

TABLE DE MATIERES

DEDICACE.....	I
TABLE DE MATIERES	II
REMERCIEMENTS.....	IV
SIGLES ET ABREVIATIONS	VI
LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
LISTE DES PHOTOS.....	IX
RESUME.....	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
1.1. GENERALITES SUR LA RIZICULTURE IRRIGUEE.....	4
1.1.1. DEFINITION DE LA RIZICULTURE IRRIGUEE	4
1.1.2. CONTRAINTES A LA RIZICULTURE IRRIGUEE AU BURKINA FASO.....	4
<i>1.1.2.1. Les contraintes agro-pédo-climatiques</i>	4
<i>1.1.2.2. Les contraintes socio-économiques</i>	5
<i>1.1.2.3. Les contraintes biotiques</i>	5
1.1.3. FERTILISATION DU RIZ IRRIGUE.....	6
<i>1.1.3.1. Etat et comportement de l'azote en riziculture irriguée.....</i>	6
<i>1.1.3.2. Le phosphore.....</i>	8
<i>1.1.3.3. Le potassium</i>	8
<i>1.1.3.4. Le souffre et le zinc</i>	9
1.2. L'UREE A SOLUBILISATION LENTE (OU UREE SUPER GRANULE “USG”).	9
1.2.1. DEFINITION	9
1.2.2. QUELQUES NOTIONS TECHNIQUES SUR L'UREE SUPER GRANULE (USG).....	10
<i>1.2.2.1. Choix variétal</i>	10
<i>1.2.2.2. Labour.....</i>	10
<i>1.2.2.3. Repiquage</i>	10
<i>1.2.2.4. Période et mode d'application.....</i>	11
<i>1.2.2.5. Doses et méthode d'irrigation</i>	13
<i>1.2.2.5.1. Doses</i>	13
<i>1.2.2.5.2. Période et méthode d'irrigation</i>	13
<i>1.2.2.6. Autres utilisations de l'USG</i>	13
1.2.3. AVANTAGES DU PLACEMENT PROFOND DE L'USG	14
<i>1.2.3.1. Avantages agronomiques.....</i>	14

1.2.3.2. Avantages socio-économiques	14
1.2.3.3. Avantages environnementaux	15
1.2.4. INCONVENIENTS DU PLACEMENT PROFOND DE L'UREE.....	16
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES	18
2.1. ZONE D'ETUDE	18
2.1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	18
2.1.2. LE RELIEF	18
2.1.3. LE CLIMAT.....	18
2.1.4. LA VEGETATION	20
2.1.5. LES SOLS	21
2.2. MATERIELS.....	21
2.2.1. ENGRAIS.....	21
2.2.2. MATERIEL VEGETAL.....	22
2.3. METHODOLOGIE	23
2.3.1. CHOIX DES PRODUCTEURS	23
2.3.2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL	23
2.3.3. COLLECTE DES DONNEES	23
2.3.4. ENTRETIEN ET PARAMETRES MESURES (OU CALCULES).....	24
2.3.4.1. <i>Variables agronomiques</i>	24
2.3.4.2. <i>Variables économiques</i>	25
2.3.5. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES	26
CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....	28
3.1. RESULTATS	28
3.1.1. EFFETS DES DIFFERENTS TRAITEMENTS SUR LES COMPOSANTES DE RENDEMENT.....	28
3.1.2. EFFETS DES DIFFERENTS TRAITEMENTS SUR LES RENDEMENTS	30
3.1.3. ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES	31
3.1.3.1. <i>Main d'œuvre et temps d'application</i>	31
3.1.3.2. <i>Appréciation de la technologie par les producteurs</i>	31
3.1.3.3. <i>Aspects économiques</i>	32
3.2. DISCUSSION	33
CONCLUSION GENERALE	36
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	38
ANNEXES.....	44

REMERCIEMENTS

Le présent mémoire est le fruit de la collaboration entre le Centre International pour la Fertilité du Sol et le Développement Agricole (IFDC) et l’Institut du Développement Rural (IDR). Durant l’étude, nous avons eu recourt à plusieurs personnes dont nous ne manquerons l’occasion pour leurs témoigner de notre profonde reconnaissance. Que les plus discrets d’entre eux me pardonnent, tant il m’aurait été impossible de les occulter de la présente liste. Mes remerciements vont particulièrement :

Au **Dr SEGDA Zacharie**, mon maître de stage et Directeur Général de la Maîtrise d’Ouvrage de Bagré (MOB). Son sens passionné de l’agronomie ma fasciné et conforté dans le choix de mon futur métier. Pour moi, il restera une référence à plus d’un égard. A lui, je dis merci pour sa confiance placée en moi depuis mon acceptation à titre de stagiaire.

Au **Dr BACYE Bernard**, notre directeur de mémoire pour l’attention particulière au bon déroulement des travaux de cette étude.

Au **Pr SEDOGO P. Michel** pour sa contribution à l’amélioration de la qualité du document.

A tout le personnel de la MOB qui n’a ménagé aucun effort devant mes sollicitudes, pour agrémenter mon passage (séjour à la MOB). Mes remerciements vont particulièrement à **Mr OUEDRAOGO Issaka** au Service de Mise en Valeur Agro-sylvo-pastotale (SMVA) de la MOB pour sa contribution à l’amélioration du document.

A **Mr Jan Jacob Robert GROOT**, directeur de l’IFDC division Afrique ainsi que tout le personnel dont il a la charge pour avoir proposé et financé cette étude.

A ceux qui, sur le terrain m’ont apporté une aide précieuse dans le choix des producteurs et dans la mise en place des essais ainsi que dans le suivi. Ainsi mes intentions vont à tous les facilitateurs. Leur bon sens du travail m’a facilité les différents travaux. Je voudrais aussi remercier les producteurs pour leur aimable collaboration à ces essais.

A tous les enseignants de l’IDR, pour leurs encadrements technique et scientifique pendant les trois années de formation.

Au Pasteur **TRAORE Siaka** pour son sens d’ouverture et sa grande sympathie. Je le classerai volontiers parmi les chaleureuses personnes qui ont partagé jusqu’au bout les angoisses profondes et autres incertitudes liées à l’exécution de mon stage.

A mon cousin **TRAORE Adama** ainsi que toute sa famille qui n’ont ménagé leur effort pour me gratifier d’un séjour heureux à Bobo-Dioulasso.

A mon père pour son soutien moral et financier permanent. Sa foi en ma modeste personne, son courage et son abnégation m'ont inspiré à plus d'un titre. Le travail et la réussite à l'école ont toujours constitué pour moi une cause noble à défendre jalousement.

A mes amis (es) qui, par leur soutien moral ont contribué à la réussite de ce mémoire. Je pense particulièrement à **Mr SIGUE Adama**. Que tous mes camarades trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

A tous mes collèges stagiaires de Bagré, pour la franche collaboration qui a existée entre nous pendant la durée de notre stage. Nous citons : **BAMBA Daouda** et **DJANE Issouf**.

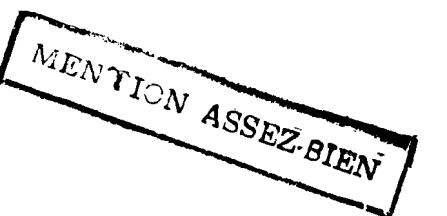
Puisse Dieu vous bénir tous ! Ce Dieu à qui je dois de prime à bord la réalisation de ce document.

SIGLES ET ABREVIATIONS

ADRAO:	Centre du Riz pour l'Afrique (ex. Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest)
BUNASOLS :	Bureau National de Sols
FAO:	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
IDR :	Institut du Développement Rural
IFDC:	International Center for Soil Fertility and Agricultural Development
INERA:	Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
MOB:	Maîtrise d'Ouvrage de Bagré
MTT :	Mission Technique de Taïwan
PP :	Pratique Paysanne
RVC :	Rapport Valeur sur Coût
SGU :	Super granules d'Urée
T :	Témoin
TSP:	Triple Superphosphate
UMG :	Urée Méga Granulé
UPB :	Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso
USG:	Urée Super Granule

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Placement des granules d'urée	11
Figure 2 : Carte illustrant la situation géographique de Bagré	19
Figure 3 : Evolution de la pluviométrie mensuelle en 2007 et 2008 à Bagré.....	20



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Effet des différents traitements sur les composantes de rendement.	28
Tableau 2 : Effet des différents traitements sur les rendements paille et paddy.....	30
Tableau 3 : Effet des différents traitements sur les ratios valeur sur coût et les revenus monétaires.....	32

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : USG en sachets	10
Photo 2 : Exemple d’application de l’USG au Bangladesh.	12
Photo 3 : Exemple illustrant l’état de la parcelle recommandé pour une bonne application de l’USG.....	12

RESUME

L'augmentation de la productivité de la culture du riz au Burkina Faso nécessite une bonne gestion de la fertilisation des sols. Cela passe par une bonne connaissance des systèmes de culture et la mise en place de fumure adaptée. Une étude a été menée à Bagré (Centre-Est du Burkina Faso) en vue d'évaluer l'effet de l'Urée Super Granulé (USG) sur les rendements et les composantes de rendement en riziculture irriguée. Elle a consisté en des essais en milieu paysan avec trente deux (32) producteurs repartis sur les deux rives du Nakanbé. Trois traitements dont le témoin absolu (T), la pratique paysanne (PP) et l'urée super granulée (USG) ont été placés chez chaque producteur test au cours de la campagne humide 2008.

L'analyse statistique révèle une différence significative entre les traitements pour les rendements (paddy et paille) et le nombre de talles et de panicules au m². Les résultats obtenus font ressortir une supériorité de l'USG sur la PP. Les rendements moyens sont respectivement de 6 630 kg/ha (paddy) et de 6 536 kg/ha (paille) pour l'USG contre 6 026 kg/ha (paddy) et 5 909 kg/ha (paille) pour la PP. Le nombre moyen de talles/m² est de 593 talles/m² pour l'USG et de 531 talles/m² pour la PP. Le nombre de panicule au m² obtenu avec le traitement USG est en moyenne de 401 panicules/m² contre 339 panicules/m² pour la PP. Pour les autres paramètres (nombre de grains pleins par panicule, pourcentage de grains vides et poids de 1000 grains), l'analyse statistique ne révèle pas de différence significative sauf avec le témoin. Les résultats obtenus sur le ratio valeur sur coût (RVC) et sur le revenu monétaire au niveau des traitements USG et PP ne présentent pas de différences significatives.

Mots clés : Riziculture irriguée, urée super granulée, rendements, Bagré, Burkina Faso.

ABSTRACT

The increasing of rice crop productivity in Burkina Faso implicates a good management of soil fertility. This goes through a good knowledge of farming systems and the use of adequate fertilisation. A study has been carried out at Bagré (Center-West of Burkina Faso) with objective to assess the effect of Super Granule Urea (SGU) on irrigated rice yield and its components. This study has consisted of trial on farmer field with thirty two farmers on the two banks of Nakanbé river on the 2008 wet season. All farmers have been concerned by three treatments which are the control without fertilizer (T), the farmer practice (PP) and the urea deep placement (UDP).

The results showed that UDP yield, tallest and panicles number has been higher than those of farmer practice. The means yield are respectively 6.630 kg/ha (grains) and 6.536 kg/ha (straw) for UDP, 6.026 kg/ha (grains) and 5.909 kg/ha (straw) for farmer practice. The mean of tallest number has been 593 by m^2 for UDP and 531 by m^2 for farmer practice. Panicle number by m^2 has been 401 for UDP and 339 for farmer practice. For the others components (full grains number by panicle, percentage of empty grains and the 1.000 grains weight), statistics analysis didn't show significant difference except with control. Concerning benefit/cost ratio and monetary income, UDP and farmer practice don't show significant difference.

Keys words: Irrigated rice, super granule urea, yields, Bagré, Burkina Faso.

INTRODUCTION GENERALE

Le riz (*Oryza sativa* L.) occupe une place importante dans l'économie du Burkina Faso en raison de la forte demande en consommation. Celle-ci ne fait que croître sous les effets conjugués de la croissance démographique et de l'urbanisation. Selon KORMAWA *et al.*, (2005), la consommation annuelle par personne du riz est passée de 4,5 kg en 1960/1964 à 9 kg en 1980/1984, à 14,8 kg en 1992 et à 16,4 kg en 2003 et atteindra 19 kg en l'an 2010, ce qui correspondrait à un besoin de l'ordre de 200 000 tonnes. Il est donc impératif pour le Burkina Faso d'accroître la production nationale en cette céréale pour enrayer la sortie des devises due à l'importation du riz.

Les engrains constituent un important facteur de rendement pour le riz. Une fertilisation minérale adaptée aux besoins nutritifs permet de produire trois fois plus de riz paddy à l'hectare (SEGDA *et al.*, 2005). Des activités de sélection ont été entreprises par le programme national de recherche sur le riz au Burkina Faso (SIE *et al.*, 2004).

La production de biomasse du riz est principalement liée à la disponibilité en N quand la croissance de la plante n'est pas limitée par la disponibilité en eau, les problèmes d'adventices ou de ravageurs (KROPFF *et al.*, 1993). Aussi, la demande du riz pour les autres éléments nutritifs majeurs dépend principalement de la disponibilité en azote (N) (DOBERMANN *et al.*, 1998).

Les dates d'application des engrais azotés par les agriculteurs ne coïncident pas toujours avec les stades de besoin d'éléments nutritifs pour la croissance du riz (HAEFELE *et al.*, 2000 ; WOPEREIS *et al.*, 2003). En plus, très peu de données existent sur la gestion efficiente de l'azote (N) et d'autres éléments nutritifs dans les systèmes de riziculture irriguée en milieu réel au Burkina Faso (SEGDA *et al.*, 2003).

