

REPUBLIQUE DU BENIN

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

FACULTE DES LETTRES ARTS ET
SCIENCES HUMAINES

(FLASH)

ECOLE DOCTORALE

PLURIDISCIPLINAIRE

(EDP)



FACULTE DES SCIENCES ET
TECHNIQUES

(FAST)

UNITE DE RECHERCHE SUR LES

ZONES HUMIDES

(URZH)

MEMOIRE D'OBTENTION DU DIPLOME D'ETUDE APROFONDIE

(DEA)

Option : Aménagement et Gestion de l'Environnement

Spécialité : Agriculture et Environnement

« EFFETS DE SUBSTITUTION DES ENGRAIS
CHIMIQUES PAR *AZOLLA PINNATA*
EN RIZICULTURE AU NORD BENIN. »

Présenté par :

Antoine Z. K. DJOGBEDE

Sous la Supervision de :

Dr Ir Emile Didier FIOGBE

Maître de conférences

Directeur du laboratoire de URZH/FAST

Année académique 2008- 2009

CERTIFICATION

Je soussigné Emile Didier FIOGBE professeur, responsable de l'Unité de Recherche sur les Zones Humides certifie que la présente étude a été conduite par DJOGBEDE Z. Kapa Antoine à l'Unité de Recherche sur les Zones Humides de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abomey – Calavi.

LE DIRECTEUR DE MEMOIRE

Professeur Emile Didier FIOGBE

DEDICACES

Je dédie cette œuvre :

A mon épouse Marthe GANDJI et mes enfants

REMERCIEMENTS

C'est pour moi un agréable devoir de remercier au terme de ce travail, tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont contribué à la réalisation de ce travail. J'adresse particulièrement ma gratitude :

- Au Professeur Emile Didier FIOGBE, Maître de conférences, Directeur de l'Unité de Recherche sur les Zones Humides (URZH), Directeur de ce mémoire, qui a constamment œuvré pour l'aboutissement de ce travail et dont la très riche expérience en azolliculture m'a servi tout au long de ce travail. Je le remercie pour ses critiques constructives, pour sa constante disponibilité. Qu'il retrouve ici mes sincères reconnaissances ;

- Au partenariat National d'Eau du Bénin (PNE-Bénin) pour son soutien de ces travaux ;

- Au Professeur Félix HONTINFINDE, professeur titulaire de physique, principal instigateur des présentes études, pour l'attention toute particulière dont il m'a entourée depuis mon entrée à l'Université au royaume du MAROC jusqu'à la réalisation du présent mémoire de DEA. Qu'il reçoive ici l'expression de ma profonde gratitude ;

- Au Professeur Patrick EDORH, maître de conférences, pour ses précieux conseils ;

- A tous les enseignants de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire de la FLASH ;

- Au Professeur Nestor SAKITI pour avoir pris le risque de me recommander pour les présentes études sans m'avoir connu au préalable ;

- Au professeur Nestor SOKPON, Vice Recteur de l'Université de Parakou pour ses conseils et ses encouragements ;

- Au Professeur Rigobert TOSSOU pour ses conseils et ses encouragements ;

- A tous les membres du secrétariat exécutif du PNE-Bénin (Partenariat National pour l'Eau);

- A Emile Hugues SOSSOU pour ses aides ;

- A Norbert ASSONGBA du service des pêches de Malanville pour son soutien et ses aides plurielles ;

- A Grégoire Koba, responsable technique à Malanville des périmètres de la Sota et du bassin du Niger.

- Aux membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail

RESUME

La culture du riz au Bénin s'est accrue ces dernières années en raison de l'importance que prend cette denrée alimentaire par sa place dans les ménages et la restauration collective.

Cette culture se fait avec des quantités importantes d'engrais chimiques (chers et inaccessibles aux paysans pauvres) et crée des problèmes environnementaux de pollution des sols et des nappes phréatiques.

C'est pourquoi le recours à *Azolla*, petite fougère aquatique utilisée en riziculture en Asie est devenu une nécessité pour la riziculture béninoise. Elle a été utilisée et comparée à diverses doses d'engrais à titre expérimental dans cette étude.

Le dispositif d'évaluation utilisé est en blocs à 3 répétitions par traitement et comporte 6 traitements.

La fertilisation apportée est en deux fractions : le NPK en fumure de fond au repiquage et l'urée 30 jours après le repiquage pour les traitements 2, 3, 4 et 5, Azolla pour le traitement 1 et l'absence de fertilisation pour le traitement 6 qui est le traitement témoin.

La densité de mise en place des plants de riz dans ce dispositif est aux écartements de 20cm x 20cm à raison de 3 plants par poquet sur une superficie de 5m² par répétition (essai) soit 15m² par traitement.

Les mesures effectuées se rapportent à vingt plants fixés et numérotés par casier soit 60 plants identifiés par traitement. Ces plants sont choisis au centre des casiers pour éviter l'effet de périphérie qui fait développer les plants périphériques mieux que les plants situés au centre des casiers. Elle consiste à recueillir les données suivantes : hauteur des plants de riz ; nombre de feuilles par poquet; nombre de thalles par poquet; nombre de panicules par poquet par

quinzaine et en fin de récolte, le poids moyen de paille et de paddy ainsi que la masse de matière sèche de riz par casier et par essai.

Les données ont été encodées à l'aide du logiciel Excel et les différentes analyses ont été faites à l'aide des logiciels SPSS et Minitab. Le traitement des données s'est basé sur le test d'analyse de variance et de comparaison multiple des moyennes.

