

BURKINA FASO
Unité-Progrès-Justice

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS
SECONDAIRE, SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

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

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT
RURAL
(I.D.R.)

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS
SECONDAIRE, SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

.....
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE
(C.N.R.S.T.)

.....
INSTITUT DE L'ENVIRONNEMENT ET
DE RECHERCHES AGRICOLES
(I.N.E.R.A.)
.....

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : AGRONOMIE

THEME :

**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.**

Directeur de Mémoire : Dr ZOMBRE Prosper

Maître de stage : Dr DEMBELE Youssouf

Octobre 2001

GUE Edmond

TABLE DES MATIERES

	<i>Pages</i>
<i>Table des matières</i>	<i>i</i>
<i>Dédicace</i>	<i>vi</i>
<i>Remerciements</i>	<i>vii</i>
<i>Liste des abréviations</i>	<i>viii</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>ix</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>xi</i>
<i>Résumé</i>	<i>xiii</i>

Introduction générale..... 1

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Généralités sur la riziculture irriguée.....4

1.1 Connaissance de la plante de riz.....4

1.1.1. Origine et taxonomie.....4

1.1.2. Morphologie.....5

1.1.3. Croissance et développement de la plante.....7

1.1.3.1. Phase végétative.....7

1.1.3.2. Phase reproductive.....7

1.1.3.3. Phase de maturation.....7

1.1.4. Exigences écologiques.....7

1.1.4.1. Les facteurs climatiques.....8

a) l'insolation.....8

b) La température de l'air.....8

1.1.4.2. Les conditions pédologiques.....8

1.1.4.3. L'alimentation hydrique.....9

1.1.4.4. L'alimentation minérale.....9

1.1.5. Les différents types de riziculture.....10

1.1.5.1. La riziculture pluviale stricte.....10

1.1.5.2. La riziculture de bas-fond.....10

1.1.5.3. La riziculture irriguée.....11

1.1.6. Itinéraire technique et pratique de la riziculture irriguée.....	11
1.1.6.1. <i>La préparation du sol</i>	11
a) Le défrichage.....	11
b) Le labour.....	12
c) La mise en boue / hersage.....	12
d) Le planage.....	12
1.1.6.2. <i>La fertilisation</i>	12
1.1.6.3. <i>L'irrigation</i>	13
a) Les besoins en eau du riz irrigation.....	13
b) La conduite des irrigations.....	15
1.1.6.4. <i>La protection phytosanitaire</i>	16
a) Les adventices.....	16
b) Les principales maladies du riz.....	17
c) Les principaux ennemis du riz.....	18
Chapitre II : L'irrigation au Burkina Faso.....	19
2.1. <i>Historique</i>.....	19
2.2. <i>Potentialités et contraintes de l'irrigation</i>.....	20
2.2.1. Les potentialités.....	20
2.2.1. Les contraintes.....	20
2.3. <i>Situation actuelle de l'irrigation</i>.....	21
Chapitre III:Description du périmètre irrigué de la Vallée du Kou. .23	
3. 1. <i>Situation géographique</i>.....	23
3. 2. <i>Historique de l'aménagement</i>.....	23
3. 3.<i>Description de l'aménagement</i>.....	24
3.3.1. La prise d'eau.....	24
3.3.2. Le réseau hydraulique.....	24
3.3.3. Le parcellaire.....	25

3.3.4. L'organisation de la gestion de l'eau.....	25
3.4 Environnement physique naturel.....	26
3.4.1. Le climat.....	26
3.4.1.1. <i>La pluviosité</i>	26
3.4.1.2. <i>Les températures</i>	27
3.4.1.3. <i>L'insolation</i>	27
3.4.1.4. <i>L'humidité relative de l'air et l'évaporation</i>	27
3.4.1.5. <i>Le vent</i>	28
3.4.2. La végétation.....	30
3.4.3. Les sols.....	30
3.4.4. Le réseau hydrographique.....	31

DEUXIEME PARTIE : EXPERIMENTATION

Chapitre IV : Matériel et méthodes.....	32
4.1 Matériel.....	32
4.1.1 Le site d'étude.....	32
4.1.2. L'évolution des paramètres climatiques au cours de l'essai.....	32
4.1.3. Les caractéristiques physiques et chimiques du sol de l'essai.....	33
4.1.3.1. <i>Les caractéristiques physiques du sol</i>	33
4.1.3.2. <i>Les caractéristiques chimiques du sol</i>	33
4.1.4. Le matériel végétal.....	34
4.2. Méthodes	36
4.2.1. Le plan expérimental.....	36
4.2.1.1. <i>Dispositif expérimental</i>	36
4.2.1.2. <i>Traitements étudiés</i>	36
4.2.2. Conduite de la culture.....	39
4.2.2.1. <i>Préparation et mise en place de la pépinière</i>	39
4.2.2.2. <i>Préparation des parcelles de l'essai</i>	39

4.2.2.3. <i>Repiquage du riz</i>	39
4.2.2.4. <i>Entretien de la culture</i>	39
4.2.2.5. <i>Récolte</i>	40
4.2.3. <i>Suivi de la culture et observations</i>	40
4.2.4. <i>Analyse statistique des données</i>	43

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre V : Résultats et discussion	45
5.1. Analyse de variance sur les paramètres agronomiques	45
5.1.1. Résultats des traitements étudiés sur les composantes de rendement, les rendements grains et la hauteur des plantes.	45
5.1.1.1. <i>Effet du niveau de mise en boue du Sol</i>	45
5.1.1.2. <i>Effet des doses d'azote</i>	45
5.1.1.3. <i>Effets des méthodes d'irrigation</i>	46
5.1.1.4. <i>Effets sur les paramètres agronomiques des interactions des différents traitements</i>	47
5.1.2. Discussions et conclusion. sur les composantes de rendement, les rendements grains et la hauteur des plantes.....	51
5.2. Impact des traitements sur la consommation en eau et l'efficience de l'eau ...56	
5.2.1 Résultats du suivi de la variation de la lame d'eau.	56
5.2.2. Analyse des fluctuations de la lame d'eau	56
5.2.3. Effets des traitements sur la consommation en eau et l'efficience de l'eau.....	61
5.2.4. Discussion et conclusion sur la consommation en eau et l'efficience de l'eau.....	63
5.3. Impact des traitements sur la qualité des grains et leur teneur en éléments nutritifs	67
5.3.1. Résultats et analyse qualitative des grains à maturité.....	67
5.3.2. Résultats de l'analyse chimique des grains de riz décortiqués et de leurs glumelles en fonction des traitements.	70
5.3.3. Discussion et conclusion sur la qualité des grains et leur teneur en éléments nutritifs.....	71

Conclusion générale.....	73
Références bibliographiques.....	75
Annexes.....	80

DEDICACE

A

*Mon père : GUE Baly Charles ;
Ma mère : Neya Natouma Jeanne ;*

*Mes frères : Martin et Jean Luc ;
Mes sœurs : Sophie, Brigitte, Judithe, Pascaline, Ingrid et Adèle ;*

Ma chère amie : Tiendrébéogo Jeannine Bienvenue ;

Je dédie ce Mémoire.

REMERCIEMENTS

La présente étude n'aurait pas été possible sans le concours de certaines personnes : des parents, des chercheurs, des amis, etc. Que les plus discrets d'entre eux me pardonnent, tant il m'aurait été impossible de les occulter de la présente liste d'expression de ma profonde reconnaissance. Mes remerciements s'adressent particulièrement :

- au **Dr. TRAORE Seydou Nafoni**, Délégué régional du CRREA de l'Ouest et à son personnel pour l'accueil au sein de la station de recherches de l'INERA de Farako-Bâ.

- au **Dr. DAKOUO Dona**, Chef du Programme riz et rizculture pour son accueil favorable.

- au **Dr. DEMBELE Youssouf**, notre maître de stage pour son inestimable contribution. Je lui exprime, ainsi qu'à son épouse, ma profonde reconnaissance pour sa rigueur, ses critiques et sa disponibilité à mon égard, en dépit de ses multiples occupations.

- au **Dr. ZOMBRE Prosper** qui, de par sa disponibilité à mon égard, à pleinement joué son rôle de directeur de stage, collant une étiquette scientifique à ce document. Qu'il reçoive ici l'expression de mon profond estime.

- aux **Docteurs KAMBIRE Yacynthe, SANON Jacob, SIE Moussa, HEMA Drissa et à MM. BARRO Etienne, DIABRI Seydou, YOUL Sansan** qui n'ont ménagé aucun effort devant mes sollicitudes pour agrémenteer mon passage à l'INERA.

Ma liste, bien que non exhaustive, ne saurait exclure M. TRAORE Youssouf, chef de l'antenne d'expérimentation de l'INERA à la Vallée du Kou ainsi que tous ses collaborateurs. Je retiens de lui l'inoubliable accueil et l'intégration dont il a fait preuve.

Je n'oublierai pas le grand frère SAMA Julien et son épouse qui n'ont ménagé leurs efforts pour me gratifier d'un séjour heureux à la Vallée du Kou. Je leur dis merci.

D'autres personnes, parmi lesquelles, Ouattara Bamoussa, technicien à l'antenne de la Vallée du Kou, qui a suivi l'intégralité de l'essai avec moi. Je lui dis merci.

Pour en arriver à ma famille, je commencerai par rendre hommage à mon père et à ma mère pour leur soutien moral et financier permanent. Leur foi en ma modeste personne, leur courage et leur abnégation m'ont inspiré à plus d'un titre.

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

LISTE DES ABREVIATIONS

- ADRAO** : Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest.
- AITB** : Association des Ingénieurs et Techniciens en génie civil du Burkina.
- AMVS** : Autorité de Mise en Valeur de la Vallée du Sourou
- ANOVA** : Analysis Of Variance
- BOAD** Banque Ouest Africain de Développement.
- CERCI** : Centre d'Expérimentation du riz et des Cultures irriguées.
- CRREA** Centre Régional de Recherche Environnementale et Agronomique.
- FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.
- FIT** : Front Intertropical
- INERA** : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles.
- INSD** : Institut National de la Statistique et de la Démographie.
- IRRI** : Institut International de Recherche sur le Riz.
- MA** : Ministère de l'Agriculture.
- MOB** : Maître d'Ouvrage de Bagré.
- ONBAH** : Office National des Barrages et des Aménagements Hydrauliques.
- PSSA** : Programme Spécial pour la Sécurité Alimentaire.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résultats de l'analyse des caractéristiques physiques du sol -----	33
Tableau 2 : Résultats de l'analyse chimiques du sol-----	34
Tableau 3 : Combinaison des traitements par parcelle élémentaire dans chaque répétition.--	39
Tableau 4 :Analyse de l'effet du niveau de mise en boue du sol sur les paramètres agronomiques du riz à la Vallée du Kou.-----	46
Tableau 5 : Analyse de l'effet des doses croissantes d'azote sur les paramètres agronomiques du riz à la Vallée du Kou. -----	46
Tableau 6 : Analyse de l'effet des méthodes d'irrigation sur les paramètres agronomiques du riz à la Vallée du Kou.-----	46
Tableau7 : Analyse de l'effet de l'interaction «irrigation-azote» sur les paramètres agronomiques du riz à la Vallée du Kou.-----	48
Tableau 8 : Analyse de l'effet de l'interaction « azote- niveau de mise en boue » sur les paramètres agronomiques du riz à la Vallée du Kou.-----	48
Tableau 9 : Analyse de l'effet de l'interaction « irrigation- niveau de mise en boue » sur les paramètres agronomiques du riz à la Vallée du Kou.-----	49
Tableau10 : Analyse de l'effet de l'interaction «irrigation-azote-niveau de mise en boue» sur les paramètres agronomiques du riz à la Vallée du Kou.-----	50
Tableau11 :Récapitulatif des valeurs de la consommation en eau et l'efficience de l'eau.-----	61
Tableau12 : Impact des traitements sur les caractères des grains de riz à maturité-----	67

- Tableau13** : Analyse de l'effet de l'interaction «irrigation-azote-niveau de mise en boue»
sur les dimensions des grains de riz -----69
- Tableau14** Analyse de l'effet de l'interaction «irrigation-azote-niveau de mise en boue»
sur la teneur en éléments chimiques des grains de riz décortiqués-----70
- Tableau15** Analyse de l'effet de l'interaction «irrigation-azote-niveau de mise en boue»
sur la teneur en éléments chimiques des glumelles de grains de riz -----70

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Morphologie du plant de riz-----	6
Figure 2 : Structure de la panicule de riz-----	6
Figure3 : Bilan hydrique d'une rizière-----	14
Figure 4 : Hauteur moyenne de la lame d'eau dans une rizière-----	16
Figure 5: Pluviométrie moyenne mensuelle de la Vallée du Kou de 1990-2000-----	29
Figure 6: Température moyenne mensuelle de la Vallée du Kou de 1990-2000-----	29
Figure7 : Moyenne mensuelle de l'humidité relative de l'air et de l'évaporation de la Vallée du Kou de 1990-2000-----	29
Figure 8a : Variation du nombre de talles en fonction de l'interaction irrigation –azote- mise en boue du sol-----	54
Figure 8b : Variation du nombre de talles en fonction de l'interaction irrigation –azote- non mise en boue du sol-----	54
Figure 9a : Variation du nombre de grains par panicules en fonction de l'interaction irrigation- azote- mise en boue du sol-----	54
Figure 9b : Variation du nombre de grains par panicules en fonction de l'interaction irrigation- azote- non mise en boue du sol-----	54
Figure10a : Variation du nombre de panicules par mètre carré en fonction de l'interaction irrigation- azote - mise en boue du sol -----	54
Figure10b : Variation du nombre de panicules par mètre carré en fonction de l'interaction irrigation- azote –non mise en boue du sol -----	54
Figure11a: Variation du nombre du poids de 1000 grains en fonction de l'interaction irrigation- azote mise en boue du sol -----	55
Figure11b: Variation du nombre du poids de 1000 grains en fonction de l'interaction irrigation- azote non mise en boue du sol-----	55
Figure12a : Croissance des plants en fonction de l'interaction irrigation- azote- - mise en boue du sol -----	55
Figure12b : Croissance des plants en fonction de l'interaction irrigation- azote- -non mise en boue du sol -----	55
Figure13a: Variation du rendement grains en fonction de l'interaction irrigation- azote mise en boue du sol-----	55

Figure13b : Variation du rendement grains en fonction de l'interaction irrigation-azote non mise en boue du sol-----	55
Figure14 : Variation de la lame d'eau en septembre sous le régime hydrique I ₁ -----	58
Figure15 : Variation de la lame d'eau en septembre sous le régime hydrique I ₂ -----	58
Figure 16 : Variation de la lame d'eau en septembre sous le régime hydrique I ₃ -----	58
Figure 17 : Variation de la lame d'eau en octobre sous le régime hydrique I ₁ -----	59
Figure 18 : Variation de la lame d'eau en octobre sous le régime hydrique I ₂ -----	59
Figure 19 : Variation de la lame d'eau en octobre sous le régime hydrique I ₃ -----	59
Figure 20 : Variation de la lame d'eau en novembre sous le régime hydrique I ₁ -----	60
Figure 21 : Variation de la lame d'eau en novembre sous le régime hydrique I ₂ -----	60
Figure 22 : Variation de la lame d'eau en novembre sous le régime hydrique I ₃ -----	60
Figure 23 : Variation de la consommation en eau en fonction des traitements-----	66
Figure 24 : Variation des rendements en fonction des traitements-----	66

RESUME

Les travaux entrepris dans ce mémoire s'inscrivent dans la perspective d'une optimisation des pratiques culturales sur le riz irrigué à la Vallée du Kou. Leur but fondamental est la recherche d'une meilleure combinaison entre trois principales pratiques (niveau de mise en boue du sol, méthodes d'irrigation, doses d'azote) susceptible, d'optimiser convenablement les rendements, et l'efficience de l'eau d'irrigation.

Les résultats obtenus révèlent que les doses croissantes d'azote induisent une différence hautement significative ($p < 0,001$) sur chaque paramètre agronomique du riz, alors que les niveaux de mise en boue et les méthodes d'irrigation ne les différencient que partiellement. Pour ce qui est des combinaisons des différents traitements, celles liant l'azote aux méthodes d'irrigation affichent une différence significative ($p= 0,036$) sur le rendement tandis que toutes les autres combinaisons effectuées, y compris celle associant les trois facteurs en même temps n'ont pas pu les différencier de façon significative au seuil de 5%.

Par ailleurs, les moyennes affichées par les valeurs des paramètres agronomiques ont révélé l'existence de deux combinaisons intéressantes : la première se trouve être celle liant la méthode d'irrigation I_3 (maintien d'une lame d'eau permanente de 5-10 cm suivi d'un drainage au moment de l'application de l'azote et une remise en eau trois jours après), la dose d'azote N_3 (130 unités de N/ha) et la mise en boue du sol (B_1). Cette combinaison valorise convenablement l'azote et donne un rendement de 6 t/ha. Quant à la seconde combinaison, elle associe l'irrigation par intermittence (I_2) coupé à la dose d'azote N_2 (100 unités de N /ha) et la mise en boue(B_1). Comparativement à la première, elle consomme moins d'eau et valorise l'azote uniquement à des doses de 100 unités de N /ha. Mais, elle fournit un rendement légèrement supérieur à 5 t/ha.

L'étude devait être poursuivie afin d'aboutir à la détermination d'une seule combinaison.

Mots clés : Riz irrigué - doses d'azote - méthodes d'irrigation - mise en boue du sol - rendement - Vallée du Kou -Burkina Faso.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le riz est la plante vivrière la plus cultivée dans le monde après le blé. Cependant, il est difficile de déterminer avec exactitude l'époque à laquelle sa domestication par l'homme a commencé, même si sa culture a été signalée en Asie il y a plus de 10 000 ans (Angladette, 1966).

Le riz constitue la principale source d'aliment pour environ 40 % de la population mondiale (ADRAO, 1996). A part son utilisation dans l'alimentation, il sert à fabriquer de l'alcool, de l'amidon, du glucose, du vinaigre, de l'huile, des produits pharmaceutiques, etc. Les balles de riz servent de combustible et leurs cendres d'engrais. Les animaux peuvent consommer le paddy, la farine et la paille. Cette dernière peut servir de matière première dans la fabrication de la pâte à papier (Moule, 1980).

Le rythme de croissance de la demande en riz est très fort ; il est estimé en moyenne à 5,6 % par an en Afrique de l'Ouest (ADRAO, 1997).

Au Burkina Faso, le riz est une céréale importante, bien qu'il se situe en 4^{ème} position après le sorgho, le mil et le maïs, tant du point de vue des superficies, 27 000 ha, que de la production, 57 670 t/an (INERA 1999). En effet, la consommation individuelle de riz a plus que triplé en trente ans, passant de 4,5 kg en 1960 à 14 kg en 1990 et à 18 kg en 1994 (Gbikpi, 1996).

Selon l'INERA (1994), cette progression rapide est due d'une part, à la forte poussée démographique et, d'autre part, au changement des habitudes alimentaires des citadins et à la facilité de préparation du riz. Cependant, au Burkina Faso, comme dans les autres pays de la sous-région, la production nationale est loin de suivre cette évolution de la demande ; ce qui conduit à des importations massives de riz asiatique qui grèvent lourdement le budget du pays. En 1998, les sorties de devises à cet effet représentaient le 10^{ème} du budget national ;

après avoir atteint le chiffre record de 14, 8 milliards de Francs CFA deux ans plus tôt (Gbikpi, 1996).

Or, le potentiel en terres irrigables du Burkina n'est pas négligeable, puisqu'il est estimé à près de 165 000 ha (Dembélé *et al.*, 2 000). Une bonne partie de ces terres est aménageable pour la production du riz dont le niveau actuel se situe entre 80 000 et 90 000 tonnes (INSD, 2000), ce qui ne permet de couvrir qu'un peu plus de 50 % de la consommation du pays en riz. Le recours à des importations colossales (en moyenne 150 000 tonnes par an) devient donc nécessaire.

La réalisation de l'autosuffisance en riz par un accroissement significatif de la production nécessite :

- le développement du potentiel en terres irrigables ;
- la gestion efficace des infrastructures hydrauliques ;
- l'utilisation des variétés performantes ;
- l'application correcte des techniques culturales notamment :

- la préparation du sol, qui permet d'ameublir le sol, de détruire les mauvaises herbes, d'incorporer la matière organique pour en accélérer la décomposition en vue de relever le niveau de fertilité et de la productivité (Ouattara, *et al.* ; 1996).

- la fertilisation du riz, s'effectue principalement par une application judicieuse de l'azote. En effet, en tant que constituant essentiel de la chlorophylle, des acides aminés et des protéines, l'azote joue un rôle fondamental dans la formation des tissus végétaux (racines, tiges et feuilles) et des organes reproducteurs (organes mâles et femelles). Il intervient dans la composition du grain, favorise la croissance, le tallage et donne de la vigueur à la plante (ADRAO, 1995).

- la gestion correcte de l'eau qui est fondamentale en riziculture irriguée (ADRAO, 1995). En effet, l'eau joue plusieurs rôles vitaux dans la croissance et le développement du plant de riz ; elle agit sur ses caractères physiques comme la hauteur, le nombre de talles et la vigueur du chaume et intervient comme moyen de dissolution des engrais appliqués et de

transport des éléments nutritifs aux plants de riz tout en contribuant à lutter contre la croissance des adventices (Sanon, 1986).

Notre étude qui a pour thème «*Influence du régime hydrique sur la nutrition minérale et les composantes de rendement du riz irrigué à la Vallée du Kou*», a pour objectif de dégager la meilleure combinaison entre la *méthode de gestion de l'eau*, la *dose d'azote appliquée* et le *niveau de mise en boue du sol*, qui permet de réaliser des économies d'eau, d'accroître l'efficacité de l'utilisation des intrants et d'améliorer les rendements.

Cette étude qui entre dans le cadre de notre stage de fin d'études à l'IDR a été réalisée à l'antenne d'expérimentation de l'INERA sise à la vallée du Kou.

Le présent mémoire comprend trois parties :

- la première partie est consacrée à une synthèse bibliographique dans laquelle nous présentons d'abord les généralités sur la riziculture irriguée, l'irrigation au Burkina Faso et une description du périmètre irrigué de la Vallée du Kou ;
- la deuxième partie est relative aux matériels et méthodes pour la réalisation de l'étude ;
- la troisième partie est consacrée à la présentation et à la discussion des résultats de l'expérimentation.

PREMIERE PARTIE :

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I :

GENERALITES SUR LA RIZICULTURE IRRIGUEE

1.1.1 Origine et taxonomie

Le riz cultivé appartient :

- à la famille des graminées
- à la tribu des *Oryzées*
- au genre *Oryzae*

Ce genre comprend une vingtaine d'espèces dont seulement deux sont cultivées.

Ce sont :

□ *Oryza glaberrima* Steud : Originaire du delta central du Niger (Mali) d'où elle s'est étendue vers les côtes de l'Afrique Occidentale, notamment en Gambie, en Casamance et dans le bassin de Sokoto (Nigeria), cette espèce est peu diversifiée et présente deux types de variétés : un type précoce, dressé avec peu d'entre nœuds et cultivé de manière pluviale et un type flottant et tardif (Katayama, 1990 cité par Nébié, 1995).

□ *Oryza sativa* L : Originaire du Sud-Est asiatique, cette espèce est la plus connue et la plus répandue dans les régions tropicales et tempérées du monde entier. En Afrique, son introduction date d'au moins 500 ans (Portères, 1950 cité par Dembélé, 1995). Ce riz asiatique comprend deux types qui sont les sous-espèces :

- *Indica*, originaire de l'Asie tropicale et caractérisée par un fort tallage et des grains longs et fins ;
- *Japonica*, originaire de la zone tempérée et subtropicale de l'Asie. Son tallage est moyen et ses grains sont courts et ronds.

1.1.2 Morphologie

Selon l'ADRAO (1995), le riz est une plante annuelle à tiges dressées en touffes, aux racines minces, fournies et peu profondes (figure 1). Ces tiges sont épaisses et creuses d'où leur nom de chaume. Elles possèdent des nœuds sur lesquels s'insèrent les feuilles. Ces dernières sont dépourvues de pétioles et enveloppent la tige à leur base par une gaine prolongée par le limbe dont les dimensions, la couleur et la pilosité sont des caractères variétaux. La feuille qui émerge après toutes les autres, juste sous la panicule, est appelée feuille paniculaire ou drapeau. L'articulation gaine-limbe présente deux petits appendices : la ligule et l'auricule.