Généralement, l'urée est épandue à la volée mais avec cette technique, une quantité importante de l'azote appliqué est perdue (ce qui donne une très faible efficience). SEGDA (2006) a montré qu'à Bagré, seulement 30% de l'azote appliqué est absorbé par le riz. Près de 70% de l'azote appliqué sont perdus. Cette perte se fait par volatilisation, lessivage, percolation, etc. Selon CRASS WELL et DE DATTA (1980) l'épandage de l'urée à la surface du sol cause des pertes atteignant 50%.

Les engrais représentant 30% des coûts de production des exploitations agricoles, toutes les pratiques qui limitent les pertes de l'azote présentent également des avantages économiques (DONOVAN *et al.*, 1999).

Compte tenu de l'évolution de la fertilité du sol avec le temps et de l'importance de l'azote dans la fertilité du sol, il y a nécessité d'orienter la recherche vers des pratiques pouvant limiter les pertes d'azote. Ainsi, on pourra contribuer à améliorer le taux de recouvrement de l'azote, à préserver l'environnement et par conséquent à accroître les revenus des producteurs dans les plaines et bas-fonds. La présente étude intitulée « *Contribution de l'urée super granulée dans l'amélioration de la production du riz irrigué sur la plaine de Bagré au Burkina Faso* » s'inscrit dans ce contexte. L'objectif de l'étude est d'améliorer l'efficacité de la fertilisation azotée en riziculture irriguée à travers l'introduction de la technologie du placement profond de l'urée. Il s'agit de façon spécifique, d'évaluer l'effet de l'Urée Super Granulé (USG) sur le rendement paddy et les composantes de rendement en riziculture irriguée.

Le présent document s'articule autour de trois chapitres. Le premier est consacré à une synthèse bibliographique ; le deuxième chapitre à la présentation du cadre d'étude, du matériel et méthodes d'étude utilisés. Le troisième chapitre présente les résultats et la discussion.

MENTION ASSEZ-BON

CHAPITRE 1

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. GENERALITES SUR LA RIZICULTURE IRRIGUEE

1.1.1. Définition de la riziculture irriguée

La riziculture irriguée, introduite au Burkina Faso en 1966 a connu son véritable développement à partir des années 1970 selon ILLY (1997). Elle constitue de nos jours, le mode le plus performant et le plus intensif de production de riz au Burkina Faso, notamment en raison de la maîtrise totale de l'alimentation en eau de la culture (NACRO, 1994). Ses rendements sont élevés et peuvent atteindre 7-8 t/ha à cause de l'utilisation de techniques modernes de production (DEMBELE, 2001). Elle est pratiquée dans les plaines aménagées, généralement le long des cours d'eau ou autour des retenues d'eau. Cependant, malgré un bon potentiel estimé à 165 000 ha de terres irrigables, la riziculture irriguée reste encore sous développée au Burkina Faso (NACRO, 1994). Elle couvre une superficie totale de 12 090 ha soit 23% des superficies en riz contre 67% pour la riziculture de bas-fonds et 10% pour la riziculture pluviale (Anonyme 2 cité par SAWADOGO, 2008).

1.1.2. Contraintes à la riziculture irriguée au Burkina Faso

1.1.2.1. *Les contraintes agro-pédo-climatiques*

Au Burkina Faso, le climat est caractérisé par une courte saison pluvieuse (3 à 5 mois) et une mauvaise répartition spatio-temporelle de la pluviométrie (1 200 mm au Sud-ouest et 500 mm au Nord-est) constitue le principal facteur responsable de la limitation des rendements du riz (SAWADOGO, 2008).

La culture du riz se prête à une large gamme de sol (DOOREMBOS et KASSAM, 1980). Mais elle préfère les sols lourds dans lesquels les pertes d'eau par percolation sont faibles (ANGLADETTE, 1966). Par conséquent, les sols qui contiennent moins de 25% d'argile et un sous-sol perméable ne sont pas recommandés en riziculture irriguée, car les rizières demandent des quantités d'eau importantes. Si les sols sont trop perméables, ils peuvent perdre facilement leur fertilité par suite de lixiviation (DEMBELE, 2000). Les contraintes liées au sol dans la production rizicole sont la lixiviation, la carence en nutriments, la toxicité des sols.

1.1.2.2. Les contraintes socio-économiques

Selon SAWADOGO (2008), plusieurs contraintes techniques, économiques et sociales limitent la production du riz au Burkina Faso. Les principales contraintes sont :

- le manque de main d'œuvre est une contrainte qui affecte grandement la production ;
- la faible adoption de nouvelles technologies due à des facteurs socio-économiques. Il s'agit entre autres des caractéristiques du riz à la consommation, du goût des nouvelles variétés, de l'accessibilité des paysans aux marchés, de leur désir de réduire les risques et du manque d'argent pour l'achat des intrants, du matériel agricole et de l'insuffisance des infrastructures et de structures convenables de dissémination des techniques en milieu paysan.

1.1.2.3. Les contraintes biotiques

Outre les contraintes abiotiques et socio-économiques, la riziculture burkinabè se heurte également aux contraintes biotiques. Il s'agit des insectes, des maladies, des nématodes, des oiseaux et des rongeurs. Ces prédateurs sont en grande partie responsables de la baisse des rendements.

*** Les insectes ravageurs du riz**

Le riz est l'hôte de plusieurs centaines d'espèces d'insectes dont une trentaine provoque des pertes significatives au champ ou au cours de la conservation du paddy (CIRAD-GRET, 2002). Leur effet devient important lorsqu'on sort de la culture traditionnelle généralement peu productive (TANKOANO, 2005). Ils affectent toutes les parties de la plante de riz à tous les stades de développement et causent des dégâts.

*** Les maladies du riz**

Le riz tout comme la plupart des céréales est sujet à d'importantes maladies d'origines fongique, bactérienne et virale.

Au Burkina Faso les principales maladies fongiques, bactériennes et virales sont respectivement la pyriculariose, le flétrissement bactérien et la panachure jaune du riz (SY et SERE, 1996).

* Les adventices du riz

Les adventices sont des plantes indésirables qui entrent en compétition avec les plantes utiles pour les éléments essentiels à la croissance et au développement, causant ainsi des pertes de rendement plus ou moins importantes (ADRAO, 1995). Elles peuvent servir d'hôtes pour les maladies et les insectes (DIALLO et JOHNSON, 1997).

* Les nématodes

Les nématodes phytoparasites sont de minuscules vers filiformes qui causent des dégâts non négligeables au riz (APPERT *et al.*, 1982).

* Les oiseaux et rongeurs

Les oiseaux constituent un facteur non négligeable de baisse de rendement. Leur effet devient très important pendant la phase épiaison (SAWADOGO, 2008). Selon BRENIERE cité par TANKOANO (2005), le mange mil, *Quelea quelea* L., est le plus connu et le plus dangereux dans une grande partie de l'Afrique sahélienne et soudanienne.

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

1.1.3. Fertilisation du riz irrigué



Pour l'alimentation des cultures, les nutriments utiles sont classés en deux groupes à savoir les éléments majeurs et les éléments mineurs ou oligo-éléments. L'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) sont considérés comme éléments majeurs à cause de leur importance quantitative et qualitative pour la nutrition végétale. Le souffre et le zinc font partie des oligo-éléments.

1.1.3.1. Etat et comportement de l'azote en riziculture irriguée

* Rôle de l'azote

L'azote donne une coloration vert-sombre aux parties des plantes, stimule la croissance rapide en augmentant la hauteur et le nombre de tiges (TAPSOBA, 1997). L'azote augmente la taille des feuilles, des grains, le nombre d'épillets par panicule, le pourcentage

d'épillets remplis dans les panicules, la teneur des grains en protéines (DOBERMANN, 1976). La carence entraîne un rabougrissement, un nombre limité des talles, des jaunissements des feuilles, etc. L'azote est un facteur essentiel de rendement.

Dans les conditions de sols aussi variées que celles dans lesquelles se pratique la riziculture en générale, l'azote (N) est l'un des éléments les plus importants qui peut être limitant pour la croissance et le développement du riz (SEGDA, 2006).

* Comportement de l'azote dans le sol en riziculture irriguée

Peu de temps après l'incorporation, le nitrate est réduit et perdu sous forme d'oxyde nitreux (N_2O) et d'azote (N_2), pendant que l'ammonium (NH_4^+) a tendance à s'accumuler, résultat de la minéralisation de l'azote (SEGDA, 2006). Quelques semaines après la submersion, plusieurs zones peuvent être distinguées et contribuent à mettre l'azote soit à la disposition de la plante (DOBERMANN et FAIRHST, 2000), soit perdu à travers un certain nombre de processus dont la volatilisation, la nitrification/dénitrification, la lixiviation, le ruissellement et l'érosion, l'absorption par les plantes.

On distingue dans le sol :

- une couche inondée (I) de profondeur variable (1-15 cm) avec une flore vivante constituée de bactéries et d'algues, contribuant à la fixation biologique de l'azote (N) (CHOWDARY *et al.*, 2004) ; une zone oxydée (II) s'établit directement au contact de la lame d'eau (BEDFORD *et al.*, 1991 ; REVSBECHE *et al.*, 1999), zone dans laquelle l'oxygène est fourni par l'eau de submersion, par les nombreuses colonies d'algues se développant à la surface et par l'exsudation de diverses plantes aquatiques. Dans cette couche oxydée, le nombre de bactéries nitrifiantes augmente pendant la submersion. Le nitrate produit diffuse dans la zone réduite sous-jacente où il est perdu par dénitrification (ARTH *et al.*, 1998). L'ammonium (NH_4^+) est nitrifié en nitrate (NO_3^-) dans la mince couche superficielle oxydée et dans la rhizosphère du riz (MOSIER *et al.*, 1990) ;
- une épaisse couche réduite de 10 à 20 cm d'épaisseur (III) en dessous de la couche superficielle (CHOWDARY *et al.*, 2004). Du fait de la minéralisation de la matière organique du sol et des résidus culturaux, les ions solubles et échangeables NH_4^+ s'accumulent dans la zone réduite pendant les premiers moments du développement végétatif quand la demande en azote est faible ;

- une mince couche rhizosphérique oxydée de 0,1 à 0,5 cm d'épaisseur (IV) qui est située dans la zone réduite (DOBERMANN et FAIRHURST, 2000). Les plants de riz vigoureux maintiennent les conditions oxydées dans la rhizosphère en excrétant l'oxygène (O_2) qui est transporté des tiges aux racines via l'aérenchyme ;
- enfin, on rencontre plus loin le sous-sol, qui reçoit les nitrates et l'ammonium lixiviiés.

Bien que NH_4^+ soit la forme prédominante de l'azote minéral dans les sols inondés (AULACKH et SINGH, 1997), le riz absorbe NH_4^+ et NO_3^- avec la même efficience. Cependant, les nitrates contribuent très peu à l'alimentation azotée du riz irrigué (AULACKH et SINGH, 1997).

1.1.3.2. Le phosphore

Le phosphore (P), constituant essentiel des molécules de transport de l'énergie (ATP) et de l'information (ADN) dans les organismes vivants, est l'un des éléments majeurs de la nutrition des plantes (BONZI *et al.*, 2008). En plus de son rôle important, le phosphore est considéré, après l'azote, comme l'élément nutritif le plus limitant des rendements agricoles dans la plupart des sols tropicaux d'Afrique.

L'insuffisance du phosphore se manifeste par une limitation du nombre de talles et le rabougrissement des plantes. Sa carence se traduit par une décoloration des feuilles âgées et une formation réduite des grains (TAPSOBA, 1997).

1.1.3.3. Le potassium

Pour PREVEL *et al.*, 1984 cités par TAPSOBA (1997), le principal rôle du potassium (K) est celui de stimulateur de plusieurs enzymes. Il contrôle l'eau dans les cellules des plantes, la perte par transpiration et augmente la résistance aux maladies. Selon ADRAO (1995), le potassium (K) favorise le tallage, augmente la taille et le poids des grains, la réponse au phosphore, joue un rôle important dans les processus physiologiques de la plante. Selon YOSHIDA cité par GUE (2001), le potassium (K) régularise la fécondation et favorise la migration des réserves vers les grains.

1.1.3.4. Le souffre et le zinc

Très peu d'essais ont été réalisés sur les besoins du riz en souffre. Les différentes études sur l'efficience du souffre sur le riz pluvial ont permis de mettre en évidence une meilleure contribution de celui-ci dans l'amélioration des rendements.

Le zinc est dans l'ordre des éléments nutritifs en termes d'importance, le troisième après l'azote et le phosphore (TAPSOBA, 1997). Aussi, selon SHIVAY *et al.* (2007), le zinc améliore la qualité physique du grain de riz.

1.2. L'UREE A SOLUBILISATION LENTE (OU UREE SUPER GRANULE “USG”).

1.2.1. Définition

Les granules de l'USG sont fabriqués à base de l'urée ordinaire en utilisant une machine appelée « briqueteuse » (*briquetter* en anglais). La machine compresse l'urée sous forme de comprimés blancs dont la masse unitaire est comprise entre 1 et 3 g (IFDC, 2008). La photo 1 donne une image de la forme de l'USG. L'annexe 3 illustre le processus de transformation de l'urée simple en USG. La masse et la forme des granules d'USG produits dépendent du type de machine. La capacité de production est fonction du type de machine. Pour le modèle BM 450 triphasée de 440 Volts disponible à l'IFDC Bureau Ouagadougou au Burkina Faso et à Bamako au Mali, la capacité de production est de 450 kg de granules par heure avec un poids unitaire de granule de 2,7 g. Dans la littérature, en fonction du poids des granules, on parlera d'Urée Super Granulé (USG) pour les granules de poids unitaire égal à 0,9 g et d'Urée Méga Granulé (UMG) pour les granules de poids unitaires égaux à 1,8 g et 2,7 g. La technologie de l'USG a été introduite au Bangladesh à la fin des années 1990. Le succès du Bangladesh avec l'USG est devenu un modèle pour les autres pays producteurs de riz (IFDC, 2008). L'IFDC a introduit l'USG au Cambodge, au Vietnam, au Népal, au Nigéria, au Mali, au Togo et au Malawi.



