Vallée du Kou. Au niveau de l'essai « perlurée-USG » la variété TS2 est celle qui a obtenu le meilleur rendement grain (4818 Kg/ha) à la dose 170 Kg/ha avec l'USG. La variété FKR 19 est celle qui a obtenu le meilleur rendement paille (7856 Kg/ha) à la dose 170 Kg/ha avec l'USG. La meilleure absorption totale en azote (119,7 Kg/ha) est obtenue avec la variété FKR 19 à la dose 170 Kg/ha avec l'USG. La comparaison de l'USG au perlurée n'a pas montré une différence significative entre les deux types d'urée à la dose de 113 Kg/ha avec les 4 variétés mais à la dose 170 Kg/ha les traitements avec l'USG sont plus performants. Parmi les quatre variétés utilisées, les variétés FKR 19 et la TS2 réagissent mieux à l'application de l'USG. En perspective, nous pensons qu'en étudiant l'effet combiné des briquettes d'urée (USG), du phosphore et la fumure organique sur différents types de sol, on pourra dégager des solutions en vue d'assurer une durabilité des systèmes de riziculture irriguée à la vallée du Kou.

Mots clés : Azote, urée supergranulée, perlurée, riziculture irriguée, rendement, absorption, variété, vallée du Kou, Burkina Faso.

Abstract

Improving nitrogen (N) management is very critical for the productivity of irrigated rice. A study was conducted in the rice perimeter (Kou valley in Burkina Faso) to optimize nitrogen use efficiency in irrigated rice by using urea supergranules (USG). The aim of this study was to evaluate the agronomic performance of USG compared to broadcast prilled urea, and to determine the most limiting nutrient by using omission trial. The evaluation of the agronomic performance of urea was carried out on field with four varieties (TS2, FKR 62 N, FKR 19 and FKR 28) and the treatments involved are two fertilizer N rates (170 kg/ha and 113 Kg/ha) and two N application methods (USG deep placement and broadcast surface application of prilled urea (PU)). With the omission trials, the best grain yield (4955 kg/ha) and best straw yield (7399 kg/ha) were obtained with all macro nutrient (NPK) applied. N and P were identified as the most yield limiting nutrients for irrigated rice in the Kou Valley. At 170 kg/ha fertilizer N rate, highest grain yield (4818) and straw yield (7856 kg/ha) were produced by TS2 and FKR 19, respectively. Highest total N uptake (119.7 kg/ha) was obtained with FKR 19 at 170 Kg/ha N rate with USG. There is no significant difference between USG and PU at 113 kg/ha with the 4 varieties. But at 170 kg / ha, treatments with USG were more efficient. Among the four varieties tested, highest yields were recorded with FKR 19 and TS2 under USG treatment. Future studies should investigate the effect of using USG on different soil types in combination with phosphorus and organic manure for the sustainability of irrigated rice production systems in Kou Valley.

Key words: nitrogen, urea supergranule, prilled urea, irrigated rice cultivation, yield, uptake, variety, Kou Valley, Burkina Faso.

Introduction

Le riz constitue l'aliment de base pour plus de la moitié de l'humanité (CIRAD - GRET, 2002). L'Afrique contribue pour 3% de la production mondiale de riz avec un potentiel de 12% des surfaces irriguées (Capillon, 2005). Au Burkina Faso la consommation du riz a crû progressivement sous les effets conjugués de l'urbanisation, de la croissance démographique et du changement des habitudes alimentaires alors que la production nationale est restée faible, ce qui a créé un déséquilibre entre l'offre et la demande. Pour compenser ce déficit de plus en plus important, le Burkina Faso doit importer des quantités massives de riz sur le marché international. Par exemple, les importations de riz ont pratiquement triplé en l'espace de 10 ans, passant de 137 185 tonnes en 1998 à 305 180 tonnes en 2006 pour des valeurs respectives de 26,800 milliards à plus de 37,8 milliards de F CFA (MAHRH, 2010). Cette sortie importante de devises pèse lourdement sur la balance commerciale du pays. Dans le souci de réduire la dépendance du pays, des efforts sont entrepris pour accroître la production nationale de riz. C'est ainsi que la riziculture irriguée, introduite au Burkina Faso vers la fin des années 1960, est devenue une des solutions pour satisfaire une demande intérieure en riz toujours croissante. Il s'agit en effet, de la forme la plus intensive de riziculture où la maîtrise de l'eau permet, avec l'utilisation de variétés productives et d'intrants, d'accéder à des niveaux élevés de rendements (Raunet, 1991). Cependant, les rendements des rizières sont relativement faibles comme partout dans tous les environnements rizicoles en Afrique de l'Ouest avec un rendement moyen de 2,8 tonnes/ha dans les conditions irriguées (ADRAO, 1998).

En riziculture irriguée, l'azote est le principal facteur limitant des rendements et la gestion de fertilisation azotée est un facteur important de productivité et de rentabilité (Segda, 2006). Selon le rapport de l'IFDC (2003), la fertilisation azotée représente 15% à 20% du coût de la production totale. La méthode d'application des engrais est une composante essentielle des bonnes pratiques agricoles. Elle est d'autant plus importante qu'elle permet d'assurer l'efficacité optimale dans l'utilisation des engrais, de minimiser les risques potentiels de pollution environnementale (Rabat, 2003). La méthode d'application et la différence variétale influent également sur les pertes d'azote (N) par dénitrification et par volatilisation. L'urée simple apportée au riz à la volée avec ou sans incorporation après le repiquage est la méthode la plus courante de fertilisation azotée. Cependant, certains auteurs (Pasandaran *et al*, 1999, Bowen *et al*, 2004) ont montré que pour cette pratique, seulement 1/3 de l'azote apporté est utilisé par la culture. Le reste de l'azote (60 à 70%) est perdu par dénitrification et par volatilisation (Morales *et al*, 2000). Segda (2006) ont montré que seulement 31% de l'azote apporté sous forme de

perlurée à la volée sont utilisés par le riz. L'efficacité des engrais azotés est faible, voire très faible, en riziculture irriguée contrairement aux cultures sèches qui peuvent utiliser jusqu'à 60% de l'engrais appliqué. Cette proportion atteint difficilement 40% dans le milieu inondé que constitue la rizière. Or, il a souvent été démontré que le rendement grain est supérieur lorsque l'engrais est incorporé dans le sol plutôt qu'épandu dans l'eau ou la boue. L'augmentation des rendements alors constatés est de l'ordre de 5 à 15% si l'urée est incorporée dans le sol (Barrier *et al*, 2000), puis de 15 à 25% s'il est apporté sous forme d'urée supergranulée - USG (Savant & Stangel, 1990). Par ailleurs, Pasandaran *et al*, (1999) ont montré que les performances agronomiques du Placement Profond de l'Urée supergranulée (PPU) en riziculture irriguée varient en fonction du type de sol et de la variété.

Dans la perspective d'optimiser l'utilisation de l'azote en riziculture irriguée à travers la maîtrise des différents mécanismes de pertes d'azote, l'IFDC a jugé nécessaire de mener une étude sur le placement profond de l'urée supergranulée (USG). C'est dans cette optique qu'a été initiée la présente étude intitulée «Effet de différentes sources d'azote sur la réponse de quatre variétés de riz à l'azote à la Vallée du Kou au Burkina Faso. »

L'objectif global de l'étude est d'optimiser la fertilisation azotée en riziculture irriguée à travers le placement profond de l'urée transformée en granule, communément appelé l'urée supergranulée (USG). Il s'agit plus spécifiquement:

- d'identifier l'élément nutritif le plus limitatif en riziculture irriguée dans la vallée du Kou ;
- d'évaluer les performances agronomiques de l'USG en comparaison avec le perlurée apporté à la volée ;
- d'évaluer la réponse des principales variétés de riz à l'USG.

Les hypothèses de l'étude sont :

- HP 1 : L'azote est l'élément le plus limitatif en riziculture irriguée dans la Vallée du Kou ;
- HP 2 : La réponse du riz aux engrais azotés est fonction des doses et du type d'urée apportées;
- HP 3 : La performance à l'azote, notamment l'USG dépend de la variété de riz.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1 Exigences de la plante du riz

Les besoins en eau : le riz (*Oryza sativa*) croît et se développe dans les conditions diversifiées et très contrastées de disponibilité en eau. 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.

Les 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 de 27°C et 29°C. Pendant la maturation, la température doit être au moins de 19°C (MAE, 2002). Le tallage du riz est également amoindri par le froid.

Les besoins en lumière: la lumière est un facteur qui joue un rôle important dans la croissance et la productivité du riz. 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. Les faibles intensités lumineuses retardent l'épiaison et la maturation des variétés précoces mais avancent légèrement la date de la maturation des variétés tardives (Nebié, 1995)

Les sols : le sol idéal doit contenir 50 à 60% de particules fines de limons et d'argiles. La culture du riz irrigué est un cas particulier pour ce qui concerne la fertilité des sols. En effet, il est recherché des sols ayant une perméabilité très faible de façon à éviter les pertes d'eau par drainage souterrain. Les sols aptes à la riziculture sont des sols profonds, très argileux donc très peu perméables, ayant une capacité de rétention en eau élevée et une capacité d'échange cationique élevée. Pendant la culture, le riz est inondé et le sol se trouve en situation anaérobie; la vie microbienne est faible (Marc, 2001).

Le riz résiste à des doses élevées de sel marin jusqu'à 7% de chlorure de sodium (NaCl) et s'accommode à des variétés considérables de pH de 4,5 à 8,7, mais pousse mieux sur les sols acides.

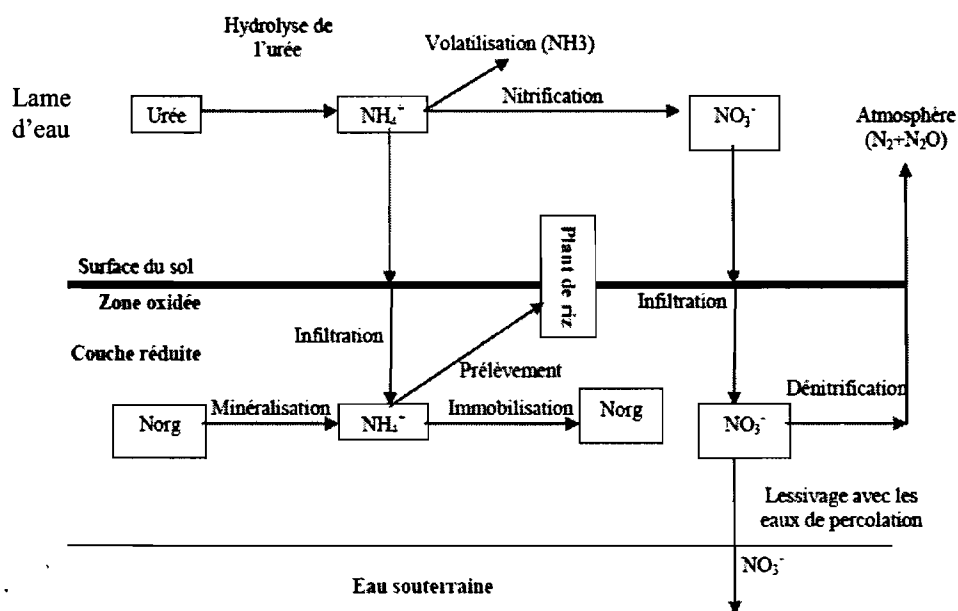
I.2 Dynamique de l'azote et prélèvement d'azote par la plante dans les systèmes de riziculture irriguée

I.2.1 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 (Condom, 2000).

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 sous forme de gaz soit dissous 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 sur les 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 retenu 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 (PNTTA, 2000).



Norg = azote organique, NO_2 = nitrate

Figure 1: Transformation de l'azote dans un sol de riz irrigué par submersion (source : Chowdary et al, 2004).

Les différents processus impliqués dans le cycle de l'azote en riziculture irriguée par submersion ont été synthétisés par Chowdary et al, (2004) et mettent en jeu quatre compartiments (figure 1) :

La **lame d'eau** superficielle représente d'abord l'interface entre le sol et l'atmosphère. Elle limite les flux d'espèces gazeuses, notamment pour ce qui concerne le transfert d' O_2 de

l'atmosphère vers la solution du sol. Ceci favorise le développement de conditions anoxiques; le transfert de CO_2 vers l'atmosphère, qui tend alors à s'accumuler dans le sol; ou le transfert d'azote sous forme N_2 ou N_2O issu de la dénitrification. Les échanges entre la lame d'eau et l'atmosphère portent aussi sur la volatilisation de NH_3 en équilibre avec l'ion ammonium.

L'**horizon superficiel du sol** est le siège principal des processus biologiques du fait de la présence du système racinaire et de la restitution de différents résidus organiques d'origine animale ou végétale. Sous l'influence conjuguée de ces processus biologiques et de la faible diffusion d' O_2 , des conditions réductrices sont susceptibles de s'y développer et favorisent la réduction de l'azote (dénitrification). Elle est aussi le principal lieu de fourniture net d'azote ammoniacal lié à la minéralisation des matières organiques.

Une mince **couche superficielle** plus oxydée au contact avec la lame d'eau. Elle est le siège d'un processus de nitrification qui intervient aussi dans la rhizosphère.

Et enfin, les **horizons sous-jacents** qui sont principalement le lieu de transfert des formes d'azote minéral.

Les pertes d'azote se font par volatilisation de l'ammoniac sous l'influence du pH, de la température et de la concentration en ammonium dans la lame d'eau en cas d'épandage en surface; par lixiviation du nitrate et par dénitrification.

1.2.2 Utilisation et prélèvement de l'azote par la plante de riz

L'alimentation azotée est une composante majeure dans la productivité du riz irriguée car elle affecte toutes les phases dont dépend le rendement du riz. La déficience en azote est généralement considérée comme la principale cause des baisses de rendement (Narteh & Sahrawat, 1997; Cassman *et al*, 1998; Fageria & Baligar, 2001). Le déficit d'azote entraîne la réduction du nombre de talles, réduisant ainsi le nombre de panicules et de grains. Ces composantes expliquent une grande partie de la variabilité du rendement. L'efficacité d'absorption de l'azote minérale varie de 20% à 60% en fonction des conditions (type de sol, maîtrise de l'eau, pH et température de l'eau), des doses et des modalités d'apport (fractionnement ou non) et des variétés (CIRAD- GRET, 2002). La production d'ammonium est essentielle dans l'alimentation du riz irrigué, même si le riz peut également prélever le nitrate (Narteh & Sahrawat, 1999).

La plante de riz est capable d'absorber et d'utiliser le nitrate que l'ammonium mais en condition de submersion, l'ammonium reste la principale forme disponible donc la plus absorbée (Tadano & Yoshida, 1978). Le niveau d'alimentation azotée de la plante dépend de l'adéquation entre

l'évolution des besoins en azote de la plante au cours du cycle (liés à la vitesse de croissance) et la disponibilité en azote dans le sol. Kirk & Kronzucker, (2000) montrent que le riz absorbe 50% de son azote entre 35 et 45 jours après repiquage c'est à dire pendant la période où sa vitesse de croissance potentielle est maximale. On peut observer que cette période se poursuit jusqu'à l'initiation paniculaire (IP) qui détermine le nombre de panicules et d'épillets. Cassman et al, (1998) ont mesuré des prélèvements proches de 10 kg de N/jour/ha après un apport d'urée dans l'eau à l'IP.

1.2.3 Impact du placement profond de l'urée super granulée

Des travaux de nombreux auteurs (Pasandaran et al, 1999 ; Segda et al, 2006 ; Bowen et al, 2004 ; l'IFDC, 2003, 2009) ont montré que le placement profond de l'urée supergranulée comporte des nombreux avantages agronomiques et socio-économiques. Mais plusieurs facteurs déterminent le succès du placement profond de l'urée. Les facteurs décrits par l'IFDC (2003) sont les suivants :

- sols ayant une faible perméabilité (vitesse de percolation inférieure à 1 cm/jour),
- sols contenant beaucoup d'argile associée à la condition de percolation,
- sols à capacité d'échange cationique (CEC) supérieure à 10 cmol/kg.
- sols à pH proche de la neutralité ou légèrement alcalin,
- variétés de riz dont le cycle est d'environ 120 jours.
- la masse de l'urée supergranulée utilisée doit être fonction de la densité de repiquage car la dose d'urée augmente avec la densité.