L'inflorescence (figure 2) est une panicule, sorte de grappe composée d'épillets portée par le dernier entre nœud du chaume. Chaque épillet porte des glumes à la partie inférieure. Le grain est enveloppé par deux glumelles intimement liées l'une à l'autre après la pollinisation. La réunion des deux glumelles à l'extrémité supérieure de l'épillet forme le bec ou l'apex. La barbe ou aristation est le prolongement de la nervure centrale de la glumelle inférieure. Tout comme la feuille, les caractéristiques des épillets permettent de différencier les variétés.

La fleur se compose de six étamines et d'un ovaire surmonté de deux stigmates plumeux. Le fruit ou grain de riz est un caryopse à la base duquel on a la plantule composée de sa tigelle, de sa radicule, de sa gemmule et d'un cotylédon avec comme tissu de réserve l'albumen.

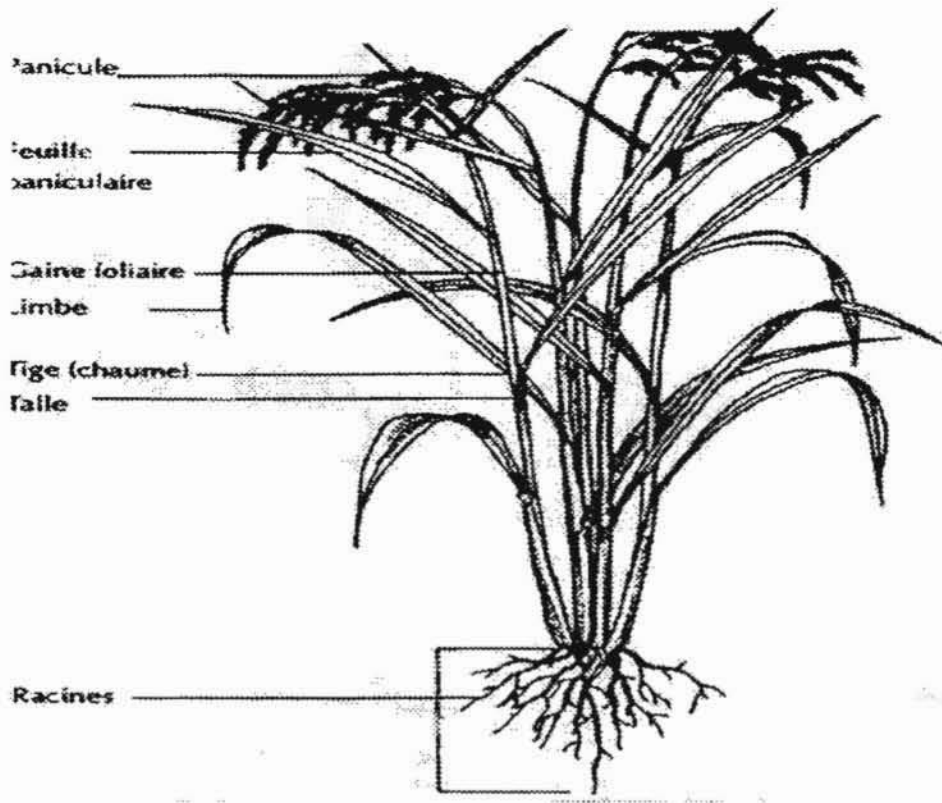


Figure 1 : Morphologie du plant de riz (source: ADRAO, 1995)

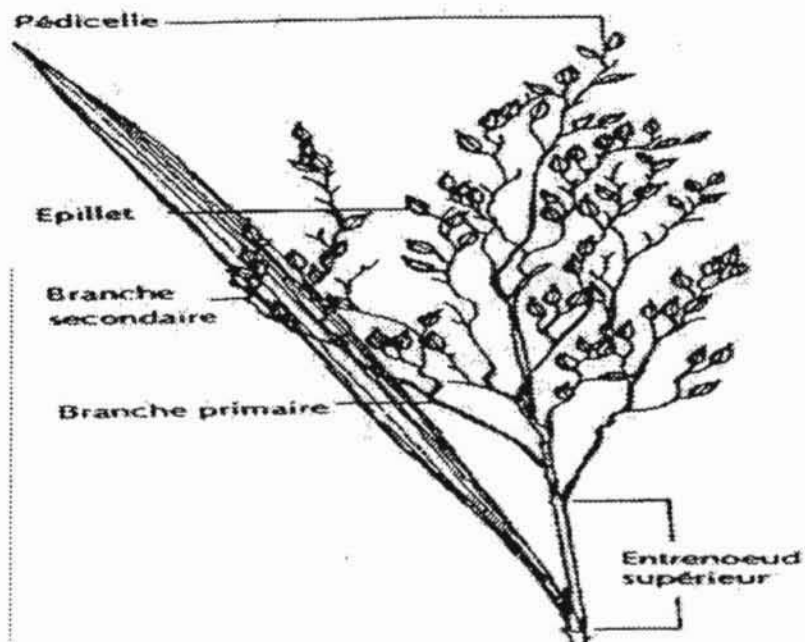


Figure 2 : Structure de la panicule de riz (source: ADRAO, 1995)

1.1.3 Croissance et développement de la plante

La période de végétation totale est comprise entre 90 et 150 jours. Cette variation est fonction de la variété, de la température, et de la sensibilité de la plante à la durée du jour (Dembélé, 2 000). Les variétés précoces sont indifférentes à la longueur du jour et les variétés tardives préfèrent les jours courts. Le cycle de croissance du riz peut être divisé en trois phases comportant chacune plusieurs stades (annexe 1) :

1.1.3.1 Phase végétative

Elle va de la germination à l'initiation paniculaire. Elle dure environ 60 jours pour les variétés de 120 à 130 jours. Les feuilles apparaissent à un intervalle régulier et le tallage commence au stade 3-5 feuilles. Le nombre de talles augmente pour atteindre un maximum correspondant au stade de tallage maximum.

1.1.3.2 Phase reproductive

Elle a une durée de 25 à 35 jours et peut commencer juste avant ou après le tallage maximum. Elle comprend les stades de l'initiation paniculaire, de la montaison, de l'épiaison, de la floraison et de la fécondation.

1.1.3.3. Phase de maturation

Elle dure de 25 à 40 jours, quelle que soit la variété. Elle comprend différents stades d'évolution du grain. Celui-ci, au cours de son développement et de son remplissage passe par les stades grains laitoux, grains pâteux, et grains mûrs.

1.1.4 Exigences écologiques

Le riz peut s'adapter à une grande variété de conditions environnementales (climatiques, pédologiques et hydrologiques).

1.1.4.1 Les facteurs climatiques

a) Insolation

Le rayonnement solaire est un facteur climatique très important pour la riziculture, car le riz est une plante de lumière qui exige une bonne insolation (Dembélé, 2 000). Ses rendements présentent une corrélation positive avec l'insolation (Toshida cité par Mather et Trinh Ton That, 1986 ; Doorenbos et Kassam, 1980). Les rendements plus élevés en saison sèche sont principalement dus à un rayonnement solaire plus intense. Par ailleurs, le photopériodisme peut avoir une forte influence sur la durée du cycle et le rendement chez certaines variétés (Zida, 1993).

b) Température de l'air

La température est une donnée essentielle pour la production du riz (Sawadogo, 1986). Son importance varie selon la variété et le stade végétatif. En général, la germination est impossible en dessous de 12 °C et il faut des températures comprises entre 22 °C et 30 °C pour assurer un bon développement à tous les stades de la croissance. Mais pour avoir de bons rendements, des écarts minimes de températures sont souhaitables au moment de la floraison et de la formation du produit (Doorenbos et Kassam, 1980).

1.1.4.2. Les conditions pédologiques

La culture du riz se prête à une large gamme de sol (Doorenbos 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 leurs sols sont trop perméables, ils peuvent perdre facilement leur fertilité par suite de lixiviation (Dembélé, 2 000).

Le riz a une bonne tolérance à l'acidité avec un pH compris entre 5 et 8. L'optimum se situant entre 6 et 7. Une salure de 1 % étant un maximum (Ministère Français de la Coopération, 1991).

1.1.4.3. *L'alimentation hydrique*

Afin d'assurer une croissance vigoureuse et donner de meilleurs rendements, le riz doit disposer d'une quantité d'eau suffisante pendant une bonne partie de la période végétative et de la période de floraison et de développement des épis (Dembélé, 2000). Car dès que la teneur en humidité du sol baisse pour atteindre une valeur comprise entre 70 et 80 % de la valeur de saturation, les rendements du riz commencent à décliner (Doorenbos et Kassam, 1980). Les rendements les plus élevés sont obtenus avec une profondeur d'eau contrôlée se situant entre 10 et 15 cm (Toshida cité par Mather et Trinh Ton That, 1986).

1.1.4.4. *L'alimentation minérale*

Les éléments nutritifs qui sont indispensables au développement de la plante et à la formation des graines sont dits éléments essentiels (Dembélé, 2000). Ainsi, dans 100 kg de grains de riz, Moule (1980) estime qu'il y a environ 2 kg d'azote (N), 1 kg de phosphore (P_2O_5), 1,250 kg de potassium (K). Ces éléments essentiels jouent plusieurs rôles vitaux :

- *l'azote* (N) étant l'élément le plus important dans la nutrition du plant de riz, il favorise le tallage et accélère la croissance. Mais dès que l'azote devient un facteur limitant, cela entraîne à la fois une réduction de l'indice foliaire et de l'intensité photosynthétique par unité de surface foliaire (Yoshida, 1981). En effet, la teneur en azote par unité de surface foliaire est fortement corrélée avec l'intensité photosynthétique (Yoshida, 1972).
- *le phosphore* (P_2O_5) favorise l'enracinement et le tallage du riz ; il avance son épiaison et agit positivement sur sa productivité (Adam, 2000).
- *le potassium* (K) régularise la fécondation et favorise la migration des réserves vers les grains (Yoshida, 1972).

1.1.5. Les différents types de riziculture

Selon la classification en vigueur, on distingue trois types de riziculture au Burkina Faso :

- la riziculture pluviale stricte
- la riziculture de bas-fond
- la riziculture irriguée

1.1.5.1. La riziculture pluviale stricte

Encore appelée riziculture de plateau ou de montagne, la riziculture pluviale stricte est la moins répandue au Burkina ; elle se pratique dans les zones à pluviométrie égale ou supérieure à 800 mm et sur des sols à bonne capacité de rétention en eau (Nébié, 1995). Les superficies totales occupées par ce type de riziculture étaient estimées à la fin des années 80 à 2 000 ha. La superficie actuelle reste inconnue, mais selon certains spécialistes, elle atteindrait plus de 5 fois le chiffre initial. La variabilité des pluies et leurs quantités sont des contraintes majeures pour la production du riz pluvial dont le rendement moyen actuel est de 0,8 t/ha (Nacro, 1994). La riziculture pluviale stricte est généralement pratiquée dans le sud et le sud-ouest du pays.

1.1.5.2. La riziculture de bas-fond

L'exploitation des bas-fonds est essentiellement dominée par une gestion traditionnelle. Les bas-fonds sont alimentés par les eaux de pluies, les eaux de ruissellements et d'écoulement (hypodermique et profond) provenant de leur bassin versant. Ce type de riziculture occupe la plus grande partie des superficies réservées à la culture du riz au Burkina et couvre environ 40 000 ha (Séré et Hébié, 1990). L'essentiel du paddy récolté chaque année dans le pays est produit dans les bas-fonds (Sié, 1988). Mais la riziculture de bas-fond enregistre des rendements ne dépassant pas 0,9 t/ha (Dakouo et Nacro, 1986).

1.1.5.3. La riziculture irriguée

D'introduction plus récente au Burkina Faso (principalement dans les années 1960), elle constitue de nos jours le type de riziculture le plus performant et le plus intensif. Elle produit plus du tiers de la production nationale de riz paddy, grâce à l'utilisation des variétés améliorées, à la maîtrise de l'irrigation et des techniques culturales appropriées (Sié et Combasséré, 1994). Le rendement moyen obtenu avec ce type de riziculture est de l'ordre de 4 t/ha (Nacro, 1994). Certains paysans (à Banzon par exemple) peuvent obtenir plus de 7 t/ha.

1.1.6. Itinéraire technique et pratique de la riziculture irriguée

L'itinéraire technique est la suite logique et ordonnée des opérations culturales appliquées à une culture, depuis le semis jusqu'à la récolte (Ouattara *et al.*, 1996). Ainsi, la réalisation de la riziculture irriguée nécessite les opérations suivantes (CERCI, 1985) :

1.1.6.1 La préparation du sol

C'est l'ensemble des opérations qui précèdent l'installation de la culture (Zida, 1993). Le but est de créer un milieu favorable au développement du plant de riz.

Selon plusieurs auteurs (Tsutsui, 1972 ; Bonnefond et Mayer, 1973 ; Dembélé, 1986 ; Mather et Trinh Ton That, 1986 ; Sawadogo, 1986), la préparation du sol en riziculture irriguée comprend plusieurs étapes, à savoir le défrichage, le labour, la mise en boue (hersage) et le planage.

a) Le défrichage

Il consiste à détruire les hautes herbes et les buissons. On procède par coupe tout en effectuant un léger sarclage, une mise en tas, un séchage puis un brûlis. Le défrichage a pour but de faciliter le labour, et d'assurer une protection phytosanitaire préventive.

b) Le labour

C'est le retournement du sol sur une certaine profondeur. En saison des pluies, il intervient dès que l'humidité du sol le permet à l'aide de d'abas, de houes ou de charrues. Il est recommandé de toujours épandre de la fumure organique (fumier d'étable, compost, cendre, déchets de case, etc.) dans la rizière avant le labour. La profondeur de labour joue un rôle important dans la croissance de la plante. Il est recommandé une profondeur d'au moins 15-20 centimètres.

c) La mise en boue / hersage

Une semaine après le début des irrigations, on procède à la mise en boue du sol. Elle consiste à briser la structure du sol par divers procédés (hersage en sens croisés, piétinement dans une lame d'eau, etc.) de manière à transformer le sol en une sorte de pâte. Par ailleurs, la mise en boue permet de détruire les germes des mauvaises herbes et de faciliter le planage et le repiquage.

d) Le planage

Le planage vise à rendre la surface du sol plane et horizontale, afin d'obtenir une lame d'eau uniforme dans les casiers. Il consiste à inonder la parcelle, à racler la terre dans les parties hautes de la parcelle et à la ramener dans les parties basses jusqu'à ce que la surface du sol soit plane. Le planage permet une répartition homogène des intrants (engrais, pesticides, etc.) dans la parcelle, une croissance homogène du riz et augmente de ce fait l'efficacité de la lame d'eau comme moyen de lutte contre les mauvaises herbes (Ouattara *et al* ; 1996).

1.1.6.2 La fertilisation

La plante de riz a besoin d'éléments nutritifs spécifiques pour se développer et produire des graines (ADRAO, 1995). La fumure actuellement utilisée au Burkina pour le riz a été formulée à partir d'engrais minéraux destinés au coton. Ainsi, l'engrais NPK dosant 14 N 23 P₂O₅ 14 K₂O 6S 1B est l'élément clé de cette formulation adaptative. Comme préconisé par la

recherche, l'engrais NPK était utilisé comme engrais de fond au repiquage à la dose de 300 kg/ha, tandis que la dose d'urée était de 200 kg/ha apportée au tallage (CERCI, 1979).

Cependant, des recommandations plus récentes évoquées par Nèbié (1995) font état de 300 kg/ha de NPK au repiquage et 100 kg/ha d'urée à la campagne hivernale dont le 1/2 est apporté au tallage et les 1/2 à l'initiation paniculaire. Mais le même auteur recommande l'utilisation de fortes doses d'urée (150 kg/ha) en contre-saison. La nécessité de fractionner la dose d'urée a pour but de répondre efficacement aux besoins nutritionnels étalés dans le temps, mais aussi de minimiser les pertes dues aux gaspillages inhérents aux phénomènes de dénitrification, de volatilisation et de lixiviation de l'azote.

Mais, suite aux exigences de la plante et, surtout dans le souci d'améliorer la production, un paquet technologique appelé P₇ (paquet permettant d'obtenir 7 t/ha de paddy) a été mis au point par l'INERA, et confirmé par le PSSA. Ce paquet met l'accent sur l'utilisation de la fumure organique à raison de 5 t/ha de fumier tous les deux ans associé à 150 kg/ha d'urée dont la moitié est apportée au 15^{ème} jour après le repiquage et l'autre moitié à l'initiation paniculaire (PSSA, 1999).

Au moment de l'application, il est conseillé de toujours drainer la parcelle avant d'apporter les doses d'azote nécessaire puis, d'effectuer immédiatement un enfouissement suivi d'une irrigation de la rizière (Dembélé, 2 000).

1.1.6.3 L'irrigation

a) Les besoins en eau du riz irrigué

Selon Dembélé *et al.*, (1999), les besoins nets en eau d'irrigation du riz sont déterminés à partir de l'équation du bilan hydrique d'une rizière (figure 3) :

$$I_{rn} + P_{eff} = E_{Triz} + Perc + P_{sol} + D_{rs}$$

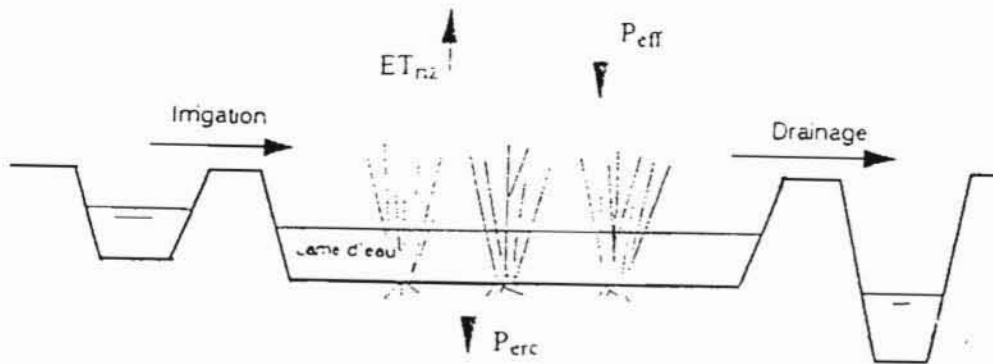


Figure 3 : Bilan hydrique d'une rizière (source Dembélé, 1995)

Ainsi, les besoins nets en eau d'irrigation (I_m) comprennent, à l'exclusion des précipitations efficaces (P_{eff}) :

- le volume d'eau nécessaire à la préparation du sol (P_{sol}) : Il est destiné à la saturation, à la mise en boue du sol et au maintien d'une lame d'eau dans la parcelle. Le volume d'eau requis dépend des caractéristiques physiques du sol (texture et porosité) de son humidité initiale et de la profondeur de la nappe. On y inclut souvent toute l'eau utilisée pour la mise en place et la croissance de la pépinière qui est relativement faible par rapport aux autres volumes d'eau.
- le volume d'eau nécessaire à l'évapotranspiration du riz (ET_{riz}) : C'est la somme des quantités d'eau transpirées par le riz et évaporées à partir de la rizière. L'évapotranspiration atteint son maximum au stade pleine végétation.
- le volume d'eau nécessaire à la percolation (P_{perc}) : la percolation est le mouvement de l'eau descendant dans un sol saturé, elle dépend des caractéristiques physiques du sol, de la profondeur de la nappe phréatique et de la distance par rapport aux drains.

- *le drainage superficiel (Drs)* : C'est l'eau qui parvient aux drains à partir des parcelles de riz. Cette eau est généralement due à la percolation et à l'infiltration. Mais si les diguettes sont assez hautes, le drainage superficiel peut être négligé.

b) La conduite des irrigations

Selon plusieurs auteurs dont Mather et Trinh Ton That (1986), Brouwer et Heibloem (1990) et Dembélé (2 000), l'irrigation du riz peut se faire de deux manières : la submersion continue ou permanente et la submersion par intermittence.

➤ **La submersion permanente ou continue :**

Cette pratique permet l'obtention des meilleurs rendements (Maity et Sarkar, 1990). Elle peut se faire avec une irrigation à écoulement continu ou avec une lame d'eau stagnante. Mais, lorsqu'on a une maîtrise de l'eau, une bonne irrigation consiste à faire varier la hauteur de la lame d'eau suivant les besoins des stades végétatifs.

Les hauteurs de la lame d'eau recommandées dans cette pratique d'irrigation sont les suivantes (INADES, 1980) :

- au repiquage, la rizière préalablement piétinée (donc mise en boue) est submergée sous 2-5 cm. Les plants reprennent vie facilement ;
- du 8^{ème} jour jusqu'à 60 jours après repiquage, correspondant à la période de tallage, une lame d'eau de 5-10 cm est maintenue. Car si la lame d'eau est trop élevée, le nombre de talles peut diminuer ;
- de la période de floraison à la formation des graines, la lame reste comprise entre 10 cm et 20 cm. Un manque d'eau peut provoquer des dégâts en cette période.
- dix jours après la formation des graines jusqu'à ce que les épis deviennent jaunes (phase de mûrissement), on fait baisser la lame d'eau pour la laisser dans la fourchette de 2-5 cm ;

- enfin, deux semaines avant la récolte, on effectue un drainage pour favoriser la maturation et faciliter la récolte.

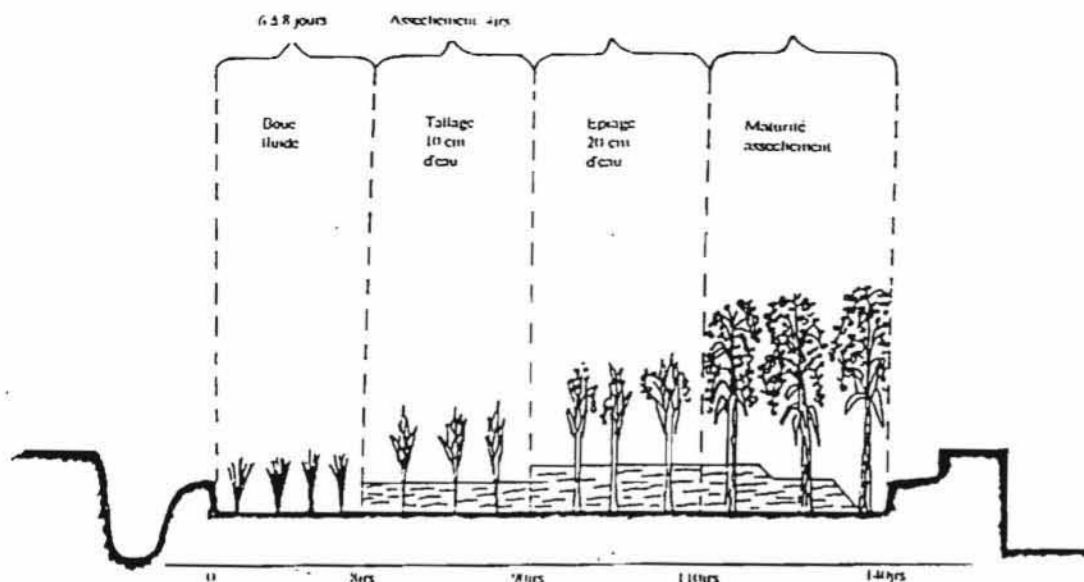


Figure 4 : Hauteur moyenne de la lame d'eau dans la rizière (source : INADES, 1980)

➤ La submersion par intermittence :

Cette méthode permet des économies d'eau en réduisant le drainage superficiel. Elle augmente la proportion des précipitations qui peut être utilisée efficacement par le riz (Dembélé, 2000).

Cependant, les assèchements prolongés entraînent une baisse de rendements sans pour autant favoriser une économie d'eau complémentaire significative. Car après un long assèchement, chaque irrigation demande des volumes d'eau importants pour la remise en eau de la parcelle.

1.1.6.4. Protection phytosanitaire

a) Les adventices

Les adventices sont des plantes qui poussent dans des endroits où elles ne sont pas désirées car, elles interfèrent avec les activités de l'homme dans le domaine de ses intérêts (DRAO, 1995). Les adventices causent la baisse de rendements en entrant en compétition

avec les plants de riz pour l'eau, les éléments nutritifs, l'espace, la lumière et l'air (CERCI, 1980). Par ailleurs, pendant la «saison morte», les mauvaises herbes peuvent servir d'hôtes aux ennemis du riz, tels que les insectes et certains champignons comme *Pyricularia oryzae*, qui se développe sur certaines graminées comme *Dactyloctenium aegyptium*.