Photo 1 : USG en sachets
(Source : SEGDA, 2008)

1.2.2. Quelques notions techniques sur l'emploi de l'Urée Super Granulé (USG)

1.2.2.1. Choix variétal

Pour obtenir de bons rendements avec l'USG, la variété de riz doit :

- ✓ être une variété améliorée, productive, à haut rendement (5-10 t/ha de riz paddy) ;
- ✓ avoir une bonne réponse à l'intensification (fertilisation minérale) ;
- ✓ avoir une résistance/tolérance à la toxicité ferrique ;
- ✓ avoir une résistance/tolérance aux maladies (pyriculariose surtout) et aux attaques d'insectes (*Diopsis*) ;
- ✓ avoir un cycle qui ne doit pas dépasser 120 jours (semis à la maturité).

1.2.2.2. Labour

La qualité du labour est très décisive pour un bon enfouissement des granules d'urée. Le premier labour s'effectue de préférence un mois avant le repiquage. Le deuxième intervient juste avant le repiquage à une profondeur comprise entre 20 et 30 cm. Après le second labour, s'ensuit le planage qui est une opération indispensable pour le maintien d'une hauteur d'eau égale sur l'ensemble de la rizière, assurant ainsi une bonne performance agronomique du placement profond d'urée et un bon contrôle des mauvaises herbes.

1.2.2.3. Repiquage

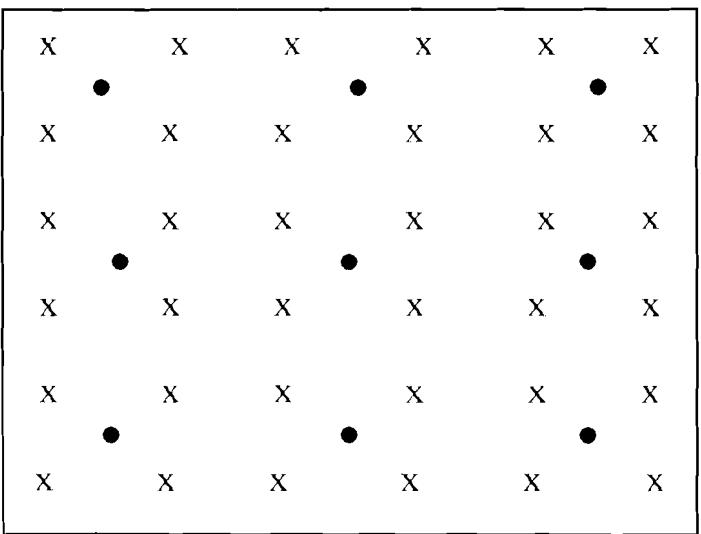
C'est une opération qui revêt une grande importance pour une bonne répartition spatiale des poquets qui constitue un facteur très important pour la réussite du placement des USG. L'opération doit être effectuée avec un maximum de soins, d'attention et de rigueur.

Lors du repiquage, il convient de veiller aux aspects suivants :

- ✓ ne pas utiliser des plants trop jeunes ni trop âgés car la capacité d'absorption des nutriments par les racines des jeunes plants juste après le repiquage en dépend ;
- ✓ transplanter en respectant les espacements entre les lignes et les poquets, de préférence comme indiqué pour le placement profond de l'urée, 20 cm entre les lignes et 20 cm entre les poquets ;
- ✓ ne pas repiquer trop en profondeur (2-3 cm) afin d'obtenir une meilleure production de talles et donc de racines, permettant ainsi aux racines des jeunes plants d'avoir un accès facile à l'urée qui sera libéré par les granules d'urée enfouis à 7-10 cm de profondeur.

1.2.2.4. Période et mode d'application

Il faut repiquer le riz en lignes tout en gardant environ 20 cm entre les plants. Après le repiquage, l'USG est placé en profondeur à l'intervalle de 5 à 7 jours après transplantation avant le durcissement du sol. Il faut choisir un temps où l'épaisseur de la lame d'eau sur la parcelle ne dépasse pas 2-3 cm. Cela facilite le placement de l'urée en profondeur. Il faut avoir assez d'USG sec dans un sac ou dans un récipient. Un granule est placé (semé) à 7-10 cm de profondeur entre 4 poquets espacés de 20 cm x 20 cm conformément à l'illustration ci-dessous (**Figure 1**).



X = poquet de riz

● = granule d'urée placé à 7-10 cm de profondeur entre 4 poquets ; les poquets et les lignes sont espacés de 20 cm.

Figure 1 : Placement des granules d'urée

L'insertion de l'USG en profondeur est faite manuellement. Recouvrir les granules de boue si le sol n'est pas assez mou. A la fin des premières lignes, prendre d'autres lignes et ainsi de suite jusqu'à couvrir toute la parcelle. Les **photos 2 et 3** donnent respectivement un exemple d'application de l'USG au Bangladesh et l'illustration de l'état d'une parcelle recommandé pour une bonne application de l'USG.



Photo 2 : Exemple d'application de l'USG au Bangladesh.
(Source : SEGDA, 2008)



Photo 3 : Exemple illustrant l'état de la parcelle recommandé pour une bonne application de l'USG
(Source : SEGDA, 2008)

1.2.2.5. Doses et méthode d'irrigation

1.2.2.5.1. Doses

Les doses de l'USG à appliquer sont fonction non seulement de l'espacement entre les poquets de riz mais aussi du poids des granules (IFDC, 2008). Pour des granules de 1,8 g par exemple et sur la base de 1 USG pour 4 poquets, les doses correspondantes de l'USG à l'hectare sont de 150 kg (soit approximativement 69 kg N à l'hectare) pour un espacement de 15 cm x 20 cm et de 113 kg (soit approximativement 52 kg N à l'hectare) pour un espacement de 20 cm x 20 cm.

1.2.2.5.2. Période et méthode d'irrigation

Pendant la première semaine après le repiquage il faut maintenir le sol à l'état boueux avec une fine lame d'eau (2 cm). Une lame d'eau doit être maintenue sur la parcelle où l'USG a été appliqué de sorte à éviter l'assèchement du sol après irrigation. Ceci, pour réduire les pertes d'azote liées au processus de nitrification-dénitrification. Au tallage, maintenir une lame d'eau de 5 cm, mais drainer toujours avant l'épandage des engrains (fumure de fond surtout). Une lame d'eau de 8 cm doit être maintenue à la montaison. Enfin, pendant la période maturation / récolte, maintenir l'eau jusqu'à 14 jours avant la récolte. La récolte est effectuée lorsque 80% des panicules sont de couleur paille.

1.2.2.6. Autres utilisations de l'USG

Le Farming System Research and Development (FSRD) a trouvé qu'il y avait une augmentation économique des rendements même en utilisant moins de 10-20% d'USG que la dose d'urée recommandée. Les spéculations concernées pour l'essai ont été la patate, le chou, le chou-fleur, la tomate et l'aubergine (IFDC, 2003a). Aussi, selon IJFUT (1990), l'USG est appliqué à d'autres spéculations telles que le chou, la tomate, la patate douce, le maïs hybride, la banane,... avec des espacements et des profondeurs variant selon la spéulation. Certains paysans ont commencé à utiliser l'USG dans leurs pontes de poissons pour la culture du poisson commercial (IFDC, 2003a).

1.2.3. Avantages du placement profond de l'USG

1.2.3.1. Avantages agronomiques

L'USG a été trouvé agronomiquement efficient dans les sols calcaires et dans les sols à problèmes tels que les sols acides, sodiques, alcalins et dans les sols pauvrement drainés (IFJUT, 1990).

La technologie de l'USG améliore l'utilisation efficiente de l'azote (N) en gardant plus d'azote dans le sol, hors de l'eau de surface où il est plus susceptible de se perdre sous forme gazeuse ou par percolation ou encore par l'écoulement (MOHANTY et al., 1999 ; SAVANT et STANGEL, 1990). L'USG est une technologie qui double l'efficience d'utilisation de l'urée en fertilisation.

L'USG est apporté en une seule application. En outre, l'USG augmente l'efficience de l'azote et prolonge sa disponibilité puisque le placement protège l'azote de l'urée de la percolation et de la perte gazeuse (IFDC, 2003b). L'USG garantit la disponibilité de l'azote même après la floraison du riz. Aussi, à cause de l'approvisionnement continu durant le temps de croissance du riz, il n'y a pas de faim d'azote observable.

En plus, l'USG aide l'absorption des éléments fertilisants par les plantes parce que la présence de N adéquat dans le sol aide dans l'absorption des autres nutriments nécessaire par la plante. Il y a aussi une grande quantité d'azote dans la paille, de sorte que la paille devient très nutritive pour le bétail (IFDC, 2003a). L'USG contribue à une meilleure gestion de l'eau, à un espacement adéquat des plants de riz et donc à une gestion plus efficace des mauvaises herbes. On peut également observer une augmentation du rendement paddy de 15 à 25%, correspondant généralement à 1 000 kg/ha en contre saison et 750 kg/ha en saison pluvieuse pour un rendement moyen ciblé de 5 t/ha.

1.2.3.2. Avantages socio-économiques

La technologie de l'USG stimule l'entreprenariat à travers la transformation de l'urée en USG. Selon l'IFDC (2008), la technologie n'améliore pas seulement le revenu des producteurs, mais crée aussi des emplois à cause du besoin de l'USG. Au Bangladesh par exemple, 10 usines ont vendu environ 2 000 machines de fabrication de cet engrais. Et, le nouveau programme inclura la fabrication et l'établissement de presque 300 machines de fabrication de l'USG. Cela procure à la population rurale un emploi permanent (à travers la fabrication de l'USG).

On peut avoir une réduction de l'urée à apporter de l'ordre de 50% et une réduction de 30% des coûts de mains d'œuvre liés au sarclage. L'USG augmente la sécurité alimentaire.

Les recherches de l'IFDC et d'autres organisations nationales et internationales indiquent que placer l'USG à une profondeur de 7-10 cm de la surface du sol peut doubler l'efficience d'utilisation de l'azote. SAVANT et al. (1991) ont aussi rapporté que l'USG placé de 8-10 cm de profondeur dans les parcelles de riz peut économiser 30% de N par rapport à la technique d'épandage. En plus, une augmentation de 20-25% du rendement paddy peut être obtenue. Il est rapporté que l'utilisation de l'USG peut faire économiser 10-20% du coût de fertilisation azotée au niveau des cultures sous irrigation (ANON, 2003 cité par IFDC, 2003a). Selon le même auteur, pour un essai d'utilisation de l'USG pour la banane, les rendements et les retombées économiques ont considérablement augmenté en comparaison avec l'urée ordinaire même à moins de 10% des doses de N recommandées pour l'USG.

En outre, l'USG présente des avantages pour les entrepreneurs et pour l'économie nationale (IJFUT, 1990). Pour les entrepreneurs, l'USG est d'une part, une nouvelle zone de business et de profit et d'autre part, une opportunité de contribuer au développement national. Dans le contexte de l'économie nationale, on a comme avantages l'augmentation des opportunités d'emplois dans le monde rural, l'augmentation de la production du riz et l'économie des devises affectées à l'achat de l'urée.

Selon PASANDARAN et al. (1999), les producteurs pensent que l'USG présente certains avantages. Ces avantages sont liés au fait que cet engrais :

- ✓ est plus effectif et plus profitable que l'urée ordinaire ;
- ✓ donne moins d'infestation des mauvaises herbes ;
- ✓ donne une croissance uniforme des cultures ;
- ✓ donne une meilleure qualité de la culture ;
- ✓ a une haute productivité par hectare ;
- ✓ a plus de profit à l'hectare ;
- ✓ entraîne moins de pollution de l'environnement.

Selon PASANDARAN et al. (1999), l'USG a besoin d'une irrigation adéquate et le surplus d'eau pourrait ainsi servir à étendre les zones d'irrigation.

1.2.3.3. Avantages environnementaux

L'USG réduit la pollution de l'eau et de l'air à travers la réduction des pertes dues à la volatilisation de l'azote (pollution de l'air) et la lixiviation (pollution de la nappe phréatique).

Cette technique réduit significativement la perte d'azote dans l'environnement (IJFUT, 1990; PASANDARAN et al., 1999 ; IFDC, 2008).

1.2.4. Inconvénients du placement profond de l'urée

La technologie de l'USG présente certains inconvénients parmi lesquels on peut citer :

- ✓ les pertes dues aux propriétés physiques (sols sablonneux) et chimiques (CEC, pH, taux de matière organique) des sols inappropriés ainsi que le manque d'eau sont importantes ;
- ✓ le prix des Super granules d'Urée (SGU) est plus élevé que celui de l'urée simple ;
- ✓ le placement des SGU nécessite une main d'œuvre supplémentaire.

Les producteurs indonésiens qui ont une certaine expérience de l'application de l'USG notent quelques limites qui sont :

- ✓ le coût élevé ;
- ✓ la demande d'un bon labour ;
- ✓ l'application difficile.