Les résultats de ces recherches ont montré qu'utilisée comme engrais vert *Azolla filiculoides* donne une meilleure croissance du riz (croissance en hauteur, en nombre de feuilles, en nombre de thalles et en nombre de panicules) puis un rendement (en grain et en matière sèche) meilleur que la riziculture sous la fertilisation par les engrais chimiques.

Elle permet également une bonne production de fourrage (rendement en paille) pour le bétail, évite aussi la pollution de l'espace cultivé par les engrais et les pesticides.

MOTS-CLES :

(Engrais chimique -NPK et Urée - substitution –Azolla- engrais vert- croissance- rendement)

ABSTRACT

The culture of rice in Benin increased these last years because of the importance that this food commodity takes because of its place in the households and the collective catering.

This culture is made with important quantities of chemical manures which are very expensive and inaccessible to the poor farmers and then creating environmental problems of pollution of soils and underground water.

It is why the recourse to Azolla, a small aquatic fern used in the culture of paddy in Asia, became a necessity for the Beninese in the culture of paddy. It has been used and compared to different quantities of chemical manures in this study.

The experimental device is in blocs and composed of six trials containing three repetitions each. The space between each triplet of plants of rice is 20cm. Each repetition is a bloc of 5m², which leads to 15m² per trial. The fertilisation used is in two phases: NPK the first day and urea thirty days later for the trials n° 2, 3, 4, and 5; Azolla for the first trial and the absence of trial n°6 used as control.

The measures taken refer to 20 plants in each repetition, which leads to 60 plants for each trial. Those plants are chosen in the centre of the trials. During the growth, the measures taken for each triplet of plants each two weeks are: the height, the number of stubbles and the number of fruts. At the harvest time, the weight of paddy, the weight of the rice straw, and the total weight of both measures are taken per repetition and per trial.

Those data will be treated with Excel, SPSS and Minitab. The study of these data will be based on the test of multiple variances, averages and a comparison of the averages.

Used as green manure in the present research, Azolla showed a better growth of rice (growth in height, in number of leaves and in number of stubbles) and a good yield (paddy and rice straw) better than the rice paddy culture fertilised with chemical manures.

It also permits a good production of fodder (yield made of straw) for livestock and pollutes less than areas fertilised with chemical manures and pesticides.

KEY-WORDS:

(N P K- substitution- azolla- growth- fertility- organic nutrients - good yield)

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n° 1 : Stades de développement du riz.....	10
Tableau n° 2 : Caractéristiques agronomiques de quelques variétés de riz....	14
Tableau n° 3 : Coût de quelques opérations lors de la culture du riz.....	15
Tableau n° 4 : Dispositif du site expérimental.....	25
Tableau n° 5 : Fertilisation des traitements.....	26
Tableau n° 6 : Evolution de la hauteur des plants de riz.....	29
Tableau n° 7 : Evolution du nombre de feuille par poquet.....	31
Tableau n° 8 : Evolution du nombre de thalles par poquet.....	33
Tableau n° 9 : Evolution du nombre de panicules par poquet.....	35
Tableau n° 10 : Rendements à la récolte.....	37

LISTE DES FIGURES

Figure n° 1 : Plan de la ville de Parakou.....	23
Figure n° 2 : Evolution de la hauteur des plants de riz.....	30
Figure n° 3: Evolution du nombre de feuille par poquet.....	32
Figure n° 4 : Evolution du nombre de thalles par poquet.....	34
Figure n° 5: Evolution du nombre de panicules par poquet.....	36
Figure n° 6 : Histogramme du rendement en grain.....	38
Figure n° 7: Histogramme du rendement en paille.....	38
Figure n° 8: Histogramme du rendement en masse de matière sèche.....	39
Figure n° 9 : Histogramme du rendement en indice IH.....	40

LISTE DES PHOTOS

Photo n° 1 : Plant de riz.....	9
Photo n° 2 : Culture de <i>Azolla</i> en casiers.....	17
Photo n° 3 : Tapis de <i>Azolla</i>	17
Photo n°4: Enfouissement de <i>Azolla</i> à l'aide d'une houe rotative manuelle .	19

ABREVIATION

Trt 1 : traitement 1 à *Azolla*

Trt 2 : traitement 2 à très fort taux d'engrais

Trt 3 : traitement 3 à fort taux d'engrais

Trt 4 : traitement 4 à taux normal d'engrais

Trt 5 : traitement 5 à très faible taux d'engrais

Trt 6 : traitement 6, témoin, sans engrais ni *Azolla*

TB : Très Bonne

AB : Assez Bonne

TABLE DES MATIERES

CERTIFICATION	ii
DEDICACES	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RESUME.....	v
ABSTRACT	vii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES PHOTOS.....	ix
ABREVIATION	ixii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
1. Introduction	2
2. contexte et justification du travail	4
3. Objectifs de la recherche	5
4. Hypothèses de recherche	5
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	7
1. Description du riz.....	8
1.1. Origine et botanique.....	8
1.2. Morphologie du riz.....	9
1.3. Ecologie du riz	10
1.4. Riziculture pluviale	11
1.5. La riziculture irriguée.....	11
1.6. La riziculture avec la maîtrise incomplète de l'eau	12
1.7. Mode de culture de riz au Bénin	13
2. Description de Azolla.....	15
2.1. Données botaniques.....	15
2.2. Morphologie de la plante	15
2.3. Biologie de <i>Azolla</i>	16
2.4. Ecologie de <i>Azolla</i>	16
2.5. Intérêts de <i>Azolla</i>	18
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	21
1. Matériel de travail.....	22