Il existe plusieurs méthodes de lutte contre les adventices, parmi lesquelles, il y a la préparation du sol (labour et autres opérations d'affinement du sol) qui ont pour but de détruire les mauvaises herbes. Une autre méthode est la conduite de l'irrigation, car une lame d'eau constante et bien gérée freine la levée de certaines mauvaises herbes (Sanon, 1986). Les méthodes directes consistent à utiliser les désherbages mécaniques ou chimique

b) Les principales maladies du riz

Le riz est attaqué par une multitude de maladies dont la sévérité dépend du type de riziculture et des méthodes de gestion culturale. Ainsi, une quinzaine de microorganismes a été recensée sur le riz au Burkina Faso (Séré et Nacro, 1992). Sur les périmètres irrigués à double culture, la pyriculariose s'est avérée la plus redoutable et la plus dommageable surtout sur les cultures de saison humide (Séré, 1988). A la pyriculariose s'ajoutent deux autres maladies fréquemment rencontrées qui sont la marbrure jaune et le flétrissement bactérien :

- la pyriculariose, causée par un champignon du nom de *Pyricularia Oryzae*, est la maladie du riz la plus répandue et la plus importante de toute l'Afrique de l'Ouest (ADRAO, 1995). Le champignon produit des taches ou lésions sur les feuilles, les nœuds et sur les panicules et les graines. La pyriculariose cause le rabougrissement des plants et réduit le nombre de panicules et même le poids de 1000 grains. La maladie est contrôlée par l'utilisation de cultivars résistants, mais aussi par la pratique de la lutte culturale (rotation des cultures), la lutte chimique (utilisation de produits chimiques) et la lutte intégrée.

- le flétrissement bactérien des feuilles, la bactérie responsable est *Xanthomonas campestris pv oryzivora*. La maladie se manifeste par des brûlures de feuilles suivies d'un flétrissement rendant la plante peu ou pas productive. Son incidence est relativement

importante en saison humide et négligeable en saison sèche. L'apport équilibré d'engrais, la désinfection chimique des semences et l'utilisation des cultivars de riz résistants peuvent aider à contrôler la maladie.

- la marbrure jaune, en Afrique de l'Ouest, c'est la seule maladie virale du riz qui a été confirmée (ADRAO, 1995). Causée par un virus du nom de «*Rice Yellow Mottle Virus*» ou RYMV, elle provoque le rabougrissement de la plante et peut entraîner une grande perte en riziculture irriguée et de bas-fond. La maladie est contrôlée en utilisant des variétés résistantes de concert avec les pratiques de gestion saine qui réduisent les sources externes d'inoculum du virus.

c) Les principaux ennemis du riz

Un ennemi est un organisme qui nuit ou constitue directement ou indirectement un problème à l'homme (ADRAO, 1995). Les nématodes, les oiseaux, les rongeurs et surtout les insectes constituent les principaux ennemis des cultures. En effet, les insectes causent des dégâts aux plants à deux niveaux :

- au niveau du sol, il y a les parasites du sol. Ces parasites sont rapidement éliminés en riziculture irriguée lorsque la lame d'eau est maintenue.

- au niveau des parties aériennes, il y a deux types principaux de parasites qui attaquent le riz : les chenilles mineures et les punaises. Les chenilles mineures perforent les tiges. Pour lutter efficacement contre elles, il est conseillé de brûler les chaumes et d'effectuer un labour profond, et procéder ensuite à une submersion du terrain pendant plusieurs semaines (si les chaumes sont dans l'eau). Quant aux punaises du riz, elles perforent les grains laiteux pour sucer le liquide, puis pondent sur les feuilles. Il faut toujours désherber la rizière, nettoyer les diguettes afin de lutter contre les insectes.

CHAPITRE II :

L'IRRIGATION AU BURKINA FASO

2.1 Historique

Le Burkina Faso, contrairement à certains pays d'Asie, d'Europe et d'Afrique du Nord, n'a pas une tradition d'irrigation. En effet, si les premiers ouvrages de mobilisation de l'eau, tels que les barrages datent des années 1920 et les premiers périmètres irrigués des années 1950 (AITB, 1995), l'irrigation n'a réellement commencé à se développer qu'après l'indépendance en 1960. La plupart des petits périmètres à l'aval des barrages datent de cette époque. Cette première génération de périmètres irrigués comprenait essentiellement ceux de Loumana, de Boulbi et de la plaine de Guédougou.

En somme, l'irrigation au Burkina a un caractère assez récent. C'est à partir des années 1970 et, plus particulièrement, suite à la sécheresse des années 1973 et 1974 que l'irrigation a réellement connu un essor avec la formulation d'une véritable politique de l'irrigation. Cette période a vu naître l'ONBAH (Ouédraogo, 2 000).

Les années 1980 ont marqué un tournant décisif dans le paysage institutionnel de la question de l'eau, avec la construction d'une part, de grands ouvrages notamment ceux du Sourou, de la Komienga, de Bagré et de nombreux barrages de moyennes et de petites tailles (Diallo, 2 000).

Enfin, la création de l'Autorité de Mise en Valeur de la Vallée du Sourou (AMVS) en 1985 et de la Maîtrise d'Ouvrage de Bagré (MOB) en 1995 pour l'aménagement des grandes plaines a été une importante contribution et une volonté affirmée dans l'option des aménagements hydro-agricoles.

2.2 Potentialités et contraintes de l'irrigation

2.2.1 Les potentialités

Au Burkina Faso, les eaux de surface proviennent des trois grands bassins fluviaux : les bassins de la Volta, de la Comoé et du Niger. Ces bassins sont drainés respectivement par les cours d'eau suivants :

- le Mouhoun, le Nakambé, le Nazinon et le Pendjari pour le bassin de la Volta ;
- la Comoé et ses affluents (la Léraba, et le Yanon) pour le bassin de la Comoé ;
- les affluents du Niger (le Beli, le Gorouol, la Sirba, le Gouroubi, la Diamangou, la Tapoa, le Banifing etc.) pour le bassin du Niger.

Les ressources en eaux de surface sont estimées à environ huit (8) milliards de mètre cube (m³) par année (AITB, 1995). Alors que les ressources en eau souterraine sont évaluées à près de 114 milliards de mètre cube (m³) dont seulement 9,5 milliards de mètre cube (m³) sont renouvelables par an. Ces eaux souterraines sont essentiellement localisées à l'est et à l'ouest du pays.

Quant au potentiel en terres irrigables, il est approximativement estimé à 165 000 ha, soit 2 % des terres cultivables du pays (Dembélé *et al*, 2000).

2.2.2 Les contraintes

Les principales contraintes s'articulent autour de trois points suivants :

➤ *le manque de tradition d'irrigation* : comme indiqué plus haut, l'irrigation est un phénomène récent au Burkina. C'est ainsi que les aménagements hydro-agricoles connaissent des succès inégaux avec une prédominance des cas de mauvaise performance dont les causes doivent être recherchées dans une maîtrise peu parfaite de la gestion de ces aménagements.

➤ *Le problème lié aux sols favorables à l'irrigation* : sur les sites aménagés, il y a souvent une impossibilité de maintenir une lame d'eau permanente dans certaines parcelles à cause des fortes infiltrations dues à la présence des sols filtrants de différentes natures. On les trouve sur la plupart des périmètres irrigués, notamment à Karfiguèla, à la Vallée du Kou et à Douna.

➤ *le coût élevé des aménagements* : le coût de l'hectare aménagé en maîtrise totale de l'eau n'a cessé d'augmenter d'année en année. De 1,5 million de francs CFA en 1975, il est passé à 5 millions de francs CFA en 1990 pour atteindre de nos jours 8 à 9 millions de francs CFA avec une pointe enregistré de l'ordre de 14 millions (Hilmy, 1996). Tandis que les aménagements avec maîtrise partielle de l'eau coûtent entre 1 et 2 millions de francs CFA. Ces coûts exorbitants contribuent à freiner l'expansion des aménagements hydro-agricoles.

2.2.3 Situation actuelle de l'irrigation

Actuellement, environ 24 000 ha de terres sont aménagées avec 18 000 ha en maîtrise totale de l'eau, ce qui représente environ 11 % du potentiel irrigable (Dembélé *et al.*, 2 000). Ces mêmes auteurs évoquent des problèmes de la gestion de l'eau sur ces périmètres aménagés qui sont dus essentiellement aux facteurs suivants :

➤ *la pénurie des ressources en eaux* : elle est fortement liée à la baisse de la pluviométrie constatée ces dernières années et qui a considérablement réduit les débits exploitables des rivières et cours d'eau ;

➤ *les erreurs de conception ou de réalisation* : parmi ces problèmes qu'on rencontre sur certains périmètres, on peut citer le mauvais calage des ouvrages (fond de canal d'irrigation trop bas, réseau de drainage trop haut dans les zones basses, parcelles insuffisamment planées, etc.) ;

➤ *la mauvaise organisation de l'irrigation et le non-respect des règlements* : sur les périmètres irrigués, les règlements de la gestion de l'eau ne sont jamais respectés ou ne le sont que partiellement à cause de la faiblesse organisationnelle des producteurs. Par conséquent, l'irrigation est désorganisée, aussi bien au niveau global du périmètre qu'au niveau des quartiers hydrauliques ;

➤ *le manque d'entretien ou l'entretien insuffisant des infrastructures* : le fonctionnement et la pérennité de nombreux périmètres aménagés sont menacés à cause du manque d'entretien des infrastructures et équipements hydrauliques par les exploitants. On assiste même sur la plus part des périmètres irrigués, à la destruction des équipements (par exemple les vannettes). La redevance hydro-agricole payée sur les périmètres est faible, souvent mal gérée et cela ne permet pas d'assurer la maintenance et donc la durabilité des périmètres.

➤ *l'insuffisance de la formation des acteurs* : le savoir-faire et les compétences requises ne sont pas toujours disponibles sur les périmètres irrigués. C'est ainsi que la gestion de l'eau est généralement laissée à la charge d'un exploitant-aiguadier supervisé par un encadreur qui, bien que dominant les techniques de production agricole, ne maîtrise pas la gestion et l'entretien des réseaux d'irrigation, faute de formation adaptée.

CHAPITRE III :

DESCRIPTION DU PERIMETRE IRRIGUE DE LA VALLEE DU KOU

3.1. Situation géographique

La zone d'aménagement rizicole de la Vallée du Kou est située à une trentaine de kilomètres au nord-ouest de la ville de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo-Faramana-frontière du Mali. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes :

- Latitude : 11°22
- Longitude : 4'22°
- Altitude : 300 mètres

3.2. Historique de l'aménagement

Selon Sow et Keizer (1990), les travaux de base du réseau hydraulique ont débuté en 1969 grâce à la coopération taïwanaise, et ont permis de mettre en exploitation les cent premiers hectares en 1970. En 1974, la mission taïwanaise a été remplacée par celle de la République Populaire de Chine qui a poursuivi les travaux d'aménagement jusqu'en 1976. La même année, l'aménagement a été transféré à l'Etat Voltaïque à l'époque et un système d'encadrement rapproché rigide a été instauré, ce qui a permis aux paysans d'avoir rapidement de bonnes connaissances en matière de riziculture.

Dès 1980, le périmètre a bénéficié d'un financement de la BOAD destiné à promouvoir la culture attelée et l'élevage en tant qu'activité économique complémentaire. Cette même année, il y a eu un premier financement de la mission néerlandaise qui était destiné à la réhabilitation du réseau hydraulique très dégradé.

Sur le plan de la production rizicole, les rendements des quatre premières années de la mise en exploitation du périmètre ont atteint 6,5 t/ha de riz paddy. Ces rendements ont

chuté en 1977 à 3,1 t/ha et à 2,8 t/ha en 1982. Cette baisse de rendement était due principalement à une mauvaise gestion de l'eau et des fertilisants entraînant une hausse du niveau de la nappe phréatique et une acidification généralisée des sols. Mais, le chaulage et le drainage réalisés en 1986 par la mission technique néerlandaise sur l'ensemble des sols ont permis de ramener le pH du sol à un niveau acceptable et d'améliorer considérablement les rendements.

Entre 1984 et 1989 le périmètre a bénéficié de la second phase de financement néerlandaise dont les objectifs étaient plutôt axés essentiellement sur la relance de la production, l'amélioration de la gestion de l'eau et la réorganisation de la coopérative.

3.3. Description de l'aménagement

La superficie totale aménagée est de 1 260 ha dont 1 060 ha à 1 100 ha sont exploités annuellement en double campagne rizicole (Nébié, 1995). Le périmètre est irrigué gravitairement au fil de l'eau grâce à une prise de dérivation sur le Kou, affluent du Mouhoun

3.3.1. La prise d'eau

Composée d'un seuil déversant situé en travers du lit du Kou. Elle est munie de vannes avec un système de manœuvre qui permettent de dévier les eaux du Kou vers le canal d'amenée (Nébié, 1995).

3.3.2. Le réseau hydraulique

Le réseau hydraulique du périmètre de la Vallée du Kou comprend de l'amont vers l'aval (annexe 2) :

- un canal d'amenée de 11 km de long avec un débit nominal de $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$;
- un canal principal ou primaire de 11km qui ceinture presque tout le périmètre avec un débit allant de $2,74 \text{ m}^3/\text{s}$ à $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$;

- neuf canaux secondaires d'une longueur de 16,2 km avec un débit allant de 0,490 m³/s à 0,3 m³/s ;
- quatre vingt onze canaux tertiaires de 49 km de long, avec un débit très varié de 0,21 m³/s à 0,037 m³/s ;
- les canaux quaternaires qui sont au nombre de 400 approvisionnent les arroseurs qui conduisent l'eau dans les parcelles.
- les drains sont au nombre de 98 et ont une longueur totale avoisinant 100 km.

Hormis les canaux d'irrigation quaternaires et les drains, l'ensemble du réseau d'irrigation est revêtu (bétonné).

3.3.3. Le parcellaire

Sur le périmètre aménagé de la Vallée du Kou, chaque exploitant occupe une parcelle d'un (1) hectare qui est divisé en 20 casiers de 500 m² (20 m x 25 m) entourée de diguettes en terre et des pistes permettant d'accéder aux casiers

3.3.4 L'organisation de la gestion de l'eau

Le réseau hydraulique a été conçu pour une irrigation gravitaire continue (24 heures sur 24). Les irrigations sont effectuées à partir de la connaissance des besoins en eau pour chaque bloc et surtout en fonction de la disponibilité de celle-ci. Les canaux secondaires du réseau étaient supervisés par 4 aiguadiers choisis et formés par la cellule technique du projet en son temps. Leur rôle est essentiellement voué à l'ouverture et la fermeture des vannes. De nos jours, leur nombre a diminué ; il ne reste plus qu'un aiguadier sur tout le périmètre. Cela est dû au manque de moyens financiers de la coopérative pour prendre les quatre en charge.

En effet, au départ de chaque secondaire des échelles de lecture de débit sont placées permettant de mesurer le débit qui transite et de procéder à leur répartition rationnelle dans les

tertiaires. Un responsable est nommé dans chaque tertiaire dont le rôle est de gérer l'eau envoyée par le secondaire. Tous les exploitants d'un même quartier dominé par un tertiaire s'organisent avec le responsable du tertiaire pour l'irrigation à tour de rôle de leur parcelle. Si un problème de manque d'eau est ressenti dans un tertiaire, il est immédiatement transmis au responsable du secondaire qui saisit dans les minutes qui suivent l'aiguadier.

L'ensemble des eaux de drainage sont recueillies successivement par les drains quaternaires, tertiaires, secondaires et principaux qui conduisent l'eau drainée vers le lac de Bama.

3.4. Environnement physique naturel

3.4.1 Le climat

Le climat de la Vallée du Kou est de type sud-soudanien (Koné, 1982 ; Guinko, 1984). Il est caractérisé par une alternance d'une saison pluvieuse (mai à octobre) et d'une saison sèche (novembre à avril).

Les données suivantes relatives aux différentes composantes du climat sont des moyennes de 10 années d'observation et sont obtenues à la station agrométéorologique de l'antenne d'expérimentation de l'INERA sise à la Vallée du Kou.

3.4.1.1 La Pluviométrie

Relativement bien arrosée, la zone de la Vallée du Kou peut être considérée comme privilégiée par rapport à d'autres zones (centre, nord) du pays. L'hivernage s'étale entre le mois de mai et le début du mois d'octobre (figure 5). Mais quelques pluies isolées peuvent tomber à partir du mois de mars. Le mois le plus arrosé étant août, suivi du mois de juillet, tandis que la période la plus sèche s'étend de novembre à février.

3.4.1.2. *Les Températures*

Les températures moyennes mensuelles de la Vallée du Kou (Figure 6) présentent deux maxima : l'un, le plus fort (30,7 °C) est observé en fin de saison sèche (avril), et l'autre qui est peu accusé (27,5 °C), est enregistré en fin d'hivernage (octobre). Le minimum absolu se situe en janvier (24 °C), alors qu'un minimum relatif (26,4 °C) apparaît au milieu de la saison humide (août). Les amplitudes thermiques sont plus fortes en saison sèche qu'en saison humide.

3.4.1.3. *L'insolation*

L'insolation moyenne annuelle est de l'ordre de 2685 heures (7 heures 20 mn/j) et produit des effets énergétiques variant entre 0,90 et 1,20 cal / cm²/mn (Bazi, 1991).

3.4.1.4. *L'humidité relative de l'air et évaporation*

L'humidité relative moyenne de l'air est forte en saison pluvieuse où elle atteint un maximum de 78,7 % en août (figure 7). Elle décroît avec la baisse de la tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère. Les plus faibles valeurs sont enregistrées en saison sèche froide avec un minimum en février (36,9 %).

Les variations journalières permettent de distinguer une humidité relative moyenne de l'air assez élevée dans la matinée qui devient faible en fin de journée (Sawadogo, 1986). L'hygrométrie est toute fois beaucoup influencée par le micro-climat crée par les irrigations en saison sèche fraîche et chaude.

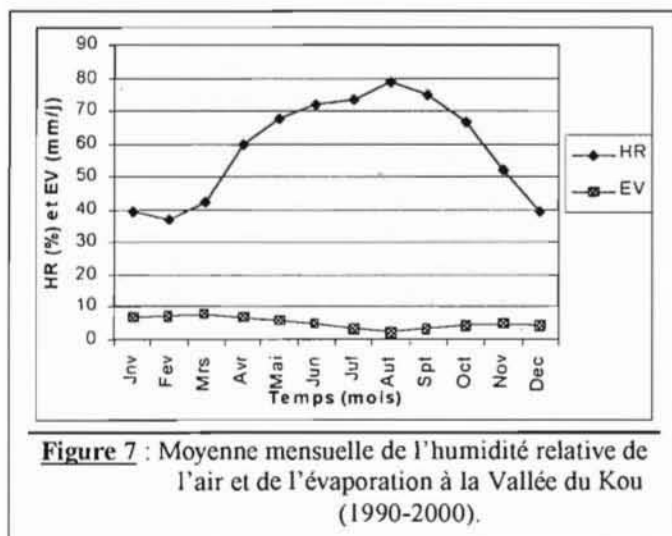
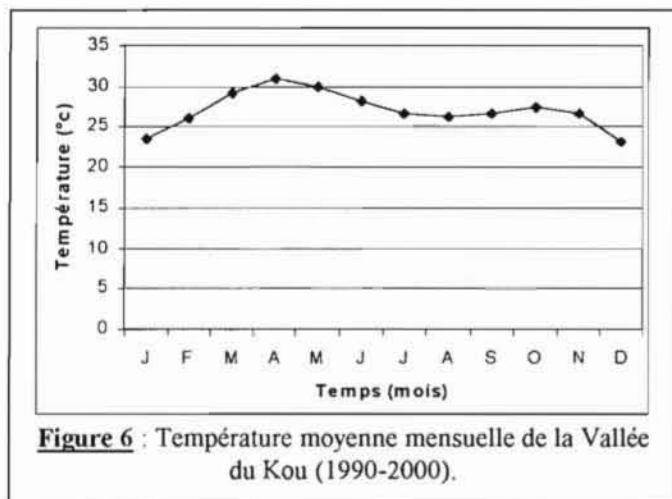
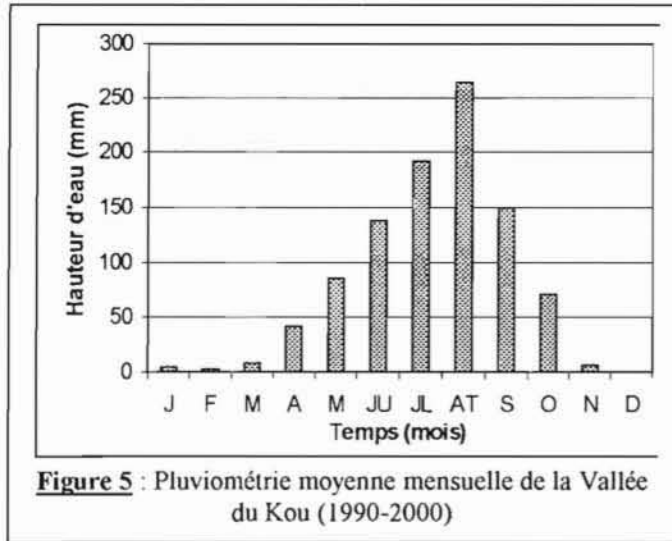
Les valeurs de l'évaporation sont élevées vers la fin de la saison sèche (figure 7) où les valeurs de 7- 8 mm/j, ne sont pas rares, surtout en mars où la valeur de 7,9 mm/j est enregistrée. Les plus faibles valeurs sont obtenues en saison pluvieuse avec un minimum en août (2,5 mm/j).

3.4.1.5. *Le vent*

La zone de la Vallée du Kou, à l'instar de tout le pays est dominé par deux types de vent (Bazi, 1991) :

- l'harmattan, vent sec et chaud orienté est et nord-est, souffle de novembre à mars. Il est turbulent et très desséchant.

- la mousson, vent frais et humide, qui s'installe avec la remontée du Front intertropical (F.I.T.) du 12° nord en avril au 22° nord en juillet et août. Ce vent dont le régime varie avec les fluctuations du F.I.T. est à l'origine des formations pluvio-orageuses. Il est orienté ouest et sud ouest.



3.4.2. La végétation

La végétation naturelle de la région de la Vallée du Kou est de type savane arbustive et arborée. La phytogéographie décrite par Guinko (1984) classe la Vallée du Kou dans le secteur soudanien méridional.

Les formations végétales de la strate boisée se composent essentiellement d'essences, telles que : *Parkia biglobosa*, *Detarium microcarpum*, *Sclerocarya birrea*, *Vitellaria paradoxa*, *Piliostigma thonningii*, *Butyrospermum parkii*, *Tamarindus indica*.

Le tapis graminéen est composé d'espèces, telles que *Andropogon spp*, *Pennisetum pedicellatum*, *Fragrostis tremula* (Koné, 1982).

3. 4.3. Les sols

Les travaux entrepris par Nébié (1995), ont permis de distinguer sur la base de leur caractéristique texturale, 6 types de sols à la Vallée du Kou. Leur proportion de répartition sur l'ensemble du périmètre est la suivante :

- les sols à texture moyenne à légère couvrent 66 % du périmètre et regroupent des sols sablo-argilo-limoneux, sablo-argileux, limoneux, sablo-limoneux.

- les 34 % de sols restants sont des sols à texture lourde (sols argileux et sols argilo-limoneux) et sont mieux indiqués pour la riziculture du fait de leur forte capacité de rétention en eau.

La répartition de ces sols sur la plaine est hétérogène. En effet, les sols sablo-argilo-limoneux, les sols limoneux et les sols argilo-limoneux se trouvent un peu partout sur le périmètre. Par contre, les sols purement argileux sont concentrés entre le deuxième et le troisième quartier ainsi que les parcelles des sixième et septième quartier. Les sols à texture légère à moyenne constituent une contrainte pédologique majeure à la culture du riz et posent deux types de problème. Le premier a trait à leur tassement, phénomène d'autant plus accentué que les sols sont pauvres en matière organique. Le deuxième problème est celui de leur forte infiltration, entraînant l'utilisation de fortes doses d'irrigation pour la satisfaction

des besoins en eau du riz (IWACO, 1986). Cela favorise la lixiviation des éléments nutritifs et, par conséquent, réduit la fertilité des sols.

Ces sols ont surtout une réaction acide (pH eau variant entre 5,5 et 6,5) avec des concrétions ferrugineuses qui font surface dans certaines zones et le mauvais drainage crée par endroit une toxicité de fer (Nébié, 1995).

3.4.4 Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est essentiellement constitué par la rivière du Kou qui prend sa source à Péni au sud de Bobo-Dioulasso. Il se jette dans le Mouhoun à l'aval du périmètre irrigué. Il présente, surtout en saison des pluies et au début de la saison sèche, un débit assez élevé pouvant atteindre 14,3 m³/s au mois d'août. Ce débit peut baisser jusqu'à 3,09 m³/s au mois de mars en saison sèche (IWACO, 1986).

L'étude de la réserve d'eau souterraine du bassin versant du Kou fait ressortir qu'en année sèche, cette réserve peut fournir un débit minimum continu de 2,4 m³/s, soit 2400 l/s (IWACO, 1986).