En outre, il ressort que des problèmes de conservation de l'USG peuvent se poser. Et, à cause d'une seule application que demande cette urée, tous les producteurs doivent pouvoir avoir leur USG au même moment (PASANDARAN *et al.*, 1999). Ce qui revient à dire qu'il faudra plus d'équipement pour la fabrication de l'USG et ceci de façon locale et à moindre coût. En Indonésie où l'USG a été introduit depuis les années 1992, les producteurs hésitent encore quant à son adoption à cause du coût élevé (PASANDARAN *et al.*, 1999).



CHAPITRE 2

MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODES

2.1. ZONE D'ETUDE

2.1.1. Situation géographique

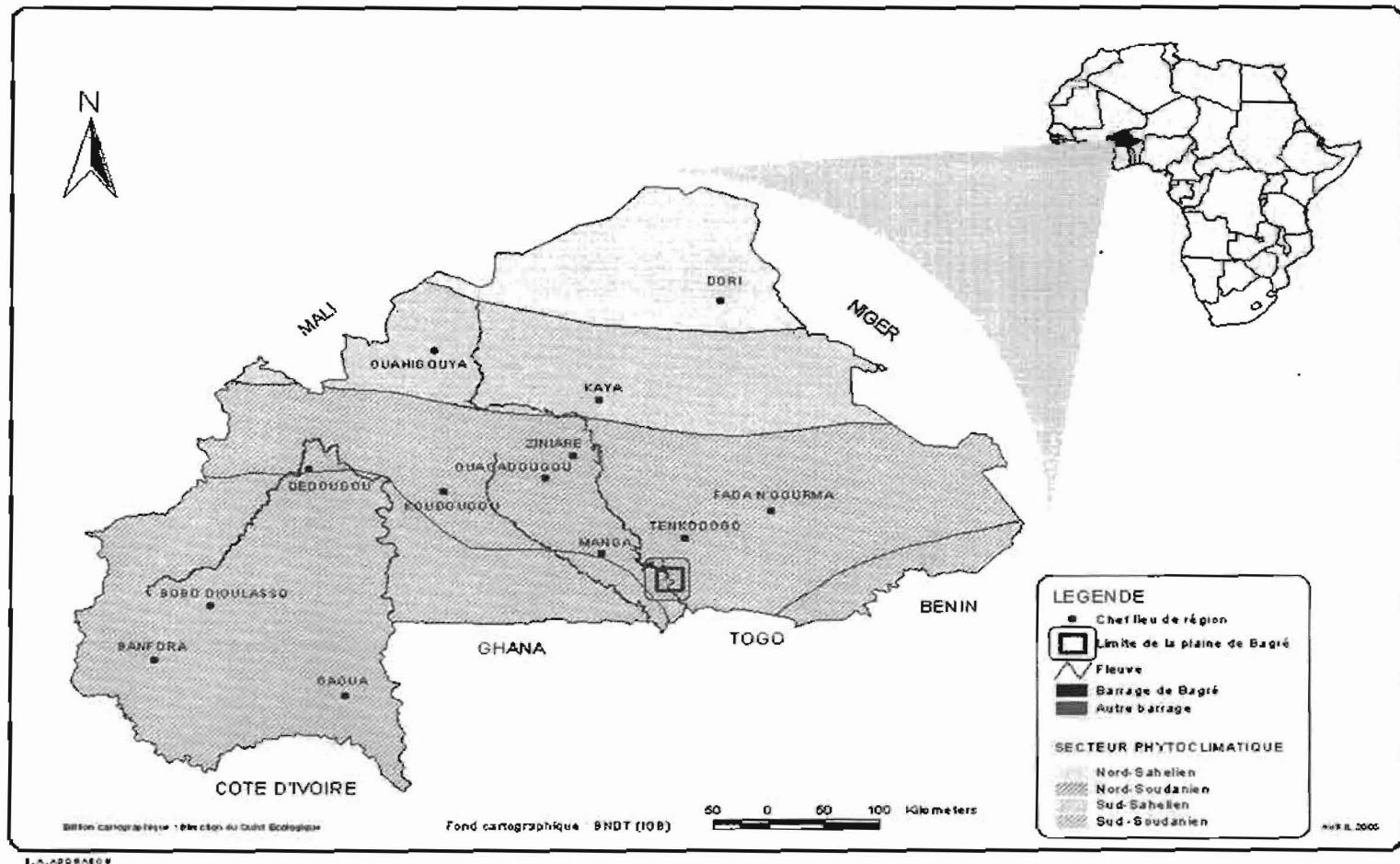
Le périmètre irrigué de l'aval du barrage hydroélectrique et hydroagricole de Bagré est situé dans la province du Boulgou à 240 km au Sud-est de Ouagadougou et à 20 km de l'axe routier national n°16 Tenkodogo-Frontière du Togo. Il est à environ 50 km de la frontière Nord du Togo (SEGDA *et al.*, 2003). Les coordonnées géographiques de la zone sont respectivement de 11°30' de latitude Nord et de 0°25' de longitude Ouest. La **figure 2** présente la situation géographique de Bagré.

2.1.2. Le relief

La zone de Bagré présente un relief en pente douce et accidenté à l'exception de la vallée principale formée par le lit du fleuve Nakanbé. Ces reliefs dominent une vaste plaine ondulée, située à une altitude de 250 à 300 m au dessus du niveau de la mer.

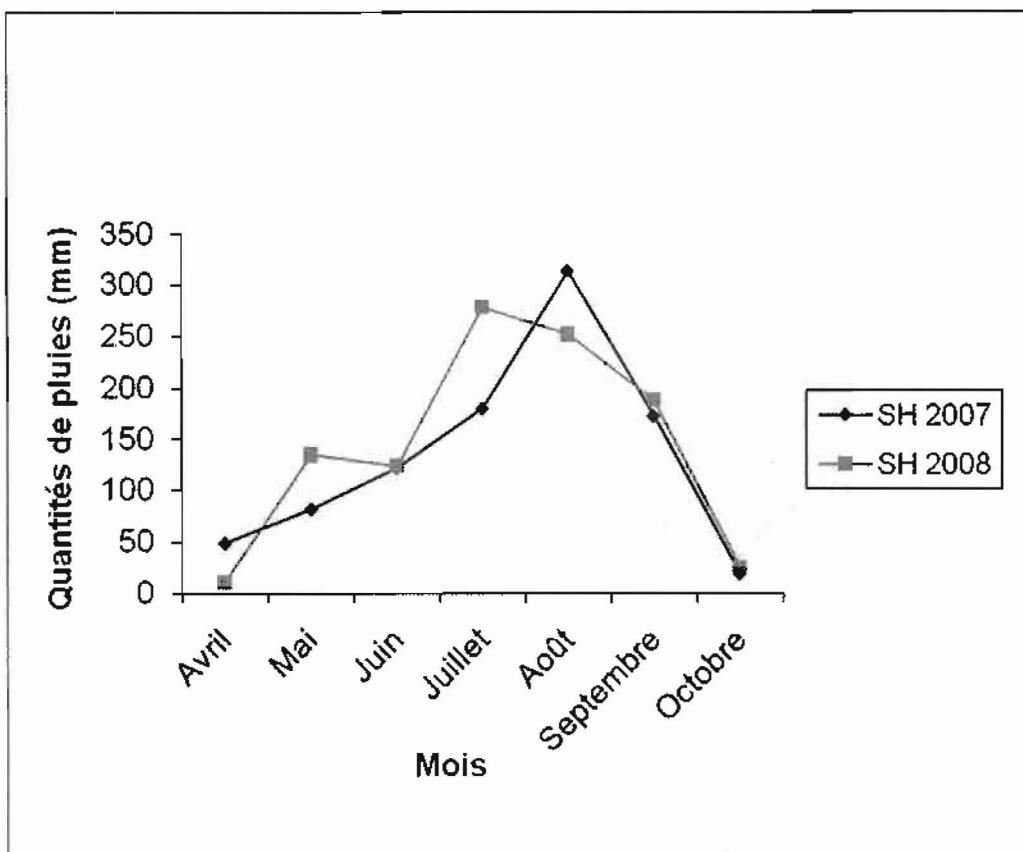
2.1.3. Le climat

Selon la subdivision de FONTES et GUINKO (1995), la zone de Bagré se situe dans le climat Nord soudanien (figure 2). La **figure 3** donne la situation pluviométrique des deux dernières années (2007 et 2008) de Bagré et l'évolution de cette pluviométrie en fonction des mois. Les températures minimales de l'air en dessous de 15°C surviennent au cours de la saison sèche froide tandis que les températures de l'air les plus fortes se rencontrent en saison sèche chaude (moyenne de 34,9°C) (SEGDA *et al.*, 2003).



Source : SEGDA, 2006

Figure 2 : Carte illustrant la situation géographique de Bagré



Source : MOB, 2009. Rapport d'activités 2008. Station pluviométrique de Bagré (Cumul 2007 : 935,1mm en 48 jours et cumul 2008 : 1015,9mm en 56 jours).

Figure 3 : Evolution de la pluviométrie mensuelle en 2007 et 2008 à Bagré.

2.1.4. La végétation

La végétation naturelle de la zone de Bagré varie de la savane arborée à la savane arbustive avec des forêts galeries dégradées le long du fleuve Nakanbé. Cette végétation est entamée du fait de l'action destructrice de l'homme. Cette situation a entraîné une diminution drastique de la faune. On y rencontre entre autres des essences arborées telles que *butyrospermum paradoxum*, *Bombax costatum*, *Anogeissus leiocarpus*, *Pterocarpus erinaceus* et des essences arbustives dominées par les *Acacia sp*, les *Combretacées*, le *Piliostigma sp*, le *Mytragina inermis*, etc (BUNASOLS, 1994 ; GUINKO, 1984). La strate herbacée est représentée par des espèces annuelles comme *Andropogon pseudapricus* Staf., et des graminées pérennes comme *Andropogon gayanus* Kunth, *Vetiveria sp*.

2.1.5. Les sols

Les sols du périmètre irrigué sont classés selon le système français comme « sols bruns eutrophes tropicaux » et « sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes » (BUNASOLS, 1994). La profondeur moyenne des sols se situe entre 0,4 et 1,2 m (SEGDA *et al.*, 2003). Dans les bas-fonds et sur les terrasses alluviales, les sols hydromorphes sont caractérisés par une forte teneur en argile du type montmorillonite (argile gonflante). La capacité de rétention de ces sols est très élevée, ce qui leur confère un aspect lourd et difficile à travailler. Par contre, ces sols hydromorphes présentent des structures et des textures différentes dans les zones alluviales. Ce sont des limoneux très fertiles et favorables à la culture du riz (SOGREAH cité par SAWADOGO, 2008).

Il ressort des études de SEGDA (2002), que les sols de la rive droite du périmètre présentent des disponibilités très faibles en phosphore assimilable, en azote total et en potassium échangeable, une richesse moyenne à faible en matière organique, en bases échangeables. Le périmètre présente un niveau de fertilité naturel moyen favorable au développement du riz irrigué (SEGDA, 2001).

Selon SEGDA (2006), pour la majorité des échantillons de sols prélevés aussi bien en rive droite qu'en rive gauche du Nakanbé, les valeurs du pH rencontrées (moyenne 6,60) se situent dans la plage "faiblement acide à neutre", ce qui n'influence pas l'absorption des éléments minéraux par le riz. Les valeurs de la conductivité électrique sont très faibles ($0,05 \text{ mS cm}^{-1}$), indiquant que l'alcalinité ou la salinité ne sont pas des facteurs limitant actuels pour la riziculture irriguée sur la plaine de Bagré. Des valeurs moyennes se rencontrent pour le carbone organique total (moyenne 0,80%, minima 0,45% et maxima 2,16%) et la somme des bases échangeables dont la valeur moyenne est de $7,27 \text{ cmol kg}^{-1}$ de sol. Les caractéristiques générales comme le pH et la conductivité électrique sont dans des plages favorables pour le développement du riz (SEGDA, 2006).

2.2. MATERIEL

2.2.1. Engrais

Les engrains utilisés ont été fournis par l'IFDC sauf les engrains de la pratique paysanne (NPK et urée). Il s'agit des engrains suivants :

- **L'Urée Super Granulé (USG)**

Il s'agit de l'urée ordinaire (46%N) mais fabriqué de façon à donner des grains de poids variant entre 0,9 et 2,7g (super granulé). Nos essais ont porté sur les granules de 1,8 g. Cette urée est insérée dans le sol à une profondeur de 7 à 10 cm au milieu de quatre poquets de riz (repiqué de préférence aux écartements de 20 cm x 20 cm). Cette application a été faite cinq (05) à sept (07) jours après le repiquage. L'urée ainsi insérée dans la zone racinaire du riz fournit l'azote aux plants de riz de façon progressive.

- **Le Triple Super Phosphate (TSP)**

Le Triple Super Phosphate (TSP) est dosé à 46% de P₂O₅.

- **Le Chlorure de Potassium (KCl)**

Le Chlorure de Potassium (KCl) est dosé à 60% de K₂O.

- **Engrais NPK**

L'engrais NPK peut être formulé de plusieurs manières en fonction des doses relatives qu'on peut attribuer à chaque élément nutritif. Dans notre cas, nous avons rencontré avec les producteurs la formule suivante : 15-25-15+3,5S+2,5MgO. C'est cette formule qui a été utilisée pour nos essais de la pratique paysanne.

2.2.2. Matériel végétal

Selon SEGDA (2006), toutes les variétés utilisées à Bagré sont des variétés améliorées de riz (*Oryza sativa indica*). Les principales variétés utilisées sur la plaine sont : la FKR19 (TOX 728-1), la FKR14 (4418) et la FKR 56 N (Nerica) provenant de l'INERA et les variétés TS2 et TCS10 provenant de la Mission Technique de la République de Chine (MTC). Nos essais ont portés sur les variétés FKR 19 et TS2 (Annexe 1 (a)). Les durées du cycle (semis-maturité) de ces variétés sont respectivement de 110 jours et de 120 jours. La majeure partie (environ 85%) des producteurs ont utilisé la TS2. En fait, compte tenu du retard dans la mise en place des essais, la variété n'a pas été imposée aux producteurs car ces derniers avaient déjà fait les pépinières.