1.1. Cadre d'étude	22
1.2. Site expérimental	22
1.3. Matériels de travail	23
1.3.1. Matériel de riziculture	24
1.3.2. Matériel végétal.....	24
2. Méthodes	24
2.1. Dispositif expérimental	24
2.2. La fertilisation du champ	25
2.3. Mise en place d'une pépinière	26
2.4. Méthode de collecte des données.....	26
2.5. Méthode d'échantillonnage	27
2.6. Méthode d'analyse des données	27
CHAPITRE III : RESULTATS.....	28
1. Effet de substitution des engrais chimiques par <i>Azolla</i> sur la croissance du riz	29
1.1. Effet de substitution des engrais chimiques par <i>Azolla</i> sur la croissance en hauteur (en cm) du riz.....	29
1.2. Effet de substitution des engrais chimiques par <i>Azolla</i> sur la foliation.....	30
1.3. Effet de substitution des engrais chimiques par <i>Azolla</i> sur la mise en place des thalles.....	32
1.4. Effet de substitution des engrais chimiques par <i>Azolla</i> sur la floraison et la fructification	34
2. Effet de substitution des engrais chimiques par <i>Azolla</i> sur les rendements à la récolte	36
DISCUSSIONS	441
1. Effet de substitution des engrais chimiques par <i>Azolla</i> sur la croissance.....	42
2. Effet de substitution des engrais chimiques par <i>Azolla</i> sur les rendements du riz.....	43
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	46
ANNEXES.....	53

INTRODUCTION GENERALE

1. Introduction

Le riz est une importante céréale cultivée dans 113 pays répartis sur tous les continents. Il couvre 15% des surfaces cultivées et constitue l'aliment de base de plus de la moitié de la population mondiale. Plus de deux milliards de personnes en Asie tirent 60 à 70% de leur apport énergétique du riz et de ses dérivés.

Le riz apporte le tiers de la ration en calories aux populations d'Afrique et d'Amérique latine. La riziculture représente l'activité de base et la principale source de revenu pour plus de 100 millions de ménages en Asie et en Afrique. Environ les 4/5 du riz mondial sont cultivés par de petits agriculteurs des pays en voie de développement à faible revenu. Cette production est consommée sur place. Seulement 5% du riz produit est échangé dans le monde contre 20 % de blé (FAO, 2004).

L'importance du riz dans les habitudes alimentaires des africains et dans les économies nationales de nos pays augmente ; (6%) selon les études de ADRAO, en 2006. Les pays de l'Afrique subsaharienne (ASS) dépensent par an, plus de 1,2 milliards de dollars US pour importer du riz.

Le Bénin importe plus de vingt mille (20.000) tonnes de riz évalué à plus de 25 milliards de F CFA par an, car le riz a conquis sa place dans les ménages et la restauration collective. Selon la FAO (1997), la consommation moyenne de riz par tête et par an est de 6 à 20 kg en zones rurales et de 10 à 30 kg en zones urbaines. Cela fait du riz la seconde céréale importée après le blé (ASSIGBE et ALY, 2002). En effet, en terme de riziculture en Afrique de l'Ouest, la production nationale du riz ne représente que 0,31% de la production ouest africaine qui est dans l'ordre de 6 136 000 tonnes (FAO, 2001). Toutefois, depuis dix ans, la production nationale du riz connaît une croissance (Verlinden et Soulé, 2003). La production du riz au Bénin a été multipliée par cinq entre 1990 et 2000. Elle est passée de 10.940 tonnes de paddy en 1990 à 52.441

tonnes de paddy en 2000 (MDR/DPP, 2000). En 2004, elle a atteint 64151 tonnes (DPP/MAEP, 2004). La plus grande partie de cette production est concentrée dans les départements de l'Alibori (34%), des Collines (32%), de l'Atakora (16%), du Borgou (8%) et de la Donga (6%). Les départements du Couffo, du Zou, du Mono, de l'Ouémé et des Plateaux contribuent faiblement à cette production (Adégbola et Singbo, 2005).

Pour relever le niveau de la production nationale et atteindre l'autosuffisance alimentaire dans ce secteur, des mesures d'aménagement de bas-fonds et des périmètres irrigués ont été prises. De même, des variétés plus performantes comme le riz NERICA ont été mises au point par la Recherche et laissées à la disposition des riziculteurs. Ces variétés sont cultivées dans trois types d'écosystèmes : les bas-fonds, les périmètres irrigués et sur les plateaux en terre exondée. Cela fait appel à l'utilisation abusive des fertilisants et des herbicides ce qui expose les sols et les nappes phréatiques à une pollution de plus en plus croissante comme c'en est le cas à BANIKOARA pour le coton. C'est fort de cela que notre travail vise une riziculture respectueuse de l'environnement à travers le thème intitulé : « **Effets de substitution des engrais chimiques par *Azolla filiculoides* en riziculture au Nord Bénin** »

2. Contexte et justification du travail

L'utilisation des intrants agricoles pollue l'environnement et augmente le coût de la production du riz. En effet, en dehors du prix de revient, ces engrais, ne sont pas assez purifiés et renferment de nombreux métaux lourds et toxiques peu mobiles dans le sol. Selon ZAID (2000) dans les super phosphates, des taux d'impuretés sont de l'ordre de 7 à 32 ppm de Nickel, 66 à 243 ppm de chrome, 7 à 92 ppm de plomb et 50 à 1430 ppm de Zinc. Ces substances peu mobiles s'accumulent dans les horizons superficiels des sols en particulier dans la couche cultivée où sont situées les racines de riz qui absorbent ces métaux et les concentrent dans leurs tissus ; ce qui augmente les risques de cancer chez les consommateurs de ces denrées. L'abus de ces engrais chimiques n'a pas que des inconvénients sur la santé de l'homme, il provoque des modifications de la structure physique des sols entraînant une modification de la percolation, la capacité de rétention des ions de ces sols ainsi que leur capacité d'échange cationique.