En plus de ces facteurs, Pasandaran et al, (1999) ajoutèrent que le succès de l'urée supergranulée serait également conditionné par l'efficacité de l'irrigation. En effet, sur un sol sec l'azote de l'urée peut subir une nitrification du fait des molécules d'oxygène et être perdu par dénitrification après avoir été réduit.

1.2.3.1 Importance agronomique

L'efficacité des engrais mesure la proportion des engrais qui ont été utilisés par la culture. C'est la proportion qui a été absorbée par la culture, qui a servi à son développement et qui se retrouve pour une bonne partie dans la récolte. L'objectif de tout agriculteur est d'obtenir une efficacité maximale des engrais utilisés pour maximiser les rendements et éviter les gaspillages (Marc; 2001).

Les recherches de l'IFDC (2003, 2009) ont prouvé que l'efficacité de l'azote peut être nettement améliorée à travers le placement profond de l'urée. En effet, cette technologie entraîne une

utilisation efficace de l'azote en le gardant plus dans le sol, hors de l'eau de surface où il est susceptible de se perdre sous forme gazeuse ou par percolation ou encore par écoulement (Mohanty et al, 1999). L'urée est apportée près de la zone racinaire. Gaudin et al, (1987) étudiant le contenu en azote après placement des deux types d'urée notamment l'urée simple et les supergranules d'urée ont montré qu'il y a un seuil de concentration en ammonium en deçà duquel le prélèvement par les plantes est efficace. Ce seuil de 100 ppm est atteint presque tout de suite pour l'urée simple et un mois après pour l'urée super granulée ce qui expliquerait le retard dans le pompage racinaire.

La technologie du placement profond de l'urée comporte de nombreux avantages dont notamment l'augmentation de l'efficacité de l'urée en riziculture inondée grâce à une réduction significative des pertes d'azote liées aux émissions gazeuses, au lessivage et une seule application par cycle. Cette diminution en pertes d'azote conduit à une augmentation de la production du riz avec une dose d'urée inférieure. D'autres avantages à relever sont la réduction de 50% des besoins en apport d'urée et l'augmentation du rendement du paddy de 15 à 25% (Catalist, 2009). Les travaux de Bowen et al. (2004) ont montré une l'augmentation des rendements dans 75% des parcelles de riz fertilisées avec l'urée supergranulée. Selon ces auteurs cette augmentation est due à une augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'azote appliqué. En effet, le placement profond de l'urée permet de garder l'azote de l'urée dans le sol près des racines des plantes en dehors des eaux d'écoulement et des pertes par volatilisation. La répartition de l'azote au niveau des grains, de la paille, du sol et le pourcentage de volatilisation pour les deux types d'urée en comparaison est illustrée dans la figure 2. Elle montre aussi que le placement profond de l'USG permet une meilleure utilisation de l'azote par rapport à l'apport à la volée communément utilisé en pratiques paysannes (PP). Des travaux réalisés par l'IFDC, (2003) sur l'utilisation de l'urée supergranulée ont montré que cette technologie entraîne une augmentation du rendement de 1200 kg/ha de paddy en moyenne.

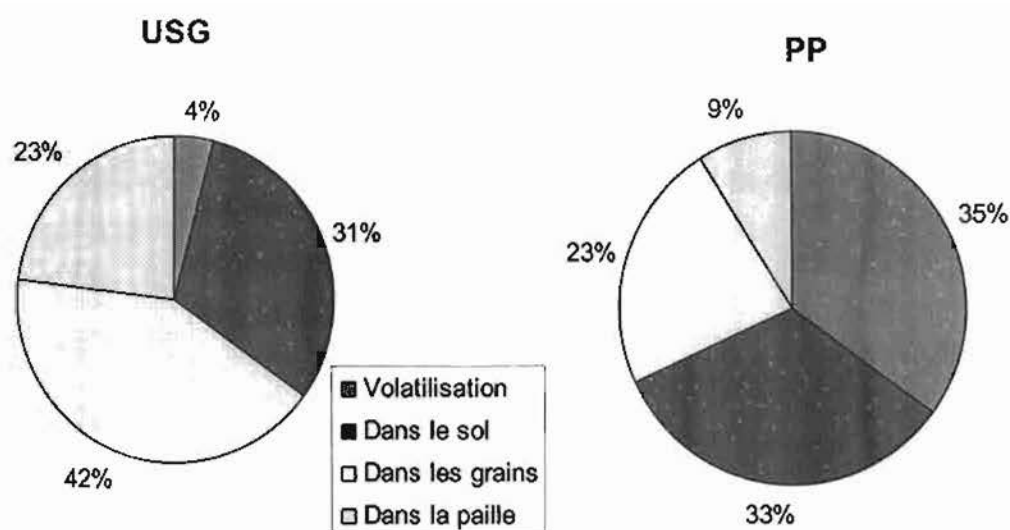


Figure 2: Répartition comparée de l'azote (N) entre super granulée et l'urée simple (Source: Roy (2003) et IFDC (2003)).

1.2.3.2 Importance socio-économique

La technologie du placement profond de l'urée augmente sensiblement les rendements qui entraîne du même coup une augmentation du profit des producteurs donc une amélioration de leurs revenus (Pasandaran et al, 1999 ; Bowen et al, 2004).

En plus des agriculteurs, cette nouvelle technologie est une opportunité pour les entreprises qui vont exploiter une nouvelle aire de business et contribuer au développement de l'économie nationale (IFDC, 2003).

A l'échelle nationale, c'est une technologie qui pourrait contribuer à la création d'emplois en milieu rural et augmenter la production nationale en riz paddy (IFDC, 2003).

La technologie du placement profond de l'urée diminue les pertes vers l'environnement en limitant la pollution de la nature due à l'utilisation des engrais (Pasandaran et al, 1999 ; IFDC, 2003 ; Bowen et al, 2004). Pour ces auteurs, cette réduction des pertes vers l'environnement est due au fait que :

- les fortes quantités d'azote emportées par les eaux de drainage qui sont de l'ordre de 40% lorsque l'urée est épandue à la volée sont réduites à 1% avec le placement en profondeur de l'urée ;
- les pertes par volatilisation qui sont le l'ordre de 35% pour l'épandage à la volée sont réduites à 4% avec le placement profond de l'urée (figure 2) ;

- la dénitrification résultant de la réduction des nitrates en milieu anaérobie est presque inexistante. On note également une réduction de l'émission de NO₂ (gaz à effet de serre) vers l'environnement (IFDC, 2003).

1.3 Variation du pH dans la lame d'eau

L'hydrolyse de l'urée influence l'évolution du pH de la lame d'eau. Les valeurs du pH peuvent augmenter sous l'influence de l'hydrolyse de l'urée qui produit des bicarbonates et consomme du gaz carbonique. L'effet du pH est fonction du stade de croissance et de la qualité de la gestion de la lame d'eau. En cours de cycle son effet est susceptible de se manifester de différentes façons: perte d'azote par volatilisation de l'ammoniac à travers la lame d'eau et carence en certains éléments nutritifs. Ainsi, en début de cycle et en fonction de la gestion de l'eau, le pH peut affecter la croissance du riz et jouer sur les phases ultérieures. Ensuite, avec l'installation de la lame d'eau, le pH évolue vers la neutralité et ses effets sur la croissance du riz diminuent. Le pH a ainsi tendance à évoluer vers les valeurs neutres quelque soit la valeur initiale (Ponamperuma, 1972). La présence d'une lame d'eau permet de diminuer les effets du pH et d'empêcher les pertes liées au processus de nitrification-dénitrification (Dicko, 2005).

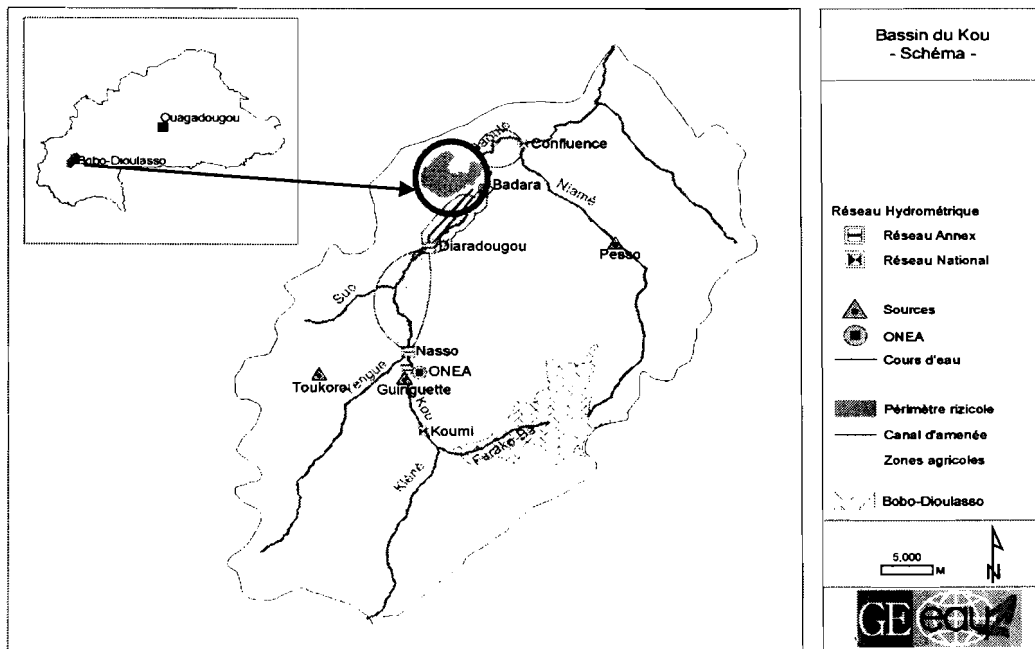
En conditions anaérobies, les composés minéraux sont réduits, ce qui consomme des ions H⁺, et fait donc remonter le pH. Les composantes du rendement sont affectées seulement pendant la phase de reproduction qui touche surtout le remplissage des grains (poids de mille grains). Pendant la phase précédente, le pH joue plutôt un rôle favorable sur la nutrition azotée et la production de matière sèche en limitant les pertes d'azote dans le système. En riziculture la présence d'algues dont l'activité photosynthétique consomme du gaz carbonique contribue à augmenter le pH dans la lame d'eau. La tendance s'inverse la nuit avec la respiration (Mikkelsen et al, 1978). Par ailleurs en absorbant de l'ammonium, la plante libère des ions H⁺ dans le milieu contribuant ainsi à diminuer le pH (Puard et al, 1989).

Chapitre II : Matériel et méthodes

Chapitre II : Matériel et méthodes

II. 1 Présentation de la zone d'étude

La présente étude s'est déroulée sur le périmètre rizicole de la vallée du Kou (carte 1), situé à 30 km de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo-Faramana-Frontière du Mali et a pour coordonnées géographiques 11°22' latitude Nord, 04°22' longitude Ouest avec 300 m d'altitude. Il couvre une superficie de 1 260 ha. Le périmètre est irrigué gravitairement au fil de l'eau grâce à une prise de dérivation sur le Kou, affluent du fleuve Mouhoun. Deux campagnes rizicoles (saison humide et saison sèche) y sont pratiquées. Le réseau d'irrigation est formé d'un canal d'aménagé de 11 km de long, d'un canal principal de 11 km ceinturant le périmètre, de 9 canaux secondaires de 16,2 km de long, de 91 canaux tertiaires de 49 km de long, de canaux quaternaires et d'arroseurs (Nebié, 1995). Les eaux de drainage sont recueillies par des drains qui les acheminent vers le lac d'évacuation.



Carte : Zone d'étude (source : GE – eau)

II.1.1 Climat

Le climat est de type sud-soudanien avec deux saisons distinctes: une saison pluvieuse de mai à octobre et une saison sèche de novembre à avril. La saison pluvieuse est marquée par une mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace des pluies. Notre zone d'étude est située dans le bassin versant du Kou qui est compris entre les isohyètes 900 à 1100 mm.

Les températures moyennes mensuelles présentent un maximum de 31,4 °C en fin de saison sèche (avril) et un minimum de 22,6 °C en fin janvier. Les amplitudes thermiques ont très peu variées le long des deux saisons au cours de l'année 2009 (figure 4). Les hauteurs d'eau enregistrées de 1999 à 2009 sont présentées dans la figure 3. Elles varient d'une année à l'autre avec une moyenne annuelle de 905,21 mm pour cette dernière décennie. On note également une baisse de la pluviosité par rapport aux trois dernières années. La pluviosité enregistrée au cours de l'année 2009 est de 888,7 mm repartis sur 76 jours, le mois de juillet étant le mois le plus pluvieux (figure 5). L'évapotranspiration est maximale pendant les deux saisons sèches et enregistre une baisse pendant la saison pluvieuse (figure 5).

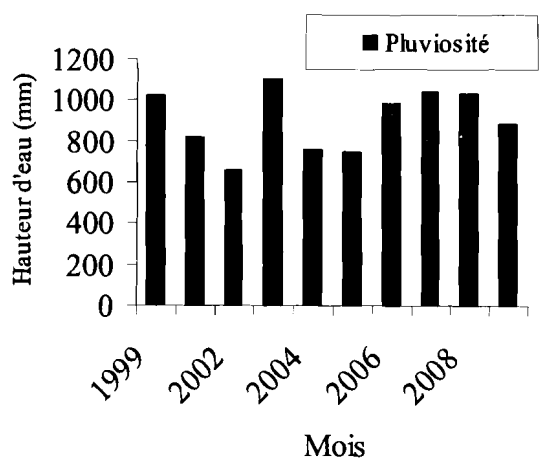


Figure 3: Pluviosité moyenne annuelle de 1999 à 2009 à la Vallée du Kou.

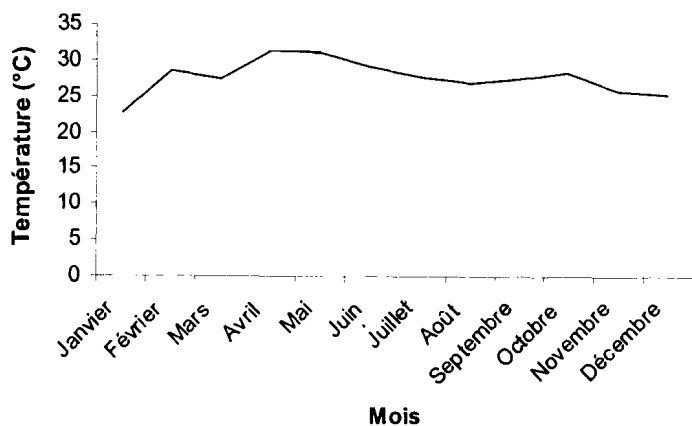


Figure 4: Evolution de la température

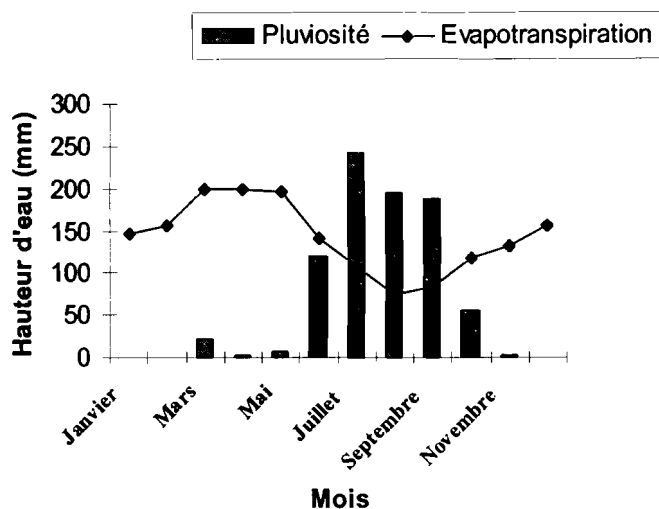


Figure 5: Pluviosité et évolution de l'évapotranspiration en 2009 à la Vallée du Kou.