DEUXIEME PARTIE :
MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE IV :

MATERIEL ET METHOES

4. 1. Matériel

4. 1. 1 Le site d'étude

L'essai a été conduit sur le périmètre irrigué de la Vallée du Kou et, plus précisément, sur l'une des parcelles de l'antenne d'expérimentation de l'INERA située sur ce périmètre. L'essai s'est déroulé durant la saison humide 2000, à partir de la mi-juillet et a duré quatre mois et demi. La récolte est intervenue en fin novembre.

4.1.2 L'évolution des paramètres climatiques au cours de l'essai

Les paramètres météorologiques de la zone de la Vallée du Kou ont évolué comme suit durant la période de l'essai (annexe 3):

- la pluviométrie a été de 150 mm en juillet et de 325mm en août. Elle décroît par la suite (108 mm en septembre et 46 mm en octobre) pour s'annuler en novembre
- Le taux d'hygrométrie a beaucoup varié au cours de l'essai. De façon générale, l'hygrométrie accuse un pic en août (78,5%) et une baisse au mois de novembre (61,5%) ;
- L'évaporation présente une valeur minimale en août (25,15 mm) et croît pour atteindre son maximum en novembre (41,15 mm) ;
- Durant toute la période couvrant l'essai, les températures minimale et maximale ont varié respectivement de 18,5 °C à 22,4 °C et de 30,9 °C à 35 °C. Néanmoins, les valeurs minimale (18,5 °C) et maximale (35 °C) ont été enregistrées en novembre.

4.1.3 Les caractéristiques physiques et chimiques du sol de l'essai.

4.1.3.1. Les caractéristiques physiques du sol

Le sol utilisé pour l'expérimentation est de type ferrugineux tropical lessivé induré peu profond (Nébié, 1995). L'analyse granulométrique effectuée au laboratoire de physique de sol de l'INERA Farako ba sur des échantillons de sol prélevés à deux niveaux de profondeurs (0-10 cm et 10-30 cm) montre (tableau 1) que dans l'horizon 0-10 cm, le sol est de texture sablo-argilo-limoneuse avec une densité apparente de 1,64. Par contre, dans l'horizon 10-30 cm, le sol est de texture sablo-limoneuse avec une densité apparente de 1,73. Nous constatons que sur l'essai, le sol est de texture moyenne en surface et au-delà de 10 cm, de texture légère.

Tableau 1 : Résultats de l'analyse des caractéristiques physiques du sol

Profondeur (cm)	Densité apparente	Pourcentage des éléments (%)			Texture
		Argile	Limon	Sable	
0-10	1,64	34,1	12,9	53	Limono-argilo- sableuse
10-30	1,73	7,6	11,1	81,3	Sablo-limoneuse

Source : laboratoire sol-eau-plante de l'INERA Farako-ba

NB : 10 échantillons de sol ont été prélevés dans l'horizon 0-10 cm et 10 également dans l'horizon 10-30 cm.

4.1.3.2. Les caractéristiques chimiques du sol

Les caractéristiques chimiques du sol de l'essai ont été évaluées au laboratoire sol-eau-plante de l'INERA à Kamboinsé. Ces analyses ont été réalisées sur les horizons 0-10 cm, 10-20 cm, et 20-30cm ; chacun des horizons comportant six échantillons prélevés avant l'implantation e l'essai. Les paramètres concernés sont : l'acidité du sol (pH_{kcl}, pH_{eau}), l'azote total, la matière organique, le phosphore assimilable et le potassium échangeable. (tableau 2).

Il ressort de cette analyse que le sol destiné à l'essai est pauvre en azote total, a une teneur faible en matière organique, très pauvre en phosphore assimilable et en potassium échangeable. Quant à l'acidité du sol, l'analyse révèle un pHeau très acide et un pHkcl très fortement acide dans l'horizon 0-10 cm et extrêmement acide dans les horizons 10-20 cm et 20-30 cm (les détails sont présentés en annexe 4).

Tableau 2 : Résultats de l'analyse chimique du sol

Variables	Profondeurs (cm)	Classes
K ⁺ meq/100 g	0-10	Très pauvre
	10-20	Très pauvre
	20-30	Très pauvre
pHeau	0-10	Très acide
	10-20	Très acide
	20-30	Très acide
pHkcl	0-10	Très fortement. acide
	10-20	Extrêmement acide
	20-30	Extrêmement acide
Azote total (ppm)	0-10	Pauvre
	10-20	Pauvre
	20-30	Pauvre
Phosphore assimilable (ppm)	0-10	Très pauvre
	10-20	Très pauvre
	20-30	Très pauvre
Matière organique (p.c)	0-10	Faible
	10-20	Faible
	20-30	Faible

Source : laboratoire sol-eau-plante de l'INERA Kamboinsé

4.1.4. Le matériel végétal

La variété de riz utilisée est la FKR 28 ou ITA 123 originaire du Nigeria. Elle appartient au groupe variétal *indica*. Cette variété, introduite au Burkina Faso en 1983, est vulgarisée depuis la campagne de la saison pluvieuse de 1991 à la Vallée du Kou. C'est une

variété dont le cycle semis-maturité est de 120 jours. Elle a un port érigé et sa hauteur moyenne est de 95 cm. Elle présente une bonne réponse aux engrais et une résistance assez bonne à la *pyriculariose* et à la verse. Son potentiel de rendement en milieu paysan est de l'ordre de 5 à 6 t/ ha (voir fiche descriptive en annexe 5).

4.2. Méthodes

4.2.1. Le plan expérimental

4.2.1.1 *Dispositif expérimental*

Le dispositif expérimental est un «split-split-plot». Il est conçu pour étudier l'interaction entre trois méthodes d'irrigation, trois doses d'azote et deux niveaux de mise en boue du sol. C'est un dispositif à quatre répétitions ou blocs (annexe 6).

4.2.1.2. *Traitements étudiés*

Chaque répétition est divisée en parcelles principales représentant les trois « méthodes de gestion de l'eau » :

- *méthode d'irrigation I_1* : maintien d'une lame d'eau de 5-10 cm sans drainage avant l'application de l'azote. Mais, l'irrigation de ces parcelles intervient à chaque fois que la lame d'eau descend au-dessous de 5 cm.
- *méthode d'irrigation I_2* : irrigation par intermittence et drainage de la parcelle avant l'application de l'azote suivi d'une remise en eau immédiate. Les irrigations ont lieu sur ces parcelles seulement quand la lame d'eau est comprise entre 1-2 cm.
- *méthode d'irrigation I_3* : maintien d'une lame d'eau de 5-10 cm et drainage avant l'application de l'azote suivi d'une remise en eau 3 jours après. Les irrigations interviennent quand la lame d'eau est au-dessous de 5 cm.

Chaque parcelle principale (ou méthode d'irrigation) est subdivisée en trois sous parcelles ou parcelles secondaires correspondant aux traitements «doses d'azote» suivant :

- N₁ : 70 unités de N/ha
- N₂ : 100 unités de N/ha
- N₃ : 130 unités de N/ha

Chaque parcelle secondaire est également subdivisée en deux parcelles tertiaires ou parcelles élémentaires recevant à son tour les deux traitements «niveau de mise en boue»

- B1 : parcelle mise en boue
- B2 : parcelle non mise en boue

- Les dimensions des parcelles :

- les parcelles principales (méthodes d'irrigation) ont chacune 96 m² (12 m x 8 m) ;
- les parcelles secondaires (niveau d'azote) ont chacune 32 m² (8 m x 4 m) ;
- les parcelles tertiaires ou élémentaires (niveaux de mise en boue) ont chacune 16 m² (4 m x 4 m).

Les parcelles principales et secondaires sont séparées par des diguettes de 0,30 m de large et 0,30 m de haut, afin de faciliter l'irrigation et d'assurer une bonne gestion des engrais. Quant aux répétitions, elles sont séparées par des allées de 1,5 m ou 2 m.

Ces 8 traitements principaux donnent par répétition dix huit (18) traitements élémentaires représentés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Combinaison des traitements par parcelle élémentaire dans chaque répétition

Méthodes d'irrigation	Niveau de fertilisation azotée (unités de N/ha)	Niveau de mise en boue du sol	Traitements élémentaires
I ₁	70	B ₁	T1
		B ₂	T2
	100	B ₁	T3
		B ₂	T4
	130	B ₁	T5
		B ₂	T6
I ₂	70	B ₁	T7
		B ₂	T8
	100	B ₁	T9
		B ₂	T10
	130	B ₁	T11
		B ₂	T12
I ₃	70	B ₁	T13
		B ₂	T14
	100	B ₁	T15
		B ₂	T16
	130	B ₁	T17
		B ₂	T18

I₁ : Maintien d'une lame d'eau entre 5-10 cm sans drainage pour l'application de l'azote.

I₂ : Irrigation par intermittence mais drainage avant l'application de l'azote suivi d'une remise en eau immédiate.

I₃ : Maintien d'une lame d'eau entre 5-10 cm, mais drainage pour l'application de l'azote suivi d'une remise en eau trois 3 jours après.

B₁ : Mise en boue du sol

B₂ : Non mise en boue du sol

4.2.2. Conduite de la culture

4.2.2.1. *Préparation et mise en place de la pépinière*

La pépinière a été préparée à proximité de la rizière à repiquer. Au préalable, quatre kilogrammes de semences ont été trempés dans de l'eau avant d'être mise à pré-germer pendant 72 heures dans un endroit suffisamment humide.

Le sol destiné à la pépinière a été nettoyé, humecté et hersé. Puis le semis des graines pré-germées a été effectué à la mi-juillet. L'ensemble de la pépinière a été recouvert de paille sèche afin de la protéger contre les oiseaux granivores.

4.2.2.2. *Préparation des parcelles de l'essai*

Le labour, d'une profondeur de 20 cm, a été fait à l'aide d'un tracteur. Après piquetage et mise en place du dispositif expérimental, un concassage et une mise en boue fine ont été réalisés uniquement sur les parcelles concernées. Ensuite, l'ensemble des parcelles ont été planées avant le repiquage.

4.2.2.3. *Repiquage du riz*

Quatre semaines après le semis en pépinière, les plantules arrivées au stade 3-4 feuilles ont été repiquées à la mi-août 2 000, à raison d'un brin par poquet avec des écartements de 20 cm entre les lignes et 20 cm sur les lignes. Tout le repiquage a été réalisé en un jour.

4.2.2.4. *Entretien de la culture*

La fumure de fond utilisée au repiquage est le complexe NPK (14-23-14) à la dose de 300 kg/ha. Quant à la fumure de couverture elle a été portée au cours de la végétation en deux fractions égales d'azote sous forme d'urée. Le premier apport a lieu en début tallage, soit deux semaines après le repiquage à la dose de 35 unités N/ha, 50 unités N/ha et de 65 unités N/ha

respectivement pour N₁, N₂, N₃. Le second apport est intervenu à l'initiation paniculaire soit 60 jours après le repiquage. Mais les modes d'application varient en fonction des différents traitements (tableau 3).

Les sarclages ont été effectués manuellement à la demande. Pour la protection phytosanitaire, l'insecticide utilisé est le Décis (1 boîte de 100 cc de p.c. pour 2 000 m²) en deux reprises durant l'essai : le 11 septembre et le 08 octobre 2 000 contre des attaques de *Nymphulla*.

4.2 2.5 Récolte

Lorsque 80% des panicules ont atteint la couleur paille, la récolte a été envisagée et a eu lieu le 25 novembre 2 000.

4.2 3. Suivi de la culture et observations

Le suivi de la culture et les observations ont porté :

- d'abord, sur le déroulement du cycle : dates de semis de la pépinière et de repiquage, dates de désherbage et de fertilisation, date d'épiaison à 50 %, période de maturité et de récolte.

- ensuite, sur les modes de gestion de l'eau : les variations de la lame d'eau dans toutes les parcelles ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée en centimètre et en millimètre, la moyenne de trois mesures étant retenue comme hauteur de la lame d'eau. Pour ce qui est des débits d'irrigation (Q), ils ont été mesurés pour chaque parcelle à l'entrée du bloc concerné grâce à des déversoirs RBC (Clemmens et *al.*, 1984) et en chronométrant les temps (t) d'irrigation, en vue de déterminer les volumes (V) d'eau apportés.

$$V = Q \times T$$

Avec : V en litre (l),

Q en l/s

T en seconde (s)

L'efficience de l'eau a également été déterminée par la formule suivante (Ministère Français de la Coopération, 1979) :

$$\text{Efficience (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Rendement (kg/ha)}}{\text{Consommation en eau (m}^3\text{/ha)}}$$

- enfin, sur la croissance et le développement de la culture, les composantes de rendement et le rendement grains. Les composantes de rendement comprennent le nombre de talles à 60 jours, le nombre de panicules par mètre carré, le nombre de grains par panicule, et le poids de 1000 grains. Ces différents paramètres ont été évalués à partir des carrés de rendement. Ces carrés ont été disposés dans chaque parcelle élémentaire et à raison d'un carré par parcelle. Les carrés ont été délimités par des piquets.

➤ *Observations réalisées au cours du cycle*

La détermination du nombre de talle par mètre carré a été effectuée par comptage au champ 60 jours après le repiquage.

➤ *Observations réalisées à la maturité*

La détermination du nombre de panicules par mètre carré a été effectuée au champ. Dans chaque carré de sondage, on a procédé au comptage de toutes les panicules qui s'y trouve.

La hauteur des plants, elle a également été mesurée au champ. A cet effet, une règle graduée en centimètre de longueur totale 2 m a été placée verticalement et successivement au pieds de 10 poquets choisis au hasard dans le carré de rendement ; cela a permis de déterminer la hauteur de chacun des 10 poquets. Ensuite, la hauteur moyenne des plants dans le carré a été déterminée en utilisant la formule ci-dessous :

$$H_m = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_{10}}{10}$$

Avec

H_1 : hauteur des panicules du 1^{er} poquet (cm) ;
 H_{10} : hauteur des panicules du 10^{ème} poquet (cm) ;
 H_m : hauteur moyenne des panicules dans un carré de sondage (cm).

➤ *observations réalisées après la récolte*

La détermination du nombre de grains par panicules a été faite de la façon suivante : dans chaque carré de rendement, 10 panicules ont été choisies de façon aléatoire et le nombre de leurs grains déterminé. Ensuite, la moyenne du nombre de grains des 10 panicules a été retenue comme nombre total de grains par panicule. Cela a été réalisé comme suite :

$$GT = \frac{nGP1 + nGP2 + \dots + nGP10}{10}$$

Avec GT : nombre total de grains par panicule ;
 $nGP1$: nombre de grains de la 1^{ère} panicule ;
 $nGP10$: nombre de grains de la 10^{ème} panicule.

Toujours sur les 10 panicules choisies, nous avons déterminé le nombre de grains vides par panicule puis, par une soustraction, déduit le nombre de grains pleins par panicule.

$$GP = GT - GV$$

Avec GT : nombre total de grains ;
 GV : nombre de grains vides ;
 GP : nombre de grains pleins.

Ensuite, une division du nombre de grains pleins par le nombre de grains total, le tout multiplié par 100. Cela nous a permis de déterminer le pourcentage de grains pleins par panicule :

$$GP^* = \frac{GP}{GT} \times 100$$

Avec GP* : pourcentage des grains pleins par panicule (%) ;
 GT : nombre total de grains ;
 GP : nombre de grains pleins.

La même opération a été effectuée sur les 10 panicules puis la moyenne du pourcentage des grains pleins sur l'ensemble des panicules choisies sera retenue comme pourcentage total des grains pleins par panicule.

$$GP^*_1 = \frac{GP^*_1 + GP^*_2 + \dots + GP^*_{10}}{10}$$

Avec GP*₁ : pourcentage total des grains pleins par panicule (%);
 GP*₁ : pourcentage des grains pleins de la 1^{ère} panicule (%);
 GP*₂ : pourcentage des grains pleins de la 2^{ème} panicule (%);
 GP*₁₀ : pourcentage des grains pleins de la 10^{ème} panicule (%).

Pour ce qui est de la détermination du poids de 1000 grains, elle a été faite à partir des grains pleins comptés sur les 10 panicules de chaque carré de rendement. Un comptage préliminaire a été effectué en vue de déterminer les 1000 grains qui ont ensuite été pesés pour évaluer leur poids.

Après que toutes les panicules des parcelles élémentaires aient été récoltées, étiquetées, ensachées puis transportées à l'antenne de l'INERA à la Vallée du Kou, on a procédé au battage et au séchage, cela a conduit à la détermination du poids des grains dans chaque parcelle élémentaire et du rendement (kg /ha) à 14 % d'humidité.

- enfin, l'observation a également porté sur la qualité des grains, principalement sur la coloration des grains, la fermeture des glumelles, la pilosité des glumelles, les dimensions des grains et leur teneur en éléments nutritifs.

5.5. Analyses statistiques des données

Les données collectées ont été saisies dans le tableur Microsoft Excel, puis traitées avec le logiciel de statistique Genstat (General statistics) mis au point par la station de

Rothamsted en Grande Bretagne et commercialisé par le groupe NAG, Ltd. L'analyse de ces données a été faite suivant la procédure ANOVA (analysis of variance).

La séparation des moyennes a été effectuée avec le test de BONFERRONI : méthode de la Plus Petite Différence Significative (PPDS), lorsque le test d'analyse de variance est significatif au seuil de 5% au moins.

TROISIEME PARTIE :

RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE V: RESULTATS ET DISCUSSIONS

5.1. Analyse de variance sur les paramètres agronomiques.

5.1.1. Résultats des traitements étudiés sur les composantes de rendement, le rendement grains et la hauteur des plants.

5.1.1.1. *Effets du niveau de mise en boue du sol.*

Tableau 4 : Analyse de l'effet du niveau de mise en boue du sol sur les paramètres agronomiques du riz à la Vallée du Kou.

Niveaux de mise en boue du sol	Talles à 60 jours	Panicules/m ²	Grains/Panicule	Poids de 1000 grains(g)	Hauteur des plants (cm)	Rendement des grains (t/ha)
B1	528,2	363,5	119,4	25,354	96,25	5,281
B2	488,7	348,0	111,2	25,138	96,13	4,716
PPDS	59,54	16,17	4,77	0,1496	0,624	0,5917
CV(%)	5,2	2,0	1,8	0,3	0,3	5,3
F probabilité.	0,125	0,056	0,012	0,020	0,577	0,056
Signification	NS	NS	S	S	NS	NS

B1 : Mise en boue du sol S : Significatif NS : Non significatif CV : Coefficient de variation
 B2 : Non mise en boue du sol PPDS : Plus petite différence significative

Au regard des données du tableau 4, les deux niveaux de mise en boue du sol (B₁ et B₂) ne permettent pas de différencier significativement, au seuil de 5%, le nombre de talles à 60 jours, ni le nombre de panicules par mètre carré, ni la hauteur des plants, ni même le rendement grains. Par contre, leur effet est significatif sur le nombre de grains par panicule (P=0,012) et le poids de 1000 grains (P=0,020), où la mise en boue du sol (B₁) permet d'obtenir des valeurs supérieures à la non mise en boue (B₂).

5.1.1.2. *Effets des doses d'azote.*

Les résultats de l'impact des doses d'azote sur les paramètres agronomiques sont donnés dans le tableau 5. On constate que les doses croissantes d'azote produisent une

différence très hautement significative ($P < 0,001$) sur chaque paramètre agronomique étudié ; excepté le poids de 1000 grains où leur action est simplement significative ($P=0,036$).

Tableau 5 : Analyse de l'effet des doses croissantes d'azote sur les paramètres agronomiques du riz irrigué à la Vallée du Kou.

Doses croissantes d'azote	Talles à 60 jours	Panicules /m ²	Grains /panicules	Poids de 1000 grains (g)	Hauteur des plants (cm)	Rendement grains (t/ ha)
N1	438,4	327,2	108,0	25,074	94,78	4,587
N2	521,4	359,1	112,8	25,218	96,15	5,074
N3	565,7	380,9	125,1	25,445	97,63	5,334
PPDS	23,33	14,81	5,53	0,2581	0,952	0,2433
CV(%)	7,8	7,1	8,2	1,7	1,7	8,3
F probabilité	<0,001	<0,001	<0,001	0,036	<0,001	<0,001
Signification	THS	THS	THS	S	THS	THS

PPDS : Plus petite différence significative ...S : Significatif CV : Coefficient de variation
 THS : Très hautement significative N1 : 70 unités N/ha N2 : 100 unités N/ha N3 : 130 unités N/ha

5. 1.1.3. Effets des méthodes d'irrigation.

Tableau 6 : Analyse de l'effet des méthodes d'irrigation sur les paramètres agronomiques du riz à la Vallée du Kou.

Méthodes d'irrigation	Talles à 60 jours	Panicules /m ²	Grains/ panicules	Poids de 1000 grains (g)	Hauteur des plants (cm)	Rendement grains (t/ ha)
I1	500,9	359,4	114,2	25,333	96,44	5,032
I2	516,1	346,8	115,0	25,172	96,10	4,074
I3	508,4	361,0	116,7	25,233	96,03	5,334
PPDS	57,90	10,35	6,48	0,2156	0,778	0,4089
CV(%)	10,5	2,7	5,2	0,8	0,7	7,5
F probabilité	0,851	0,022	0,684	0,293	0,496	0,266
Signification	NS	S	NS	NS	NS	NS

S : Significatif NS : Non significatif CV : Coefficient de variation
 PPDS : Plus petite différence significative

I₁ : Maintien d'une lame d'eau 5-10 cm sans drainage pour l'application d'azote.

I₂ : Irrigation par intermittence avec drainage pour l'application de l'azote avec une remise en eau immédiate.

I₃ : Maintien d'une lame d'eau 5-10 cm et drainage pour l'application de l'azote suivi d'une remise en eau 3 jours après

Il ressort de l'évaluation des méthodes d'irrigation sur les paramètres agronomiques (tableau 6) une différence non significative au seuil de 5% sur presque tous les paramètres, sauf sur le nombre de panicules par mètre carré où leur action est significative ($P=0,022$).

5.1.1.4. *Effets sur les paramètres agronomiques des interactions des différents traitements.*

L'interaction «méthodes d'irrigation x doses d'azote» produit une différence significative ($P=0,023$) sur le poids des 1000 grains ; alors que sur les autres paramètres, la différence est non significative au seuil de 5% (tableau 7).

Quant aux interactions «niveau de mise en boue x doses d'azote» et «méthodes d'irrigation x niveau de mise en boue» ; elles ne révèlent pas de différence statistiquement significative sur les paramètres agronomiques (tableaux 8 et 9). L'interaction combinant les trois facteurs «méthodes d'irrigation x doses d'azote x niveaux de mise en boue» a également été étudiée. Les résultats consignés au tableau 10 ne permettent pas de montrer un effet significatif de cette interaction au seuil de 5 %.

Tableau 7 : Analyse de l'effet de l'interaction irrigation x doses d'azote (I x N) sur les paramètres agronomiques du riz à la Vallée du Kou

Interaction I x N	Talles à 60 jours			Panicules /m ²			Grains /panicules			Poids de 1000 grains (g)			Hauteurs des plants (cm)			Rendement grains (t/ ha)		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
I1	436,8	513	553	328,2	368,2	381,7	104,2	113,1	125,1	25,281	25,234	25,385	94,85	96,61	97,85	4,601	5,035	5,459
I2	446,1	540	562,2	313,6	350,6	376,1	110,4	112,2	122,4	24,710	25,385	25,320	94,90	95,96	97,43	4,506	5,059	4,902
I3	432,3	511,1	581,7	339,8	358,4	384,9	109,4	113,1	127,7	25,331	25,436	25,531	94,59	95,89	97,63	4,652	5,5,129	5,64
PPDS		64,68			22,88			9,81			0,413			1,515			0,515	
CV (%)		7,8			7,1			8,2			1,7			1,7			8,3	
F proba.		0,48			0,704			0,675			0,023			0,968			0,152	
Significatif.		NS			NS			NS			S			NS			NS	

PPDS : Plus petite différence significative CV : Coefficient de variation NS : Non significatif S : Significatif

N1 : 70 unités N/ha N2 : 100 unités N/ha N3 : 130 unités N/ha

Tableau 8 : Analyse de l'effet de l'interaction niveau de mise en boue x dose azote (B x N) sur les paramètres agronomiques du riz à la Vallée du Kou.