2.3. METHODOLOGIE

2.3.1. Choix des producteurs

Les producteurs ont été choisis au hasard dans 9 villages dont 5 sur la rive gauche et 4 sur la rive droite. Le nombre total des producteurs a été de trente deux (32) et chaque producteur constitue une répétition.

2.3.2. Dispositif expérimental

Trois paquets technologiques ont été comparés : le témoin absolu sans engrais (T), la pratique paysanne (PP) et l'Urée Super Granulé (USG). Le traitement USG a été implanté sur une superficie de 50 m² (10 m x 5 m) chez chaque producteur test. Une superficie de 25 m² (5 m x 5 m) est utilisée pour le traitement témoin. Le reste de la superficie en riz du producteur représentait la PP.

Les traitements témoin absolu et USG ont été repiqués aux écartements de 20 cm x 20 cm. L'écartement de la PP a été en moyenne de 15 cm x 10 cm.

Le traitement USG a reçu 52 N + 69 P₂O₅ + 42 K₂O, soit 113 kg/ha d'USG ; 150 kg/ha de TSP et 70 kg/ha de KCl. Tous les engrais de ce traitement ont été apportés 7 jours après repiquage.

Le NPK et l'urée ont été utilisés pour la PP. La quantité et la date d'apport des engrais de la PP ont été laissées au choix du producteur. Les doses moyennes apportées ont été de 101,6 N + 46 P₂O₅ + 27,6 K₂O, soit 161 kg/ha d'urée et 184 kg/ha de NPK. Le NPK a été apporté 2 jours après repiquage et 15 jours après repiquage. L'urée a été apporté 15 jours après repiquage, 30 jours après repiquage et à la montaison.

2.3.3. Collecte des données

La récolte a été effectuée sur les carrés de rendement de 6 m² (3 m x 2 m). Ces carrés de rendement ont été placés dans chaque parcelle du dispositif expérimental aux stades tallage maximum-initiation paniculaire. Après avoir ramené l'humidité de la biomasse autour de 14% (par séchage), les touffes et les grains récoltés ont servi à la détermination des paramètres de rendement.

2.3.4. Entretien et paramètres mesurés (ou calculés).

Les désherbages ont été faits manuellement. Certains producteurs ont utilisé des produits insecticides pour le traitement phytosanitaire.

2.3.4.1. Variables agronomiques

***Le nombre de talles au m²**

Le nombre de talles a été compté entre le stade fin tallage et initiation paniculaire sur 1 m², placés dans le carré de rendement. Le nombre de talles au m² a été obtenu en comptant le nombre de talles par poquet et par ligne. Ensuite, une détermination du nombre total de poquets et de lignes au m² permet d'évaluer le nombre de talles au m².

***Nombre de panicules au m²**

Le nombre de panicules au m² a été déterminé au stade maturité. La même méthode de détermination du nombre de talles au m² a été utilisée pour la détermination du nombre de panicules au m².

***Rendement paddy**

Le rendement est en général apprécié par le poids du paddy (à 14% d'humidité) par unité de surface (1ha). La méthode d'appréciation du rendement par les composantes de rendement consiste en la détermination de l'apport de chacune de ces composantes. La relation entre le rendement et ses composantes se traduit par la formule :

$$\text{Rendement paddy (kg/ha)} = \text{Nombre de panicules au m}^2 \times \text{nombre de grains par panicule} \times \\ \text{pourcentage de grains pleins} \times \text{poids de 1000 grains.}$$

Les rendements paddy ont été mesurés sur une surface de 6 m² dans chaque traitement. Le taux d'humidité des grains après séchage était de 14%.

***Rendement paille**

Après battage du riz du carré de rendement (6 m²), la paille a été séchée. Au taux d'humidité de 14%, elle a été pesée pour obtenir le poids paille au m². Ainsi, on en déduit le rendement paille par la formule suivante :

$$\text{Rendement paille (kg/ha)} = \text{poids paille/m}^2 \times 10\,000\,m^2$$

*Nombre de grains pleins par panicule

On détermine d'abord le nombre de grains par panicule en choisissant 10 panicules de façon aléatoire dans chaque carré de rendement et le nombre de leur grain est déterminé. Ensuite la moyenne du nombre de grains des 10 panicules a été retenue comme nombre de grain par panicule.

*Pourcentage de grains vides

Le pourcentage des grains vides a été obtenu par la formule :

$$\%GV = (GV/GT) \times 100$$

*Poids de 1000 grains

A partir des grains pleins sur les 10 panicules de chaque carré de rendement, un comptage préliminaire est effectué en vue de déterminer les 1000 grains qui sont ensuite pesés pour évaluer leur poids (GUE, 2001).

2.3.4.2. Variables économiques

*Temps de travaux

Ce paramètre a été évalué en calculant le temps (nombre d'heures) pris par un individu (actif) pour l'application de l'USG sur une parcelle de 50 m². Une évaluation a été faite pour déterminer le nombre d'heures que cet actif mettra pour couvrir une unité de surface (1ha).

*Rapport valeur sur coût

Le ratio valeur sur coût (RVC) permet d'évaluer la rentabilité financière des fumures (ADAM, 2000). Il s'agit du rapport entre le surcroît de gain monétaire dû à l'utilisation d'engrais, et le coût engendré par cette fumure. Sa formule est la suivante :

Rendement parcelle fertilisée – Rendement parcelle témoin

$$RVC = \frac{\text{Coût de la fertilisation.}}{\text{Prix du riz}}$$

*Revenu Monétaire

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

Revenu = $[(Rendement \text{ } parcelle \text{ } fertilisée - Rendement \text{ } témoin) \times Prix \text{ } du \text{ } riz] - Coût \text{ } des \text{ } engrais.$

2.3.5. Analyse statistique des données

Les données ont été saisies et traitées sous EXCEL 2003. L'analyse statistique des données a été effectuée avec le logiciel GenStat Version 11.1. La séparation des moyennes a été faite par le test de Newman-Keuls lorsque les tests d'analyse de variance se révélaient significatifs.

MENTION ASSFZ-BTEN

CHAPITRE 3

RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.

3.1. RESULTATS

3.1.1. Effets des différents traitements sur les composantes de rendement.

Les valeurs moyennes des variables agronomiques par traitement et l'analyse de variance des essais sont regroupées au tableau 1.

Tableau 1 : Effet des différents traitements sur les composantes de rendement.

Traitements	Talles (nb/m ²)	Panicules (nb/m ²)	Grains pleins (nb/panic.)	Grains vides (%)	Poids de 1000 grains (g)
T	342 a	223 a	80 a	26 a	23,4 a
PP	531 b	339 b	103 b	18,7 b	24,2 b
USG	593 c	401 c	106 c	20,4 b	24,2 b
C.V. (%)	24,8	20,9	15,8	22,5	3,2
Signification	HS	HS	HS	HS	HS
ppds 5% (kg/ha)	60,4	21,8	7,6	2,4	0,4

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

H.S : hautement significative ($P<0,001$).

T : Témoin absolu

PP : Pratique paysanne

USG : Urée Super Granulé.

L'analyse de variance montre des coefficients de variation acceptables (3,2-24,7%), d'où une bonne précision des résultats obtenus.

Les résultats montrent une différence hautement significative entre les traitements pour toutes les composantes de rendement.

* Nombre de talles et de panicule/m²

L'analyse statistique révèle une différence significative entre le nombre de talles des différents traitements (tableau 1). Il en est de même pour le nombre de panicules au m².

Le nombre de talles/m² le plus élevé est obtenu avec le traitement Urée Super Granulé (USG). Le nombre moyen de talles/m² est de 593 talles/m². La pratique paysanne présente une moyenne de 531 talles/m². Le nombre de talles/m² le plus faible est obtenu au niveau du traitement Témoin (342 talles/m²).

Quant au nombre de panicules/m², au niveau de chaque traitement, la remarque est que le nombre de panicules/m² est plus de la moitié du nombre de talles/m² (tableau 1). Le nombre de panicule au m² le plus élevé est obtenu avec le traitement USG avec une moyenne de 401 panicules/m². Le traitement PP a un nombre inférieur au traitement USG avec une moyenne de 339 panicules/m². Le Témoin absolu a le nombre de panicule/m² le plus faible avec une moyenne de 223 panicules/m².

* **Nombre de grains pleins par panicule**

L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative entre le nombre de grains pleins par panicule des traitements sauf avec le Témoin.

Le tableau 1 permet de voir que le traitement USG a une moyenne de 106 grains pleins par panicule. La PP suit avec une moyenne de 103 grains pleins par panicule. Le Témoin a le nombre de grains pleins par panicule le plus faible avec une moyenne de 80 grains pleins par panicule.

Il ressort ainsi que la fertilisation augmente le nombre de grains pleins par panicule. Ceci est d'autant plus remarquable lorsqu'il s'agit de la fertilisation azotée (augmentation de 24,5% du nombre de grains pleins par panicule de l'USG par rapport au témoin).

* **Pourcentage (%) de grains vides**

L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative pour les pourcentages de grains vides sauf le témoin absolu.

Le tableau 1 montre l'effet des différents traitements sur le pourcentage des grains vides. Même si l'azote augmente de peu le nombre de grains pleins par panicule par rapport au témoin, il ressort qu'avec les doses d'azote des différents traitements, la différence pour le pourcentage de grains vides des différents traitements reste non significative. On a des moyennes de 17,8% pour la PP, de 20,4% pour l'USG et de 26% pour le témoin absolu.

* Le poids de 1000 grains

Une comparaison du poids de 1 000 grains pour les différents traitements montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les poids de 1000 grains des différents traitements sauf avec le témoin absolu. Les poids moyens de 1 000 grains pour les différents traitements sont de 23,4 g pour le témoin, de 24,2 g pour l'USG et pour la PP.

3.1.2. Effets des différents traitements sur les rendements

Les valeurs moyennes des rendements paille et paddy par traitement et l'analyse de variance des essais sont regroupées au tableau 2.

Tableau 2 : Effet des différents traitements sur les rendements paille et paddy.

Traitements	Rdt paddy (kg/ha)	Rdt paille (kg/ha)
T	3219 a	3489 a
PP	6026 b	5909 b
USG	6630 c	6536 c
C.V. (%)	15,8	17,7
Signification	HS	HS
ppds 5% (kg/ha)	419	470

Les rendements affectés d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité de 5%.

H.S : hautement significative ($P<0,001$)

* Rendement paille

De tous les traitements, le rendement paille présente une différence significative (Tableau 2). En plus, à l'exception du traitement Témoin où le rendement paille est légèrement supérieur au rendement paddy, les autres traitements (USG et PP) montrent une légère supériorité de rendement paddy au rendement paille.

* Rendement paddy

L'azote semble être le facteur limitant des rendements sur le périmètre de Bagré, en témoigne la mauvaise croissance et la faiblesse du rendement observée chez tous les producteurs qui ont appliqué une quantité d'engrais azoté faible. Les rendements grains augmentent dans l'ordre $T < PP < USG$. Le niveau élevé de rendements constitue le fait le plus évident à signaler. Pour les traitements (itinéraires techniques) considérés, le rendement

paddy moyen est au dessus de la barre de 6 000 kg/ha : il est de 6 026 kg/ha pour la PP et de 6 630 kg/ha pour l'USG. L'analyse statistique révèle une différence significative entre les rendements paddy (tableau 2).

Pour une comparaison plus raisonnable entre les traitements USG et PP, il nous a semblé nécessaire de considérer les coûts engendrés par ces deux traitements. C'est ce qui justifie le paragraphe suivant sur les aspects socio-économiques (temps d'application des engrais, rapport valeur sur coût et revenu monétaire) liés à ces deux traitements.

3.1.3. Aspects socio-économiques

3.1.3.1. Main d'œuvre et temps d'application

Le mode d'application de l'USG (enfouissement) demande plus de main d'œuvre par rapport à la pratique paysanne (PP). Il en est de même pour le temps d'application. Il faudra par exemple en moyenne 1h 30 mn pour 100 m² par personne soit une moyenne de 150 h/ha par personne. Ce qui revient à dire qu'il faudra en moyenne 19 jours à raison de 8 h/jour pour une personne qui doit appliquer l'USG sur une superficie d'un hectare. Autrement dit, il faudra en moyenne 19 personnes par jour travaillant 8h durant, pour appliquer l'USG sur un hectare (soit 152 HJ).

Le mode d'application des engrais de la PP (épandage) demande par contre moins de main d'œuvre. En ce qui concerne le temps d'application, nous avons estimé une moyenne de 2 mn pour 50 m² soit 7 h/ha par personne. Ainsi, il faudra 7 personnes, travaillant 1h durant pour appliquer (épandre) de l'engrais sur 1 ha. Compte tenu des trois épandages (moyenne) que nécessite cette pratique, cela nous revient à un total de 21 h/ha par personne soit une moyenne de 3 jours à raison de 8 h/jour pour une personne. Autrement dit, il faudra en moyenne 3 personnes par jour travaillant 8 h durant pour appliquer sur 1 ha tous les engrais de la PP (soit 24 HJ).

3.1.3.2. Appréciation de la technologie par les producteurs

Un entretien avec les producteurs a permis de noter que l'USG permet une bonne évolution du riz de l'application des engrais à la récolte. En plus, les producteurs apprécient favorablement le fait qu'avec l'USG on a une seule application d'engrais. Cependant, ils pensent que cette application est dure et pensent qu'il serait difficile d'appliquer l'USG sur une grande superficie si l'on ne dispose pas d'une main d'œuvre importante.