II.1.2 Végétation

D'après le découpage phytogéographique, la végétation naturelle relève du secteur soudanien méridional (FONTES et GUINKO, 1995). Les formations végétales sont très composites. Les espèces les plus fréquentes sont entre autre, *Bombax costatum*, *Isoberlinia doka*, *Detarium microcarpum*, *Anogeissus leiocarpus*, *Sclerocarya birrea*, *Parkia biglobosa*, *Vitellaria paradoxa*. A coté des formations végétales naturelles, il existe des formations anthropiques peuplées par des parcs à agrumes, *anacardium sp*, *manguiфера indica*, etc. (LOMPO, 1996). Le tapis herbacé y est très abondant et largement exploité par les éleveurs qui mènent un pastoralisme extensif. Les espèces les plus rencontrées sont *Andropogon gayanus*, *Andropogon spp*, *Loudetia togoensis*.

II.1.3 Sols

Les sols du périmètre rizicole de la Vallée du Kou sont classés en deux grandes catégories:

- les sols de texture moyenne à légère couvrent 66% du périmètre et regroupent les sols sablo-argilo-limoneux, sablo-argileux, limoneux et sablo-limoneux:
- les sols de texture lourde occupent 34% du périmètre et regroupant les sols argileux et argilo-limoneux.

Le pH de ces sols varie de 5,5 à 6,5. Des concrétions ferrugineuses font surface dans certaines zones et créent à ces endroits une toxicité ferreuse (Nebié, 1995).

Les sols sont légèrement acides, pauvres en azote et en matière organique, et très pauvres en phosphore assimilable.

II.2 Matériel utilisé

II.2.1 Matériel végétal

Les variétés végétales utilisées pour la mise en place des essais sont les variétés de riz FKR 19, FKR 28, FKR 62 N et la TS2 dont les caractéristiques sont décrites dans le tableau I. La TS2 a été récemment introduite par les Taïwanais au Burkina Faso.

Tableau I: Variétés et leurs caractéristiques

Variétés	Origine	Cycle semis- épiaison (Jour)	Cycle semis maturité (Jour)	Caractères du grain (poids 1000 Grains (g))	Potentiel de rendement (T/ha)
FKR 19	NIGERIA	85	120	25,3	5-6
FKR 28	IITA- NIGERIA	90	125	25,90	5-7
<i>NERICA</i> (FKR 62 N)	ADRAO ST Louis	88	118	28,98	5-7
TS2	Chine Taiwan	-	120	-	9-10

Source : Programme Riz de l'INERA (Station de Farako-ba)

II.2.2 Fumures minérales utilisées

▪ Engrais phospho-potassiques

Les engrais utilisés pour la fourniture du phosphore (P) et du potassium (K) sont respectivement le triple super phosphate (TSP) contenant 46% de P_2O_5 et le chlorure de potassium (KCl) contenant 60% de K_2O .

▪ Urée simple (perlurée)

L'urée contenant 46% d'azote a été utilisée pour la fourniture du sol en azote.

▪ Urée supergranulée (USG)

Les granules de 1,8 g et 2,7 g correspondant respectivement à 113 Kg/ha d'urée et 170 Kg/ha d'urée ont été utilisées.

II.2.3 Sols utilisés

Les caractéristiques analytiques de la couche 0-20 cm et de la couche 20-40 cm des sols prélevés dans les parcelles avant la mise place de l'essai pour l'évaluation des technologies d'apports de l'urée sont illustrées dans le tableau II. Ces sols sont moyennement acides avec une faible capacité d'échange cationique.

Tableau II: Caractéristiques des sols utilisés

Caractéristiques	Essai Perlurée - USG	
	H 0-20 cm	H 20-40 cm
% Sable (2000-50 μ p)	34,8	32
% Limon (50-2 μ m)	35,3	35,6
% Argile (< 2 μ m)	29,9	32,4
pH- H ₂ O (1 :2.5)	5,1	5,6
pH-KCl (1 :2.5)	4,5	4,6
C organique (%CO)	1,08	0,74
Total-N (mg/Kg)	676	494
Total-P (mg/Kg)	220	177
Bray P1 (mg/Kg)	2,8	2,3
Na ⁺ (cmol ⁺ /Kg)	0,15	0,16
Ca ²⁺ (cmol ⁺ /Kg)	3,8	3,4
Mg ²⁺ (cmol ⁺ /Kg)	1,6	1,5
CEC-AG (cmol ⁺ /Kg)	4,4	4,1

II.3 Méthodes

II.3.1 Conduite des essais soustractifs

II.3.1.1 Dispositif expérimental des essais soustractifs

Les essais soustractifs ont été mis en place afin d'identifier et de hiérarchiser les carences en éléments nutritifs dans les systèmes de production irriguée. Ces essais ont été placés chez cinq (5) producteurs constituant chacun une répétition. Le dispositif expérimental comprend cinq (5) traitements :

- ✓ 0N :0P :0K, témoin absolu sans fertilisation
- ✓ 0N, traitement sans N, mais avec 21 Kg ha⁻¹ P et 20 Kg ha⁻¹ K
- ✓ 0P, traitement sans P, mais avec 120 Kg ha⁻¹ N et 20 Kg ha⁻¹ K

- ✓ OK, traitement sans K, mais avec 120 Kg ha⁻¹ N et 21 Kg ha⁻¹ P
- ✓ NPK, traitement avec 120 Kg ha⁻¹ N, 21 Kg ha⁻¹ P et 20 Kg ha⁻¹ K

Ces traitements ont été mis en place sur des parcelles élémentaires de 50 m² (5 m x 10 m). L'expérimentation a été réalisée avec les variétés TS2, FKR 19, FKR 28 et le NERICA FKR 62 N. Les types d'engrais utilisés et leurs doses sont illustrés dans les tableaux III et IV.

Tableau III: Doses d'engrais utilisés

Engrais	Quantité d'engrais brute		
	Dose	Dose	Dose
	Kg/ha	Kg/m ²	Kg/50m ²
Urée 46%	261	0,0261	1,305
TSP 46%	104	0,0104	0,52
KCl 60%	43	0,0043	0,215

Tableau IV: Quantités d'engrais simples dans les traitements du producteur

Engrais simples	Dose d'engrais simples en grammes / traitement de 50 m ²				
	Témoin	PK	NK	NP	NPK
Urée	0	0	435 et 870	435 et 870	435 et 870
TSP 46%	0	520	0	520	520
KCl 60%	0	215	215	0	215

435 g correspond à la première fraction d'urée et 870 g correspond à la deuxième fraction.

II.3.1.2 Paramètres mesurés

Pour évaluer les rendements paille et grains, les parcelles élémentaires de 50 m² ont été récoltées en laissant deux lignes de chaque côté de la parcelle afin d'éviter les effets de bordure. Les différents poids de la paille et des grains ont ensuite été mesurés et des échantillons de grains et de paille ont aussi été prélevés pour des analyses afin de déterminer la teneur des éléments N, P et K. L'absorption en N, P et K a été calculée par la formule suivante :

Absorption grain (Kg/ha) = %N ou %P ou %K x Rendement grain ;

Absorption paille (Kg/ha) = %N ou %P ou %K x Rendement paille ;

Absorption totale (Kg/ha) = Absorption paille + Absorption grain.

II.3.1.3 Conduite des essais soustractifs

- La préparation du sol

Elle a consisté à un labour suivi d'un hersage. La parcelle est ensuite nivelée après une mise en boue afin de permettre une meilleure maîtrise de la lame d'eau.

- Le repiquage

Les plants utilisés pour le repiquage sont des plants d'environ trois (3) semaines provenant de la pépinière des producteurs. Les plants sont repiqués à deux (2) plants par poquet avec un espacement de 20 cm x 20 cm soit une densité de 500 000 plants/ha ou 250000 poquets/ha.

- L'entretien des essais

L'entretien des essais a consisté essentiellement à l'irrigation, aux sarclages et à l'apport de la fumure minérale. Aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué. Les parcelles élémentaires sont séparées par des diguettes de 50 cm et chacune des parcelles est irriguée séparément. La fréquence de l'irrigation du riz et le maintien ou non de la lame d'eau dans la rizière ont été fonction des besoins en eau de la plante. La parcelle n'ayant pas reçu d'engrais (témoin) est en amont du dispositif comme illustré par le tableau V. Toutes ces mesures ont contribué à minimiser les risques liés au transfert des nutriments entre les parcelles.

Tableau V: Dispositif expérimental des essais soustractifs

← Direction d'écoulement de l'eau

+N+P+K	-N +P+K	-P +N+K	-K +N+P	Témoin
--------	------------	------------	------------	--------

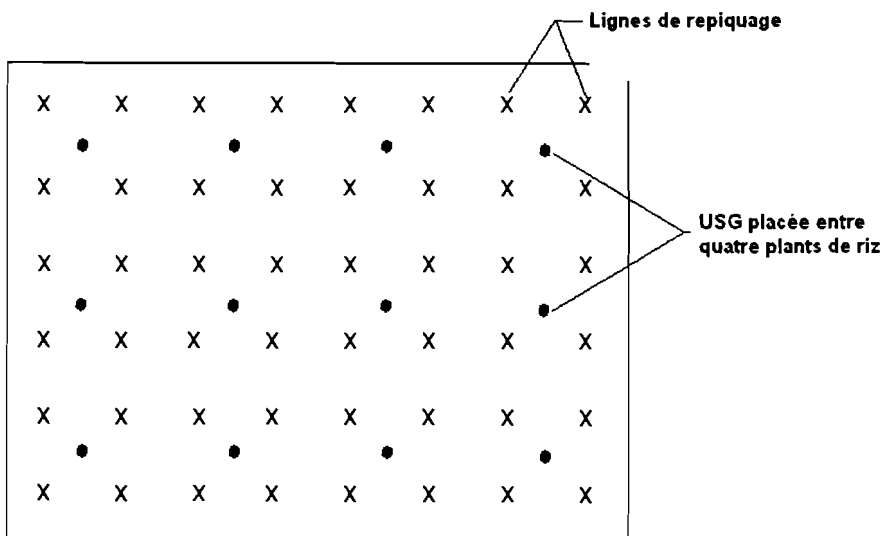
Pour ce qui est de la fumure minérale, l'azote est apporté sous forme d'urée (46% N) à la dose de 120 Kg ha⁻¹ et l'apport de l'urée est fractionné en deux. La première fraction d'urée (35%) est apportée 18 jours après repiquage (JAR) dans les parcelles NP, NK et NPK et la deuxième application d'urée (65%) à l'initiation paniculaire.

Le phosphore est apporté sous forme de triple super phosphate (46% P₂O₅) à la dose de 21 Kg ha⁻¹. Cette dose est apportée 3 jours après le repiquage (JAR) dans les parcelles NP, PK et NPK. Le potassium sous forme de chlorure de potassium (60% K₂O) à la dose de 20 Kg ha⁻¹ est apporté en fond (avant le repiquage), dans les parcelles NK, PK et NPK.

II.3.2 Evaluation des technologies d'apport de l'urée

II.3.2.1 Dispositif expérimental

L'évaluation des technologies d'apport de l'urée a été effectuée à travers une expérimentation sur le terrain. Le dispositif expérimental adopté est un bloc complet randomisé en 4 répétitions et comprenant les 4 variétés (FKR 19, FKR 28, FKR 62 N et TS2) et 5 traitements qui correspondent aux deux modes d'application de l'azote (Perlurée et USG) et aux deux doses d'urée (113 kg ha⁻¹ et 170 kg ha⁻¹) en plus du témoin. Soit un total de 4 x 4 x 5 (80) parcelles élémentaires de 5 m x 5 m (25 m²) chacune. Les parcelles élémentaires sont séparées par des canaux de 50 cm de largeur et les répétitions par des canaux de 70 cm (annexe 1). Une granule est placée à 7-10 cm de profondeur entre 4 poquets espacés de 20 cm x 20 cm conformément à la figure 6. Contrairement à l'urée normale qui est apportée en deux épandages, les granules sont apportées une seule fois pendant toute la durée du cycle cultural. Le perlurée correspondant à la même dose que l'USG a également été apporté sur les parcelles devant en bénéficier.



X Poquet de riz ; ● granule d'urée placée à 7-10 cm de profondeur entre 4 poquets; les poquets et les lignes sont espacés de 20 cm.

Figure 6: Technique d'application des granules d'urée

II.3.2.2 Paramètres mesurés sur le sol

Caractérisation du sol

Des échantillons de sol des horizons 0-20 et 20-40 cm ont été prélevés dans toutes les parcelles élémentaires avant le repiquage et après la récolte. Par parcelle élémentaire, on a prélevé 8 échantillons (soit 4 échantillons de l'horizon 0-20 et 4 échantillons de l'horizon 0-40). Les échantillons pris avant la récolte de chaque horizon ont été soigneusement mélangés pour

constituer deux échantillons moyens sur lequel l'analyse chimique a porté sur la teneur en N total, P total et assimilable, K échangeable, pH eau, CEC, Bases échangeables, C organique, etc.

Estimation de la vitesse d'infiltration

Elle a consisté à planter un piquet dans chaque parcelle juste après l'entrée d'eau d'irrigation et à marquer le niveau de la lame d'eau sur le piquet au temps T_1 . Puis 24 heures après (temps T_2), on mesure la diminution de la lame d'eau (en cm.jour^{-1}) en lisant juste sur le piquet la réduction en cm de la lame d'eau. L'exercice est répété pendant quatre (4) séquences consécutives. L'évapotranspiration était négligeable tout au long de l'essai.

Estimation du pH de la lame d'eau flottante

L'évolution du pH de la lame d'eau a été estimée à 2, 4, 6, 8 et 10 jours après l'apport de l'urée et de l'enfouissement de l'USG. L'opération consiste à prélever l'eau de la lame d'eau dans un récipient et à plonger un pH-mètre dans ce contenu. La valeur du pH s'affiche directement sur l'écran du pH-mètre.

II.3.2.3 Observations et mesures phénologiques

Les échantillons de plants ont été prélevés à différentes dates au cours du cycle pour la mesure du recouvrement de l'azote. Les échantillonnages ont été effectués à 15, 30, 45 et 60 jours après repiquage et à la maturité. Dans chaque parcelle élémentaire une zone d'échantillonnage destructif a été identifiée et le prélèvement à chaque date a concerné 4 touffes. Ainsi, après avoir mesuré la hauteur et compté le nombre de talles, chacune des 4 touffes est coupée au ras du sol et séchée. Les échantillons ont été ensuite analysés au laboratoire afin de déterminer la teneur en azote.

Concernant la phénologie, les dates de l'initiation paniculaire, du début de l'épiaison/floraison et de la maturité ont été enregistrées.

II.3.2.4 Evaluation des rendements et des composantes de rendement

Dans chaque parcelle élémentaire, une sous parcelle de 4 m^2 ($2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$) a été délimitée au centre pour l'évaluation du rendement. L'analyse des composantes de rendement a concerné un échantillon de 8 touffes dans chaque parcelle. Les composantes de rendements retenus sont le nombre moyen de panicules/plants, le nombre de talles, le nombre de panicules fertiles et le poids de 100 grains pleins, 100 grains vides, poids de 1000 grains. Pour évaluer des exportations

en éléments N, P et K, des échantillons de grains et paille ont été prélevés par parcelle à la récolte.

II.3.2.5 Conduite de l'essai

- La pépinière

La pépinière a été réalisée le 29 août 2009 sur des planches parfaitement nivelées et boueuses de 6 cm² soit 2cm X 3 cm par variété. La semence de riz préalablement traitée avec du Calthio C (25% de chlorpyrifos- éthyl + 25% de thirame) à la dose de 20 g pour 5 Kg de semences est éparpillée sur le sol boueux et légèrement battu à la main.

- La préparation du sol

Elle a consisté à un labour suivi d'un hersage. La parcelle est ensuite nivelée après une mise à boue afin de permettre une meilleure maîtrise de la lame d'eau. Pendant la préparation du sol ou juste avant le repiquage une quantité de 21 kg P/ha et 20 kg K/ha a été appliquée à la volée et après drainage. La quantité de 21 kg P/ha correspond environ à 100 kg de TSP/ha et la quantité 20 kg K/ha correspond environ à 40 kg de KCl/ha (60% de K₂O).