Interaction B x N	Talles à 60 jours			Panicules /m ²			Grains /panicules			Poids de 1000 grains (g)			Hauteurs des plants (cm)			Rendement grains (t/ ha)		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3	N1	N2	N3
B1	465,3	534,7	584,6	337,1	363,4	389,9	111,9	115,6	130,8	25,232	25,492	25,338	95,23	95,93	97,69	4,821	5,357	5,665
B2	411,3	508	546,7	317,3	354,7	371,9	104,1	110,1	119,4	24,917	25,345	25,153	94,33	96,38	97,58	4,352	4,792	5,003
LSD		54,85			20,24			7,08			0,3121			1,166			0,5471	
CV(%)		7,8			7,1			8,2			1,7			1,7			8,3	
Fproba.		0,501			0,719			0,565			0,787			0,350			0,723	
Signif.		NS			NS			NS			NS			NS			NS	

PPDS : Plus petite différence significative CV : Coefficient de variation NS : Non significatif

N1 : 70 unités N/ha N2 : 100 unités N/ha N3 : 130 unités N/ha

Tableau 9 : Analyse de l'effet de l'interaction irrigation x niveau de mise en boue (I x B) sur les paramètres agronomiques à la Vallée du Kou.

Interaction I x B	Talles à 60 jours		Grains / panicules		Panicules / m ²		Poids de 1000 grains (g)		Hauteurs des plants (cm)		Rendement grains (t/ ha)	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
I1	536,1	465,7	117,4	110,9	337,1	317,3	25,484	25,182	96,55	96,33	5,403	4,660
I2	523,7	508,5	118,6	111,4	363,4	354,7	25,229	25,114	96,41	95,78	4,974	4,671
I3	524,8	491,9	112,2	111,2	389,9	371,9	25,347	25,118	96,79	96,28	5,665	4,816
PPDS	76,82		8,00		16,55		0,2637		0,973		0,6256	
CV (%)	10,5		5,2		2,7		0,8		0,7		7,5	
Fproba.	0,585		0,723		0,245		0,647		0,325		0,488	
Signifi.	NS		NS		NS		NS		NS		NS	

PPDS : Plus petite différence significative NS : Non significatif B1 : :Mise en boue du sol B2 : Non :mise en boue du sol

I₁ :Irrigation par submersion et application d'azote sans drainage I₂ : Irrigation par intermittence I₃ : Irrigation par submersion et drainage pour l'application de l'azote

Tableau 10 : Analyse de l'effet de l'interaction méthodes d'irrigation x dose d'azote x niveau de mise en boue du sol (I_xN_xB) sur les paramètres agronomiques du riz à la Vallée du Kou.

Interaction I _x N _x B	Talles à 60 jours		Grains / panicules		Panicules/ m ²		P. de 1000 grains (g)		Hauteur des plants (cm)		Rendement grains (t/ ha)	
	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
I1N1	470,5	403	110,2	100,2	345,2	311,2	25,488	25,175	95,175	95,38	5,055	4,147
I1N2	545,5	480,5	118	109,2	360,2	357,2	25,470	24,997	96,10	97,00	5,298	4,772
I1N3	592,2	513,8	127	123,2	390,2	373,2	25,395	25,375	97,18	97,15	5,758	5,060
I2N1	461,3	431	113	107,7	326	301,2	25,02	24,85	96,05	93,75	4,427	4,585
I2N2	562,2	537,7	120,2	110,2	362,5	354,7	25,507	25,162	95,10	95,40	5,285	4,852
I2N3	558,7	546,7	116,5	116,2	354,7	350,5	25,360	25,280	96,65	97,00	5,230	4,575
I3N1	464,2	400,3	114,5	104,2	340,0	339,5	25,287	24,975	95,25	94,93	4,98	4,325
I3N2	556,5	505,7	120,5	110,7	379,5	352,2	25,497	25,175	96,52	96,60	5,508	4,75
I3N3	593,7	579,7	136,8	118,7	398,7	380,0	25,657	25,255	97,95	97,50	5,998	5,373
PPDS	87,55		13,29		33,02		0,5687		2,097		0,7631	
CV(%)	7,8		8,2		7,1		1,7		1,7		8,3	
F probabilité	0,831		0,742		0,647		0,649		0,148		0,353	
Significatif.	NS		NS		NS		NS		NS		NS	

NS : Non significatif B1 : Mise en boue du sol B2 : Non mise en boue du sol

PPDS : Plus petite différence significative CV(%) : Coefficient de variation

I₁ : Maintien d'une lame d'eau 5-10 cm sans drainage pour l'application d'azote.

I₂ : Irrigation par intermittence avec drainage pour l'application de l'azote avec une remise en eau immédiate.

I₃ : Maintien d'une lame d'eau 5-10 cm et drainage pour l'application de l'azote suivi d'une remise en eau 3 jours après.

N1 : 70 unités N/ha

N2 : 100 unités N/ha

N3 : 130 unités N/ha

B1 : Mise en boue du sol

B2 : Non mise en boue du sol

5.1.2. Discussion et conclusion sur les composantes de rendement, les rendements grains et la hauteur des plantes.

Les résultats de l'analyse statistique nous permettent d'apprécier les effets des principaux traitements et leurs interactions sur les paramètres agronomiques du riz étudié.

- *En ce qui concerne le niveau de mise en boue du sol*, le rendement grains et la hauteur des plants n'affichent pas de différence significative entre ces deux traitements, tandis que les composantes de rendement ne révèlent qu'une différence partielle entre ces deux méthodes de préparation du sol (tableau 4). De même, les interactions de celles-ci avec l'azote (BxN), avec l'irrigation (BxI) ou avec ces deux facteurs (BxNxI) ne permettent pas de différencier significativement les paramètres agronomiques étudiés (tableaux 8, 9 et 10). Or, des auteurs, tels que Sawadogo (1986) et Wopereis *et al* (1998) indiquent que la mise en boue, principale méthode de préparation du sol en riziculture irriguée, a des effets positifs sur les rendements. Par conséquent, on devrait s'attendre à des résultats qui soient statistiquement significatifs du fait des avantages conférés à cette technique de préparation de sol, dont les caractéristiques et la mise en œuvre ont été décrites par Ghildayl (1978). En effet, selon cet auteur, la mise en boue est destinée à détruire la structure physique du sol contribuant à augmenter sa microporosité afin d'améliorer la rétention en eau et en éléments nutritifs du sol de la rizière, de faciliter le planage de la rizière et le repiquage du riz. D'autres auteurs, dont Watanabe (1992), ont mentionné l'effet à long terme de la mise en boue sur la création d'un horizon induré dans la rizière qui contribue à limiter la percolation.

Nos résultats s'expliqueraient certainement par le fait que l'essai a été mené en saison humide avec une pluviométrie assez élevée. En effet, durant la période de l'essai, il est tombé sur le site expérimental de la Vallée du Kou une pluviométrie totale de 556 mm correspondant à 51 jours de pluies ; or l'essai a eu une durée de 125 jours. Néanmoins, ces résultats, sans avoir confirmé de façon irréfutable ceux de Sawadogo (1986) et de Wopereis *et al* (1998), semblent cependant aller dans le même sens. Ainsi, les résultats montrent que le niveau de mise en boue n'agit pas significativement sur le développement végétatif du riz (nombre de talles par mètre carré, nombre de panicules par mètre carré et la hauteur des plants), mais plutôt sur la formation du produit (nombre de grains par panicule et le poids de

1000 grains). Mais si en définitive on ne constate pas de différence statistiquement significative entre les rendements, une simple comparaison arithmétique des moyennes affichées par les différents paramètres étudiés permet de constater que les plus grandes valeurs sont obtenues lorsque le sol est mis en boue (B₁).

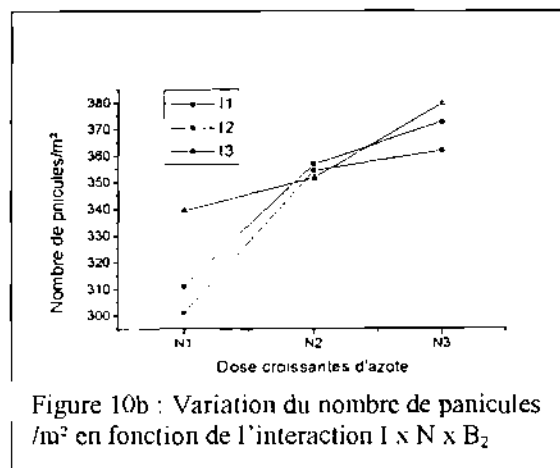
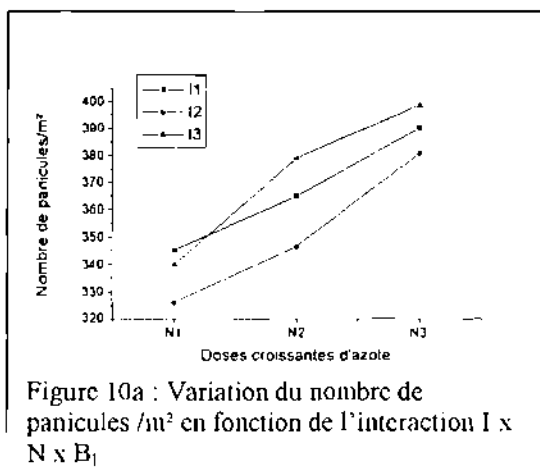
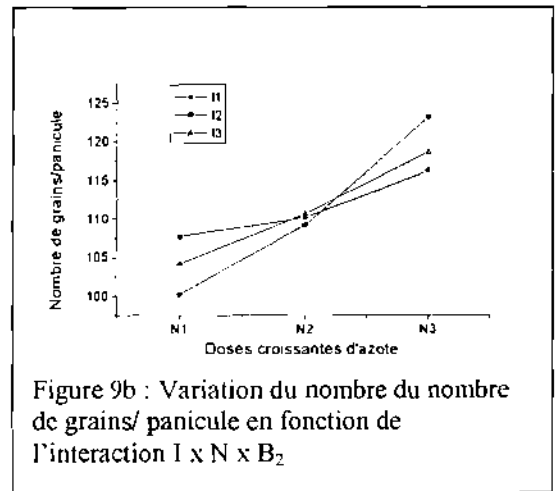
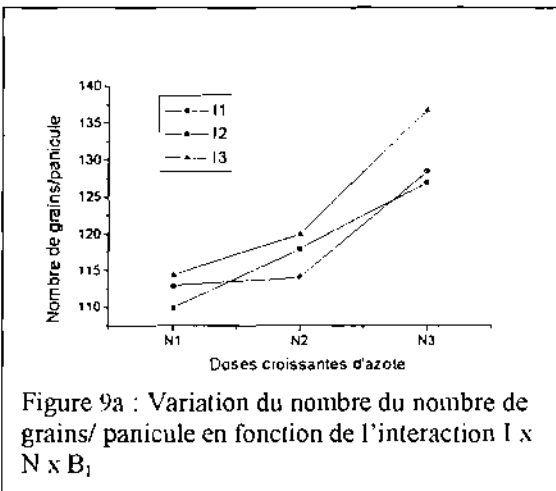
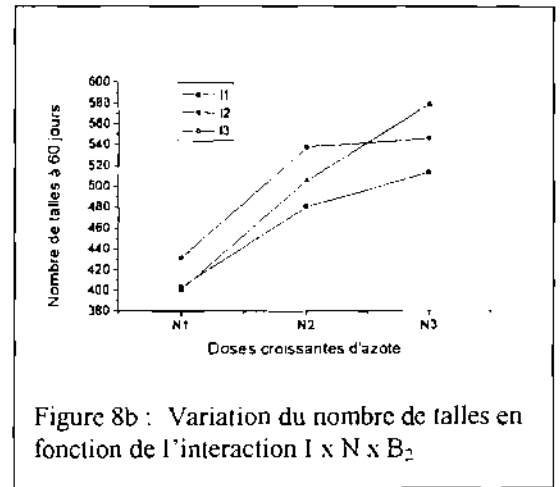
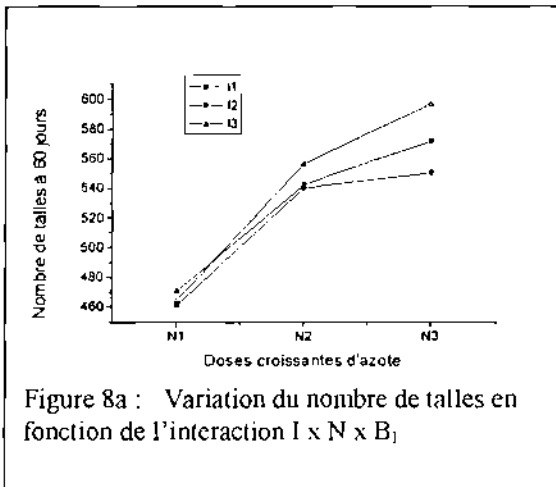
- *Pour ce qui est des méthodes d'irrigation*, il faut dire qu'en raison de l'importance des pluies tombées durant la période de l'essai, les traitements envisagés n'ont pu être respectés que partiellement. En effet, après l'épandage des doses d'azote, les parcelles ayant reçu la méthode d'irrigation I₃ (maintien d'une lame d'eau entre 5 cm et 10 cm et drainage avant l'application de l'azote suivi d'une mise en eau 3 jours après), ont souvent été mises en eau par les eaux de pluies. Mais, les résultats obtenus (tableau 9) avec la méthode d'irrigation I₃ sur le rendement grains concordent avec ceux de certains auteurs, tels que Mandal et Charterjee (1984) et Maity et Sakar (1990), qui montrent que les meilleurs rendements en riziculture irriguée sont obtenus lorsque les parcelles sont submergées de façon permanente avec une lame d'eau contrôlée. L'importance de cette manière de gérer la lame d'eau et les applications de l'azote dans l'amélioration des rendements a été soulignée par Dembélé (2000), qui indique qu'avant l'épandage de l'azote, les parcelles doivent être drainées, puis irriguées après enfouissement de l'engrais.

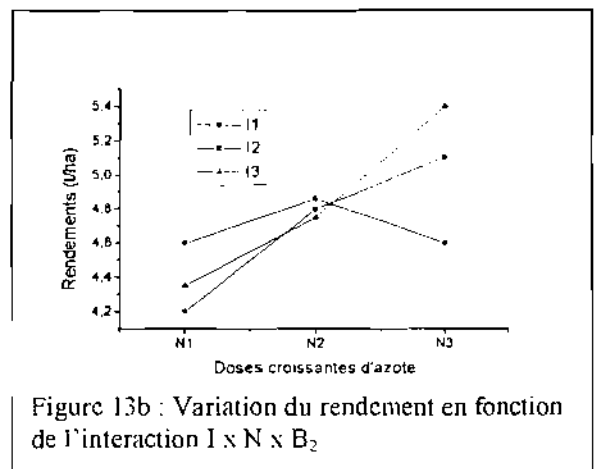
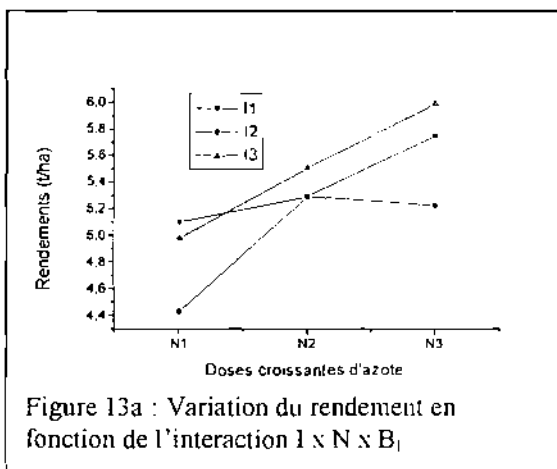
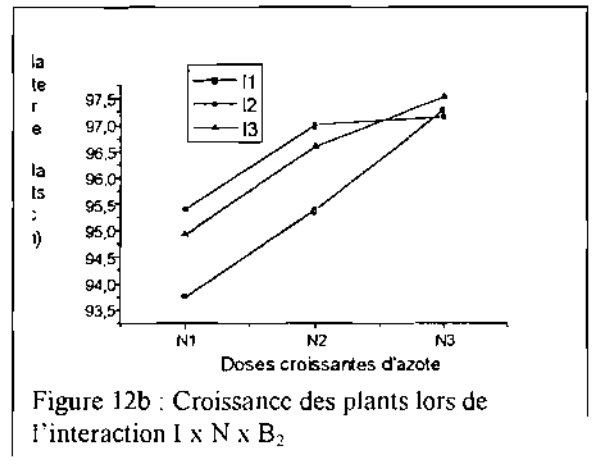
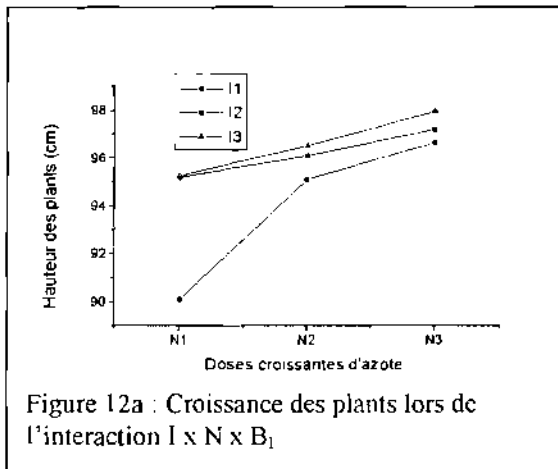
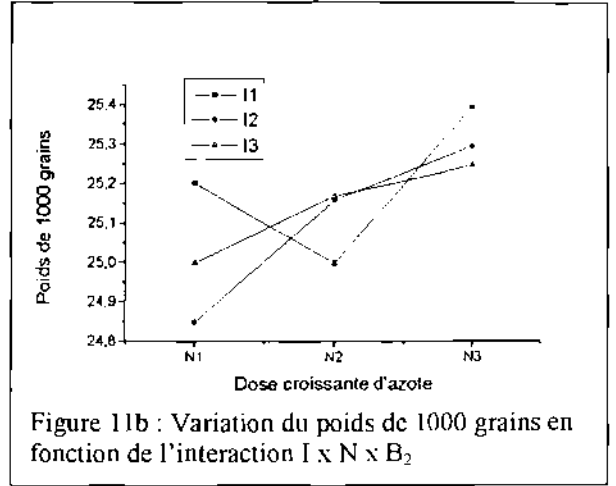
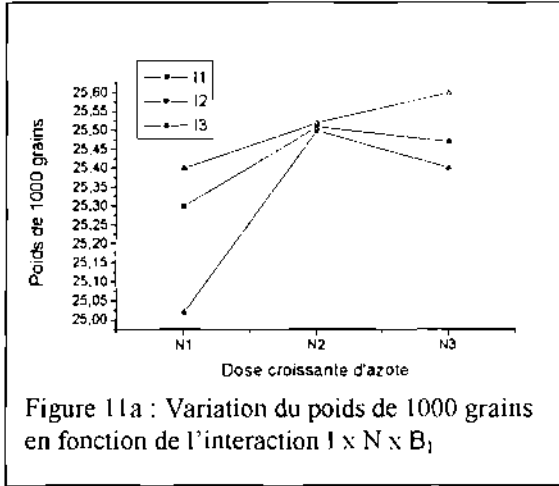
- *Quant à l'azote*, élément indispensable à la croissance et au développement du riz (De Datta, 1981; Jacquot et Courtois, 1983), on sait que son efficacité est plus grande s'il est absorbé par le riz au tallage et à l'initiation paniculaire (Matsushima, 1957 ; Yoshida, 1981). Il a donc été appliqué comme indiqué plus haut (chapitre v), sous forme d'urée, en deux fractions égales, en des périodes correspondant à ces deux stades, compte tenu de sa mobilité dans le sol (Nébié, 1995).

L'analyse des résultats obtenus montre que l'effet des doses d'azote est hautement significatif sur les variables agronomiques étudiées, excepté le poids de 1000 grains pour lesquels on a une différence simplement significative (tableau 5). Les moyennes les plus élevées sont obtenues avec la dose d'azote N₃. Mais, l'interaction liant l'azote à l'irrigation ne révèle pas de différence significative sur l'ensemble des paramètres, sauf sur le poids de 1000 grains où la différence est significative (tableau 7). La meilleure combinaison semble être

celle associant la méthode d'irrigation I_3 à la dose d'azote N_3 qui donne les valeurs les plus élevées du poids de 1000 grains.

L'interaction des trois facteurs principaux ($B \times N \times I$) n'ayant pas pu différencier statistiquement les variables agronomiques, leurs moyennes ont été comparées arithmétiquement en vue de déterminer la meilleure combinaison. Ainsi, des figures 9a-14b il ressort clairement que la meilleure combinaison est la méthode d'irrigation I_3 , la dose d'azote N_3 et la mise en boue du sol (B_1) c'est-à-dire $I_3 \times N_3 \times B_1$.





5.2. Impact des traitements sur la consommation en eau et l'efficience de l'eau.

5.2.1. Résultats du suivi des variations de la lame d'eau.

Sur les figures 15, 16 et 17, il ressort que la lame d'eau sur l'ensemble des traitements étudiés est restée comprise entre 7 cm et 10 cm durant tout le mois de septembre, y compris les parcelles qui devaient recevoir les irrigations par intermittence. Par contre, au cours du mois d'octobre, la lame d'eau a subi une légère baisse, tout en restant comprise entre 4 cm et 10 cm (figures 18 et 20), cela pour les traitements associant les régimes hydriques I_1 et I_3 . Quant aux traitements associant le régime hydrique I_2 , correspondant à l'irrigation par intermittence, la lame d'eau est descendue jusqu'à un niveau moyen de 0,8 cm (figure 19) pendant les périodes d'«assec». Enfin, tout le long du mois de novembre, la lame d'eau est restée comprise entre 5 cm et 10 cm pour les régimes hydriques I_1 et I_3 , tandis que pour le régime I_2 , elle est descendue à un niveau moyen de 2 cm (figures 21, 22 et 23).

5.2.2. Analyse des fluctuations de la lame d'eau.

Les traitements recevant les régimes hydriques I_1 et I_3 devaient être irrigués chaque fois que la lame d'eau baissait jusqu'à 5 cm, tandis que pour les traitements recevant le régime hydrique I_2 , les irrigations devaient intervenir si la lame d'eau est au-dessous de 1 cm (lame d'eau presque nulle ou parcelle sèche). Mais, durant le mois de septembre les irrigations ont été rares, car nos parcelles d'expérimentation ont reçu 107 mm comme hauteur d'eau de pluie en 30 jours. Ce qui représente en moyenne 3,6 mm d'eau que les parcelles ont reçus par jour et devaient compenser largement les pertes par évaporation et par infiltration. Les apports d'eau sont constitués essentiellement des eaux de pluies.

Pendant le mois d'octobre, la pluviométrie étant moins importante (46 mm) qu'en septembre, on a enregistré en moyenne 1,6 mm d'eau que les parcelles ont eu par jour et cela était insuffisant pour compenser les différentes pertes. Par conséquent, la gestion de la lame d'eau a pu se faire en effectuant des irrigations lorsqu'elle descendait à un niveau moyen de 4 cm pour les submersions continues et de 0,8 cm pour les irrigations par intermittence. Les apports d'eau proviennent des pluies et des irrigations.

Le mois de novembre, où aucune trace de pluie n'a été enregistrée, ces chiffres ont atteint respectivement 5 cm et 2 cm pour les submersions continues et l'irrigation par intermittence. Les apports d'eau sont constitués exclusivement d'irrigation.