Les herbicides quant à eux, une fois propagés, s'infiltrant dans le sol et les eaux et polluent la nappe phréatique.

Ces engrais et herbicides en dehors de leur prix d'achat élevé, présentent des dangers aussi bien sur la santé de l'Homme que sur la pollution de l'environnement.

Pour remédier à ces différents maux, les Asiatiques depuis l'antiquité font appel à l'utilisation de *Azolla* comme engrais vert dans leur riziculture (Rakotonasolo, 1988). Cette pratique culturelle est également introduite à Madagascar et en Afrique du Sud pour les mêmes raisons (Rakotonasolo, 1988).

En effet, *Azolla* est une petite fougère aquatique capable de transformer l'azote atmosphérique (N_2) en ammoniac (NH_3) par le biais d'une symbiose héréditaire

avec une cyanobactérie (*Anabeana azolla*). Cette bactérie est sous forme de filaments non ramifiée constituant les cellules végétatives dont certaines se différencient en hétérocystes (Van Hoove, 1983).

Ces hétérocystes sont des sites exclusifs de la fixation de l'azote atmosphérique (Reynaud, 1986). En riziculture, *Azolla* permet la fertilisation du sol, donc l'augmentation de la productivité du riz grâce à sa richesse en azote. Selon l'ONG Malgache RAMILAMINA, dans sa note de présentation de 1998, en matière agronomique, un kilogramme de *Azolla* frais de bonne qualité peut fournir l'élément fertilisant apporté par 4 grammes d'urée commerciale.

La culture du riz étant devenue une activité importante au Bénin, et surtout au nord Bénin, il urge de trouver des stratégies, des techniques pour non seulement augmenter le rendement de la production du riz mais également de réduire le coût de production et de protéger le sol, les nappes phréatiques de la pollution et surtout de réduire le risque des maladies cardiovasculaires et le cancer d'origine alimentaire au Bénin.

3. Objectifs de la recherche

L'objectif principal est d'augmenter la productivité du riz au Bénin en préservant les rizières contre les pollutions chimiques.

De façon spécifique, il est question de :

- apprécier l'effet de l'utilisation de *Azolla* comme engrais vert sur la croissance du riz ;
- mesurer l'effet de l'utilisation de *Azolla* sur les rendements ;

4. Hypothèses de recherche

H1 : la substitution des engrais chimiques par *Azolla* dans la riziculture au Nord Bénin accélère la croissance en hauteur du riz ;

H2 : la substitution des engrais chimiques par *Azolla* dans la riziculture au Nord Bénin accélère la foliation (formation des feuilles) ;

H3 : l'utilisation de *Azolla* comme engrais vert au détriment des engrais chimiques accélère la mise en place des thalles ;

H4 : la substitution des engrais chimiques par *Azolla* dans la riziculture au Nord Bénin accélère la floraison et la fructification ;

H5 : l'utilisation de *Azolla* comme engrais vert au détriment des engrais chimiques augmente le rendement du riz au Bénin.

CHAPITRE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Description du riz

1.1. Origine et botanique

Le riz est une monocotylédone appartenant à la famille des Poacées et appartient au genre *Oryza*. Il existe une vingtaine d'espèces dont deux sont cultivées : *Oryza sativa* originaire d'Asie, est le plus répandu et *Oryza glaberrima Steud*, originaire d'Afrique.

L'espèce *O. sativa* L est le riz commun asiatique et présent dans la plupart des pays rizicoles dans le monde. C'est cependant la Chine qui détient le record avec des traces de domestication remontant à 9000 ans (Second,2004).La quasi totalité des variétés appartiennent à cette espèce grâce notamment à sa grande plasticité et ses caractéristiques gustatives.

L'espèce annuelle *O. glaberrima Steud*, est d'Afrique occidentale du delta du Niger au Sénégal. Elle est répandue depuis son foyer d'origine, le delta du Niger, jusqu'au Sénégal entre 1500 et 800 avant J.C. mais n'a pas connu un développement loin de sa zone d'origine. Sa culture a même subi un déclin en faveur de l'espèce asiatique, *O. sativa*), qui a vraisemblablement été introduite sur le continent africain par les caravanes venant de la côte orientale entre le 7^{ème} et le 11^{ème} siècle (CNUCED, 2004).

Cependant, si on parle du riz en termes de variétés, il existe plus que deux. Elles sont si nombreuses qu'on les a classées en deux groupes distincts, pour mieux s'y retrouver. Le groupe *japonica* reprend les riz à grain court. On y retrouve les différents riz ronds et collants typiques de la cuisine chinoise et japonaise. Certains riz de la variété *japonica* ont besoin d'un climat tempéré et d'autres d'un climat tropical. Le groupe *indica* reprend les riz à grain long, comme les riz *basmati et sadri*, très parfumés.

Par ailleurs, on parle du riz sauvage, celui-ci ne fait partie du genre *Oryza*, mais du genre *Zizania*. Ce riz est originaire d'Amérique du Nord.