La séparation des parcelles PPU de celles des pratiques paysannes (PP) a été matérialisée par une diguette de 50 cm de hauteur et 50 cm de largeur. Les parcelles élémentaires sont séparées par des canaux de 50 cm de largeur.

- Le repiquage

Les plants âgés de 3 semaines ont été transférés le 19 septembre 2009 dans les parcelles élémentaires et le repiquage a été effectué à deux plants par poquet avec un écartement de 20 cm x 20 cm.

- L'entretien de l'essai

Pour l'entretien de la parcelle, l'irrigation est assurée tous les deux jours à cause de l'infiltration très importante du terrain. Les parcelles élémentaires sont irriguées séparément. Trois opérations de sarclage ont été faites à la demande afin de minimiser l'incidence des mauvaises herbes. Une dose correspondante à 113 Kg/ha de l'USG, soit approximativement 52 Kg N/ha pour les granules de 1,8 g et une dose correspondante à 170 Kg/ha de l'USG, soit environ 80 Kg de N/ha pour les granules de 2,7 g ont été apporté 7 jours après le repiquage sur les parcelles devant en

bénéficier. L'apport des perlurées a été fractionné en deux. La première dose (35%) est apportée au 14^{ème} JAR tandis que la deuxième dose (65%) est apportée à l'initiation paniculaire.

II.4 Analyse de données

Après la récolte, les rendements en grains (Kg/ha), le poids des 1000 grains ont été déterminés au taux d'humidité de 14%. Les analyses de sol, de la biomasse, de la paille et des grains ont été faites au laboratoire de l'ICRISAT. L'analyse de variance des données agronomiques collectées a été effectuée avec le logiciel GENSTAT Discovery Edition 3. La séparation des moyennes a été faite par la méthode de la Plus Petite Différence Significative (PPDS), lorsque le test d'analyse de variance est significatif au seuil de 5% au moins.

Chapitre III : Résultats - discussion

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1 Résultats

III.1.1 Essais soustractifs

III.1.1.1 Influence des traitements sur le rendement grain

Tableau VI: Effet des traitements sur les rendements grain et paille

Traitements	Rendement paille (Kg/ha)	Rendement grain (Kg/ha)
Témoin	5483 ^a	3406 ^a
NK	6590 ^{ab}	4100 ^b
PK	6529 ^{ab}	4195 ^b
NP	6754 ^{ab}	4780 ^b
NPK	7399 ^b	4955 ^b
Probabilité	<0,001	0,03
Significative	THS	S

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

S = Significatif ($p < 0.05$) ; THS = Très Hautement Significatif ($P < 0.001$).

Les résultats des essais soustractifs avec les différents traitements n'ont pas montré une différence significative entre les traitements NK, PK, NP et NPK. Cependant, la comparaison des différents traitements (tableau VI) montre que le plus faible rendement (3406 Kg/ha) est obtenu avec le témoin (0N0P0K) suivi des traitements NK et PK. Le meilleur rendement (4955 Kg/ha) est obtenu avec le traitement comportant tous les trois éléments N, P et K.

III.1.1.2 Influence des traitements sur le rendement paille

La comparaison des différents traitements montre que le meilleur rendement (7399 Kg/ha) est obtenu avec le traitement NPK. Ce traitement est significativement différent des autres traitements NK, NP et PK qui forment un même groupe. Le témoin est celui qui donne le plus faible rendement paille (5483 Kg/ha). Mais le tableau VI montre que les rendements sont plus faibles avec le traitement sans P (NK) et le traitement sans N (PK).

III.1.1.3 Influence des traitements sur l'absorption totale des grains et de la paille en azote

Tableau VII: Effet des traitements sur l'absorption totale en élément N, P et K des grains et de la paille

Traitements	Absorption totale N (Kg/ha)	Absorption totale K (Kg/ha)	Absorption Totale P (Kg/ha)
Témoin	56,09 ^a	146,8	33,00 ^a
NK	73,43 ^b	183,5	41,06 ^b
PK	80,02 ^b	171,3	42,17 ^b
NP	85,48 ^b	202,3	45,21 ^{bc}
NPK	86,61 ^b	210,8	49,45 ^c
Probabilité	<0,001	0,059	<0,001
Significative	THS	NS	THS

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

NS= Non Significatif, S = Significatif ($p < 0.05$) ; THS = Très Hautement Significatif ($P < 0.001$).

L'analyse de variance (tableau VII) n'a pas montré une différence significative entre les traitements NK, NP, PK et NPK. Cependant, on observe que l'absorption en azote est plus élevée avec le traitement NPK (86,61 Kg/ha) suivi du traitement NP (85,48 Kg/ha). Le témoin est celui qui a la plus faible absorption avec environ 56,09 Kg/ha.

III.1.1.4 Influence des traitements sur l'absorption totale des grains et de la paille en phosphore

Les résultats de l'analyse de variance ont montré que les traitements NK et PK forment un même groupe tandis que le traitement NP forme un groupe intermédiaire entre ce groupe et le traitement NPK. La comparaison des rendements montre que l'absorption en phosphore est encore plus faible avec le témoin tandis qu'elle est plus élevée avec le traitement NPK (49,45 Kg/ha).

III.1.1.5 Influence des traitements sur l'absorption totale des grains et de la paille en potassium

Les résultats du tableau VII montrent que les différents traitements n'ont pas eu un effet significatif sur l'absorption totale en potassium des grains et de la paille. Cependant l'examen des valeurs montre que l'absorption est faible avec le témoin et avec les traitements n'ayant pas reçu l'élément N (PK) et l'élément P (NK).

III.1.2 Evaluation de l'urée supergranulée avec le perlurée

III.1.2.1 Etat de perméabilité du sol utilisé pour l'expérimentation « perlurée – USG »

L'évolution de l'infiltration des parcelles illustrée par la figure 7 montre que la perméabilité du sol, qui est de 4,6 cm/jr baisse au fil du temps pour atteindre une valeur de 2 cm/jr au bout de huit jours. Ce résultat montre que la perméabilité des sols utilisés pour l'expérimentation est trop élevée. Or, selon IFDC (2003) lorsque l'infiltration du sol est supérieure à 1 cm/jr, l'efficacité de l'USG est réduite à cause des pertes par lessivage.

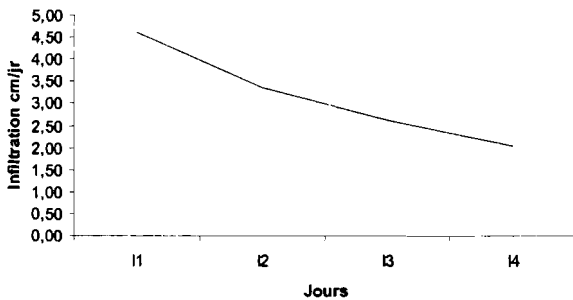
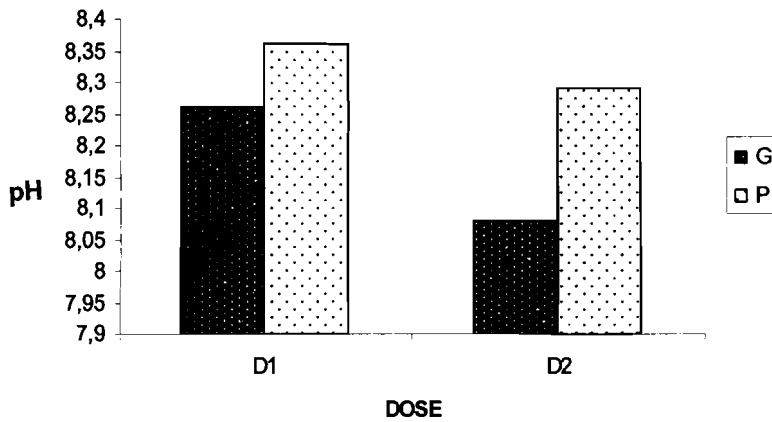


Figure 7: Evolution de l'infiltration du sol

III.1.2.2 Influence du type d'urée et de la dose d'urée sur les valeurs du pH de la lame d'eau

La comparaison de la dose d'urée 113 Kg/ha (D1) à la dose 170 Kg/ha (D2) montre que les valeurs du pH de la dose D1 sont plus élevées que celles de la dose D2 (figure 8). Cependant, pour une même dose, les valeurs du pH du perlurée sont supérieures à celles des granules. Pour la dose D1, on a une valeur du pH de 8,6 avec les granules contre une valeur de pH de 8,36 avec perlurée. Pour la dose D2, on a une valeur du pH égale 8,08 pour les granules contre une valeur de 8,29 pour le perlurée. En effet, l'analyse de variance a montré une différence significative entre les deux doses et entre les deux types d'urée.

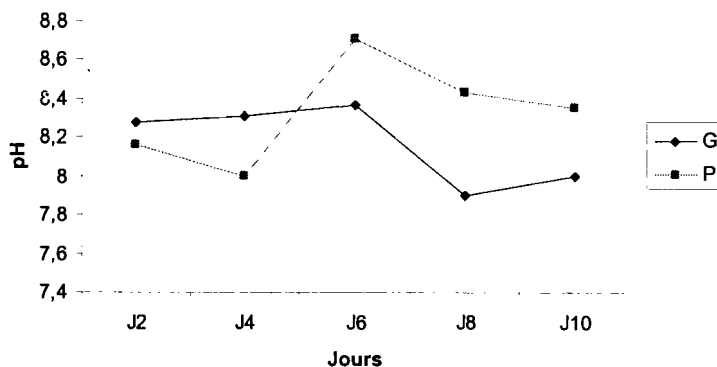


G= granule et P= perlurée

Figure 8: Effet de la dose d'urée sur le pH de la lame d'eau

III.1.2.3 Evolution du pH de la lame d'eau en fonction du type d'urée

Durant les cinq premiers jours d'application de la fumure azotée, on observe que les valeurs du pH des parcelles traitées à l'USG sont supérieures à celles traitées au perlurée. Les valeurs du pH USG varient peu jusqu'au sixième jour et se maintiennent autour de 8,37 avant de décroître. Quant au pH perlurée, on observe une courbe unimodale avec une légère baisse des valeurs du deuxième jour jusqu'au quatrième jour. A partir de J4 les valeurs du pH augmentent et atteignent un pic autour de 8,7 avant de décroître. Mais les valeurs du pH perlurée restent supérieures à celles du pH USG à partir du cinquième jour jusqu'à la fin de l'expérimentation (figure 9). L'analyse de variance n'a pas montré une différence significative entre les valeurs du pH avec les deux doses d'urée au cours du temps.



G= granule et P= perlurée

Figure 9: Evolution du pH de la lame d'eau en fonction du type d'urée

III.1.2.4 Influence du type d'urée et de la dose d'urée sur la hauteur des plants à la maturité

La figure 10 nous montre que la hauteur des plantes est plus élevée chez les variétés FKR 19 et TS2. La plus faible hauteur est obtenue avec la variété FKR 62 N. Pour ce qui est de l'effet de la dose sur les hauteurs, l'analyse de variance n'a pas montré une différence significative entre les variétés FKR 28, FKR 19 et TS2. L'effet de la dose a été significatif seulement avec la variété N62 avec les granules (59,21 cm pour dose 113 kg/ha et 65,04 cm pour la dose 170 Kg/ha).

L'analyse du type d'urée a donné un effet significatif avec la variété FKR 19 avec l'utilisation des deux doses. Avec la dose 113 Kg/ha, on obtient 73,33 cm avec l'USG et 67,94 cm avec le perlurée. Avec la dose 170 Kg/ha on obtient une hauteur de 74,22 cm avec l'USG et 70,5 cm avec le perlurée. Pour la variété FKR 62 N, on a un effet significatif du type d'urée avec la dose 170 Kg/ha. On obtient une hauteur de 65,04 cm avec l'USG et 60,63 cm avec le perlurée. Ces résultats montrent que la hauteur des plantes est plus élevée lorsque l'on utilise les granules d'urée. L'effet du type d'urée n'a pas été significatif avec les variétés FKR 28 et TS2.

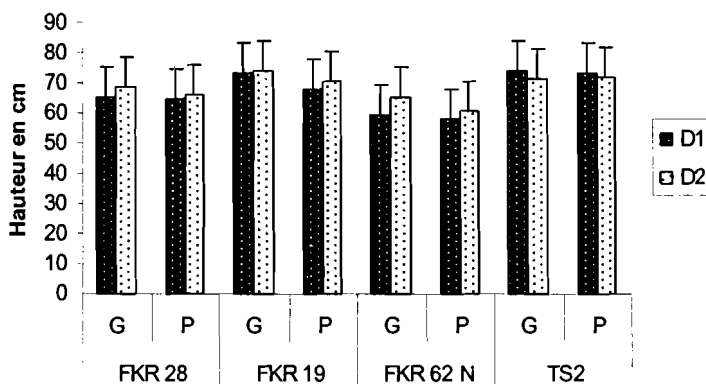
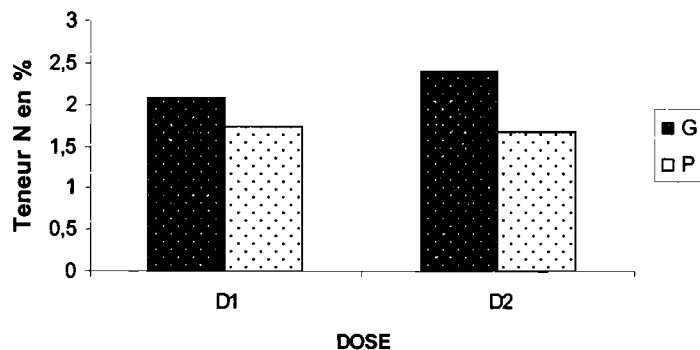


Figure 10: Comparaison de la hauteur des plants des variétés selon le type et la dose d'urée

III.1.2.5 Influence du type d'urée et de la dose d'urée sur la teneur en azote de la biomasse à l'initiation paniculaire.

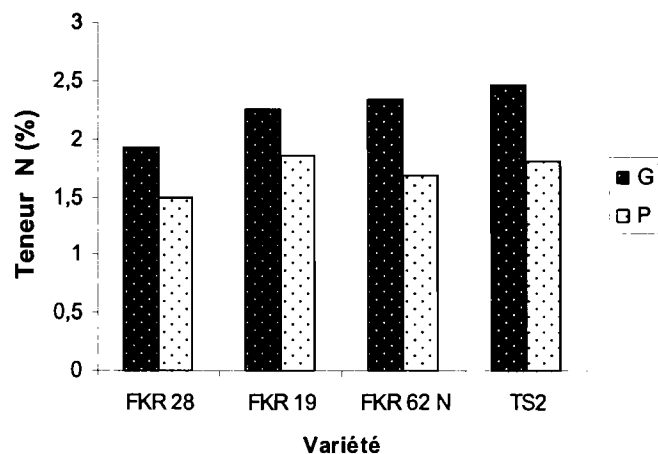
La comparaison des deux doses d'urée en fonction du type d'urée utilisée (figure 11) montre que les teneurs en azote de la biomasse est plus importante sur parcelles traitées à l'USG par rapport au perlurée. On constate également que plus la dose d'urée augmente plus les teneurs des parcelles traitées à l'USG sont élevées. Pour ce qui concerne les perlurées on n'a pas obtenu une différence significative avec les deux doses.



G= granule et P= perlurée

Figure 11: Comparaison des teneurs en azote de la biomasse en fonction de la dose et le type d'urée

Les teneurs en azote des différentes variétés sont illustrées par la figure 12. Ces résultats montrent des teneurs en azote de la biomasse varient en fonction des variétés. En effet, l'interaction variété/ type d'urée a montré une différence hautement significative (annexe 2). On remarque que la teneur en azote des feuilles à l'initiation paniculaire augmente avec l'utilisation de l'USG par rapport au perlurée (Figure 12).



G= granule et P= perlurée

Figure 12: Comparaison des teneurs en azote des différentes variétés selon le type d'urée

III.1.2.6 Analyse des composantes de rendement et du rendement selon les variétés

L'analyse des différentes composantes de rendements sont résumés dans le tableau VIII.