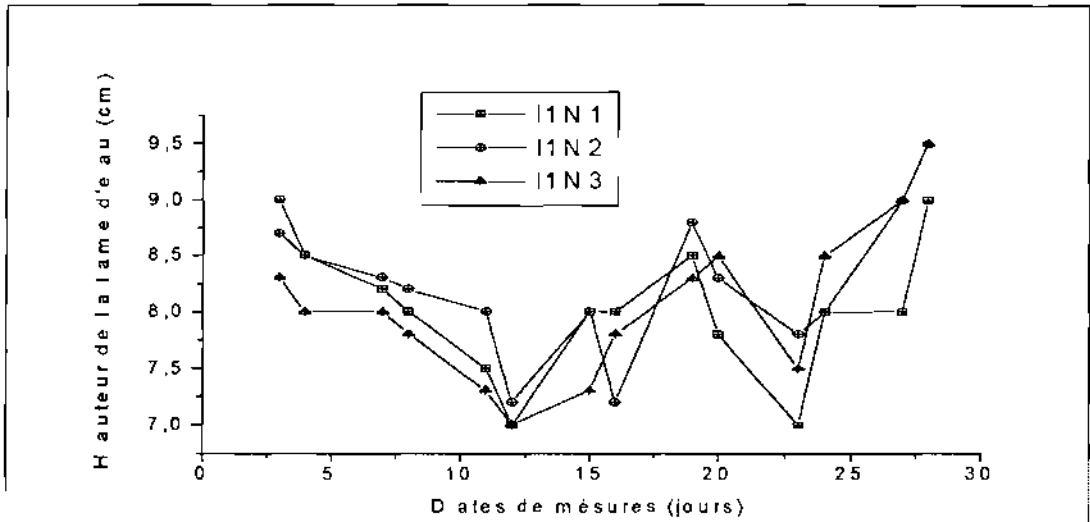


Figure 14 : Variation de la lame d'eau en septembre sous le régime hydrique I₁

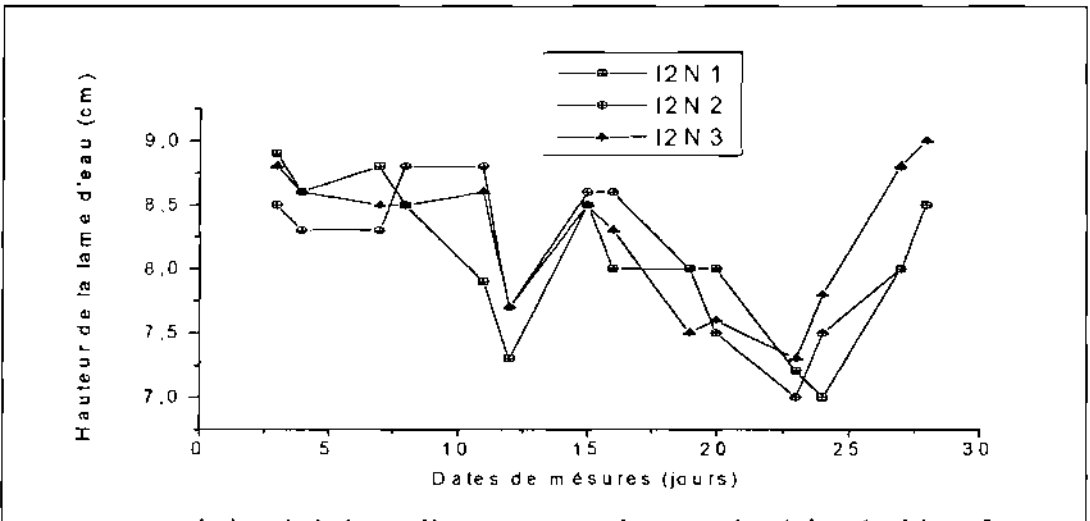


Figure 15 : Variation de la lame d'eau en septembre sous le régime hydrique I₂

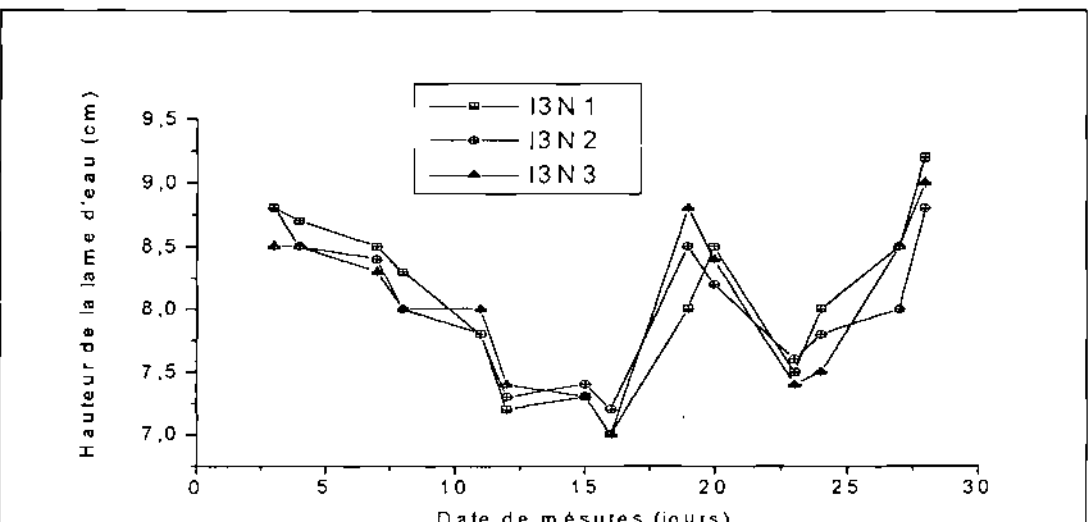
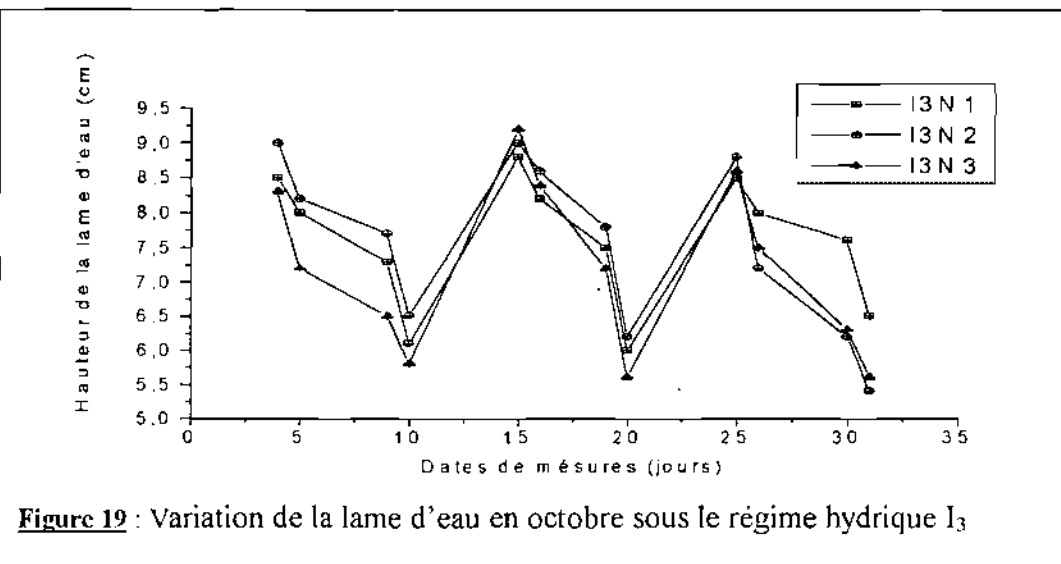
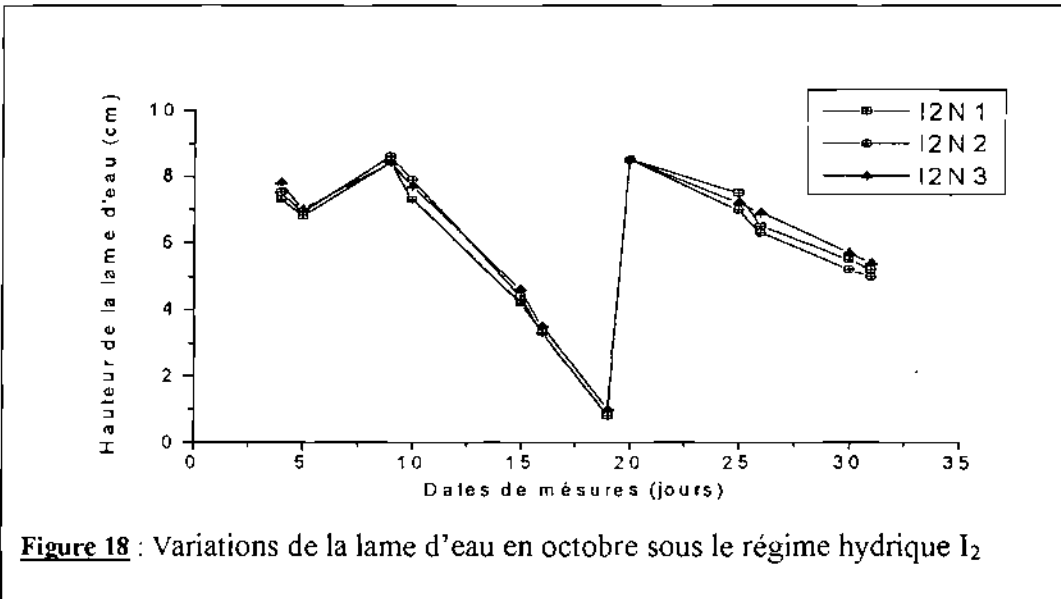
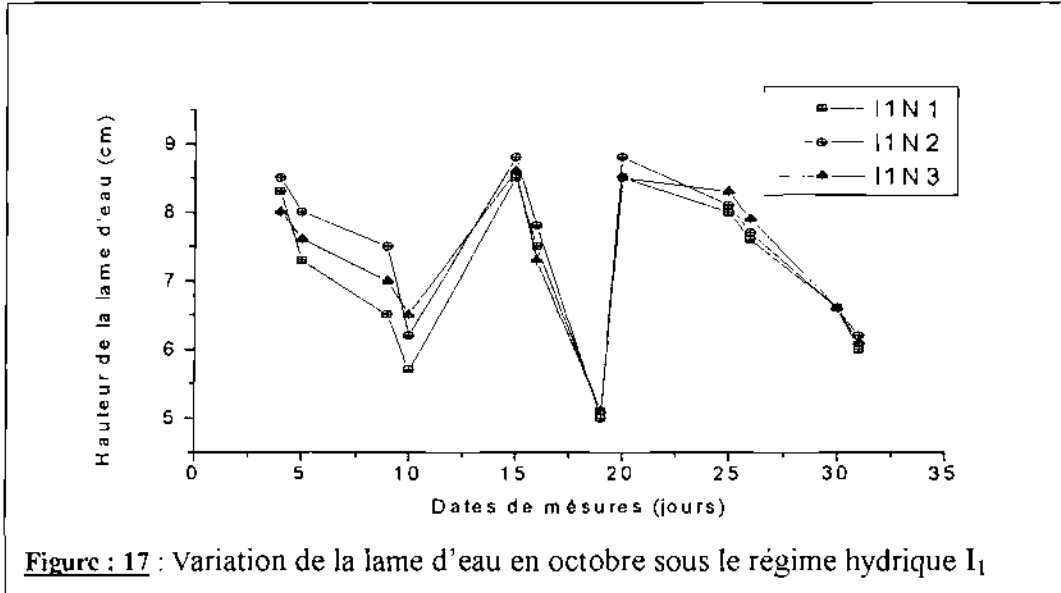
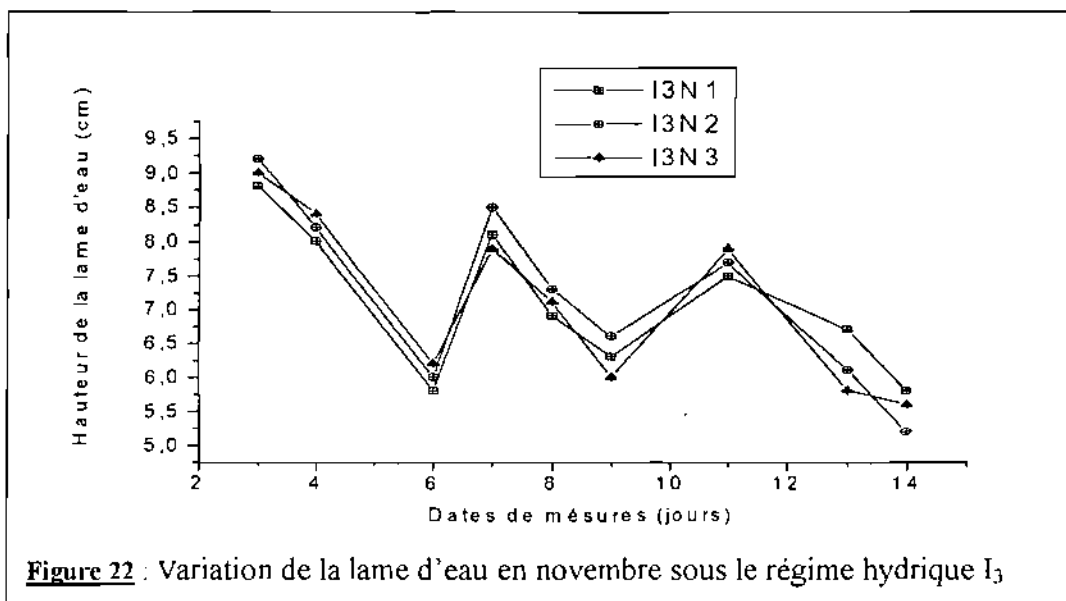
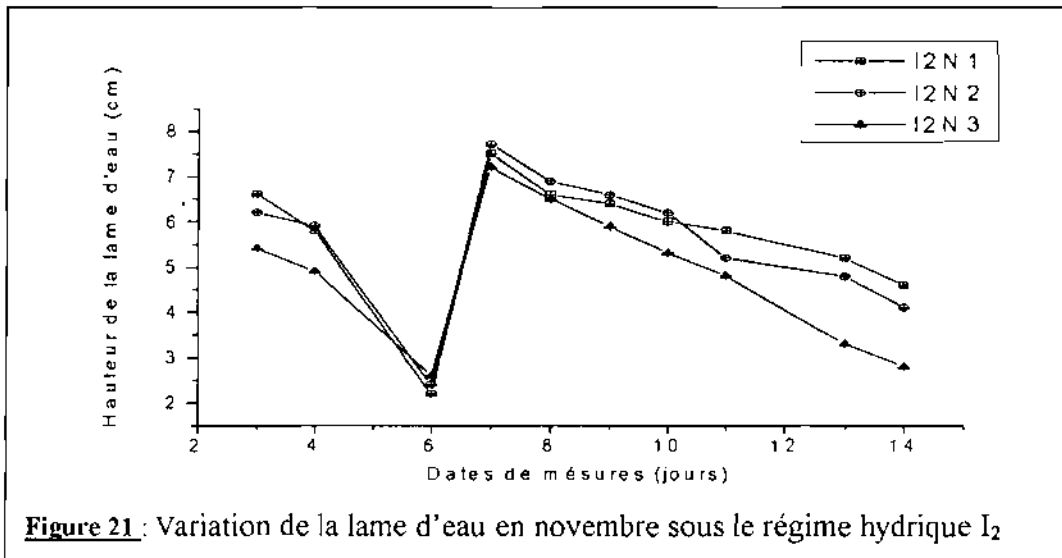
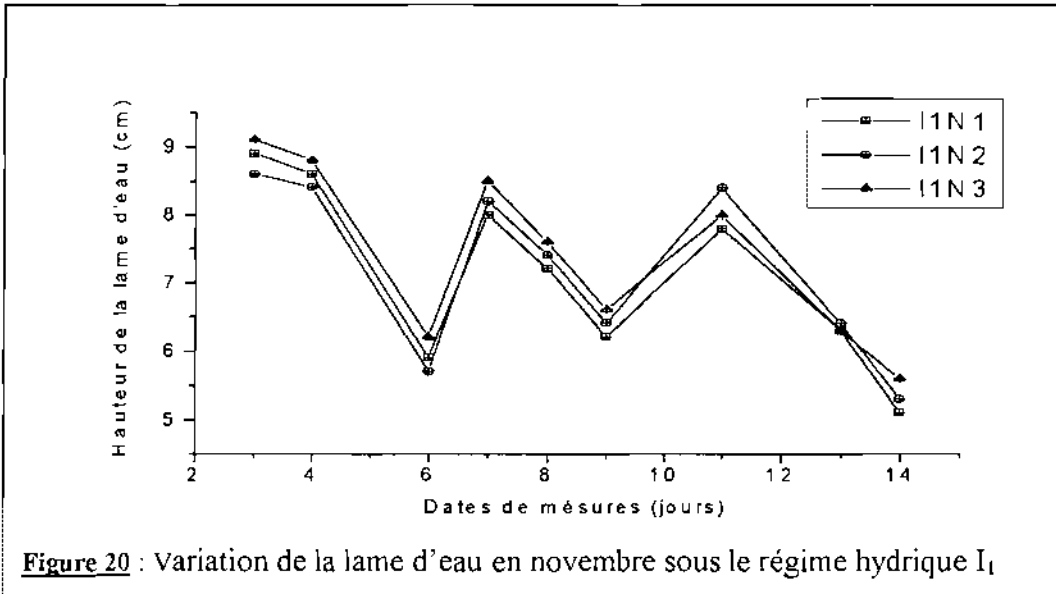


Figure 16 : Variation de la lame d'eau en septembre sous le régime hydrique I₃





5.2.3. Effets des traitements sur la consommation en eau et l'efficacité de l'eau.

Tableau 11 : Récapitulatif des valeurs de la consommation en eau du riz irrigué et l'efficacité de l'eau en fonction des traitements.

Traitements	Consommation en eau (m ³ /ha)	Rendement en (kg /ha)	Efficacité de l'eau (kg/ m ³)	de Nombre d'irrigation
I ₁ N ₁ B ₁	9180	5055	0,55	12
I ₁ N ₂ B ₁	8926	5298	0,59	12
I ₁ N ₃ B ₁	8934	5748	0,64	13
Moyenne I ₁ B ₁	9014	5367	0,59	12,34
I ₁ N ₁ B ₂	9180	4148	0,45	12
I ₁ N ₂ B ₂	8926	4773	0,53	12
I ₁ N ₃ B ₂	8934	5060	0,57	13
Moyenne I ₁ B ₂	9014	4661	0,52	12,34
Moyenne I₁	9014	5014	0,55	12,34
I ₂ N ₁ B ₁	7354	4428	0,60	5
I ₂ N ₂ B ₁	7352	5285	0,72	4
I ₂ N ₃ B ₁	7544	5230	0,69	5
Moyenne I ₂ B ₁	7417	4981	0,67	4,67
I ₂ N ₁ B ₂	7354	4585	0,62	5
I ₂ N ₂ B ₂	7352	4853	0,66	4
I ₂ N ₃ B ₂	7544	4575	0,61	5
Moyenne I ₂ B ₂	7417	4671	0,63	4,67
Moyenne I₂	7417	4826	0,65	4,67
I ₃ N ₁ B ₁	9180	4980	0,54	12
I ₃ N ₂ B ₁	9210	5508	0,59	13
I ₃ N ₃ B ₁	9280	5998	0,65	13
Moyenne I ₃ B ₁	9223	5496	0,59	12,67
I ₃ N ₁ B ₂	9180	4325	0,47	12
I ₃ N ₂ B ₂	9210	4750	0,53	13
I ₃ N ₃ B ₂	9280	5373	0,58	13
Moyenne I ₃ B ₂	9223	4816	0,52	12,67
Moyenne I₃	9223	5156	0,55	12,67

I₁ : Maintien d'une lame d'eau 5-10 cm sans drainage pour l'application d'azote.

I₂ Irrigation par intermittence avec drainage pour l'application de l'azote avec une remise en eau immédiate.

I₃ Maintien d'une lame d'eau 5-10 cm et drainage pour l'application de l'azote suivi d'une remise en eau 3 jours après.

B₁ : Mise en boue du sol B₂ : Non mise en boue du sol

- Il ressort des données du tableau 11, comme on pouvait s'y attendre, que l'application du régime hydrique I₂ (irrigation par intermittence) donne des consommations en eau plus faibles sur l'ensemble des parcelles concernées. La plus forte consommation étant de 7544 m³/ha. Par contre, l'application des régimes hydriques I₁ et I₃ (présence d'une lame d'eau permanente dans les rizières) produit une consommation en eau plus élevée que celle constatée avec le régime I₂. En effet, on enregistre des consommations en eau de 9180 m³/ha et 9280 m³/ha (valeurs maximales) respectivement pour I₁ et I₃. Ceci est également illustré par la figure 24. De même, le nombre d'irrigation est faible sur les parcelles ayant reçu le régime I₂ (en moyenne cinq irrigations) et est plus élevé sur les parcelles ayant reçu les régimes hydriques I₁ et I₃ (en moyenne douze irrigations dans chaque cas). Cependant, la méthode d'irrigation I₂ pourrait permettre aux producteurs, non seulement de diminuer leurs temps d'irrigation, mais également de pouvoir réaliser des économies d'eau.
- L'efficacité de l'eau, est définie comme le rapport de la production utile (Pu) en grains à la quantité d'eau consommée (V) par la plante par unité de surface est exprimée en kg/m³ (Ministère Français de la Coopération, 1979). Ainsi, les valeurs de l'efficacité que nous avons obtenues (tableau 11) diffèrent d'un traitement à l'autre et surtout d'un régime hydrique à un autre. Pour les traitements associant le régime hydrique I₁, la plus faible valeur de l'efficacité obtenue est 0,45 kg/m³, tandis que la valeur la plus élevée est 0,64 kg/m³, avec une moyenne de 0,55 kg/m³. Quant au régime hydrique I₂ les valeurs de l'efficacité obtenues sont : 0,60 kg/m³ (la plus faible) et 0,72 kg/m³ (la plus élevée) avec une moyenne générale de 0,65 kg/m³. Par contre, le traitement associant le régime hydrique I₃, l'efficacité a pour valeur minimale 0,47 kg/m³ et 0,65 kg/m³ comme valeur maximale. La valeur moyenne étant de 0,55 kg/m³.

En partant de la définition donnée plus haut de l'efficacité de l'eau, on peut observer que lorsque la consommation en eau est faible, la valeur de l'efficacité est plus élevée pour un même rendement où des valeurs de rendements sensiblement égales (les valeurs des efficacités sont peu différentes). C'est ce qui ressort quant on applique le régime hydrique I₂

qui donne des consommations d'eau les plus faibles et des rendements qui avoisinent 5 t/ha.

5.2.4. Discussion et conclusion sur la consommation en eau et l'efficience de l'eau.

Selon Doorenbos et Kassam (1980), l'efficience de l'eau permet d'expliquer l'efficacité de la production du paddy par rapport à la consommation en eau. Les traitements appliqués dans notre étude ont permis de déterminer plusieurs valeurs de l'efficience de l'eau dont la plus forte a été observée avec le régime hydrique I_2 (irrigation par intermittence) et s'élève à $0,72 \text{ kg/m}^3$. Ce qui veut dire que ce traitement permet d'obtenir 720 grammes de paddy par mètre cube d'eau consommée. Cette valeur est un résultat intéressant, car elle est supérieure au seuil retenu par le Projet IIMI pour le Management de l'Irrigation au Burkina Faso (IIMI/PMI-B.F, 1996), qui est de $0,60 \text{ kg/m}^3$, au delà duquel la production irriguée du riz paddy est considérée comme performante. Une analyse plus poussée nous a permis de voir si l'irrigation par intermittence (I_2) optimise les intrants. Suivant les doses croissantes d'azote, les rendements obtenus lorsque le sol est mis en boue (B_1), sont de 4427 kg/ha pour la dose d'azote N_1 , 5285 kg/ha pour la dose d'azote N_2 , 5230 kg/ha pour la dose d'azote N_3 . A travers ces résultats, nous pouvons dire que l'azote n'est pas bien rentabilisé avec l'application du régime hydrique I_2 car, pour une forte dose d'azote ($N_3 = 130$ unités de N/ha), la production est faible par rapport à une dose moyenne ($N_2 = 100$ unités de N/ha) ; la différence étant de 55 kg/ha. Ces pertes de rendements observées ont été expliquées par Mather et Trinh Ton That (1986), Sanon (1986) et Dembélé (2000). Selon les explications fournies par ces auteurs, les pertes pourraient être imputées aux «assecs» plus ou moins prolongés des parcelles qui sont de nature à favoriser l'installation des adventices dans la rizière par manque de lame d'eau constante (il y a eu trois désherbages sur ces parcelles contre un désherbage sur les autres). Ces adventices entrent en compétition avec les plants de riz surtout pour l'eau et les éléments nutritifs (CERCI, 1980 et ADRAO, 1995).