1.2. Morphologie du riz

Le riz est une herbacée annuelle à chaume dressé en touffe portant des inflorescences sous forme de panicules (CIRAD-GRET, 2002). Sa hauteur varie de moins d'un mètre à cinq mètres selon les espèces. Il a un système racinaire fasciculé. Il a des fleurs en épillets groupés en panicules de 20 à 30cm. C'est une plante prédisposée à former des thalles en bouquet de tiges. Les fleurs, en épillets uniflores groupées en panicules de 20 à 30 cm dressées ou pendantes. Le grain du riz est un caryopse enveloppé dans deux glumelles dont l'ensemble forme le paddy.

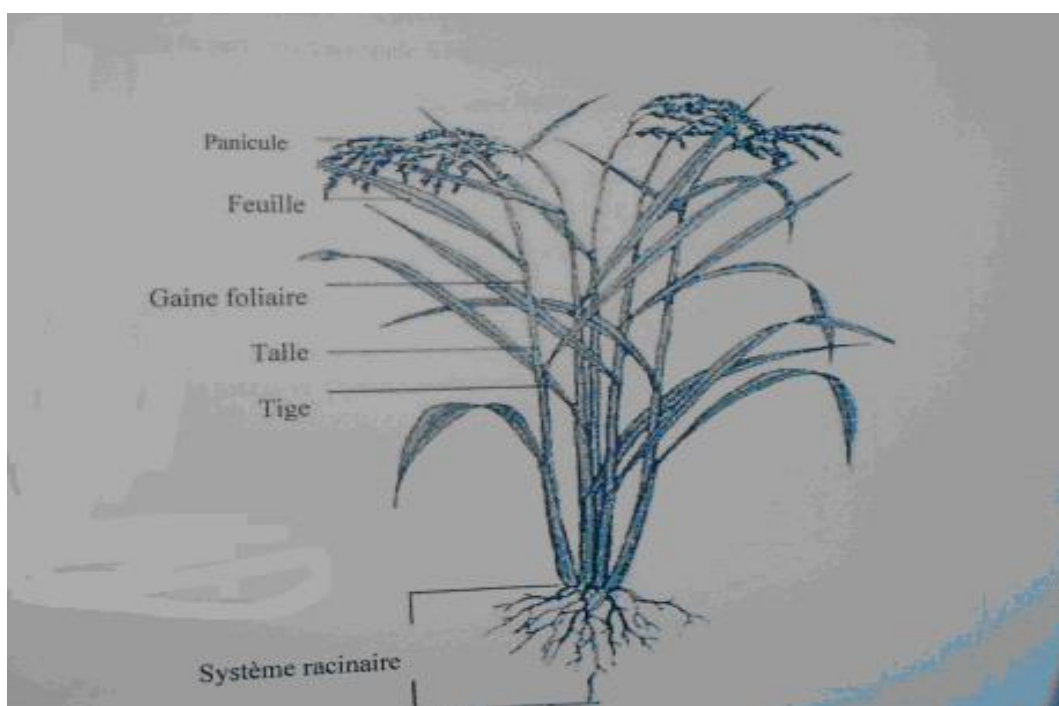


Photo 1 : Plant de riz (Source www.fao.org)

Le riz présente 9 stades de développement résumés dans le tableau 1.

Tableau n°1 : Stades de développement du riz (Source www.fao.org)

Ordre d'apparition	Stades	Description
1	Germination	Du semis à la sortie de la coléoptile de la graine
2	Plantule	De la sortie de la coléoptile à l'apparition de la 5 ^{ème} feuille
3	Tallage	De l'apparition de la 1 ^{ère} talle à la sortie des panicules
4	Elongation et montaison	De la sortie des panicules à leur développement complet à l'intérieur de la gaine de la feuille paniculaire
5	Epiaison	De la 1 ^{ère} apparition du bout de la panicule hors de la gaine de la feuille paniculaire, jusqu'à une sortie des panicules 90%
6	Floraison	Des 1 ^{ères} fleurs à la fin de la floraison des panicules
7	Grain laiteux	Caryopse aqueux à laiteux
8	Grain pâteux	Caryopse à l'état pâteux tendre à dur
9	maturation	Maturation de plus de 80% des épillets dans les panicules. Caryopse pleinement développé en taille, en fermé et sans teinte verdâtre

1.3. Ecologie du riz

La culture du riz exige une certaine chaleur, une humidité et une lumière très spécifique. Ce qui fait que seules les régions tropicales et subtropicales peuvent produire le riz toute l'année. Cette culture exige une humidité importante. En culture sèche, les besoins s'élèvent entre 160-300mm d'eau par an et pendant toute la durée du cycle, soit 1000 à 1800 mm (CIRAD- GRET, 2002). Il supporte des températures de 13 à 40 degrés. Il peut pousser au sec, en altitude ou dans les deltas. Il se cultive dans des zones géographiques diverses, du niveau de la mer jusqu'au Népal à plus de 3000 mètres d'altitude, mais la plus grande partie des surfaces cultivées se trouvent en dessous de 300 m. Grâce à la

très grande diversité morphologique et physiologique de ses écotypes, le riz est cultivé dans des écosystèmes variés allant du pluvial strict à des situations inondées où la lame d'eau peut atteindre 5 m (CIRAD- GRET, 2002).