Tableau VIII: Caractéristique des composantes de rendement et du rendement

Traitements	Nbre panicule	Nbre talles	% panicule fertile	Poids 100 Grains vides (g)	Poids 100 Grains pleins (g)	Poids 1000 Grains (g)	
Variétés	FKR 28	8,070	14,26 ^b	73,30 ^a	0,6006 ^a	2,362 ^b	25,06 ^c
	FKR 19	8,227	13,45 ^b	97,95 ^b	0,7319 ^{bc}	2,501 ^b	25,20 ^c
	FKR 62 N	7,477	10,70 ^a	62,26 ^a	0,6225 ^b	2,141 ^a	21,97 ^a
	TS2	7,922	10,65 ^a	92,60 ^b	0,7588 ^c	2,362 ^b	23,49 ^b
	Proba. Signif	0,13 NS	<0,001 THS	<0,001 THS	0,002 S	<0,001 THS	<0,001 THS
Dose d'N (kg/ha)	113	7,60	11,41	82,4	0,68	2,32	23,92
	170	8,25	12,52	80,7	0,67	2,35	23,94
	Proba. Signif	0,008 S	<0,001 THS	<0,001 THS	0,85 NS	0,43 NS	0,94 NS
Type d'N	Perlurée	7,82	11,96	83,8	0,64	2,34	24,13
	USG	8,02	12,26	79,3	0,74	3,34	23,73
	Proba. Signif	0,41 NS	0,46 NS	0,12 NS	0,06 NS	0,86 NS	0,19 NS
Inter - actions	Var/D	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Var/T	S	NS	NS	NS	NS	NS
	D/T	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Var/T/D	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

NS= non significatif ; S = Significatif ($p < 0,05$) ; THS = Très Hautement Significatif ($P < 0,001$).

Le nombre de panicules : cette variable renseigne sur les conditions de croissance pendant la phase d'initiation paniculaire. Elle n'a pas été significative entre les variétés. L'interaction entre le type d'urée, la dose d'urée et les quatre variétés n'a pas eu un effet significatif. Par contre la combinaison type d'urée variété a donné un effet significatif. La figure 13 montre que le nombre de panicules est plus élevé avec l'USG par rapport au perlurée pour toutes les variétés sauf la variété FKR 62 N.

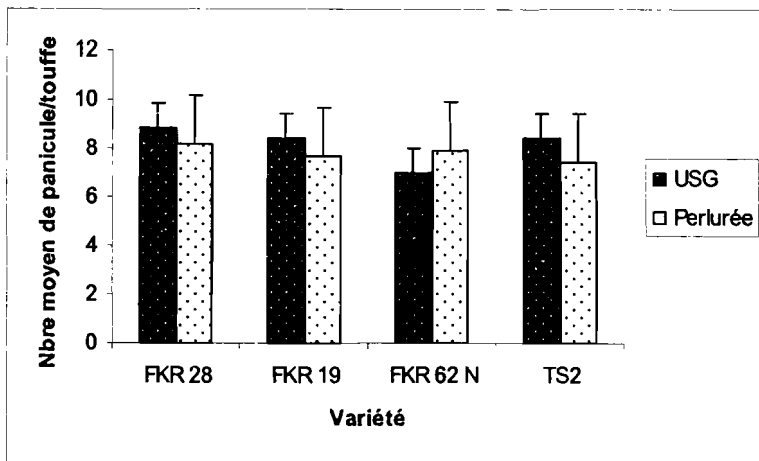


Figure 13: Effet du type d'urée sur le nombre moyen de panicules/ touffe

Le pourcentage de fertilité des panicules : l'interaction des différents traitements n'a pas montré de différence significative, mais le pourcentage de fertilité a donné une différence significative entre les variétés. Les meilleurs pourcentages sont obtenus avec les variétés TS2 (92,60%) et FKR 19 (97,95%). Ces deux variétés ne sont pas significativement différentes. Le plus faible pourcentage est obtenu avec la variété FKR 62 N (62,26%) qui n'est pas significativement différente de la variété FKR 28.

Le nombre de talles : cette variable a montré une différence significative entre les variétés. La variété FKR 28 est celle qui a donné le plus de talles (14 en moyenne) suivie de la variété FKR 19 (13). Ces deux variétés ne sont pas significativement différentes mais diffèrent significativement des variétés FKR 62 N et TS2. Le plus faible nombre de panicules est obtenu avec la variété TS2. L'interaction entre les différents traitements n'a pas montré une différence significative.

Le poids moyen de 100 grains vides: Pour ce qui est de cette composante la différence a été significative seulement entre les variétés. L'analyse fait ressortir quatre groupes avec les variétés avec un faible poids obtenue par la variété TS2 (0,60 g). Les autres traitements c'est-à-dire le type d'urée et la dose d'urée n'ont pas agité significativement sur le poids moyen des grains vides.

Le poids moyen de 100 grains pleins: il a été seulement significatif entre les variétés. Le meilleur poids est obtenu avec la variété FKR 19 (2,5 g) qui n'est statistiquement différente des variétés FKR 28 et TS2. La variété FKR 62 N est celle qui a donné le plus faible poids (2,14 g).

Le poids de mille grains: cette variable renseigne sur les conditions de remplissage des grains après la floraison. Pour ce qui est de cette composante, le meilleur poids est encore obtenu avec

la FKR 19 (25,20 g) tandis que le plus faible poids est obtenu avec la FKR 62 N (21,97 g). La dose et le type d'urée n'ont pas eu d'effet significatif sur cette composante.

III.1.2.7 Effet des traitements sur le rendement grains des variétés

L'analyse de variance (annexe 2) a montré que l'analyse du rendement grains fait ressortir trois groupes homogènes. La variété FKR 19 est celle qui donne le meilleur rendement grain avec 4623 Kg/ha en moyenne pour tous les traitements confondus. Le plus faible rendement est obtenu avec la variété FKR 62 N (2345 Kg/ha) qui n'est pas significativement différent de la variété FKR 28 (figure 14). Ce tableau nous montre aussi que l'interaction dose/variété et l'interaction dose/type d'urée ont eu un effet hautement significatif.

L'interaction variété /dose/ type d'urée a eu un effet hautement significatif (tableau IX). En effet, l'effet du type d'urée a été significatif seulement avec la variété TS2 au niveau de la dose 170 Kg/ha où les parcelles traitées aux granules ont donné les rendements les plus élevés avec une moyenne de 4812 Kg/ha. Les parcelles traitées au perlurée ont donné les faibles rendements avec une moyenne de 4125 Kg/ha. L'effet dose d'urée (113 Kg/ha ou 170 Kg/ha), il a été significatif seulement avec la variété TS2. La dose 113 Kg/ha donne les plus faibles rendements avec 3500 Kg/ha pour l'USG et 3594 Kg/ha pour le perlurée. La dose 170 Kg/ha donne les meilleurs rendements avec 4812 Kg/ha pour les granules et 4125 Kg/ha pour le perlurée.

Tableau IX: Rendement grain (Kg/ha) des variétés en fonction les traitements

Variétés	Type d'urée	Dose d'urée		
		Témoin	D1	D2
FKR 28	USG		2437	2562
	Perlurée		2656	2594
	Témoin	1516		
FKR 19	USG		5031	5344
	Perlurée		4625	5094
	Témoin	3020		
FKR 62 N	USG		2312	2844
	Perlurée		2719	2344
	Témoin	1507		
TS2	USG		3500	4812
	Perlurée		3594	4125
	Témoin	2300		
LSD			598,2	
Probabilité			<0,001	
Signification			THS	

THS = Très Hautement Significative ($p < 0,001$)

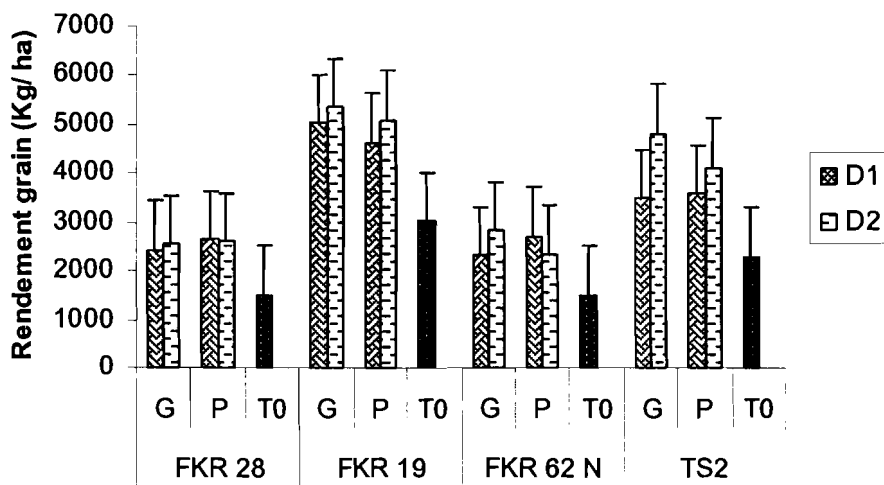


Figure 14: Comparaison du rendement grain des variétés selon la dose et le type d'urée

III.1.2.8 Effet des traitements sur le rendement paille

Cette variable renseigne sur les conditions globales de croissance pendant le cycle de la plante. Le tableau X et la figure 15 nous montre l'effet des traitements sur le rendement paille des différentes variétés. La variété TS2 est celle qui a le rendement le plus élevé (9844 Kg/ha) obtenu avec le traitement perlurée 170 Kg/ha. La FKR 19 est celle qui a le plus faible rendement (3750 Kg/ha) obtenu avec le traitement perlurée 113 Kg/ha.

L'effet de la dose a été significatif avec les variétés FKR 19 et TS2. Mais l'analyse n'a pas relevé une différence significative avec la variété FKR 28. Quant à la variété FKR 62 N, on a obtenu une différence seulement avec les perlurées (113 Kg et 170 Kg). On constate sur la figure 19 que les meilleurs rendements sont obtenus avec la dose de 170 Kg/ha.

Cependant, pour ce qui est de l'influence du type d'urée sur le rendement paille, l'analyse n'a pas montré une différence significative entre les granules et le perlurée à la même dose de 113 Kg/ha pour toutes les variétés. La différence est significative entre les granules et le perlurée à la dose 170 Kg/ha avec la variété FKR 19 où les granules donnent un rendement de 7856 Kg contre 5500 Kg pour le perlurée (tableau X).

Tableau X: Rendement paille (Kg/ha) des variétés en fonction des traitements

Variétés	Type d'urée	Dose d'urée		
		Témoin	D1	D2
FKR 28	USG		6438	7531
	Perlurée		5906	6562
	Témoin	3226		
FKR 19	USG		4375	7656
	Perlurée		3750	5500
	Témoin	2223		
FKR 62 N	USG		6406	7656
	Perlurée		5312	6750
	Témoin	3164		
TS2	USG		6812	9219
	Perlurée		7500	9844
	Témoin	4600		
LSD			1253,2	
Probabilité			<0,001	
Signification			THS	

THS = Hautement Significative ($p < 0,001$)

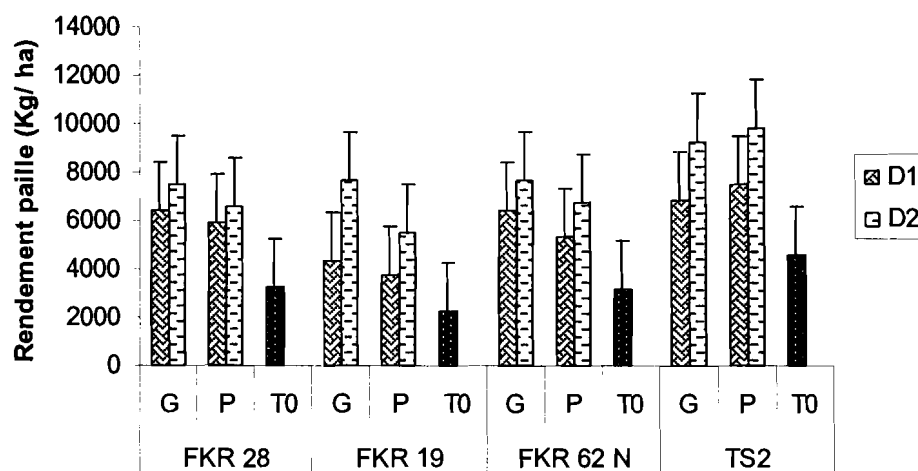


Figure 15: Comparaison du rendement paille des variétés selon la dose et le type d'urée

III.1.2.9 Effet des traitements sur l'absorption en azote des grains des variétés

Pour ce qui est de l'absorption en azote, l'interaction entre le type d'urée et la dose d'urée a eu un effet hautement significatif avec les différentes variétés (tableau XI). La meilleure absorption en azote est obtenue avec la variété FKR 19 qui diffère significativement de celle des variétés FKR 28 et FKR 62 N. Les absorptions en azote des variétés FKR 28 et FKR 62 N sont les plus faibles et ne diffèrent pas significativement (figure 16).

L'interaction variété/type d'urée n'a pas donné de différence significative au sein d'une même variété. Pour ce qui est de l'interaction variété/dose, l'effet de la dose a été significatif avec deux

variétés : la FKR 62 N (seulement avec les granules) et la TS2. L'absorption en azote de ces deux variétés a été meilleure à la dose D2.

Tableau XI: Absorption en azote (Kg/ha) des grains selon les traitements

Variétés	Type d'urée	Dose d'urée		
		Témoin	D1	D2
FKR 28	USG		30,19	32,17
	Perlurée		32,13	32,79
	Témoin	12,85		
FKR 19	USG		54,53	57,90
	Perlurée		52,71	56,93
	Témoin	26,47		
FKR 62 N	USG		30,17	39,07
	Perlurée		34,13	31,28
	Témoin	12,77		
TS2	USG		39,83	56,43
	Perlurée		39,84	48,66
	Témoin	18,83		
LSD			8,05	
Probabilité			<0,001	
Signification			THS	

THS = Très Hautement Significative ($p < 0,001$)

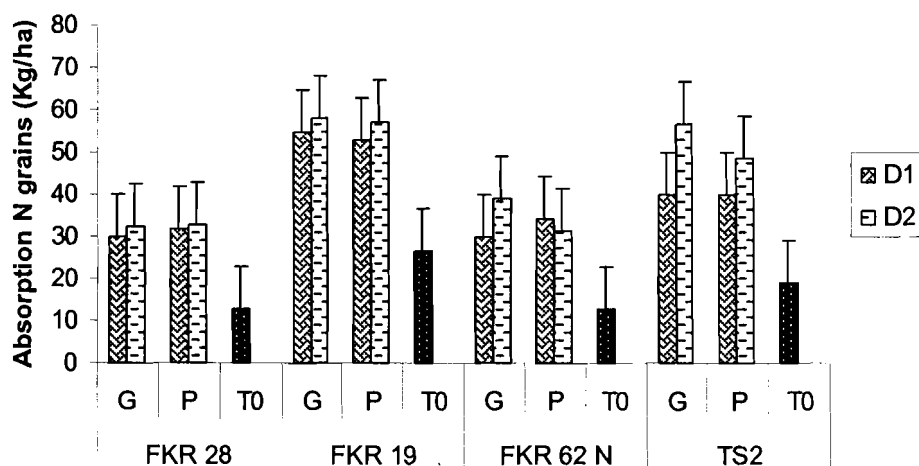


Figure 16: Effet de la dose et du type d'urée sur l'absorption en azote des grains des variétés

III.1.2.10 Effet des traitements sur l'absorption en azote de la paille des variétés

La figure 17 montre que l'absorption en azote est plus élevée au niveau de la dose D2 qui correspond à 170Kg/ha. L'effet de la dose a été significatif avec toutes les variétés sauf avec la variété FKR 28 où il n'y pas eu une différence avec les perlurées.

Pour ce qui est du type d'urée, la figure 17 montre une absorption élevée avec l'USG par rapport au perlurée. Cependant, l'analyse de variance (tableau XII) n'a relevé une différence

significative entre granules et perlurées qu'à la dose 113 Kg/ha pour toutes les variétés. Pour la dose 170 Kg/ha, l'effet du type d'urée a été significatif avec toutes les variétés sauf avec la TS2. La plus grande absorption est obtenue avec la FKR19 (61,8 Kg/ha) pour les granules et 42,3 Kg/ha pour les perlurées) et la plus faible absorption est obtenue avec la FKR 62 N (55,6 Kg/ha pour les granules et 33,9 Kg/ha pour le perlurée).