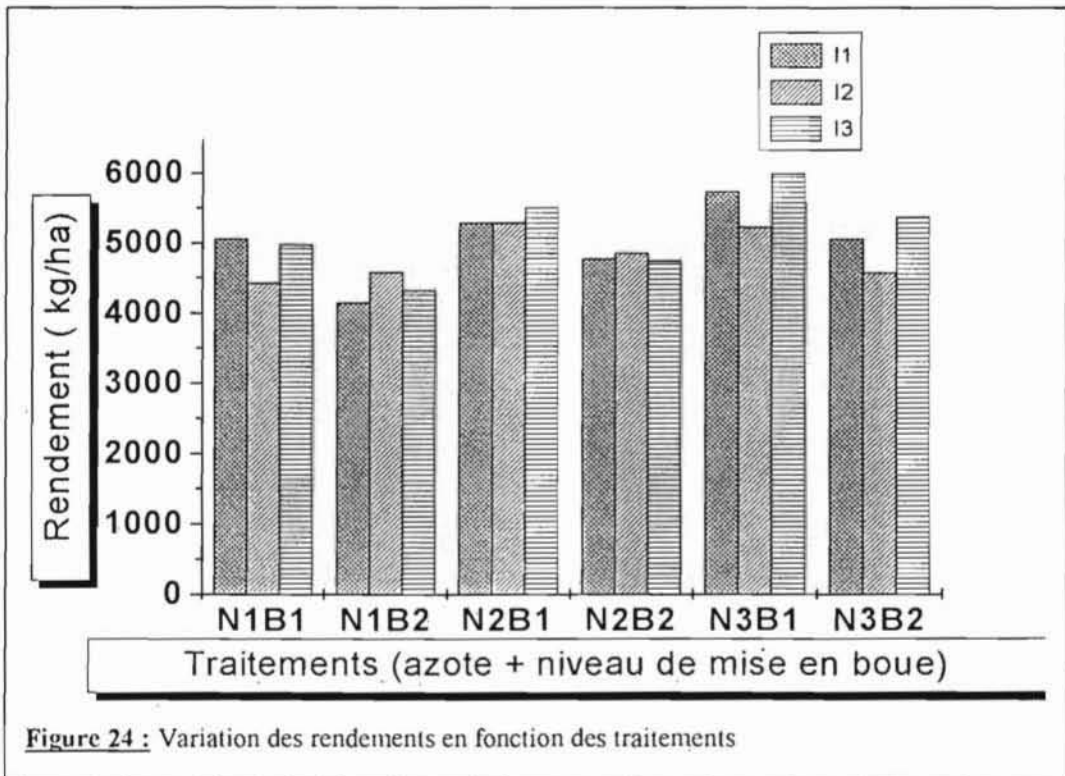
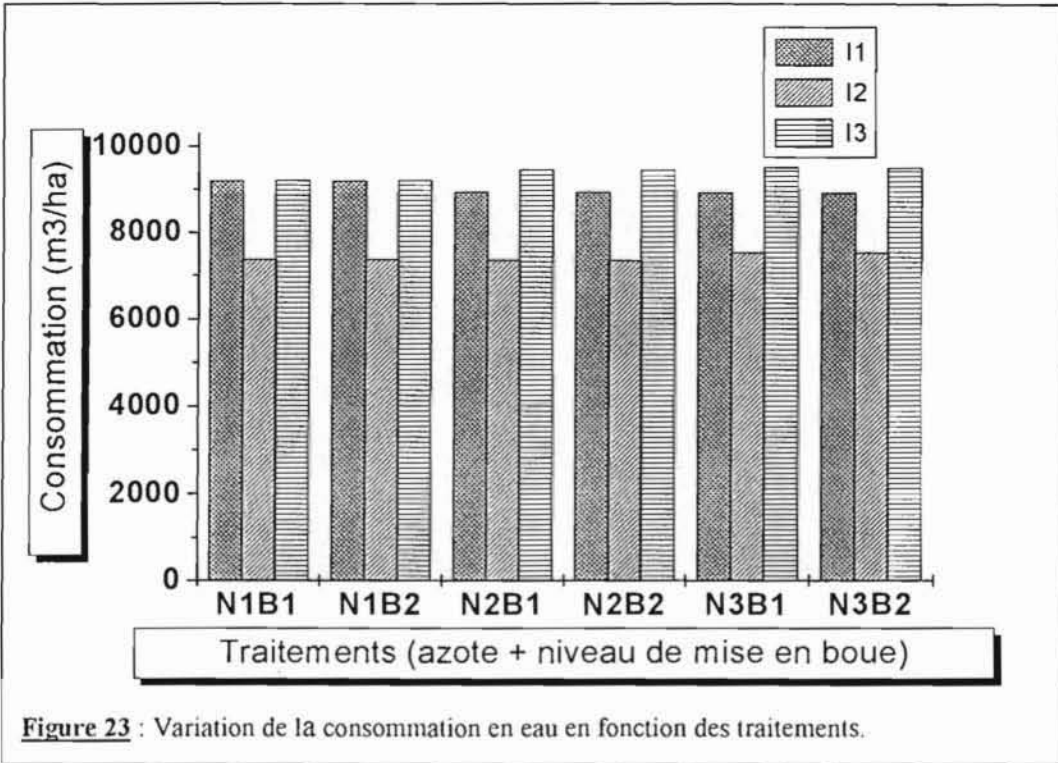
Quant aux régimes hydriques I_1 et I_3 qui consistent tous à des degrés divers, en des submersions continues des parcelles avec une différence quant au mode d'application de

l'azote (bref drainage pour l'application de l'azote pour le régime hydrique I₃), ils donnent des rendements variant en fonction des doses d'azote (figure 25) comme suite :

- pour le régime hydrique I₁, il y a une croissance du rendement en fonction des doses d'azote, ce qui peut signifier une optimisation des intrants : 5055 kg/ha pour la dose N₁, 5297 kg/ha pour la dose N₂, 5748 kg/ha pour la dose N₃.
- pour ce qui est du régime hydrique I₃, les rendements obtenus ont des valeurs plus élevées : 5080 kg/ha pour la dose N₁, 5507 kg/ha pour la dose N₂, 5998 kg/ha pour la dose N₃.

Ces valeurs prouvent une fois de plus que l'irrigation par submersion continue avec lame d'eau contrôlée accroît le rendement suite, entre autre, à une utilisation efficace des intrants et une meilleure lutte contre les adventices. En effet, le rendement est plus élevé pour la dose d'azote N₃ puisqu'il est de 5998 kg/ha contre 5748 kg/ha pour des traitements similaires associant I₁. La différence de 250 kg/ha de paddy entre les régimes hydriques I₁ et I₃ s'expliquerait par le fait que l'azote a été appliqué directement (pour I₁) dans une lame d'eau de 5 cm-10 cm, ce qui pourrait avoir favorisé une perte d'azote par volatilisation et par lixiviation (ADRAO, 1995). C'est cela qui aurait contribué à diminuer la quantité d'azote destiné aux plants de riz. Avec le régime hydrique I₃, l'azote a été appliqué après drainage des parcelles suivi d'une remise en eau sur un sol préalablement mis en boue. Cette amélioration de la productivité du riz irrigué par une submersion contrôlée couplé à un apport azoté et à la mise en boue du sol a été constaté par la FAO (1966), Mather et Trinh Ton That (1986), Sawadogo (1986) et Bado (1998). Par ailleurs, l'irrigation par submersion continue favorise le développement des agents fixateurs d'azote, tels que les algues bleu-vert, les bactéries fixatrices d'azote et l'association symbiotique entre une algue bleu-vert et une fougère de type *azolla*. Ainsi, grâce à la présence de ces micro-organismes les plants de riz arrivent à mieux valoriser l'azote, notamment atmosphérique. En outre, la lame d'eau permanente et contrôlée favorise l'élimination des adventices, augmente l'alimentation du riz en éléments nutritifs suite à un accroissement des teneurs en phosphore (P₂O₅), fer (Fe), et silice (Si₂O₄). Mais, également en améliorant la photosynthèse au niveau des feuilles inférieures grâce à la lumière réfléchiée par l'eau (Dembélé, 2000).

Comme déjà évoqué plus haut, les régimes hydriques I_1 et I_3 consomment respectivement en moyenne $9014 \text{ m}^3/\text{ha}$ et $9228 \text{ m}^3/\text{ha}$, ces valeurs avoisines $9140 \text{ m}^3/\text{ha}$ qui correspond en moyenne, aux besoins en eau du riz irrigué à la Vallée du Kou en campagne humide (Dembélé, 1991). Cependant, le régime hydrique I_3 optimise mieux l'azote que le régime hydrique I_1 , c'est pourquoi entre ces deux méthodes d'irrigation, la meilleure combinaison reste celle associant le régime hydrique I_3 la dose d'azote N_3 et la mise en boue du sol (B_1). Pour ce qui est du régime hydrique I_2 , il présente des consommations en eau nettement inférieures aux besoins en eau du riz irrigué déterminés par Dembélé (1991), puisqu'il ne consomme que $7417 \text{ m}^3/\text{ha}$ comme valeur moyenne. Ce régime hydrique optimise l'azote à des doses de 100 unités de N/ha (N_2) en fournissant un rendement de $5285 \text{ kg}/\text{ha}$. La combinaison associant le régime hydrique I_2 , la dose d'azote N_2 et la mise en boue (B_1) pourrait être intéressante du point de vue économique car, il permettra d'économiser non seulement de l'eau, mais aussi de l'engrais (urée).



5.3. Impact des différents traitements sur la qualité des grains et leur teneur en éléments nutritifs.

5.3.1 Résultats et analyse qualitative des grains à maturité

Tableau 12 : Impact des traitements sur les caractères des grains de riz à maturité

Caractères des grains	Aristation	Couleur de l'apex	Couleur des glumelles	Pilosité des glumelles	Fermeture des glumelles	Longueur des grains (mm)	Largeur des grains (mm)
Traitements							
I1N1B1	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,45	2,3
I1N1B2	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,55	2,3
I1N2B1	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,53	2,28
I1N2B2	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,18	2,33
I1N3B1	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,40	2,40
I1N3B2	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,58	2,33
I2N1B1	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,30	2,28
I2N1B2	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,00	2,27
I2N2B1	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,45	2,35
I2N2B2	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,43	2,25
I2N3B1	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,40	2,23
I2N3B2	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,50	2,23
I3N1B1	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,48	2,28
I3N1B2	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,20	2,23
I3N2B1	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,23	2,30
I3N2B2	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,10	2,28
I3N3B1	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,56	2,29
I3N3B2	M,0	N,C	P,0	P _c , 4	B	10,25	2,23

(B) = Bonne

(M,0) = Mutique ou absence d'aristation

(P,0) = Paille

(N,C) = Non coloré

(P_c, 4) = Poils courts

L'analyse des données du tableau 12 montre que sur l'ensemble des grains récoltés certains caractères restent identiques quel que soit les traitements appliqués. Ce sont : l'aristation, la coloration de l'apex, la couleur des glumelles, la fermeture des glumelles et la pilosité des glumelles. Ces caractères sont liés à la variété et ne sont pas affectés par les pratiques culturales (IRAT, 1989). Par contre, d'autres caractères comme la longueur et la largeur des grains présentent des différences en fonction des traitements.

Notre analyse concernera donc les caractères distinctifs et leur évolution dans les traitements associant respectivement les régimes hydriques I_1 , I_2 et I_3 . Ainsi, l'analyse de variance n'a pas révélé de différence significative au seuil de 5 % (tableau 13) entre les traitements, aussi bien au niveau de la longueur ($p= 0,23$) que de la largeur ($p= 0,46$).

Tableau 13 : Analyse de l'effet de l'interaction irrigation x azote x niveau de mise en boue sur les dimensions des grains de riz.

Traitements	Largeur (mm)		Longueur (mm)	
	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂
I1N1	2,30	2,30	10,55	10,45
I1N2	2,33	2,28	10,52	10,27
I1N3	2,35	2,30	10,40	10,47
I2N1	2,28	2,28	10,30	10,07
I2N2	2,28	2,25	10,15	10,40
I2N3	2,22	2,20	10,38	10,42
I3N1	2,28	2,33	10,28	10,25
I3N2	2,33	2,28	10,42	10,18
I3N3	2,40	2,32	10,58	10,30
CV (%)	4,3 %		2,9 %	
Probabilité	0,46		0,23	
Signification	NS		NS	

I₁ : Maintien d'une lame d'eau pour l'application de l'azote

N₁ : 70unités de N/ha

B₁ : Mise en boue du sol

I₂ : Irrigation par intermittence

N₂ : 100unités de N/ha

B₂ : Non mise en boue du so

I₃ : Maintien d'une lame d'eau et drainage pour l'application de l'azote

N₃ : 130unités de N/ha

CV (%) : coefficient de variation

NS : Non significatif

5.3.2. Résultats de l'analyse chimique des grains de riz décortiqués et de leurs glumelles en fonction des traitements.

Tableau 14 : Analyse de l'effet de l'interaction «irrigation x azote x niveau de mise en boue» sur la teneur en élément chimique des grains de riz décortiqués.

Traitements	Azote (g/kg)		Phosphore (g/kg)		Potassium (g/kg)	
	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂
I1N1	6,76	6,85	2,65	2,95	1,78	1,88
I1N2	6,70	6,82	2,87	3,06	1,93	1,81
I1N3	6,40	6,45	2,67	2,76	2,08	1,98
I2N1	6,43	6,52	2,59	2,80	2,00	1,83
I2N2	6,47	6,63	2,80	2,88	1,88	1,92
I2N3	6,57	6,83	2,88	2,81	1,91	1,83
I3N1	6,73	6,86	3,11	3,24	2,01	1,90
I3N2	6,52	6,78	2,77	2,90	1,82	1,78
I3N3	6,39	6,89	2,57	2,97	2,18	1,88
CV (%)	2,7 %		7 %		10,7 %	
Probabilité	0,32		0,83		0,65	
Signification	NS		NS		NS	

I₁ : Maintien d'une lame d'eau pour l'application de l'azote

N₁ : 70unités de N/ha

B₁ : Mise en boue du sol

I₂ : Irrigation par intermittence

N₂ : 100unités de N/ha

B₂ : Non mise en boue du sol

I₃ : Maintien d'une lame d'eau et drainage pour l'application de l'azote

N₃ : 130unités de N/ha

CV (%) : Coefficient de variation

NS : Non significatif

Tableau 15 : Analyse de l'effet de l'interaction «irrigation x azote x niveau de mise en boue» sur la teneur en élément chimique des glumelles de grains de riz.

Traitements	Azote (g/kg)		Phosphore (g/kg)		Potassium (g/kg)	
	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂	B ₁	B ₂
I1N1	1,91	2,08	1,76	1,89	3,09	2,99
I1N2	1,89	1,94	0,98	1,05	3,01	2,50
I1N3	1,88	1,88	1,07	1,13	3,22	2,70
I2N1	2,00	1,92	1,24	0,89	2,76	2,93
I2N2	1,96	1,99	1,03	1,09	2,87	2,53
I2N3	1,89	2,10	0,99	1,06	3,07	2,70
I3N1	1,88	1,87	1,04	1,05	3,17	2,82
I3N2	1,95	1,97	1,02	1,16	3,07	2,78
I3N3	1,86	2,14	0,98	1,45	3,24	2,94
CV (%)	12,4 %		25,4 %		9,8 %	
Probabilité	0,7		0,78		0,48	
Signification	NS		NS		NS	

I₁ : Maintien d'une lame d'eau pour l'application de l'azote

N₁ : 70unités de N/ha

B₁ : Mise en boue du sol

I₂ : Irrigation par intermittence

N₂ : 100unités de N/ha

B₂ : Non mise en boue du sol

I₃ : Maintien d'une lame d'eau et drainage pour l'application de l'azote

N₃ : 130unités de N/ha

NS= Non significatif

CV (%) : Coefficient de variation

Il ressort des résultats de l'analyse de variance sur les teneurs en azote et en phosphore des grains décortiqués et de leurs glumelles, que les traitements associant la mise en boue du sol (B_1) donnent aux grains (tableau 14) et à leurs glumelles (tableau 15) des valeurs légèrement inférieures à celles obtenues avec les mêmes traitements associant la non mise en boue du sol (B_2). par contre quant à la teneur en potassium, l'analyse montre l'existence de valeurs légèrement supérieures avec le sol mis en boue (B_1). Cependant, l'analyse révèle également que les différences qui existent entre toutes ces valeurs ne sont pas significatives au seuil de 5 %.

5.3.3. Discussion et conclusion sur la qualité des grains et leur teneur en éléments nutritifs.

Les dimensions maximales des grains sont atteintes avec l'irrigation par submersion continue et contrôlée (I_1 et I_3). Ainsi, on obtient respectivement pour la longueur et la largeur des grains les valeurs moyennes de 10,55 mm et 2,30 mm pour le régime hydrique I_1 ; 10,58 mm et 2,40 mm pour le régime hydrique I_3 . Par contre, l'irrigation par intermittence (I_2) affiche des valeurs qui sont légèrement inférieures (10,42 mm et 2,20 mm) à celles obtenues avec les méthodes d'irrigation I_1 et I_3 . En effet, dans nos analyses antérieures, il ressortait déjà que sous les régimes hydriques I_1 et I_3 associé à une mise en boue du sol, les valeurs maximales des paramètres agronomiques étaient obtenues, résultats qui seraient dus à une meilleure capacité de rétention en eau, en éléments nutritifs et donc à une bonne valorisation des nutriments par les plants de riz. Puisque les travaux de Grist (1975), Yoshida (1981) et ADRAO (1995) confirment que la disponibilité de l'azote pendant la phase végétative du riz stimule sa croissance, favorise l'augmentation du nombre de talles et augmente la taille des feuilles et surtout des grains. L'azote étant plus disponible dans les sols mis en boue auxquels on applique une irrigation avec une lame d'eau contrôlée, les valeurs maximales des dimensions des grains seront obtenues avec ces traitements.

Les teneurs en azote et en phosphore des grains et de leurs glumelles présentent une légère déficience si le sol est mis en boue et cela quel que soit le régime hydrique appliqué. Ces teneurs pourraient s'expliquer comme l'a indiqué Braud (1972) cité par Martin-Prevel *et*

al. (1984), par le phénomène de dilution, sans doute sous la dépendance de l'alimentation hydrique et le poids de l'échantillon. En effet, le poids des grains issus de ces sols (B_1) est supérieur à ceux issus des sols non mis en boue (tableau 10). Ces auteurs indiquent également l'existence de synergie entre ces deux éléments en ce sens qu'une bonne nutrition azotée induit une bonne nutrition phosphatée. Il n'est pas non plus exclu que cette situation puisse s'expliquer par la densité (tallage) qui est d'ailleurs très influencée par les traitements. Car, avec des apports d'azote identiques il est possible que l'accroissement du tallage implique une baisse des réserves au niveau des grains.

Les teneurs en potassium mentionnées dans les tableaux 14 et 15 montrent une nutrition minérale déficiente des grains issus des sols non mis en boue. Cela pourrait être en relation avec l'état du sol que l'on sait carencé en potassium. Néanmoins, on note une légère amélioration de la nutrition potassique avec les traitements ayant bénéficié d'une mise en boue du sol (B_1). Cette situation peut être liée à l'effet de ces traitements sur l'exploration racinaire quand on sait que les ions potassium sont peu mobiles, de l'ordre de centimètre par an selon Martin-Prevel *et al.* (1984). Ainsi, la mise en boue du sol favorise une meilleure diffusion du potassium (Braud, 1973, cité par Kambiré, 2000).

En définitive, les meilleures combinaisons seront celles qui fourniront au niveau des grains et de leurs glumelles une teneur légèrement déficiente en azote et en phosphore sur les sols mis en boue (B_1) et une teneur en potassium légèrement élevée sur ces mêmes types de sols. Ces traitements s'avèrent être le régime hydrique I_3 couplé aux doses d'azote N_3 et la mise en boue du sol (B_1).

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Cette étude s'est déroulée, sur l'une des parcelles d'expérimentation de l'INERA sise à la Vallée du Kou et a bénéficié du financement de l'Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest (ADRAO).

Au terme de l'étude, on retiendra que l'azote est un élément important dans la nutrition du riz, car son impact sur les paramètres agronomiques est très significatif. Quant aux deux méthodes de préparation de sol (niveau de mise en boue) et les méthodes de gestion de l'eau (submersion continue et submersion par intermittence), leur application ne présente de différence significative que sur une partie des paramètres agronomiques. Les effets conjugués des différents niveaux des trois facteurs principaux, n'ont pas eu non plus de différence significative. Mais, une comparaison des moyennes des valeurs enregistrées sur les paramètres agronomiques a permis de détecter deux combinaisons intéressantes. La première associe la submersion continue avec une lame d'eau contrôlée (I_3) la dose d'azote N_3 (130 unités de N/ha) et la mise en boue du sol (B_1). Elle optimise convenablement l'azote à toutes les doses tout en améliorant les rendements (6 t/ha). La seconde associe l'irrigation par intermittence (I_2) la dose d'azote N_2 (100 unités de N/ha) et la mise en boue du sol (B_1). Elle consomme moins d'eau et optimise l'azote uniquement à des doses plus faibles que la première. Mais, fournit néanmoins un rendement de 5,3 t/ha.

Il serait peut être prudent de ne pas, à partir de ce premier essai, se prononcer définitivement sur une formule ($I_3 N_3 B_1$ ou $I_2 N_2 B_1$), et de ne pas essayer de les tester en milieu paysan en vue d'une éventuelle vulgarisation.

Cependant, si une formule était confirmée, elle représenterait un résultat intéressant dans un contexte comme celui du Burkina Faso où l'augmentation de la production du riz demeure encore un objectif essentiel. En effet, de nos jours, la production nationale de riz

reste très faible comparativement aux besoins du pays. Cette situation favorise des importations de plus en coûteuses, puisqu'en 1996, elles atteignaient 14,8 milliards de francs C.F.A (Gbikpi, 1996).

Nous proposons, pour la poursuite de cette étude :

- d'étaler l'essai sur deux ou trois campagnes, afin de déterminer une seule combinaison ;
- de conduire l'essai surtout en campagne sèche afin de suivre avec plus de rigueur les méthodes de gestion de l'eau.
- d'associer une étude économique, en prenant en compte le coût de l'azote et en effectuant des simulations sur les types d'irrigation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADAM Y. N.**, 2000. Etude d'une fumure à base de burkinaphosphate sur le riz irrigué à la Vallée du Kou, dans l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études de l'IDR, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, 73 p.
- ADRAO**, 1995. Formation en production rizicole. Manuel du formateur. ADRAO, Bouaké (Côte d'Ivoire) 305 p.
- ADRAO**, 1996. Rapport annuel. ADRAO, Bouaké (Côte d'Ivoire), 59 p.
- ADRAO**, 1997. Rapport annuel. Projet d'hybridation interspécifique. ADRAO, Bouaké (Côte d'Ivoire). 71p.
- AITB**, 1995. Actes des journées de réflexion sur les aménagements hydro-agricoles au Burkina Faso. Ouagadougou les 14, 15 et 16 juillet 1995. 8-12 et 15-32.
- ANGLADETTE A.**, 1966. Le riz. Techniques agricoles et productions tropicales. G.P. Moissonneuve et Larose Paris. 879 p.
- BADO B.V.**, 1998. Synthèses des acquis de recherches sur la fertilité du sol et la fertilisation du riz à la Vallée du Kou. Rapport INERA, station de Farako bâ. 42 p + annexes.
- BAZI, M.H.**, 1991. Estimation des besoins en eau à la parcelle des cultures fruitières dans le contexte spécifique de Flex-Faso (ex- projet fruitier). Mémoire de fins d'études de l'IPR. République du Mali. 73 p.
- BONNEFOND R., MAYER J.** 1973. Les rizicultures paysannes. Amélioration possible République Française Secrétariats d'Etats aux affaires étrangères, 15-20.
- BROUWER C. et HEIBLOEM**, 1990. Gestion des eaux en irrigation. Méthodes d'irrigation. Manuel de formation n°5 FAO, Rome (Italie). 65 p.
- CERCI**, 1979. Riz et rizicultures irriguées. Rapport de synthèse 1979, INERA station de Farako-bâ 44 p.
- CERCI**, 1980. Expérimentation riz. Synthèse 1980. INERA station de Farako-bâ 53 p.
- CERCI**, 1985. Fiches techniques du riz, des cultures irriguées et des cultures fourragères. Avril 1985. INERA station de Farako- bâ, 62 p.
- CLEMMENS A. J., BOS M.G. and REPLOGLE J.A.**, 1984. Portable RBC Flumes for Furrows and Earthen channels. Transaction of the ASAE. 1016-1026.