1.4. Riziculture pluviale

La riziculture pluviale suppose une alimentation hydrique par la pluie (riz strictement pluvial) assistée parfois en bas de pente par la nappe phréatique (Raemaekers, 2001). Le riz pluvial (upland rice, rainfed rice) est parfois dénommé riz de montagne ou riz de plateau et est cultivé aussi bien en plaine que sur pentes plus ou moins fortes, en haute altitude comme au niveau de la mer. Cette riziculture ne couvre que 9% des rizières en Asie. Elle est par contre très importante en Afrique où elle concernerait 60% des rizières, soit 1,2 millions d'hectares (Raemaekers, 2001). Elle est dominante en Amérique Latine et en Afrique de l'Ouest où elle représente respectivement 75% et 50% des superficies cultivées (FAO, 1997). Les rendements en riz pluvial sont voisins de 1 à 1,5 tonnes de paddy par hectare (plus faible en Asie du Sud (0,8 tonnes en Inde et au Bangladesh) qu'en Asie du Sud-est avec 1,6 tonnes en Indonésie et au Nord de la (THAÏLANDE) (Irebrul, 2004). Cependant, les interspécifiques (*NERICA*) peuvent atteindre 4 à 5 tonnes par hectare. Selon ADRAO (2004), les contraintes majeures à cette riziculture sont la sécheresse, les adventives, les rongeurs et les maladies, le déficit en phosphore (P) et en azote (N), l'érosion du sol et l'acidité du sol.

1.5. La riziculture irriguée

La riziculture irriguée (irrigated rice) ou riziculture aquatique avec la maîtrise totale de l'eau se pratique en casiers limités par des diguettes et avec un système de canaux d'irrigations et drainages (Raemaekers, 2001). Dans le monde entier, environ 79 millions d'hectares de riz sont cultivées dans des conditions de

culture irriguée. Son rendement est très élevé 3 à 9 tonnes à l'ha et assure plus de 75% des approvisionnements mondiaux. C'est le système couramment pratiqué en Asie. En Asie de l'Est (Chine, Japon, Corée), 93% des surfaces rizicoles sont irriguées. En Afrique, seulement 5% des rizières sont irriguées. En Afrique de l'Ouest seulement 10,5% des surfaces rizicoles se situent dans les écosystèmes irrigués (Maclean et al, 2002). On la rencontre essentiellement en Guinée-Bissau, Sierra Léone, Gambie, Nigeria, et au Sénégal. Le rendement moyen en riz irrigué est de 5 tonnes en conditions tropicales et de 6,5 tonnes en zones tempérées aux conditions biophysiques plus favorables (Irebrul, 2004). Les principales contraintes de cette riziculture sont :

- la faible utilisation des intrants chimiques appliqués à fortes doses ;
- la salinité et l'alcalinisation liées au mauvais drainage ;
- la disponibilité de l'eau ;
- les ravageurs et les maladies
- la toxicité ferreuse.

1.6. La riziculture avec la maîtrise incomplète de l'eau

La riziculture aquatique avec maîtrise partielle de l'eau occupe une position intermédiaire entre les deux ci-dessus (Raemaekers, 2001). Elle représente un quart des rizières en Afrique. La riziculture inondée de bas-fonds, riziculture pluviale de bas-fonds (rainfed lowland rice) doit son alimentation en eau directement par les pluies avec une contribution plus ou moins importante des eaux de ruissellement, de la nappe phréatique et des débordements des cours d'eaux (Raemaekers, 2001). En riziculture de nappe, l'alimentation en eau est assurée par les remontées capillaires et la présence d'une nappe phréatique superficielle et fluctuante (Raemaekers, 2001). Cette riziculture de bas-fonds se fait souvent sur des ados séparés par drains et en rotation avec d'autres cultures (haricots, tubercules). On peut citer également la riziculture de marais (swamp

rice ou d'eau profonde (deep water rice). En fin, la riziculture flottante (floating rice) que l'on rencontre notamment en bordure du fleuve Niger est caractérisée par une lame d'eau dont la hauteur entre 1 et 4mètres et exige des variétés à croissance rapide (jusqu'à 20cm par jour) (Raemaekers,2001).Un cas particulier de ce type de culture est la riziculture flottante dans laquelle la lame d'eau issue des crues peut atteindre 1 à 5mètres, les tiges des plantes de riz s'allongent en conséquence (CNUCED,2004).

Le rendement en paddy des rizières inondées sont modérés, (2,2 tonnes par hectare en moyenne), mais sont aussi très instables d'une année à l'autre en fonction de la pluviométrie (Irebrul, 2004). Les principales contraintes selon Irebrul (2004) sont :

- l'alternance de période de sécheresse et d'inondation parfois au cours d'un même cycle ;
- la présence fréquente de sols à problème (salinité, toxicité, etc.) ;
- la forte compétitivité des mauvaises herbes due au manque de maîtrise de l'eau.

1.7. Mode de culture de riz au Bénin

Au Bénin trois types de riziculture sont généralement pratiqués : riziculture pluviale stricte, riziculture pluvial de bas-fond et riziculture irriguée avec une prépondérance pour la riziculture pluviale de bas-fond (Assigbé, 2003). En effet, les perturbations climatiques persistantes dans plusieurs régions du pays ont contraint les riziculteurs à descendre progressivement dans les bas-fonds à la recherche d'une sécurité pour la production. Le bas-fond est une situation intermédiaire entre le pluvial strict et l'irrigué. Toutefois, le bas-fond n'est pas non plus à l'abri des aléas climatiques, irrégularité des pluies, forte inondation, ensablement et dégradation de la fertilité des sols (Assigbé, 2003).