3.1.3.3. Aspects économiques

Les résultats de l'analyse statistique sur le Ratio Valeur sur Coût et sur le revenu monétaire sont regroupés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Effet des différents traitements sur les ratios valeur sur coût et les revenus monétaires.

Traitement	Revenu monétaire	
	RVC	(FCFA)
USG	3,7 a	361 848 a
PP	4,3 a	338 088 a
Signification	NS	NS

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

N.S : non significatif ($P>0,05$).

- Rapport Valeur sur Coût (RVC)**

Les données sur les ratios ont été obtenues en considérant 150 francs comme prix du kilogramme de riz paddy, 350 francs comme prix du kilogramme de NPK et d'Urée. L'IFDC a évalué à 360 francs, 440 francs et 425 francs les prix respectifs du kilogramme de KCl, de TSP et de l'USG.

Selon ADAM (2000), un facteur de production est dit économiquement rentable lorsque son RVC est supérieur à 2. Partant, les valeurs enregistrées s'avèrent assez élevées.

D'une façon générale, on retiendra que les ratios valeurs sur coûts (RVC) se sont montrés satisfaisants. De tous les traitements, le RVC moyen est supérieur à 3 (tableau 3).

Cependant, l'analyse statistique révèle une différence non significative entre les traitements pour le RVC (tableau 3).

- Revenu Monétaire**

A côté des calculs de rentabilité développés ci-dessus, il semble plus commode de présenter les résultats en terme de revenu monétaire, qui serait plus expressif du gain financier, et donc plus objectif.

L'analyse statistique ne révèle pas de différence significative entre les traitements pour le revenu monétaire (Tableau 3).

3.2. DISCUSSION

Au regard des résultats sur le nombre de talles au m², il ressort que le tallage qui peut être fonction de la variété, est favorisé par la fumure azotée. Ce qui confirme les résultats d'autres chercheurs (DOBERMANN, 1976 ; TAPSOBA, 1997).

L'infériorité du nombre de panicules par rapport au nombre de talles montre que toutes les talles ne sont pas fertiles. Les résultats obtenus à cet effet montrent que la fertilisation augmente et favorise le nombre de panicules/m². Cela est d'autant plus perceptible lorsqu'il s'agit d'une fertilisation azotée et surtout dans les conditions où l'azote est utilisé de façon plus efficiente (USG). Des résultats similaires ont été obtenus par certains auteurs tel que DOBERMANN (1976). En effet, selon ce dernier, l'azote augmente le nombre d'épillets par panicule, le pourcentage d'épillets remplis dans les panicules, la teneur des grains en protéine.

Le nombre de grains pleins par panicules a augmenté par rapport au témoin absolu. Selon DOBERMANN (1976), l'azote augmente le pourcentage d'épillets remplis dans les panicules.

L'inexistence de différence significative entre les pourcentages de grains vides des différents traitements est un résultat similaire à celui de OUEDRAOGO (1984), qui trouvait que les doses croissantes d'azote n'ont aucun effet significatif sur le pourcentage de grains vides.

En ce qui concerne le poids de 1000 grains, les traitements USG et PP ont des résultats similaires qui sont différents de celui du témoin. La similarité des résultats de l'USG et de la PP confirme les résultats de certains auteurs (TAPSOBA, 1997 et ADAM, 2000) qui ont trouvé qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative sur le poids des grains.

Le rendement du témoin absolu représente la capacité nutritive du sol. Nous pouvons ainsi dire que la capacité nutritive des sols concernés par nos essais est en moyenne de 3 219 kg/ha. Des résultats similaires ont été trouvés par SEGDA (2006) dans le périmètre irrigué de Bagré (3 200 kg/ha pour le témoin absolu). Cette capacité nutritive, nous la jugeons bonne par rapport à des sols qui ont une capacité nutritive faible, qui tourne autour de 1,5-2 t/ha. En effet, selon BADO (1991) cité par ADAM (2000), le rendement du témoin sans engrangis est de 1 900 kg/ha à la vallée du Kou.

Le rendement élevé de la PP par rapport au témoin prouve que les producteurs, à travers leurs pratiques, arrivent à augmenter les rendements paddy et cette augmentation est de 2 807 kg/ha soit de 46,58% par rapport au témoin.

On peut noter comme facteur explicatif de la différence de rendement, le suivi du traitement USG. Ce suivi a permis le respect des dates d'apport ; ce qui fait que l'engrais a été apporté au moment même où la plante de riz en a besoin. Cela favoriserait une bonne production par rapport à la pratique paysanne. Certains facteurs comme le fractionnement, la période d'apport, la maîtrise de l'eau, sont variables d'un producteur à l'autre et ne sont pas aussi maîtrisés.

L'analyse statistique a montré une différence significative entre l'USG et la PP pour les rendements (tableau 2). Cet écart significatif de rendements montre bien la supériorité de l'USG sur la PP. A priori, cela pourrait nous renvoyer à la qualité de l'engrais USG (sa solubilisation lente d'où son utilisation efficace). Selon IFDC (2003a), l'USG augmente l'efficience de l'azote et prolonge sa disponibilité puisque le placement protège l'azote de l'urée de la percolation et de la perte gazeuse. Cette technique réduit significativement la perte d'azote dans l'environnement (IJFUT, 1990 ; PASANDARAN et al., 1999 ; IFDC, 2008). En plus, la quantité d'urée utilisée par la pratique paysanne étant en moyenne de 161 kg d'urée à l'hectare pour les trente deux producteurs et celle utilisée pour le traitement USG de 113 kg d'urée/ha, nous réalisons que le traitement USG permettrait une économie (48 kg/ha soit 29,8%) de l'urée. Les résultats de certains auteurs sont confirmés par les notre. SAVANT et al. (1991) en particulier ont aussi montré que l'USG placé à 8-10 cm de profondeur dans les parcelles de riz peut faire économiser 30% de N par rapport à la technique d'épandage à la volée.

La supériorité de l'USG à la PP pourrait aussi s'expliquer par :

- le respect de la date d'apport qui est de 5-7 jours après le repiquage. Cette date a été respectée au niveau des traitements USG ;
- la qualité ou la quantité des autres engrains utilisés dans le traitement USG qui sont le KCl (70 kg/ha) et le TSP (150 kg/ha) ;
- la qualité de l'USG surtout sa solubilisation lente à travers l'enfouissement qui permet de réduire les pertes de N (volatilisation, lixiviation, percolation, nitrification/dénitrification).

Pour une application de l'USG à grande échelle, le besoin de main d'œuvre se révèle capital dans la mesure où cet engrais doit être appliqué de 5-7 jours après le repiquage pour avoir de bons rendements.

Si l'on considère qu'il faut en moyenne 1 000 FCFA par Homme Jour (HJ) pour l'application des engrais, le coût de fertilisation azotée moyenne par hectare de la PP est de 56 438 FCFA (urée) + 24 000FCFA (pour la main d'œuvre) soit un total de 80 438 FCFA.

Pour l'USG, le coût de fertilisation azotée moyenne par hectare est de 48 025 FCFA (USG) + 152 000 FCFA (pour la main d'œuvre) soit un total de 200 025 FCFA. Nous notons une différence de 119 587 FCFA soit une augmentation de 59,78% du coût de fertilisation azotée de l'USG par rapport à la PP. Ce résultat est différent de celui de ANON (2003) cité par IFDC (2003a), selon qui l'utilisation de l'USG peut faire économiser 10-20% du coût de fertilisation azotée au niveau des cultures sous irrigation.

Les résultats obtenus sur le RVC et sur le revenu monétaire au niveau des traitements USG et PP ne présentent pas de différence significative. Cela supposerait que ces deux traitements s'équivalent en termes de rentabilité financière. Même si la quantité d'urée utilisée par l'USG s'avère inférieure à celle de la PP, le coût élevé des engrains USG pourrait expliquer cette situation d'équivalence en termes de rentabilité.

MENTION ASSEZ-BIEN

CONCLUSION GENERALE

Au Burkina Faso, le riz est l'une des grandes cultures qui occupe une place importante dans la consommation. Il possède un potentiel de production élevé eu égard le niveau de rendement des variétés existantes et à la possibilité de double culture annuelle due au développement de l'irrigation. La présente étude menée dans le périmètre irrigué de Bagré, où le riz est la principale culture, avait pour objectif d'améliorer l'efficacité de la fertilisation azotée en riziculture irriguée à travers l'introduction de la technologie du placement profond de l'urée.

Au terme de l'étude, on retiendra que l'azote est un élément important dans la nutrition du riz. De façon générale, on a un effet hautement significatif entre les traitements pour toutes les variables mesurées. L'analyse statistique révèle une différence significative pour les rendements (paddy et paille) et le nombre de talles et de panicules au m². L'USG présente le niveau le plus élevé de rendements, de talles et de panicules au m². Pour les autres paramètres (nombre de grains pleins par panicule, pourcentage de grains vides et poids de 1000 grains), l'analyse statistique ne révèle pas de différence sauf avec le témoin. Les résultats obtenus sur le RVC et sur le revenu monétaire pour les traitements USG et PP ne présentent pas de différences significatives.

Pour accroître la production rizicole afin de répondre aux besoins alimentaires, il y a nécessité d'intensifier la production. L'augmentation de la production entraînera une augmentation des revenus et une amélioration du niveau de vie des producteurs. En outre cela permettra une économie des devises sur l'importation du riz et un aboutissement à l'autosuffisance alimentaire au Burkina Faso.

Les résultats de l'étude révèlent le rôle important de l'urée super granulé dans l'amélioration des rendements du riz. Cependant, l'élément à prendre en compte dans l'adoption de la technologie future serait que le coût de l'USG soit favorable et à la portée des producteurs.

Par ailleurs, les futures études devraient chercher à :

- évaluer l'efficacité d'utilisation de l'azote engrais à travers l'évaluation du taux de recouvrement et la mesure des pertes de N dans l'environnement et/ou dans le sol avec l'application de l'USG;

- approfondir les aspects socio-économiques tels que l'élaboration d'une mécanique d'application pour faciliter le placement de l'USG en profondeur. Cela pourrait réduire la quantité et le coût de la main d'œuvre qui se présente comme la principale contrainte à l'adoption de cette technologie.

Des recommandations ne pourraient cependant être formulées qu'après obtention de résultats satisfaisants prouvant la fiabilité et l'adoptabilité de la technologie à l'issu de quelques années d'essai.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADAM-Y.N., 2000.** Etude d'une fumure à base du burkinaphosphate sur le riz irrigué à la vallée du Kou, dans l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur du Développement Rural, Option : Agronomie. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB). Institut du Développement Rural (IDR). Burkina Faso. 73p + annexes.
- ADRAO, 1995.** Formation en production rizicole - Manuel du formateur. Sayce publishing, Royaume Uni. 305p.
- ANGLADETTE A., 1966.** Le riz. Techniques agricoles de productions tropicales. G.P. Maisonneuve et Larose Paris. 879p.
- APPERT J., SCOTTO C. L. M. et VUONG-HUU-HAI., 1982.** Les nématodes. In : Les ravageurs des cultures vivrières et maraîchères sous les tropiques. G-P. Maisonneuve et Larose. ACCT. Paris. PP. 13-23.
- ARTH I., FRENZEL P. et CONRAD R., 1998.** Denitrification coupled to nitrification in the rhizosphere of rice. Soil Biol. Biochem. 30: 509-515.
- AULAKH M. S. et SINGER B., 1997.** Nitrogen losses and fertilizer N use efficiency in irrigated porous soils. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 47, 197-212.
- BEDFORD B. L., BOULDIN D. R. et BELIVEAU B. D., 1991.** Net oxygen and carbone dioxide balances in solutions bathing roots of wetland plants. J. Ecol. 79: 943-959.
- BONZI M., LOMPO F. et SEDOGO M. P., 2008.** Promotion de l'utilisation des phosphates locaux pour la recapitalisation de la fertilité des sols au Sahel : Etat des lieux des connaissances sur la valorisation agronomique des phosphates naturels au Burkina Faso. In : Synthesis of soil, water and nutrient management research in the Volta Basin. 331p.
- BUNASOLS 1994.** Etude pédologique du périmètre irrigué de Bagré (Bagré aval, bief A et B, première tranche), échelle 1/10 000. Vol. 1: rapport principal, Rapport technique 95, BUNASOLS, Ouagadougou, 75 p.

CHOWDARY V. M., RAO N. H. et SARMA P. B. S., 2004. A coupled soil water and nitrogen balance model for flooded rice fields in India. *Agric. Ecosyst. Env.* 103: 425-441.

CIRAD-GRET, 2002. Mémento de l'Agronome. Jouve (France), 11 bd de Sébastopol, 75001 Paris N°312091 Y, pp 799-811.

DEMBELE K., 2001. Criblage de variétés de riz vis-à-vis de la pyriculariose à l'Ouest et au Sud-Ouest du Burkina. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB). Institut du Développement Rural (IDR). Burkina Faso. 73p.

DEMBELE Y., 2000. Cours de riziculture irriguée. Ecole Inter Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural (EIER). Ouagadougou. 53p.

DIALLO S. et JOHNSON D.E., 1997. Les adventices du riz irrigué au sahel et leur contrôle. IN: Irrigated rice in the Sahel: Prospects for sustainable development. ADRAO, 487p.

DOBERMANN A, CASSMAN K.G, MAMARIL C.P, SHEEHY S.E. 1998. Management of phosphorus, potassium, and sulfur in intensive, irrigated lowland rice. *Field Crops Research* 56: 113-138.