Tableau XII: Absorption en azote (Kg/ha) de la paille selon les traitements

Variétés	Type d'urée	Dose d'urée		
		Témoin	D1	D2
FKR 28	USG		40,8	59,1
	Perlurée		35,0	38,0
	Témoin	14,7		
FKR 19	USG		25,8	61,8
	Perlurée		20,5	42,3
	Témoin	9,2		
FKR 62 N	USG		38,6	55,6
	Perlurée		27,4	39,9
	Témoin	14,4		
TS2	USG		38,9	82,2
	Perlurée		49,3	77,6
	Témoin	23,0		
LSD			14,82	
Probabilité			<0,001	
Signification			THS	

THS = Très Hautement Significative ($p < 0,001$)

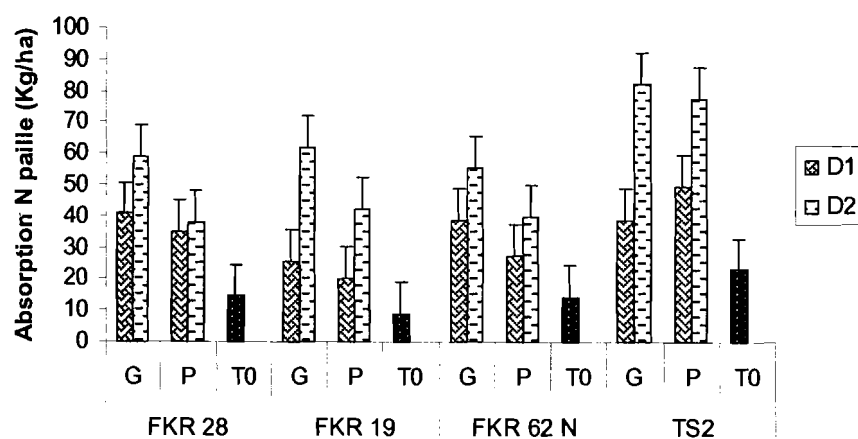


Figure 17: Effet de la dose et du type d'urée sur l'absorption en azote des variétés

III.1.2.11 Effet des traitements sur l'absorption en azote par les grains et par la paille de riz

L'absorption en azote de la paille et des grains est plus élevée au niveau de la dose D2 par rapport à la dose D1 surtout avec l'USG comme l'indique la figure 18. En effet, la dose d'urée a

eu un effet significatif avec les variétés FKR 19, FKR 28 et TS2. Pour ce qui est de la variété FKR 62 N l'effet de la dose a été significatif seulement avec l'USG (tableau XIII).

L'effet du type d'urée à la dose 113 Kg/ha n'a pas été significatif au niveau de toutes les variétés. Pour la dose 170 Kg/ha, l'effet a été significatif seulement avec les variétés FKR 19 (119,7 Kg/ha pour l'USG et 99,2 Kg/ha pour le perlurée) et FKR 62 N (94,6 Kg/ha) pour l'USG contre 71,1 pour le perlurée).

Tableau XIII: Absorption totale en azote (Kg/ha) des grains et de la paille selon les traitements

Variétés	Type d'urée	Dose d'urée		
		Témoin	D1	D2
FKR 28	USG		71,0	91,2
	Perlurée		67,1	70,8
	Témoin	27,5		
FKR 19	USG		80,4	119,7
	Perlurée		73,2	99,2
	Témoin	35,6		
FKR 62 N	USG		68,7	94,6
	Perlurée		61,5	71,1
	Témoin	27,2		
TS2	USG		78,7	138,7
	Perlurée		89,1	126,3
	Témoin	41,8		
LSD			18,46	
Probabilité			<0,001	
Signification			THS	

THS = Très Hautement Significative ($p < 0,001$)

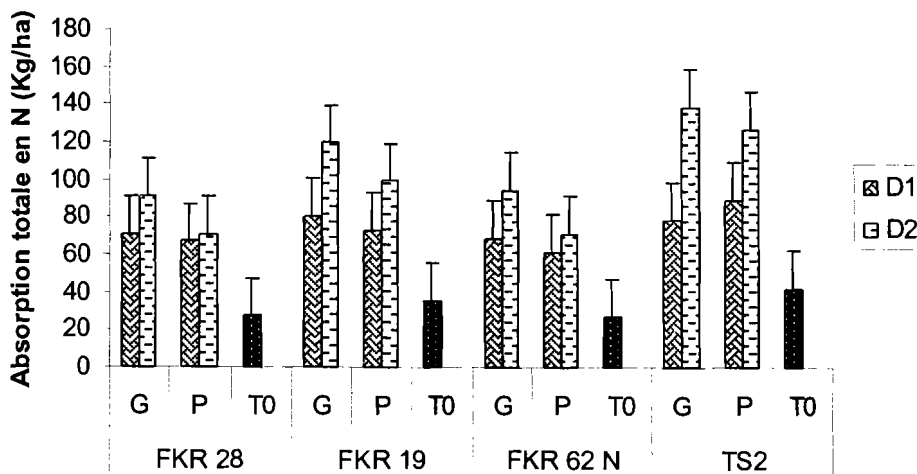


Figure 18: Effet des traitements sur l'absorption totale en azote des variétés

III.1.2.12 Effet des traitements sur l'absorption du phosphore par les grains et par la paille de riz

La figure 19 montre que l'absorption est plus élevée avec la dose D2 (170Kg/ha) et est encore plus importantes chez les variétés TS2 et FKR 19. L'analyse de l'effet de la dose sur les variétés n'a pas montré une différence significative avec les variétés FKR 28 et FKR 62 N. Avec la variété TS2 la dose a un effet significatif seulement avec l'utilisation de l'USG où la dose D2 donne une meilleure absorption. Avec la variété FKR 19 l'effet de la dose a été significatif. La dose D2 est celle qui donne une meilleure absorption (55,41 Kg/ha pour l'USG et 52,68 Kg/ha pour le perlurée) par rapport à la dose D1 (44,77 Kg/ha pour l'USG et 43,23 Kg/ha pour le perlurée).

Cependant, l'effet du type d'urée n'a pas été significatif avec toutes les variétés à la dose 113 Kg/ha. Quant à la dose 170 Kg/ha, l'effet du type d'urée a été significatif seulement avec la variété TS2 (62,64 Kg/ha pour l'USG contre 55,07 Kg/ha pour le perlurée).

Tableau XIV: Absorption totale en phosphore (Kg/ha) des grains et de la paille selon les traitements

Variétés	Type d'urée	Dose d'urée		
		Témoin	D1	D2
FKR 28	USG		34,04	39,14
	Perlurée		28,59	35,06
	Témoin	15,82		
FKR 19	USG		44,77	55,41
	Perlurée		43,23	52,68
	Témoin	23,71		
FKR 62 N	USG		28,78	35,36
	Perlurée		25,72	29,09
	Témoin	15,63		
TS2	USG		44,94	62,64
	Perlurée		49,49	55,07
	Témoin	21,74		
LSD		6,74		
Probabilité		<0,001		
Signification		THS		

THS = Très Hautement Significative ($p < 0,001$)

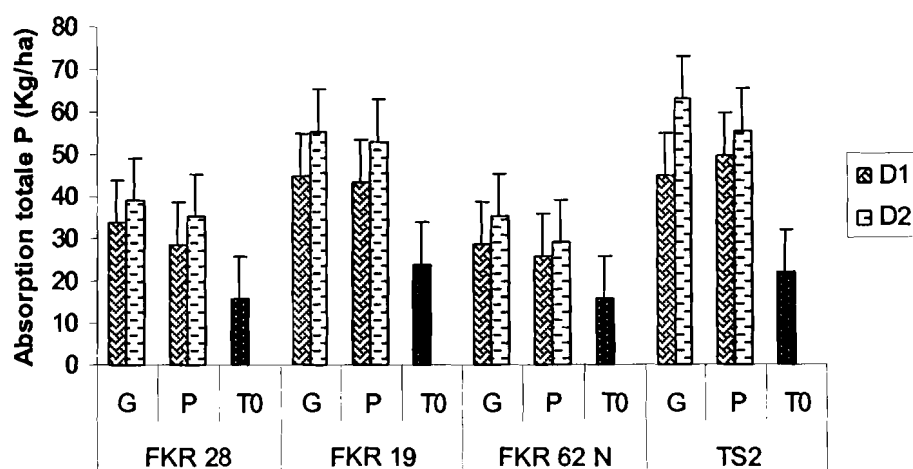


Figure 19: Effet des traitements sur l'absorption totale en phosphore des variétés

III.1.2.13 Effet des traitements sur l'absorption en potassium par les grains et par la paille de riz.

Les résultats de la figure 20 montre que les variétés TS2 et FKR 19 sont celles qui ont une meilleure absorption en potassium par rapport aux variétés FKR 28 et FKR 62 N. Mais dans l'ensemble l'absorption est plus importante avec la dose D2 par rapport à la dose D1 pour toutes les variétés. En effet, l'analyse de variance (tableau XV) montre que l'effet de la dose a été significatif avec toutes les variétés sauf avec la variété FKR 28.

Pour ce qui est du type d'urée, son effet n'a pas été significatif avec toutes variétés à la dose de 113 Kg /ha. Par contre, le type d'urée a donné un effet significatif avec la dose 170 Kg/ha avec les variétés FKR 19 (264 Kg/ha pour l'USG contre 206 Kg/ha pour le perlurée) et FKR 62 N (176 Kg/ha pour l'USG contre 158 Kg/ha pour le perlurée).

Tableau XV: Absorption totale en potassium (Kg/ha) des grains et de la paille selon les traitements

Variétés	Type d'urée	Dose d'urée		
		Témoin	D1	D2
FKR 28	USG		161,5	176,5
	Perlurée		154,2	164,0
	Témoin	76,5		
FKR 19	USG		162,1	264,0
	Perlurée		152,3	206,8
	Témoin	71,2		
FKR 62 N	USG		151,3	176,0
	Perlurée		136,6	158,5
	Témoin	75,3		
TS2	USG		182,8	247,5
	Perlurée		199,3	240,5
	Témoin	100,1		
LSD			33,38	
Probabilité			<0,001	
Signification			THS	

THS = Très Hautement Significative ($p < 0,001$)

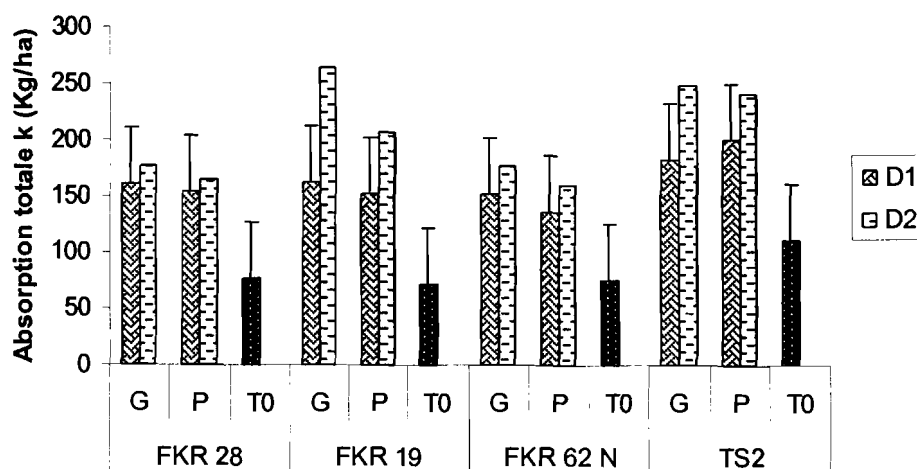


Figure 20: Effet des traitements sur l'absorption totale en potassium des variétés

III.2 Discussion

III.2.1 Essais soustractifs

Les résultats obtenus avec les essais soustractifs ont montré que les traitements NP et NPK ont donné les meilleurs rendements grain et paille et les meilleures absorptions en éléments N, P et K. Les plus faibles rendements et absorption sont obtenus avec le traitement témoin. On a aussi constaté que les traitements comportant l'élément P (PK, NP et NPK) ont donné une meilleure absorption en azote et en phosphore ainsi qu'un meilleur rendement grain. Pour ce qui concerne

l'absorption en potassium, on a constaté que l'absence des éléments N, P et K ou la présence de ces trois éléments n'influence pas sur son absorption. En effet, l'évolution des rendements et des absorptions laisse voir une hiérarchisation et une importance des éléments N, P et K. Cette évolution montre que les éléments N et P sont les deux éléments limitatifs de la production du riz dans notre zone. En effet les travaux de Nebié (1995) ont montré que les sols de la vallée du Kou sont pauvres en azote et très pauvre en phosphore assimilable. Nos résultats sont aussi en accord avec ceux de l'IFDC (2008) ; FAO (2002). Selon ces auteurs, l'azote et le phosphore ont été identifiés comme étant les éléments majeurs limitant la production céréalière. Segda (2006) rapporte aussi que dans les conditions aussi variées que celles dans lesquelles se pratiquent la riziculture en générale, l'azote est l'un des éléments les plus importants qui peut être limitant pour la croissance et le développement du riz. En effet, Wopereis et *al*, 1999 ont démontré que l'azote joue un rôle important dans le rendement des cultures. La hiérarchisation des deux éléments montre que le phosphore est le premier élément limitatif suivi de l'azote. En effet, 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 mais il demeure l'élément le plus facilement maîtrisable par la fertilisation à cause de sa faible mobilité et de plus son faible niveau d'utilisation par les cultures.

III.2.2 Evaluation des technologies d'apports de l'urée

III.2.2.1 Evolution du pH de la lame d'eau

Les expérimentations avec l'USG et les perlurées ont montré que les valeurs du pH de la lame d'eau évoluent et atteignent un pic avant de décroître par la suite. Cela s'explique par le fait que l'hydrolyse de l'urée débute dès les premières heures après l'apport et que la présence d'une lame conduit à la mise en place progressive de conditions anaérobies. Les conditions deviennent défavorables à la nitrification de l'azote et favorable à la réduction du nitrate ce qui tend à augmenter le pH (Dicko, 2005). Les valeurs du pH de la lame d'eau est supérieur dans les parcelles qui ont reçu le PU. Cela pourrait être causé par la présence de l'urée dans la lame d'eau qui stimule la croissance des microorganismes photosynthétiques (Bouldin et Alimagno, 1976). Leurs activités entraînent une consommation de gaz carbonique ce qui tend à augmenter le pH et le ratio $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, conduisant ainsi à la volatilisation de l'azote. Il est bien établi que la conversion de l'ammonium-N à l'ammoniac augmente fortement lorsque le pH de la lame d'eau est au-dessus de 8 (Fillery et al., 1984), et que la concentration d'ammoniac dans la lame d'eau est un facteur déterminant dans les pertes d'azote par le biais de la volatilisation du NH_3 (Katyal et Gadalla, 1990).

L'évolution importante du pH de la lame d'eau des perlurées par rapport aux granules peuvent s'expliquer par le fait que le type d'engrais azotés et le type d'apport peuvent influencer l'hydrolyse de l'urée. En effet, les recherches de la FAO et *al.* (2003) ont montré que le type d'engrais azoté a une influence sur l'importance de la nitrification et de la dénitrification. Ce phénomène pourrait expliquer les valeurs du pH obtenu avec les perlurées, car ce type d'engrais est généralement épandu directement dans la lame d'eau ce qui entraîne une hydrolyse rapide de l'urée. Les granules étant enfouis dans le sol, leur dissolution est encore plus lente ce qui permet de réduire les pertes gazeuses et une augmentation du pH. Mais, ces valeurs du pH tendent à diminuer au fil du temps car la présence du bicarbonate d'ammonium (NH_4HCO_3) aurait un effet tampon sur le pH de la lame d'eau (Vlek et Craswell, 1981). En effet, l'hydrolyse de l'urée se termine généralement entre 3 à 4 jours après son application ce qui entraîne une baisse de la concentration du NH_4HCO_3 et une diminution du pH de la lame d'eau.