Tableau n°2 : Caractéristiques agronomiques de quelques variétés de riz

	Variétés	Durée du cycle	Réponse à la Fumure	Résistance à la sécheresse	Rendement Potentiel en t/ha	Rendement Réel en t/ha
Riz de bas-fond	1136	115	TB	Bonne	6	4
	TO3081	115	TB	Moyenne	6	4
	ITA 222	120	TB	AB	5,5	4
	INARIS 88	100	Bonne	Bonne	5	4,5
	WITA 4	120	Bonne	AB	6	5
	BERIS 21	115	Bonne	AB	5,5	4
	TOX 4008	115	Bonne	Bonne	6	4
Riz Pluvial	IRAT136	115	Bonne	AB	3,5	2,5
	IDSA 85	110	TB	AB	4	3,5
	WAB 570-10- B1-A2-6	100	Bonne	TB	4	2,5
	IR47701-6-3-1	120	TB	Bonne	4	3,5
	WAB 450- IBP 38-HB					
	(NERICA1)	110	Bonne	TB	3	3
	WAB 450- IBP 31-HB (NERICA2)	105	Bonne	Bonne	3	3
AUTRES	ADNY 11	110	TB	Bonne	5 à 7,5	4 à 5
	IRAT127	110	Bonne	AB	2,5 à 3,5	1,5 à 2,5
	Béris21	110	Bonne	AB	4 à 5,5	4 à 5

Source : Mémento technique de riziculture INRAB, 2003

Le coût des principales opérations dans la culture du riz détermine le coût de production à l'hectare.

Tableau n°3: Coût de quelques opérations lors de la culture du riz

Opérations	Coût/piquet de 400m ² = 1/25 ha	Coût/ ha
Herbicide	1 500	37.500
Pulvérisation	100	2.500
Sarclage	1 600	40.000
Total 1		80.000
Engrais NPK (riz)	1 600	40.000
Epannage	250	6.250
Engrais urée	600	15.000
Epannage	250	6.250
Total 2		67.500
Total	80.000 + 67.500 =	147.500

Source : ASSIGBE et al 2003 (document de vulgarisation de INRAB)

Le coût de la culture du riz tel que pratiquée aujourd'hui s'élève donc à 147 000f CFA (cent quarante sept mille francs) par hectare.

2. Description de *Azolla*

2.1. Données botaniques

Du point de vue systématique, *Azolla* appartient à l'embranchement des Ptéridophytes, Classe des Filicinées, ordre des Salviniiales, familles des Azollacées, genre *Azolla*. Il existe sept espèces réparties en deux sections.

2.2. Morphologie de la plante

Une plante de *Azolla* a de petites dimensions (1,5 à 3,5cm) qui excède rarement rameaux portent des feuilles bilobées très étroitement imbriquées.

.3. Biologie de *Azolla*

Azolla est une petite fougère aquatique capable de transformer l'azote atmosphérique (N_2) en ammoniac (NH_3) par le biais d'une symbiose héréditaire avec une cyanobactérie (*Anabeana Azolla*). Cette bactérie est sous forme de filaments non ramifiée constituant les cellules végétatives dont certaines se différencient en hétérocystes (Van Hoove, 1983).

Ces hétérocystes sont des sites exclusifs de la fixation de l'azote atmosphérique (Reynaud, 1986). Généralement la plante se multiplie végétativement par fragmentation au niveau d'une assise d'abscission qui se forme à maturité à la base de chaque ramification. Watanabe (1977) montre que le temps de doublement de la biomasse est de 3 à 5 jours.

Bien qu'elle existe la reproduction sexuée n'intervient qu'occasionnellement. Sa productivité varie entre 20 à 200 grammes par mètre carré par jour (Rakotonasolo, 1988). L'utilisation de *Azolla* remonte au onzième XXI^{ème} siècle au Viêt-nam et au moins au XIV^{ème} siècle en Chine. Sa nature symbiotique et l'identification du symbiote fixateur de N_2 remontent au XIX^{ème} siècle, par contre les progrès concernant l'amélioration des souches et en particulier l'hybridation sexuelle sont récents (après 1985). *Azolla* est fertilisée avec de l'engrais phosphaté ou des cendres et, pour accélérer sa multiplication végétative, les plantes sont fragmentées avec un outil spécial en bambou. Lorsqu'une parcelle est complètement couverte de *Azolla*, une partie du matériel végétal est récolté et sert à inoculer les parcelles voisines.

2.4. Ecologie de *Azolla*

Azolla est une fougère aquatique, largement distribuée à travers le globe dans les régions tempérées et tropicales. La température, le taux des sols en phosphore et l'intensité lumineuse sont des facteurs de croissance de *Azolla*. (Becking 1979, Reynaud 1984).

Elle se développe dans les étangs, les eaux stagnantes et peut se développer aisément dans les citernes et les casiers de riziculture.



Photo 2 : Culture de *Azolla* en casiers (cliché DJOGBEDE 2008)



Photo 3 : Tapis de *Azolla* (Cliché DJOGBEDE 2008)

2.5. Intérêts de Azolla

La particularité de *Azolla* réside dans son association de type symbiotique avec la cyanophycée *Anabaena azollae*, fixatrice du diazote atmosphérique. Il en résulte une autonomie de la fougère vis à vis de l'azote dissout. La teneur en azote de la matière sèche de *Azolla* est de 3 à 4% (le poids sec représente environ 6% du poids frais). Des mesures en champs ont montrées que le taux d'accumulation de l'azote allait de 2,6kg N/ha/j à 4,5kg N/ha /j (ADRAO St. Louis, Rapport de synthèse 1985). Lumpkin dans sa communication personnelle, 1984, estime qu'en conditions optimales, l'accumulation d'azote pourrait être supérieure à 10kg N/ha/j. En riziculture, *Azolla* permet la fertilisation du sol, donc l'augmentation de la productivité du riz grâce à sa richesse en azote.