- DAKOUO D. et NACRO S.**, 1986. La cecidomyie du riz (*orseolia oryzivora* H. et G) au Burkina Faso. Projet lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières. Composante nationale du Burkina Faso. INERA station de Farako- bâ, 15 p.
- DE DATTA S.K.**, 1981. Principles and practices of rice production. IRRI Los Banos (Phillipines). 618 p.
- DEMBELE S.** 1986. Aménagements hydro-agricoles et riziculture : la situation du Burkina Faso. FAO, projet BKF/87/001, INERA, station de Farako-bâ, 76 p.
- DEMBELE Y.**, 1991. Etudes des besoins en eau du riz irrigué dans différentes conditions pédoclimatiques du Burkina Faso. Actes semin. Intern. Sur «l'influence du climat sur la production des cultures tropicales», Ouagadougou (Burkina Faso), 23-28 sept. 1991, CTA Wageningen (Pays-Bas), ISESCO Rabat (Maroc), 118-127.
- DEMBELE Y.**, 1995. Modélisation de la gestion hydraulique d'une retenue d'irrigation : application au périmètre rizicole de Mogtedo (Burkina Faso). Thèse de Docteur de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes (France) 156 p.
- DEMBELE Y., DUCHESNE J., OUATTARA S. et ZIDA Z.**, 1999. Evolution des besoins en eau du riz irrigué en fonction des dates de repiquage. INERA station de Farako-bâ. 93-99.
- DEMBELE Y.**, 2000. Cours de riziculture irriguée. Ecole Inter Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural (EIER). Ouagadougou. 53 p.
- DEMBELE Y., CLEMENT C., SIE M.**, 2000. Dossier / projet relatif à la gestion des périmètres irrigués, PSSA Ougadougou. 31p.
- DIALLO O. S.**, 2000. La situation actuelle des hydro-aménagements au Burkina. Direction Générale de l'hydraulique / Ministère de l'environnement et de l'eau, Ouagadougou-BF. 12 p.
- 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.
- FAO**, 1966. Réponse du riz aux applications d'engrais : 74 p.
- GBIKPI P.**, 1996. Agriculture burkinabé. Projet Appui au PASA. 51 p.
- GHILDYAL B.P.**, 1978. Effects of compaction and puddling on soil properties and rice growth. In : Soil and rice, IRRI, Los Banos (Phillipines). 316-335.
- GRIST D. H.**, 1975. Rice. Longman-London. 610 p.
- GUINKO S.**, 1984. Végétation de la Haute Volta. Thèse de Doctarat d'Etat. Université de Bordeaux III. 318p.

- HILMY S.**, 1996. Amélioration des performances des périmètres irrigués. Les Actes du Séminaire Régional du Projet Management de l'Irrigation au Burkina Faso. Ouagadougou 273p.
- IIMI/PMI-BF**, 1996. Méthodologies d'évaluation des performances et de diagnostic des systèmes irrigués manuel d'utilisation Projet Management de l'irrigation au Burkina Faso. Ouagadougou BF 118p.
- INADES** 1980. Le riz irrigué. Cours d'apprentissage agricole. Série : Les productions de l'agriculteur. 59 p.
- INERA.**, 1994. Bilan des activités de recherches rizicoles au Burkina Faso. Février 1994. INERA station de Farako- bâ. 62 p.
- INERA**, 1999. Synthèse des acquis en recherche rizicole. Programme d'activité de recherche présenté du 10 au 13 mai 1999. INERA station de Farako- bâ. 44 p.
- INSD.**, 2000. Annuaire du commerce extérieur (A.C.E.) 1992-2000. Importation Balance commerciale. Ministère de l'économie et des finances, Ouagadougou. 14-16.
- IRAT**, 1989. Fichier variétal riz. Service semences, CIRAD. 350 p.
- IWACO**, 1986. Diagnostic de grands périmètres irrigués dans le Sud-Ouest du Burkina Faso : Vallée du Kou-Banzon-Karfiguela. Groupement IWACO-BURGEAP Bobo Dioulasso. 47 p + annexes.
- JACQUOT M., COURTOIS B.**, 1983. Le riz pluvial. GP Maisonneuve et Larose, Paris, 129p.
- KAMBIRE F.**, 2000. Effets des techniques d'utilisation de la dent IR 12 sur la production du coton et du maïs en zone cotonnière ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin d'études de l'IDR, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso. 73 p.
- KONE M.**, 1982. Etude de l'évolution de l'eau dans différents types de sols après irrigation. Mémoire de fin d'études d'ingénieur agronome de l'IDR, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso. 86 p.
- MAITY S. P. et SARKAR M. K.**, 1990. Influence of different water management practices on the yield and total evapotranspiration of paddy under different atmospheric evaporative demande. *Oriza*, 27,279-281.
- MANDAL B. KET CHATTERJEE B. N.**, 1984. Growth and yield performane of selected rice variétés during cooler months under two water regimes. *Indian J. agron*, 29, 94-100.
- MARTIN-PREVEL P., GAGNARD J. et GAUTIER P.**, 1984. L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. Techniques et Documentation - Lavoisier. INERA Station de Farako- bâ, 810 p.

- MATHER T.H. et TRINH T.T.**, 1986. La lutte anti-vectorielle dans les rizières par l'aménagement de l'environnement. Bulletin d'irrigation et de drainage n°41. FAO, Rome (Italie). 199 p.
- MATSUSHIMA S.**, 1957. Analysis of developpement factors determining yield and yield prediction in low land rice. Evans, L.T. (ed) Crop physiology : 79-80.
- MINISTERE FRANÇAIS DE LA COOPERATION**, 1979. Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations. Collections techniques rurales en Afrique. 204 p +annexes.
- MINISTERE FRANÇAIS DE LA COOPERATION**, 1991. Mémento de l'agronome 4^{ème} édition ; collections techniques rurales en Afrique. 1635 p.
- MOULE C.**, 1980. Céréales. Phytotechnie Spéciale. Bases scientifiques et techniques de la production des principales espèces de grandes cultures en France. La maison rustique. Paris. 309 p.
- NACRO S.**, 1994. Analyse d'un système tri trophique : la cécidomyie du riz et ses parasitoïdes au Burkina Faso. Thèse de Doctorat de l'université de rennes (France). 118 P
- NEBIE B.**, 1995. Etudes des facteurs agro-pédologiques déterminant la production du riz irrigué à la Vallée du Kou au Burkina Faso. Thèse de Docteur-ingénieur Université Nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan. 167 p.
- OUATTARA. S., DEMBELE Y. et ZIDA Z.**, 1996. Manuel sur la gestion agronomique d'un périmètre irrigué (version française). IIMI/PMI-BF, Ouagadougou, 53 p.
- OUEDRAOGO A.**, 2000. La politique national de l'hydraulique agricole. Ministère de l'environnement et de l'eau. Direction de l'hydraulique agricole. 13 p.
- PSSA**, 1999. Evaluation des activités de la phase pilote du PSSA- année 1998.
- SANON M.**, 1986. La flore adventice des rizières de Camargue : Evolution récente et effets des techniques culturales. Mémoire de DAT. CNEARC/ INERA Montpellier France. 132 p + annexes.
- SAWADOGO J.**,1986. Cours d'agronomie et techniques culturales du riz. INERA station de Farako- bâ 42 p.+ annexes.
- SERE Y.**, 1988. La pyriculariose en riziculture irriguée. Exemple de la Vallée du Kou (Burkina Faso). Problèmes phytosanitaire du riz au Burkina Faso et bilan des recherches *Sahel PV INFO Juillet* 1988. 5-6.
- SERE Y. et NACRO S.**, 1992. Les problèmes phytosanitaires du riz au Burkina Faso. Bilan des recherches. Rapport préparé pour la réunion du groupe d'action sur la lutte intégrée contre les ennemis du riz à l'ADRAO Bouaké les 19 et 20 février 1992. 34p.

- SERE Y. et HEBIE S.**, 1990. La production du riz et la recherche rizicole au Burkina Faso. Rapport présenté à la session de la commission internationale du riz tenue à GOINA (Brésil) du 4 au 9 février 1990. 25 p.
- SIE M.**, 1988. Production et amélioration du riz au Burkina Faso. INERA station de Farako-bâ 39 p.
- SIE M. et COMBASSERE C.**, 1994. Rapport de synthèse SAVRIZ. Programme riz et riziculture. INERA station de Farako- bâ 41 p.
- SOW L. et KEIZER K.**, 1990. Aménagement hydro-agricole et autogestion paysanne : le cas du périmètre irrigué de la Vallée du Kou, Burkina Faso. Contribution à l'atelier international «Conception Viable d'Aménagements Hydro-agricoles paysans en Afrique Subsaharienne» Université agronomique de Wageningen (Pays-Bas), 5-8 février 1990, 1-16.
- TSUTUI**, 1972. Water management for rice cultivation and crop diversification. FAO 30th sess. rice soil, water and fert. Practices, Bangkok, 30 october-3 november 1972, 1-6.
- WATANABE T.**, 1992. Water budgets in paddy field. Soil and Water Engeneering For Paddy Field Management. Proc of Intern. Thailand, jan 28-30, 1992, AIT, Bangkok (Thailand). 1-11.
- WOPEREIS M.C.S.et BARRO S. E.**, 1998 : Synthèse des résultats acquis sur la gestion de la fertilité des sols à la Vallée du Kou. 4 p.
- YOSHIDA S.**, 1972. Fundamentals of rice crop Science. International Rice Research Institue, Los Bagnos, Laguna. 269 p.+ annexes.
- YOSHIDA S.**, 1981. Fundamentals of rice crop science IRRI. Los Banos, (Phillipines). 113-115 p.
- ZIDA Z.**, 1993. Etude des besoins en eau et de la gestion de l'eau à la parcelle sur le périmètre irrigué de Mogtêdo. Mémoire de fin d'études de l'IDR. Université Polytechnique de Bobo Dioulasso. 95 p.

ANNEXES

ANNEXE 1

CYCLE DE DEVELOPPEMENT

PHASES

STADES

Phase végétative :

(De la germination à l'initiation paniculaire) ----->

- Germination
- Repiquage
- Début du tallage
- Tallage maximal

Phase reproductive :

(De l'initiation paniculaire à la floraison) ----->

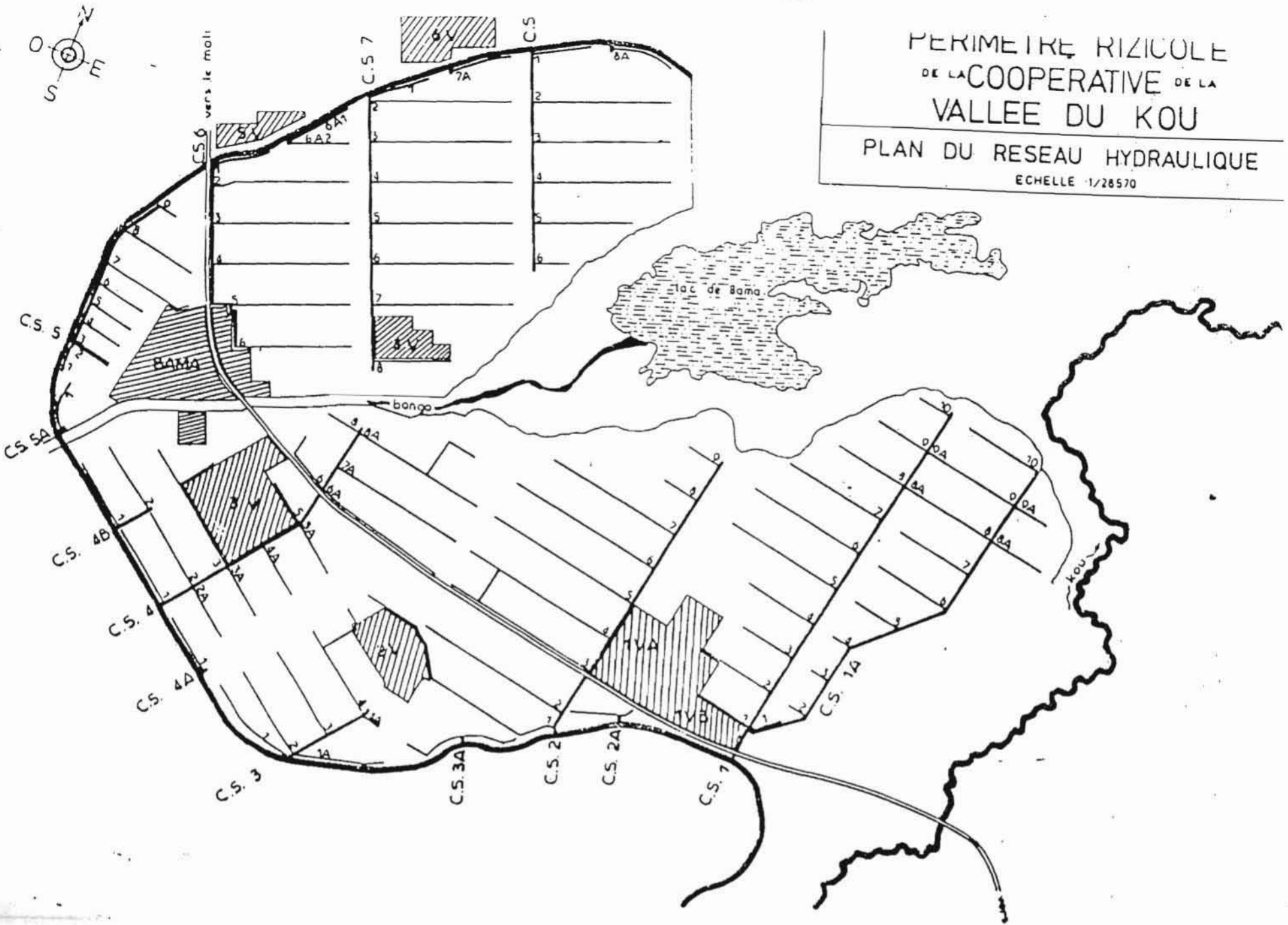
- Initiation paniculaire
- Début de la montaison
- Début de l'épiaison
- Début de la floraison

Phase de maturation :

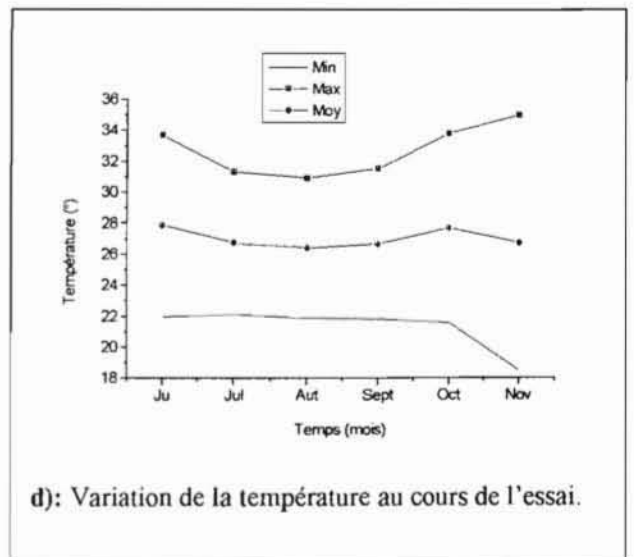
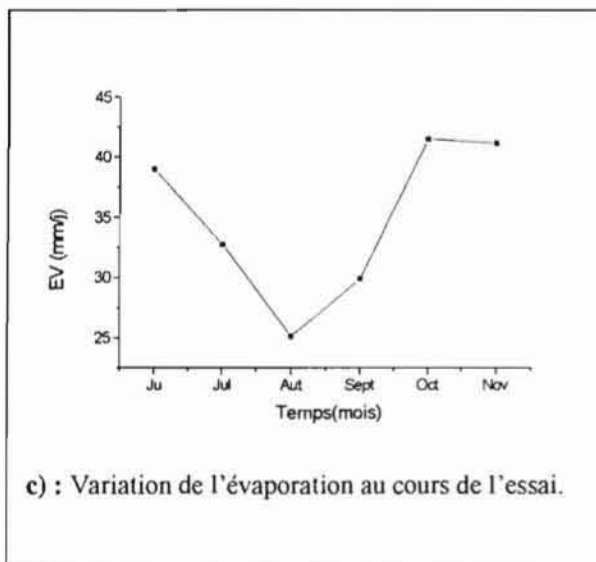
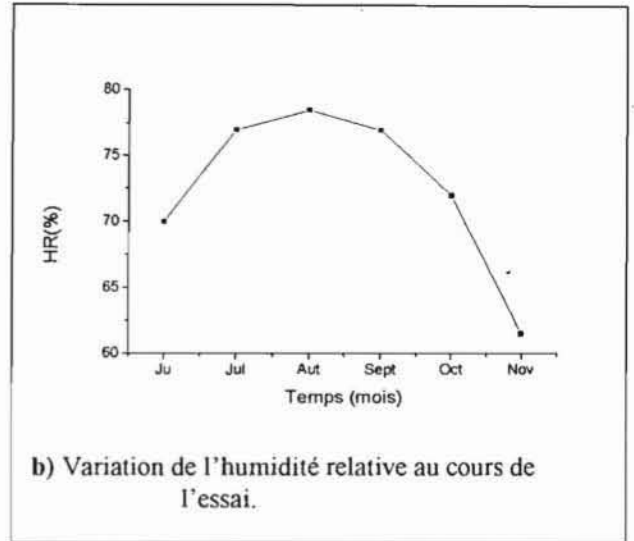
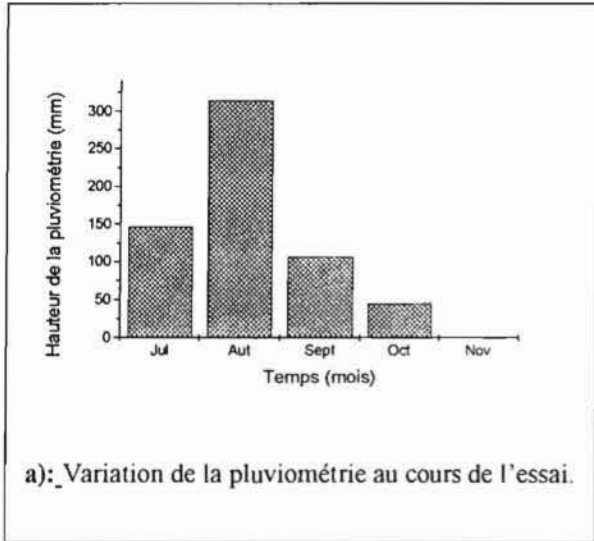
(De la floraison à la maturité) ----->

- Stade de fécondation/
Début de la maturation
des grains.
- Stade grains laitoux
- Stade grains pâteux
- Stade grains mûrs
- Stade de sur maturation

ANNEXE 2



ANNEXE 3



ANNEXE 4 : Caractéristiques chimiques des échantillons de sol de l'essai

ANNEXE 4.1 : Variation du pH_{KCl} du sol de l'essai

Profondeur de prélèvement	pH _{KCL}	Classes de valeur	Nombre d'échantillons	Pourcentage (%)
0-10cm	3 à 4,5	Extrêmement acide	2	33,33
	4,5 à 5	Très fortement acide	4	66,67
10-20cm	3 à 4,5	Extrêmement acide	4	66,67
	4,5 à 5	Très fortement acide	2	33,33
20-30cm	3 à 4,5	Extrêmement acide	4	66,67
	4,5 à 5	Très fortement acide	2	33,33

ANNEXE 4.2 : Variation du pH_{eau} du sol de l'essai

Profondeur de prélèvement	pH _{eau}	Classes de valeur	Nombre d'échantillons	Pourcentage (%)
0-10cm	5 à 5,5	Très acide	5	83,33
	5,5 à 6	Acide	1	16,67
10-20cm	5 à 5,5	Très acide	5	83,33
	5,5 à 6	Acide	1	16,67
20-30cm	5 à 5,5	Très acide	4	66,67
	5,5 à 6	Acide	2	33,33

ANNEXE 4.3 : Variation de la teneur en azote total en fonction de la profondeur de prélèvement du sol.

Profondeur de prélèvement	Azote total en (‰)	Classes de valeur	Nombre d'échantillons	Pourcentage (%)
0-10cm	< 0,5	Très pauvre	0	0
	0,5 à 1	pauvre	6	100
10-20cm	< 0,5	Très pauvre	1	16,67
	0,5 à 1	pauvre	5	83,33
20-30cm	< 0,5	Très pauvre	3	50
	0,5 à 1	pauvre	3	50

ANNEXE 4.4. : Variation du pourcentage de la matière organique en fonction de la profondeur du sol de l'essai.

Profondeur de prélèvement	Teneur en matière organique (%)	Classes de valeur	Nombre d'échantillons	Pourcentage (%)
0-10cm	<1	Très faible	0	0
	1 à 2	Faible	4	66,67
	2 à 3	moyenne	2	33,33
10-20cm	<1	Très faible	3	50
	1 à 2	Faible	3	50
	2 à 3	moyenne	0	0
20-30cm	<1	Très faible	3	50
	1 à 2	Faible	3	50
	2 à 3	moyenne	0	0

ANNEXE 4.5. : Variation du phosphore assimilable en fonction de la profondeur du sol de l'essai.

Profondeur de prélèvement	Teneur en P. assim. (ppm)	Classes de valeur	Nombre d'échantillons	Pourcentage (%)
0-10cm	< 3	Très pauvre	6	100
10-20cm	< 3	Très pauvre	6	100
20-30cm	< 3	Très pauvre	6	100

ANNEXE 4.6 : Variation de la teneur en potassium échangeable.

Profondeur de prélèvement	Teneur en K échangeable (méq/100g)	Classes des valeurs	Nombre d'échantillons	Pourcentage (%)
0-10cm	< 0,1	Très pauvre	6	100
10-20cm	< 0,1	Très pauvre	6	100
20-30cm	< 0,1	Très pauvre	6	100

ANNEXE 5

FICHE DESCRIPTIVE DE LA VARIETE FKR 28

NOM : **FKR 28** (Synonyme : ITA 123)

ORIGINE : NIGERIA

ANNEE D'INTRODUCTION : 1983

ESPECE : *Oryza Sativa*

GROUPE VARIETAL : *Indica*

CARACTERES VEGETATIFS

- Cycle semi-épiaison : 90 j
- Cycle semi-maturité : 120j
- Hauteur : 95cm
- Tallage : Bon
- Port de la plante : Erigé
- Port de la feuille paniculaire : Erigé
- Port de la panicule : Semis Retombant

CARACTERES DU GRAIN (paddy)

- Longueur : 10,2mm
- Largeur : 2,5cm
- Poids de 1000grains : 25,9g
- Aristation : Mutique
- Pilosité : Velu
- Couleur des glumelles : Paille
- Couleur de l'apex : Incolore

CARACTERES AGRONOMIQUES

- Résistance à la pyriculariose : Assez bonne
- Résistance à la verse : Assez bonne
- Résistance à l'égrenage : Bonne
- Réponse à l'azote : Bonne
- Potentiel de rendement : 5 à 6 t / ha
- Dormance : Néant
- Fumure conseillée :

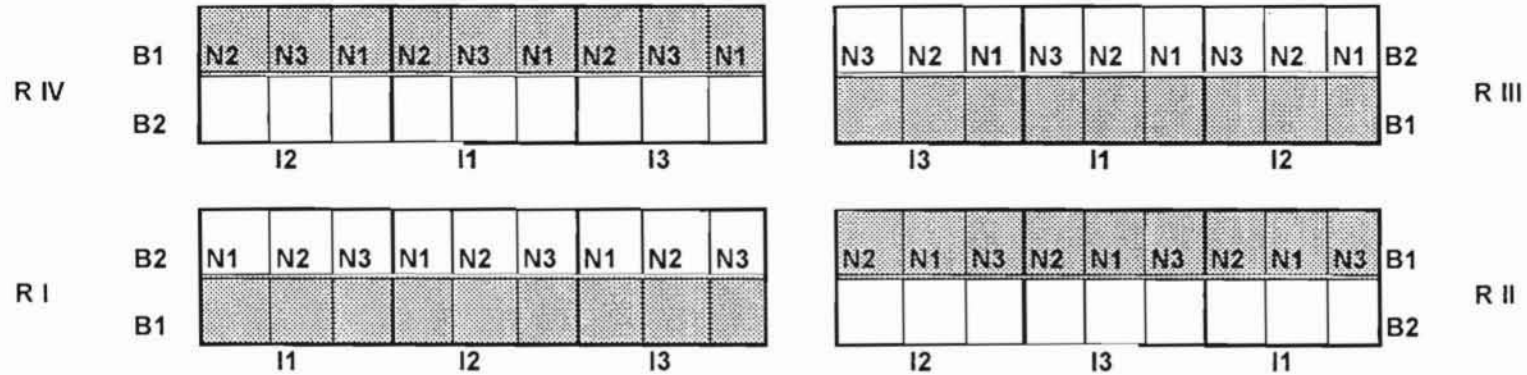
Saison sèche

Saison humide

- | | | |
|--------------------------------|----------------|----------------|
| - Au repiquage : | 300kg / ha NPK | 300kg / ha NPK |
| - 14 jours après repiquage : | 75kg / ha Urée | 35kg / ha Urée |
| - A l'initiation paniculaire : | 75kg / ha Urée | 65kg / ha Urée |

ANNEXE 6

DISPOSITIF EXPERIMENTAL



B1: Mise en boue du sol

B2 : Non mise en boue du sol

N: Niveau de fertilisation azotée (N1=70 unités/ha ; N2=100unités/ha et N3=130unités /ha).

I1: Irrigation par submersion continue avec lame d'eau contrôlée et sans drainage à l'application de l'azote.

I2 :Irrigation par intermittence avec drainage au moment de l'application de l'azote.

I3: Irrigation par submersion continue avec lame d'eau contrôlée avec drainage à l'application de l'et d'une mise en eau 3 jours après

R : Répétitions