DOBERMANN A. et FAIRHURST T., 2000. Rice: Nutrient disorders and nutrient management. Singapore, Potash and Phosphate Institute (PPI) and Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC) and Makati City (Philippines): International Rice research Institute, 191p.

DOBERMANN J. P., 1976. Riziculture pratique. Riz pluvial. Tome II. Presses. U. France 123pp-INRA. Paris.

DONOVAN C., WOPEREIS M.C.S., GUINDO D., NEBIÉ B., 1999. Soil fertility management in irrigated rice systems in the Sahel and Savannah regions of West Africa. Part II. Profitability and risk analysis. *Field Crops Research* 61 (2): 147-162.

DOOREMBOS J. et KASSAM A.H., 1980. Réponse des rendements à l'eau. Bulletin d'irrigation et de drainage n°33. FAO, Rome (Italie) 1980. 221p.

FONTES J. et GUINKO S., 1995. Carte de végétation et d'occupation du sol du Burkina Faso. Note explicative. Institut de la carte internationale de la végétation (UMR9964), Centre National de recherche Scientifique/Université de Toulouse III. Institut du développement Rural/faculté des Sciences et techniques/Université de Ouagadougou, Burkina Faso.

GUE E., 2001. Influence du régime hydrique sur la nutrition minérale et les composantes de rendement du riz irrigué à la Vallée du Kou, dans l'ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études, présenté en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural. Option : Agronomie. Institut du Développement Rural (IDR). Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB). Burkina Faso. 79p + annexes.

HAEFELE (S.M), JOHSON (D.E), DIALLO (S), WOPEREIS (M.C.S) and JANIN (I), 2000. Improved soil fertility and weed management is profitable for irrigated rice farmers in Sahelian West Africa. Field Crops Research 66 (2): 101-113.

IFDC, 2003a. More Rice with Reduced Loss of Urea. An IFDC Project to Improve Fertilizer Nitrogen Efficiency for Rice Production. Financed by the International Fund for Agricultural Development. July 2003. 11p.

IFDC, 2003b. Adapting Nutrient Management Technologies Project (ANMAT). A project supported by International Fund for Agricultural Development (IFAD), Rome. Octobre 2003. 5p.

IFDC, 2008 - An International Center for Soil Fertility and Agricultural Development. www.ifdc.org, 20/08/2008.

IJFUT- An International Journal on Fertilizer Use and Technology, Oct. 1990. "Fertilizer Research" Vol.25, N°1.

ILLY L., 1997. La place de la riziculture irriguée dans le système de production agricole et animale au Burkina Faso. In : Irrigated rice in the Sahel : prospects for sustainable development. ADRAO, 487p.

KARAMAGE F., 2001. Etude de l'influence de la fertilité phosphatée sur les attaques de la cécidomyie africaine du riz, ses parasitoïdes et les foreurs de tiges en riziculture irriguée. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB). Institut du Développement Rural (IDR). Burkina Faso. 95p.

KORMAWA P., SHELLEMIAH K., TOURE A., 2005. Developments and future prospects for rice research and production in Africa. *Agronomie Africaine*, N° Spécial "Recent developments in rice production in West Africa" (5): 1-16.

KROPFF M.J., VAN LAAR H.H., TEN BERGE H.F.M., 1993. ORYZA_1, a basic model for irrigated lowland rice production. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 79 p.

MOHANTY S. K., SINGH U., BALASUBRAMANIAN V. et JHA K. P., 1999. Nitrogen deep-placement technologies for productivity, profitability, and environmental quality of rainfed lowland rice systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 53: 43-47.

MOSIER A. R., MOHANTY S. K., BHADRACHALAM A., CHAKRAVORTI S. P., 1990. Evolution of dinitrogen and nitrous oxide from the atmosphere through rice plants. *Biol. Fertil. Soils* 9 : 61- 67.

NACRO S., 1994. Analyse d'un système tritrophique : la cécidomyie du riz et ses parasitoïdes au Burkina faso. Thèse de doctorat de l'Université de Rennes I, France, 118p.

OUEDRAOGO T. J., 1984. Etude des composantes de rendement de trois variétés de riz irrigué à différents niveau d'azote. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural. Option : Agronomie. Institut Supérieur Polytechnique (I.S.P.), Université de Ouagadougou. 65 p + annexes.

PASANDARAN E., GULTOM B., SRI ADININGSIH J., APSARI H. et ROCHAYATI S., 1999. Government policy support for technology promotion and adoption: a case study of urea tablet technology in Indonesia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 53: 113-119.

REVSBECH N. P., PEDERSEN O., REICHARDT W. et BRIONES A., 1999. Microsensor analysis of oxygen and pH in the rice rhizosphere under field and laboratory conditions. *Biol. Fertil. Soils* 29: 379-385.

SAVANT N. et STANGEL P., 1990. Deep placement of urea supergranules in transplanted rice: principles and practices. *Fert. Res.* 25: 1-83.

SAWADOGO W. M., 2008. Criblage de variétés et lignées isogéniques pour la résistance à Xanthomonas Oryzae PV Oryzae et étude du développement de l'épidémie du flétrissement bactérien du riz sur le périmètre irrigué de Bagré (Burkina Faso). Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB). Institut du Développement Rural (IDR). Burkina Faso. 74 p + annexes.

SEGDA Z., 2002. Analyse des contraintes agro-pédologiques limitant la production du riz irrigué à Bagré. Résultat de l'étude collaborative INERA/UO/ADRAO/MOB/MTC sur le périmètre de Nimatoulaye. Burkina Faso. 39 p

SEGDA Z., 2006. Gestion de la fertilité du sol pour une production améliorée et durable du riz (*Oryza sativa L.*) au Burkina Faso. Cas de la plaine irriguée de Bagré. Thèse présentée à l'Unité de formation et de Recherche en Science de la Vie et de la Terre (UFR/SVT) pour obtenir le titre de Docteur de l'Université de Ouagadougou. Spécialité : Sciences Biologiques Appliquées. Option : Biologie et Ecologie Végétales. Burkina Faso. 202p + publications.

SEGDA Z., BONZI M., HAEFELE M. S., WOPEREIS M. C. S., HIEN V., SEDEGO M. P. et GUIJKO S., Vol. 27, n°1 et 2- Janvier-décembre 2003. Science et Technique, Sciences Naturelles et Agronomie, p. 51-64.

SEGDA Z., HAEFELE M.S., WOPEREIS M.C.S., SEDOGO P.M. et GUINKO S., 2005. Combining field and simulation studies to improve fertilizer recommendations for irrigated rice in Burkina Faso. *Agronomy Journal* 97: 1429-1437.

MENTION ASSEZ-BIEN

SIE J., BOSSUYT H., DEGRYZE S. DENEF K., 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Review. *Soil Tillage Research* 79: 7-31.

SY A. A. et SERE Y., 1996. Manuel de formation en pathologie du riz. ADRAO. 78p.

TANKOANO M. H., 2005. Impact de la date de repiquage du riz sur la cécidomyie africaine du riz, *Orseolia oryzivora* H. & G. et son cortège parasitaire sur la plaine rizicole de Boulbi / Burkina Faso. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB). Institut du Développement Rural (IDR). Burkina Faso. 104p.

TAPSOBA M., 1997. Contribution à l'étude des besoins nutritifs du riz pluvial dans la zone Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur du Développement Rural, Option : Agronomie. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB). Institut du Développement Rural (IDR). Burkina Faso. 72p + annexes.

WOPEREIS M. C. S., HAEFELE S. M., DINGKUHN M. et SOW A., 2003. Decision-support tools for irrigated rice-based in the sahel. IN: Decision support tools for smallholder agriculture in sub-saharan Africa: A practical guide. Struif Bontkes T., Wopereis M. C. S. (eds.), IFDC (An International Center for Soil Fertility and Agricultural Development), P.O. Box 2040 Muscle Shoals, Alabama 45662, USA and ACP-EU Technical Center for Agricultural and Rural Cooperation (CTA), Postbus 380, 6700 AJ Wageningen, The Netherlands, p. 114-126.

ANNEXES

Annexe 1 : Tableau général des données agronomiques.

Annexe 1 (a) : Répartition de producteurs par village et dates de quelques opérations

Code paysan	Village	Variété	Date de semis	Date de repiquage	Date d'apport USG	Date d'apport TSP+K2SO4	Date de récolte
1	V 1B	TS2	13/08/2008	28/08/2008	04/09/2008	13/09/2008	15/12/2008
2	V 1B	TS2	07/08/2008	03/09/2008	11/09/2008	13/09/2008	15/12/2008
3	V2	TS2	01/08/2008	30/08/2008	06/09/2008	13/09/2008	15/12/2008
4	V2	TS2	15/08/2008	02/09/2008	09/09/2008	13/09/2008	12/12/2008
5	V2	TS2	10/08/2008	28/08/2008	04/09/2008	13/09/2008	12/12/2008
6	V2	TS2	01/08/2008	27/08/2008	03/09/2008	13/09/2008	12/12/2008
7	V2	TS2	08/08/2008	28/08/2008	04/09/2008	13/09/2008	15/12/2008
8	V2	TS2	25/07/2008	29/08/2008	09/09/2008	13/09/2008	11/12/2008
9	V3	TS2	20/08/2008	13/09/2008	18/09/2008	18/09/2008	16/12/2008
10	V3	TS2	22/08/2008	12/09/2008	18/09/2008	18/09/2008	16/12/2008
11	V3	TS2	07/08/2008	28/08/2008	04/09/2008	13/09/2008	11/12/2008
12	V3	FKR19	19/08/2008	04/09/2008	11/09/2008	13/09/2008	11/12/2008
13	V3	TS2	01/08/2008	02/09/2008	09/09/2008	13/09/2008	02/12/2008
14	V3	TS2	29/07/2008	04/09/2008	11/09/2008	13/09/2008	26/11/2008
15	V4	TS2	23/08/2008	11/09/2008	18/09/2008	18/09/2008	22/12/2008
16	V2	TS2	09/08/2008	26/08/2008	04/09/2008	15/09/2008	31/12/2008
17	V1	TS2	05/08/2008	16/08/2008	28/08/2008	13/09/2008	03/12/2008
18	V3	FKR19	08/08/2008	04/09/2008	19/09/2008	19/09/2008	10/12/2008
19	V3	FKR19	21/08/2008	01/09/2008	08/09/2008	13/09/2008	06/12/2008
20	V2	TS2	07/08/2008	20/08/2008	02/09/2008	19/09/2008	26/11/2008
21	V2	TS2	13/08/2008	30/08/2008	09/09/2008	19/09/2008	10/12/2008
22	V1	TS2	07/08/2008	27/08/2008	03/09/2008	13/09/2008	10/12/2008
23	V1	TS2	11/08/2008	29/08/2008	09/09/2008	13/09/2008	10/12/2008
24	V1	TS2	31/07/2008	05/09/2008	13/09/2008	13/09/2008	05/12/2008
25	V3	TS2	09/08/2008	24/08/2008	02/09/2008	13/09/2008	30/11/2008
26	V3	FKR19	03/08/2008	20/08/2008	02/09/2008	13/09/2008	06/12/2008
27	V4	FKR19	25/07/2008	30/08/2008	11/09/2008	14/09/2008	11/12/2008
28	V4	TS2	08/08/2008	27/08/2008	04/09/2008	14/09/2008	06/12/2008
29	V4	TS2	04/08/2008	03/09/2008	11/09/2008	14/09/2008	22/12/2008
30	V4	TS2	08/08/2008	04/09/2008	11/09/2008	14/09/2008	22/12/2008
31	V1	TS2	08/08/2008	02/09/2008	09/09/2008	13/09/2008	13/12/2008
32	V4	TS2	16/08/2008	04/09/2008	11/09/2008	14/09/2008	22/12/2008

Annexe 1(b) : Nombre de talles et de panicules au m²

Code paysan	USG: nbre de talles/m ²	T: nbre de talles /m ²	PP: nbre de talles/m ²	USG: nbre de panicules/m ²	T:nbre de panicules/m ²	PP: nbre de panicules/m ²
1	546	474	848	489	309	458
2	375	225	912	315	190	473
3	470	270	840	290	210	465
4	385	350	582	295	220	348
5	784	384	504	450	230	336
6	650	310	700	440	230	530
7	623	490	944	564	310	548
8	959	582	672	645	312	432
9	904	618	648	548	348	448
10	810	486	702	486	260	318
11	824	360	792	533	282	480
12	804	354	648	695	216	314
13	812	560	756	622	343	441
14	678	539	630	423	412	555
15	858	360	506	432	324	448
16	390	225	345	255	180	195
17	305	180	300	280	130	195
18	445	275	315	305	175	205
19	460	260	370	360	180	272
20	445	240	270	295	150	215
21	486	195	348	265	124	225
22	650	295	305	400	165	180
23	540	165	310	270	112	225
24	516	306	324	336	138	192
25	456	300	372	276	186	294
26	650	295	515	300	160	370
27	678	264	636	570	246	414
28	438	306	384	372	295	300
29	624	426	528	294	270	329
30	525	275	375	420	145	238
31	470	325	275	305	164	230
32	408	234	322	315	115	180

Annexe 1(c) : Rendements (paddy et paille)