III.2.2.2 Impact de la dose et du type d'urée sur le rendement et l'absorption des éléments N, P et K des variétés

Les résultats obtenus montrent que la dose d'urée a eu un effet significatif sur les différentes variétés. La dose D2 (170 Kg/ha) est celle qui a donné les meilleurs résultats par rapport à la dose D1 (113 Kg/ha) (annexe 3 et 4). La dose d'urée a eu une influence sur la croissance des plantes de riz surtout avec la variété FKR 62 N. On a aussi observé une augmentation du nombre de talles avec la dose D2. Mais l'effet de la dose n'a pas été significatif sur les autres composantes de rendements. On a pu observer de meilleurs rendements grains et paille avec dose D2. L'utilisation de cette dose a donné également les meilleures absorptions en éléments N, P et K. Ces résultats s'expliquent par le fait que lorsque l'on utilise des doses croissantes d'azote la consommation de l'azote a tendance à augmenter. Les travaux de Pieri (1989) ; Dembélé et *al.* 2001 et de Rabat (2003) ont montré que le rendement des cultures croît en fonction de la dose d'azote jusqu'à un certain seuil.

En général, pour ce qui est du type d'urée, nos résultats n'ont pas montré une différence significative entre les granules d'urée et les perlurées à la dose de 113 Kg/ha. La faible performance des granules avec cette dose peut être attribuée à l'infiltration trop élevée des parcelles. En effet, les mesures sur l'infiltration effectuées sur les parcelles ont donné une moyenne de 3,16 cm/jr. Or, selon IFDC (2003) l'infiltration du sol doit être inférieure à 1 cm/jr afin de permettre une bonne efficacité des granules. On a pu observer une différence avec les deux types d'urée avec la dose de 170 Kg/ha au niveau du rendement grains avec la variété TS2 et au niveau du rendement paille avec la variété FKR 19. En ce qui concerne l'absorption, le type d'urée a eu un effet significatif sur l'absorption totale en azote de la variété FKR 19 et un effet

significatif sur l'absorption totale en phosphore de la variété TS2. Avec les variétés FKR19 et FKR 62 N, le type d'urée a donné un effet significatif sur l'absorption en potassium. En général, l'influence du type d'urée sur l'absorption a été significative seulement avec la dose 170 Kg/ha (D2) où les granules donnent les meilleurs résultats par rapport aux perlurées. Ce résultat s'explique par le fait que le placement profond de l'urée entraîne une utilisation efficace de l'azote en le gardant plus dans le sol (Mohanty et al, 1999). Or, selon Rabat (2003) l'efficacité du phosphore et du potassium augmente lorsque l'azote est disponible dans le sol.

Les résultats montrent que dans l'ensemble les meilleurs résultats sont obtenus avec les granules par rapport aux perlurées surtout à la dose 170 Kg/ha. Ces résultats s'apparentent avec ceux de Gaudin et al. (1987), Gaudin (1991) ; Segda et al (2006) ; Catalist (2009) et Bowen et al. (2004).

Ces résultats s'expliquent par le fait que l'urée supergranulée placée en profondeur entraîne une diffusion lente de l'azote sur une période de 65 jours (Gaudin, 1988) ; ce qui permettrait au riz de s'alimenter à la demande. Ainsi, le bon taux de recouvrement de l'azote qui pourrait en résulter expliquerait la meilleure efficacité agronomique des supergranules par rapport aux perlurées. En effet durant toute l'expérimentation on n'a pas observé des signes de carence en azote sur les feuilles des parcelles traitées avec l'USG. On pourrait également expliquer ces résultats par le fait que les pertes en azote par volatilisation et par dénitrification sont réduites avec l'utilisation des granules (Pasandaran et al. 1999). En effet, l'USG est apporté dans la zone réduite dans la surface du sol ainsi lors de l'hydrolyse l'ammonium chargé du signe positif se fixe sur les colloïdes du sol ce qui réduit les pertes par volatilisation. Cela s'explique par les faibles valeurs du pH obtenu avec l'USG. Or, avec les perlurées les pertes sont souvent très énormes et peuvent atteindre 60 à 70%. A ces pertes énormes s'ajoute le manque de synchronisation entre l'offre et la demande (Segda et al, 2004, 2005 ;), en ce sens que l'urée simple après hydrolyse, diffuse rapidement en 3 à 4 jours. Cet azote libéré ne peut donc pas satisfaire tous les besoins de la plante qui sont étalés dans le temps.

L'analyse des composantes de rendement montrent également que les réactions des quatre variétés ont été différentes avec les traitements. Les variétés FKR 19 et TS2 sont celles qui se comportent mieux avec les différents traitements (dose et type d'urée). La variété FKR 28 est celle qui a le moins réagi avec le type d'urée. Cela peut être attribué à leur différence variétale.

Conclusion

L'étude menée à travers des essais soustractifs avait pour objectif de déterminer les éléments nutritifs les plus limitatifs en riziculture irriguée. Les résultats ont montré que le phosphore est le premier élément limitatif suivi de l'azote.

L'essai mené avec l'USG et le perlurée avait pour objectifs d'évaluer les performances agronomiques de l'USG en comparaison avec le perlurée apporté à la volée et d'évaluer la réponse de différentes variétés de riz à l'USG. L'essai n'a pas montré une différence significative entre les deux types d'urée à la dose de 113 Kg/ha avec les variétés TS2, FKR 62 N, FKR 19 et FKR 28. La différence entre les perlurées et l'USG s'observe avec la dose 170 Kg/ha. Les meilleurs rendements et les meilleures absorptions sont obtenus à cette dose avec les granules. En général, l'utilisation de l'USG à cette dose a permis d'avoir une meilleure croissance des plants de riz surtout avec la variété FKR 19. A l'initiation paniculaire, on a observé une meilleure absorption en azote avec les différentes variétés avec les granules de 2,7 g (170 Kg/ha). Les traitements avec l'USG à la dose de 170 Kg/ha ce sont montrés plus performants par rapport au perlurée.

L'essai a également montré que la performance de l'USG est fonction des variétés. Les variétés FKR 19 et TS2 sont les variétés qui ont les mieux réagi avec les granules. Ces variétés ont obtenu les meilleures absorptions en éléments N, P et K, les meilleures hauteurs, les meilleurs taux de fertilité des panicules et les meilleurs rendements grains. La variété FKR 28 est la variété qui a le moins réagi avec l'utilisation des granules. Parmi les quatre variétés testées, la NERICA FKR 62 N a donné les plus faibles rendements et absorptions.

En perspectives, des études devraient chercher à élargir les expérimentations sur l'urée supergranulée en prenant en compte :

- l'effet combiné des briquettes d'urée (USG), et de phosphore (PSG) avec la fumure organique afin d'assurer une durabilité des systèmes de riziculture irriguée à la vallée du Kou.
- l'efficacité de l'USG et du phosphore sur différents types de sols ;
- l'étude de la disponibilité de l'USG dans le sol pendant les différents stades de la croissance et du développement du riz ;
- l'effet de l'USG sur le développement racinaire en tenant compte du régime hydrique, de la profondeur d'enracinement des plants de riz et la surface prospectée par la rhizosphère.

Ces études ultérieures devraient chercher également à étudier les paramètres économiques liés à l'utilisation de l'urée supergranulée afin de pouvoir évaluer son efficacité réelle.

Références bibliographiques

- ADRAO., 1995.** Formation en production rizicole. Manuel du formateur. Sayce publishing. Royaume Uni. 305 pages.
- ADRAO., 1998.** Formation en production rizicole. Manuel du formateur. Sayce publishing Royaume Uni. 305 Pages.
- Balasubramanian V., 2000.** Comparative efficiency of N management practices on rainfed lowland rice in Batac, Philippines. Soil, nutrient, and water management, pages 22 – 28.
- Barrier (J M), Mouret (J C), 2000.** Reconsidérer les formes d'appui aux agriculteurs pour une agronomie de l'exploitation agricole. Faç SAD N° 5 janvier/ Mars. 4 Pages.
- Bowen W.T, R.B Diamond, U Singh, T.P Thompson., 2004.** Urea deep placement increases yield and save Nitrogen fertilizer in farmer's field in Bangladesh. Pages 369 - 372.
- Capillon. A, 2005.** Culture tropicale. Les défis du riz. M Agro. 66p
- Cassman, K. G., S. Peng, D. C. Olk, J. K. Ladha, W. Reichardt, A. Dobermann and U. Singh., 1998.** "Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems." Field Crops Research **56**(1-2): 7-39.
- Catalist., 2009.** Project for the great lakes region of central africa. N°1. 4p.
- Chowdary, V. M., N. H. Rao and P. B. S. Sarma., 2004.** "A coupled soil water and nitrogen balance model for flooded rice fields in India." Agriculture, Ecosystems & Environment **103**(3): 425-441.
- CIRAD – GRET., 2002.** Memento de l'agronome. Jouve (France,11 bd de Sébaspol, 75001 Paris n°312091 Y. Pages 799 – 811.
- Condom N., 2000.** Analyse et modélisation couplée des processus hydro-géochimiques de la salinisation des sols. Application aux sols rizicoles irrigués de l'Office du Niger (Mali). Thèse de doctorat. Ecole Nationale Agronomique de Montpellier. 189 P.
- Dembelé Y, M Sié, H Kambiré et E Gué., 2001.** Influence du régime hydrique sur la nutrition minérale et le rendement du riz. INERA.11Pages.
- Fageria, N. K. and V. C. Baligar., 2001.** "Lowland rice respond to nitrogen fertilisation." Soil sci and Plant Anal. **32**(9-10): 1405-1429.
- FAO et IFA., 2003.** Estimations des émissions gazeuses de NH₃, NO et N₂O par les terres agricoles à l'échelle mondiale. 112p.

- Fillery, I.R.P., Simpson, J.R., De Datta, S.K., 1984.** Influence of field environment and fertilizer management on ammonia loss from flooded rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 914-920.
- Fontes J., Guinko S., 1995.** Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso : notice explicative. Ministère de la coopération Française. 67p.
- Gaudin R ; Dupuy J ; Bournat P., 1987.** Suivi du contenu en azote de la solution du sol d'une rizière après placement d'urée. *L'agronomie tropicale* 1987, pages 42 – 1.
- Gaudin R., 1988.** L'ammoniac NH₃, une clé pour comprendre l'efficacité des supergranules d'urée en riziculture irriguée. *L'agronomie tropicale* 1988, 43 – 1. Pages 30 – 36.
- Gaudin R., 1991.** Le rôle de l'ammoniac NH₃ dans l'alimentation azotée des plantes : un problème revis à jour par l'étude de la fertilisation super granule d'urée du riz irrigué. *Bull Acad. Malg.* Tome 66/1-2. Pages 180-186.
- IFDC., 2003.** More rice with reduced loss of urea. An IFDC project to improve fertilizer nitrogen efficiency for rice production. 11 pages.
- 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, NO. 3. 12p.
- Kirk, G. J. D. and H. J. Kronzucker., 2000.** Nitrogen uptake by rice roots. Carbon and Nitrogen Dynamics in Flooded Soils. G. J. D. a. D. C. O. Kirk, IRRI. .
- MAE., 2002.** Mémento de l'agronome. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agricole pour le Développement (CIRAD, GRET), Ministère des Affaires Etrangères. France. 5^{ème} édition. 1691 pages.
- MAHRH, 2010.** Stratégie Nationale de Développement de la riziculture. MAHRH. 27p
- Marc L, 2001.** Fertilisation minérale du riz. Mémento Technique de Riziculture. Fascicule 6. Coopération française. 19p
- Mikkelsen, D. S., S. K. De Datta and W. N. Obcema., 1978.** "Ammonia volatilization losses from flooded rice soils. Contribution of Dept. of Agron., The IRRI." Soil Sci Am J. 42(725-730).
- Mohanty .S.K., Singh. U., Balasubramanian. V., et Jha .K.R, 1999.** Nitrogen deep- placement technologie for productivity, profitability, and environmental quality of rainfed lowland rice systems. *Nutrient cycle. Agroecost.*53: 43- 47.

- Morales A.C, Agustin E.O, Lucas M.P, Marcos T.F, Culanay D.A, Culanay D.A, and Balasubramanian V., 2000.** Comparative efficiency of N management practices on rainfed lowland rice in Batac, Philippines. Soil, nutrient, and water management, pages 22 – 28.
- Narteh, L. T. and K. L. Sahrawat., 1997.** "Potentially mineralizable nitrogen in West African lowland rice soils." *Geoderma* 76(1-2): 145-154.
- Narteh, L. T. and K. L. Sahrawat., 1999.** "Influence of flooding on electrochemical and chemical properties of West African soils." *Geoderma* 87(3-4): 179-207.
- Nebié B., 1995.** Etude des contraintes agropédologiques déterminant la production du riz irrigué dans la Vallée du Kou au Burkina Faso. Thèse Docteur ingénieur, option sciences agronomiques, Faculté des Sciences et Technique, Université Nationale de Côte d'Ivoire. 209 pages.
- 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.
- PIERI C., 1989.** Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherches et de développement au sud du Sahara. Ministère de la coopération française et CIRAD/ IRAT (Montpellier). 444p.
- PNTTA ., 2000.** Les engrais minéraux. Caractéristiques et utilisations. N° 72. 4p.
- Ponamperuma, F. N., 1972.** "The chemistry of submerged soils." *Advances in Agronomy* 24: 29-96.
- Puard, M., P. Couchat and G. Laseve., 1989.** "Etude des mécanismes d'adaptation du riz (*Oriza sativa* L.) aux contraintes du milieu." *l'Agronomie Tropicale* 44(3): 165-177.
- Rabat., 2003.** Les engrais et leurs applications. Précis à l'usage des agents de la vulgarisation agricole, 4^e édition. 77 Pages.
- Raunet M., 1991.** Bas-fonds et riziculture. Actes du séminaire d'Antananarivo Madagascar. 517 Pages.
- Roy A.H., 2003.** More rice with reduced loss of urea. 71st IFA Annual conference Philadelphia, PA.
- Segda Z, M Sie, A Mando, M.S Haeefe, M.CS Wopereis, M Kebbeh, K Miezán, M.P Sedogo et S Gindo., 2006.** Performances d'une gestion intégrée des nutriments pour la production de riz irrigué dans la plaine de Bagré au Burkina Faso. *Agronomie Africaine*. N ° spécial (5) année internationale du riz. Pages 29- 39.

Segda Z, S.M Haefele, M.CS Wopereis, M.P Sedogo, et S GuinKo., 2005. Combining field and simulation studies to improve fertilizer recommendations for irrigated rice in Burkina Faso. *Agro. J* 97: pages 1429-1437.

Segda Z, S.M Haefele, M; CS Wopereis, M.P Sedogo et S Guindo., 2004. Agroeconomic characterization of rice production in a typical irrigation scheme in Burkina Faso. *Agron.J* 96: pages 1313-1322.

Segda, 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.

Stengel PJ, Savant NK., 1990. Deep Placement of Urea Spergranules in Transplanted Rice: Principles and Practices. *Fertilizer Research* 25: 1-83.