Code paysan	USG: rdt paddy (Kg/ha)	T: rdt paddy (Kg/ha)	PP: rdt paddy (Kg/ha)	USG: rdt paille (Kg/ha)	T: rdt paille (Kg/ha)	PP: rdt paille (Kg/ha)
1	7 166	3 000	5 833	7 833	3 166	7 833
2	4 833	3 333	5 500	5 166	3 166	5 500
3	5 333	3 166	7 166	7 000	3 666	6 166
4	5 666	3 333	6 333	5 333	3 500	5 000
5	9 666	3 833	8 666	11 333	4 500	8 833
6	6 166	3 666	6 000	6 500	3 500	5 833
7	8 500	3 000	6 833	8 666	4 833	6 333
8	6 000	3 500	7 000	6 333	4 333	6 000
9	8 166	3 000	4 333	5 500	3 833	4 833
10	5 666	2 666	6 166	7 166	4 000	7 500
11	7 500	2 833	7 000	4 500	3 166	5 666
12	6 000	2 666	5 666	4 000	2 166	3 833
13	7 000	3 166	4 833	4 666	2 333	3 500
14	5 000	2 166	5 166	7 166	2 833	7 500
15	6 833	2 666	4 833	5 666	3 000	3 666
16	7 500	3 833	6 667	6 666	4 166	5 666
17	7 667	4 000	5 667	7 333	4 333	4 666
18	8 667	4 333	7 833	7 000	3 833	6 333
19	4 167	3 000	5 833	7 500	4 166	5 500
20	7 667	3 833	5 833	5 166	3 666	6 333
21	6 500	3 667	5 667	7 500	3 166	7 333
22	6 833	3 000	6 500	6 333	3 333	6 000
23	6 500	3 167	5 667	4 333	3 833	6 666
24	7 667	3 000	5 167	7 500	2 333	5 833
25	7 000	3 500	6 333	6 666	3 000	5 833
26	5 667	3 833	7 500	4 500	3 166	6 000
27	6 833	2 333	5 167	8 333	2 666	7 666
28	6 333	4 333	5 333	7 666	5 166	7 500
29	4 333	2 833	5 333	6 166	4 000	6 333
30	6 333	2 000	5 333	7 166	2 833	5 600
31	5 167	3 833	5 667	4 666	3 833	6 000
32	7 833	2 500	6 000	7 833	2 666	5 833

Annexe 1(d) : Nombre de grains pleins par panicule et pourcentage de grains vides

Code paysan	USG: nbre de grains pleins/panicule	T: nbre de grains pleins/panicule	PP: nbre de grains pleins/panicule	USG:% de grains vides	T:% de grains vides	PP:% de grains vides
1	106	63	79	21,13	30,31	15,91
2	105	95	110	21,87	20,43	25,85
3	98	86	100	21,78	25,73	27,18
4	96	70	80	28,31	29,44	23,34
5	111	83	117	27,99	40,77	29,81
6	108	65	96	19,76	32,71	21,28
7	140	101	110	15,93	28,35	18,88
8	115	67	111	25,64	29,41	16,04
9	72	70	67	31,7	29,5	32,63
10	101	94	107	30,63	27,98	19,46
11	119	74	101	25,66	38,54	38,67
12	109	61	89	14,39	19,42	15,63
13	103	94	119	26,53	18,97	21,72
14	76	60	76	30,49	32,84	23,87
15	116	77	79	25,11	30,29	28,78
16	147	137	108	8,24	19,45	15,79
17	108	51	109	11,80	16,64	10,59
18	100	79	97	21,27	18,55	13,58
19	96	89	119	24,37	27,17	15,53
20	171	128	151	5,79	14,93	7,56
21	87	53	102	22,04	27,91	18,36
22	84	91	90	25,90	24,62	18,27
23	105	100	92	20,02	26,01	28,99
24	96	71	109	8,70	14,80	10,59
25	107	96	109	13,38	16,90	10,33
26	84	66	117	20,23	20,43	14,69
27	130	80	68	4,70	21,79	9,83
28	112	102	111	9,49	14,55	8,72
29	106	47	81	23,68	38,46	24,74
30	79	42	106	20,18	29,34	9,74
31	99	101	149	25,35	22,64	11,54
32	95	58	121	20,55	43,26	10,64

Annexe 1(e) : Poids de 1000 grains et quantités d'engrais utilisées

Code paysan	USG: poids de 1000 grains (g)	T: poids de 1000 grains (g)	PP: poids de 1000 grains (g)	PP: quantité de NPK (kg/ha)	PP: quantité d'Urée (kg/ha)	USG: quantité KCl (kg/ha)	USG: quantité d'Urée (kg/ha)	USG: quantité TS (kg/ha)
1	25,1	23,2	26,5	200	150	70	113	150
2	23,4	21,4	23,2	150	175	70	113	150
3	23,0	23,9	24,5	200	125	70	113	150
4	24,7	24,1	24,6	200	150	70	113	150
5	25,3	23,5	24,2	200	175	70	113	150
6	23,5	22,8	24,3	150	150	70	113	150
7	24,6	24	24,4	200	150	70	113	150
8	23,1	24,1	24,6	150	200	70	113	150
9	24,4	24,2	24,3	200	150	70	113	150
10	24,0	24,4	23,5	200	200	70	113	150
11	25,0	22,8	23	150	200	70	113	150
12	26,0	24,6	26,5	150	150	70	113	150
13	24,5	24	22,6	200	150	70	113	150
14	24,4	25,6	26	200	150	70	113	150
15	24,0	22,8	22,5	100	200	70	113	150
16	24,7	23,3	23,9	200	200	70	113	150
17	24,3	22,7	23,1	200	200	70	113	150
18	25,9	24,5	26,9	200	200	70	113	150
19	21,6	21,3	23,8	150	160	70	113	150
20	22,2	21,5	25,0	140	100	70	113	150
21	23,7	23,6	23,9	200	200	70	113	150
22	24,3	24,2	24,2	150	150	70	113	150
23	24,1	22,9	24,3	200	100	70	113	150
24	24,5	22,1	22,6	200	150	70	113	150
25	24,7	23,6	25,3	200	150	70	113	150
26	27,1	26,6	27,3	200	150	70	113	150
27	26,1	24,9	24,8	200	125	70	113	150
28	22,5	22,0	22,1	200	150	70	113	150
29	23,4	22,0	23,9	200	200	70	113	150
30	23,1	22,4	22,7	200	150	70	113	150
31	24,6	23,5	23,7	200	150	70	113	150
32	21,5	20,9	22,0	200	150	70	113	150

Annexe 1(f) : Coût de la fertilisation par traitement et par hectare

Code paysan	USG: quantité d'Urée (kg/ha)	PP: Coût NPK (350fcfa/kg)	PP: Coût Urée (350fcfa/kg)	USG: coût KCl (360fcfa/kg)	USG: Coût TSP (440fcfa/kg)	Coût USG (425fcfa/kg)
1	113	70 000	52 500	25 200	66 000	48 025
2	113	52 500	61 250	25 200	66 000	48 025
3	113	70 000	43 750	25 200	66 000	48 025
4	113	70 000	52 500	25 200	66 000	48 025
5	113	70 000	61 250	25 200	66 000	48 025
6	113	52 500	52 500	25 200	66 000	48 025
7	113	70 000	52 500	25 200	66 000	48 025
8	113	52 500	70 000	25 200	66 000	48 025
9	113	70 000	52 500	25 200	66 000	48 025
10	113	70 000	70 000	25 200	66 000	48 025
11	113	52 500	70 000	25 200	66 000	48 025
12	113	52 500	52 500	25 200	66 000	48 025
13	113	70 000	52 500	25 200	66 000	48 025
14	113	70 000	52 500	25 200	66 000	48 025
15	113	35 000	70 000	25 200	66 000	48 025
16	113	40 000	70 000	25 200	66 000	48 025
17	113	40 000	70 000	25 200	66 000	48 025
18	113	40 000	70 000	25 200	66 000	48 025
19	113	24 000	56 000	25 200	66 000	48 025
20	113	14 000	35 000	25 200	66 000	48 025
21	113	40 000	70 000	25 200	66 000	48 025
22	113	22 500	52 500	25 200	66 000	48 025
23	113	20 000	35 000	25 200	66 000	48 025
24	113	30 000	52 500	25 200	66 000	48 025
25	113	30 000	52 500	25 200	66 000	48 025
26	113	30 000	52 500	25 200	66 000	48 025
27	113	25 000	43 750	25 200	66 000	48 025
28	113	30 000	52 500	25 200	66 000	48 025
29	113	40 000	70 000	25 200	66 000	48 025
30	113	30 000	52 500	25 200	66 000	48 025
31	113	30 000	52 500	25 200	66 000	48 025
32	113	30 000	52 500	25 200	66 000	48 025

Annexe 2 : Tableau général des données économiques des producteurs.

Code paysan	RVC (PP)	RVC (USG)	Revenu monétaire (PP)	Revenu monétaire (USG)
1	3,5	4,5	302 450	485 675
2	2,9	1,6	211 300	85 775
3	5,3	2,3	486 250	185 825
4	3,7	2,5	327 500	210 725
5	5,5	6,3	593 700	735 725
6	3,3	2,7	245 100	235 775
7	4,7	5,9	452 450	685 775
8	4,3	2,7	402 500	235 775
9	1,6	5,6	77 450	635 675
10	3,8	3,2	385 000	310 775
11	5,1	5,0	502 550	560 825
12	4,3	3,6	345 000	360 875
13	2,0	4,1	127 550	435 875
14	3,7	3,1	327 500	285 875
15	3,1	4,5	220 050	485 825
16	3,9	4,0	315 000	410 776
17	2,3	4,0	139 999	410 774
18	4,8	4,7	415 000	510 775
19	5,3	1,3	345 000	35 774
20	6,1	4,1	251 000	435 775
21	2,7	3,1	190 000	285 776
22	7,0	4,1	450 000	435 725
23	6,8	3,6	320 000	360 776
24	3,9	5,0	242 499	560 774
25	5,2	3,8	342 500	385 775
26	6,7	2,0	467 501	135 775
27	6,2	4,8	356 250	535 775
28	1,8	2,2	67 500	160 775
29	3,4	1,6	265 000	85 775
30	6,1	4,7	417 500	510 775
31	3,3	1,4	192 500	60 775
32	6,4	5,7	442 500	660 775

Annexe 3 : Processus de transformation de l'urée simple en urée super granulée

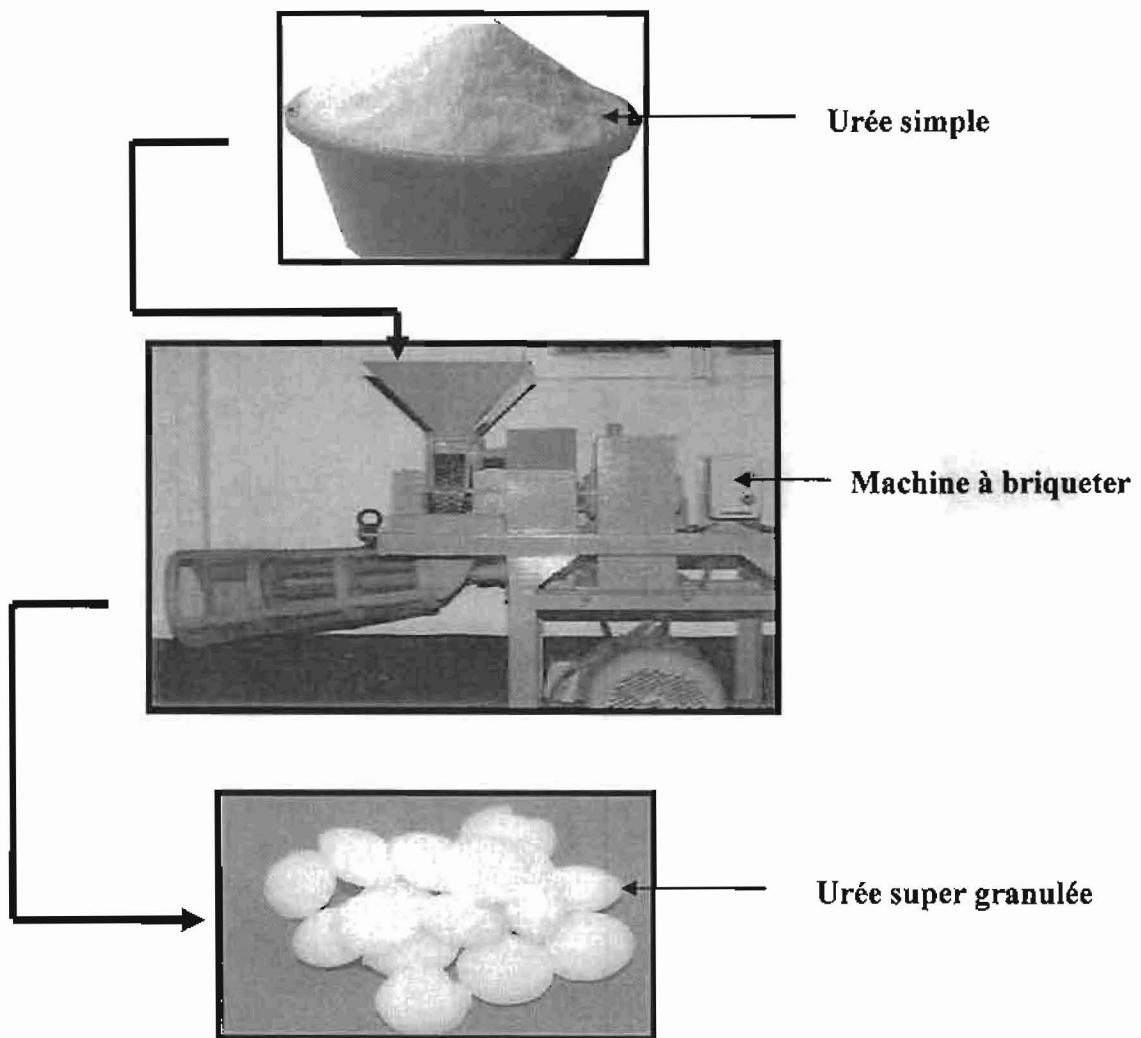


Schéma: Processus de transformation de l'urée simple en urée super granulée.