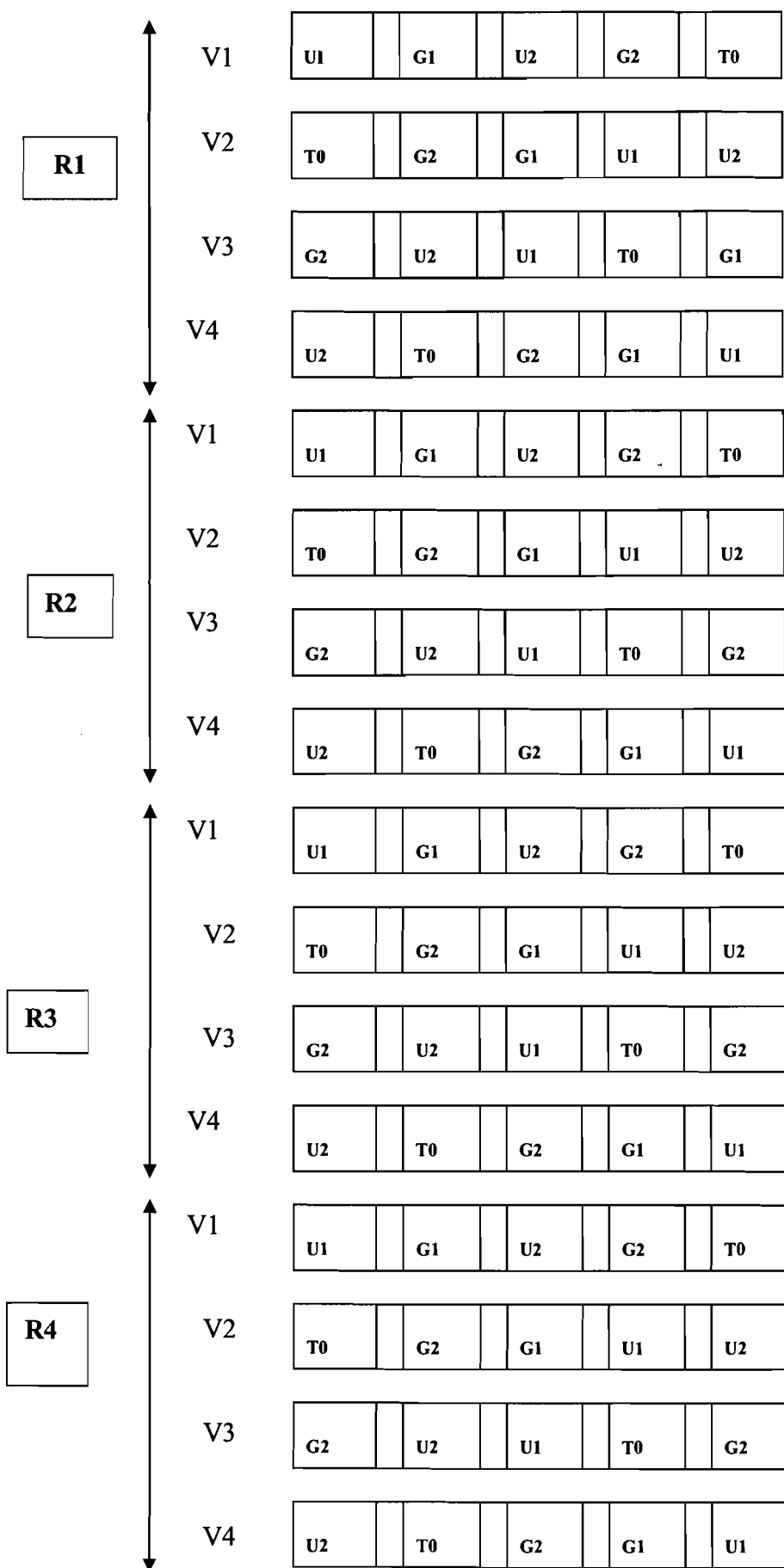
Tadano, T. and S. Yoshida., 1978. "Chemical changes in submerged soils and their effect on rice growth." 165-177.

Vlek, P.L.G., Craswell, E.T., 1981. Ammonia volatilization from flooded soils. *Fertilizer Research* 2: 227-245.

Wopereis. M.C.S., Donovan. C., Nebie. B., Guindo. D., N'Diaye. M.K., 1999. Soil fertility management in irrigated rice systems in Sahel and Savanna Regions of West Africa Part I. Agronomic analysis. *Field Crops Res.*, 61:125-145.

Annexes

ANNEXE 1 : DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE L'EVALUATION UREE-USG



V1 : Variété FKR 62 N
 V2 : Variété FKR 28
 V3 : Variété FKR 19
 V4 : Variété TS2
 U1: UREE 113 Kg
 U2: UREE 170 Kg
 G1: USG 1, 8 g
 G2: USG 2, 7 g
 T0 : Témoin

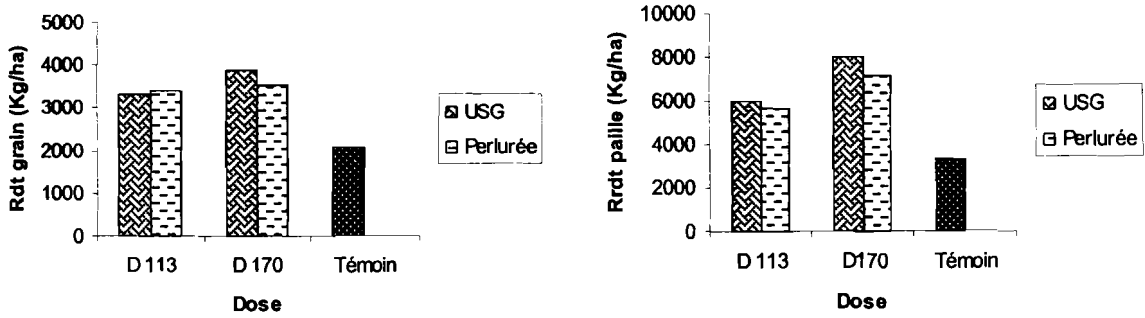
ANNEXE 2 : Analyse du rendement grain et paille et des exportations en élément N, P et K

Traitements	Rdt grain (Kg/ha)	Rdt paille (Kg/ha)	Teneur N à l'IP (%)	Export N grain (Kg/ha)	Export N paille (Kg/ha)	Export totale N (Kg/ha)	Export totale P (Kg/ha)	Export totale K (Kg/ha)	
Variétés	FKR 28	2353 ^a	5933 ^a	1,7 ^a	37,5 ^a	28 ^{ab}	65,5 ^a	30,5 ^a	146,6 ^a
	FKR 19	4623 ^c	4701 ^a	2,06 ^b	31,9 ^b	49,7 ^a	81,6 ^{ab}	44 ^b	171,3 ^{ab}
	FKR 62	2345 ^a	5858 ^a	2,01 ^{ab}	35,2 ^a	29,5 ^a	64,6 ^a	29,9 ^a	139,5 ^a
	N TS2	3666 ^b	7595 ^b	2,13 ^b	54,2 ^b	40,7 ^c	94,9 ^b	46,8 ^b	196 ^b
	Proba. Signif.	<0,001 THS	<0,001 THS	0,009 S	0,005 S	<0,001 THS	0,006 S	<0,001 THS	0,005 S
Dose d'N (kg/ha)	0	2086	3303	-	17,7	15,3	33	19,2	83,3
	113	3359	5812	1,9	39,2	34,5	73,7	37,4	162,5
	170	3715	7580	2,05	44,4	57	101,4	45,6	204,5
	Proba. Signif.	<0,001 THS	<0,001 THS	0,12 NS	<0,001 THS	<0,001 THS	<0,001 THS	<0,001 THS	<0,001 THS
Type d'urée	Perlurée	3178	5711	1,71	37,7	35,1	71,2	35,4	156,5
	USG	3315	6332	2,24	36,2	44,2	82	38,7	170,2
	Proba. Signif.	0,88 NS	0,23 NS	<0,001 THS	0,86 NS	0,053 NS	0,10 NS	0,46 NS	0,31 NS
	Var/D	HS	HS	HS	HS	S	HS	HS	HS
Inter - actions	Var/T	NS	NS	HS	NS	NS	NS	NS	NS
	D/T	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS
	Var/T/D	THS	THS	THS	THS	THS	THS	THS	THS

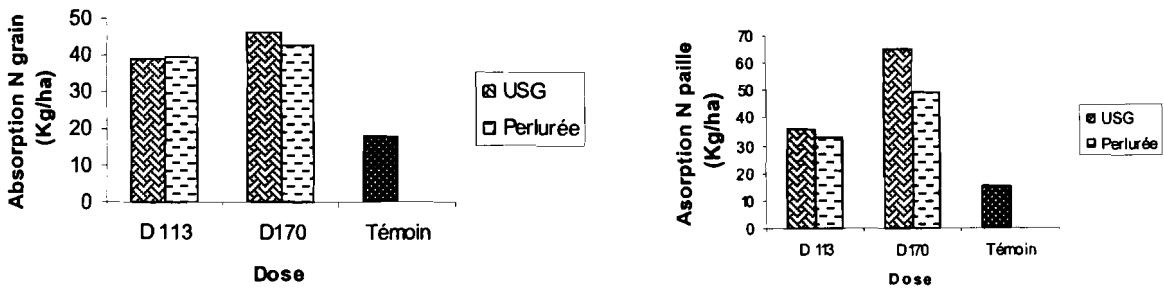
Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

NS= non significatif ; S = Significatif ($p < 0.05$) ; HS = Hautement Significative ($p < 0,01$) ; THS = Très Hautement Significatif ($P < 0.001$).

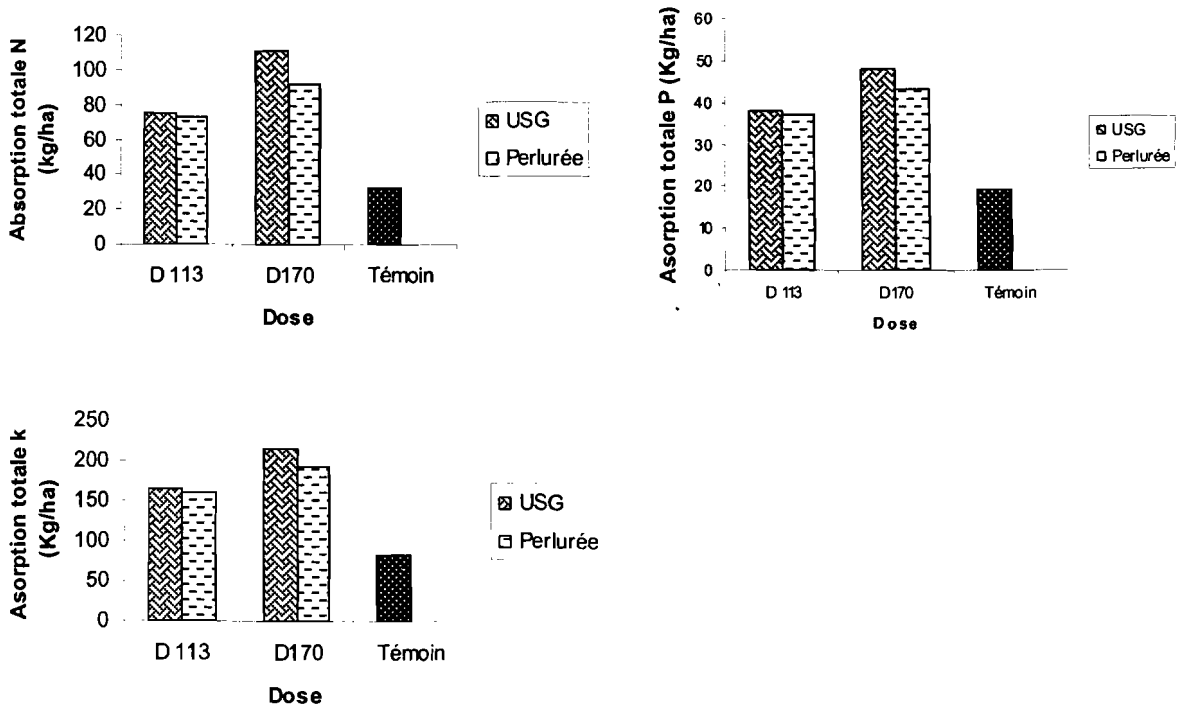
ANNEXE 3



Effet de la dose d'urée sur les rendements paille et grain.

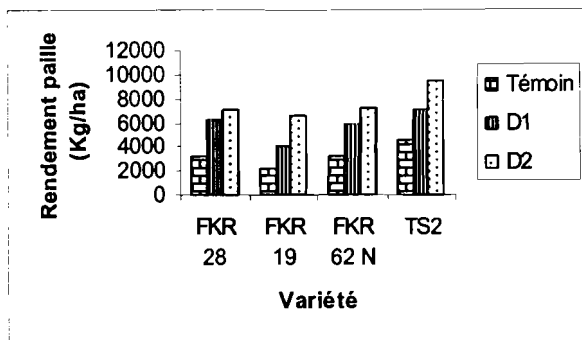
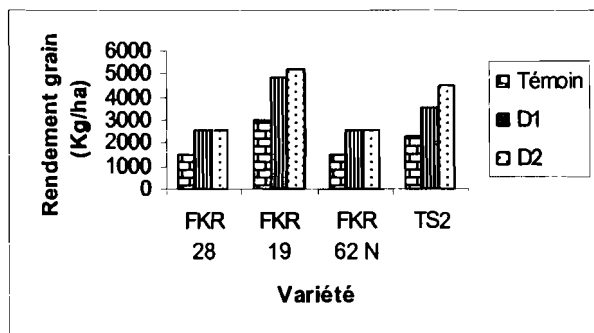


Effet de la dose sur les exportations en azote des grains et de la paille

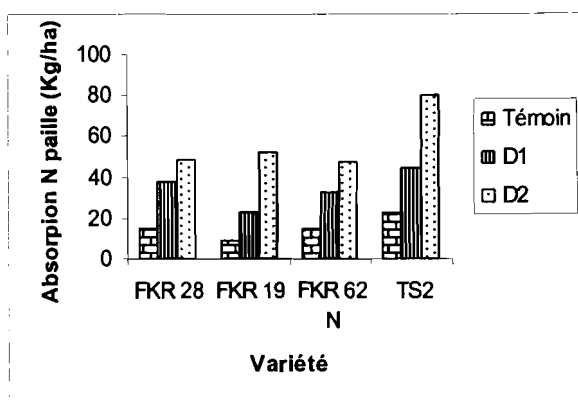
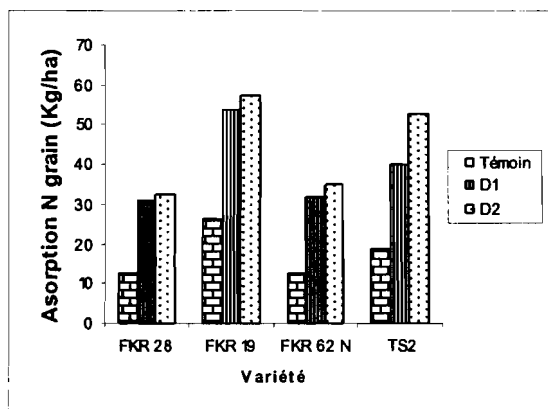


Effet de la dose sur les exportations totales en éléments N, P et K

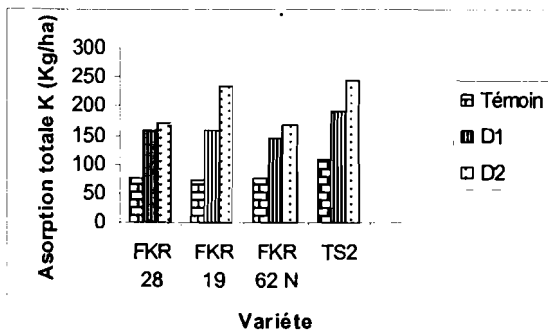
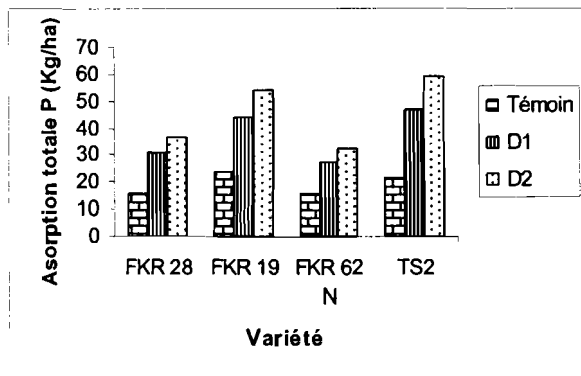
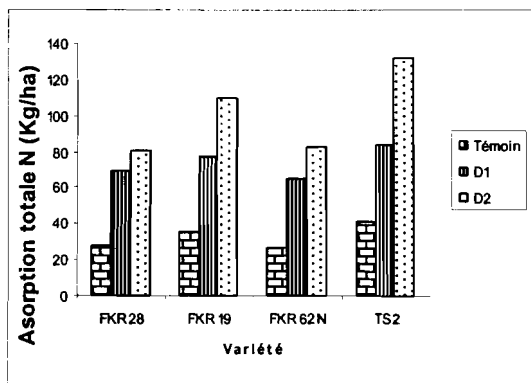
ANNEXE 4



Effet de la dose sur les rendements grains et paille



Effet de la dose sur l'absorption en N des grains et de la paille.



Effet de la dose sur exportations totales en N, P et K