L'activité fixatrice d'azote et la capacité de croissance rapide constituent l'intérêt agronomique de *Azolla*. Cette valeur agronomique peut atteindre 6 tonnes à l'hectare. En rizière une culture de *Azolla pinnata var. imbricata* représente 15 à 20 tonnes de matière fraîche à l'hectare. Suivant la densité de l'inoculum et la saison on l'obtient en 6 - 20 jours. Son enfouissement dans le sol de la rizière permet une libération progressive de l'azote d'origine organique et augmente le taux d'assimilation des engrais minéraux (N et P). Potentiellement l'économie en Azote minéral réalisée est de 50 à 100 % suivant les conditions pédoclimatiques.

La croissance de *Azolla* dans une parcelle de riz non désherbée permet d'augmenter le rendement de 30 à 40 %. Un désherbage manuel en présence de *Azolla* permet de se dispenser d'un deuxième désherbage et augmente le rendement de 10 à 15 %. La technique de l'utilisation de *Azolla* en rizière est applicable aussi bien en zone sahélienne sèche qu'en zone tropicale humide.

Selon Maria Andréa, 2007, *Azolla*, une petite fougère hydroptéridée flottante, offre une nouvelle contribution importante à l'agriculture. Utilisée comme couverture à la surface des eaux d'irrigation, cette fougère fixatrice de l'azote peut considérablement réduire les pertes d'ammoniac par volatilisation dans les

rizières, contribué à faire des économies d'engrais azoté et à améliorer les rendements. Cette solution est particulièrement intéressante compte tenu du coût élevé des engrais azotés et de la nécessité croissante d'augmenter les rendements du riz en grain et de réduire les effets néfastes de l'utilisation intensive des engrais azotés.



Photo n°4 : Enfouissement de *Azolla* à l'aide d'une houe rotative manuelle

L'intérêt de *Azolla* n'est pas limité à l'utilisation comme engrais vert. *Azolla* peut être également utilisée comme aliment du bétail pour les porcs et les poulets, les canards et en pisciculture, ainsi que dans des systèmes culturaux intégrés. Dans les pays asiatiques et en particulier en Chine, des chercheurs développent des systèmes culturaux combinant la culture du riz et de *Azolla* avec la pisciculture. Dans ces systèmes, le rendement en riz augmente, le développement des adventistes et des parasites du riz est significativement réduit, le sol s'enrichit en matière organique, N et P, la rizière produit également des protéines (poisson) en quantité significative (200-3000 kg/ha) et la fertilité à

long terme du sol est à priori, mieux préservée que dans une exploitation fondée sur l'usage intensif des engrais chimiques.

Des essais internationaux dans 37 sites de 10 pays rizicoles ont montré qu'en moyenne, l'incorporation de ces deux cultures de *Azolla* avant et après le repiquage était équivalente à l'épandage de 60 kg d'azote et augmentait les rendements d'environ une tonne par hectare.

Elle permet de baisser le niveau élevé des pertes d'azote après l'application des engrais azotés et d'améliorer la faible efficacité d'utilisation de l'azote par le riz contribuant de manière non négligeable à diminuer les problèmes environnementaux tels que l'eutrophisation de l'eau et le réchauffement dû à l'effet de serre (Maria Andréa, 2007).

Azolla est aussi utilisée comme une plante qui purifie les eaux polluées par les métaux lourds comme le cadmium, l'aluminium et le chrome (Al-Hamdani, 1997). Il est décrit comme capable d'extraire le potassium dans un sol déficitaire et l'accumuler. *Azolla* peut être utilisée pour accumuler les sels minéraux et est capable d'accumuler le phosphore et les métaux lourds et pour cela elle est proposée comme "water purifier" (Gour et Noraho 1995, et Noraho et Gour 1996). Ces chercheurs ont démontrés que 90% de cadmium, nickel, chrome et aluminium peuvent être absorbés et accumulés dans les cellules de *Azolla*.

Ainsi, la méthode «*Azolla*» est une alternative, aux méthodes conventionnelles de traitement, des cours d'eau pollués au nickel, au chrome à l'aluminium et au cadmium.

CHAPITRE II



MATERIEL ET METHODES

1. Matériel de travail

1.1. Cadre d'étude

Le présent travail est effectué à l'Unité de Recherche sur les Zones Humides (URZH). Cette Unité est située à la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) et est spécialisée dans les questions des Zones Humides où de nombreux travaux sont conduits sur les zones humides comme la pollution des cours d'eau par les jacinthes d'eau, la pollution du chenal de Cotonou, l'utilisation de *Azolla* dans l'alimentation du poisson tilapia, du porc et cette fois-ci en riziculture.

1.2. Site expérimental

Le site d'expérimentation est une station de recherche située dans les bas-fonds de Bamora /Banikanni, à PARAKOU, la ville la plus importante du septentrion où beaucoup de paysans pauvres se donnent à la culture du riz. Cette ville est caractérisée par des précipitations unimodales et une pluviométrie annuelle de 1100 mm, une saison pluvieuse qui va de Avril à Octobre.

Le sol du site est formé de sable lagunaire et situé à N 09°18' 51,4'' E 002°38'47''
Alt. 334 m

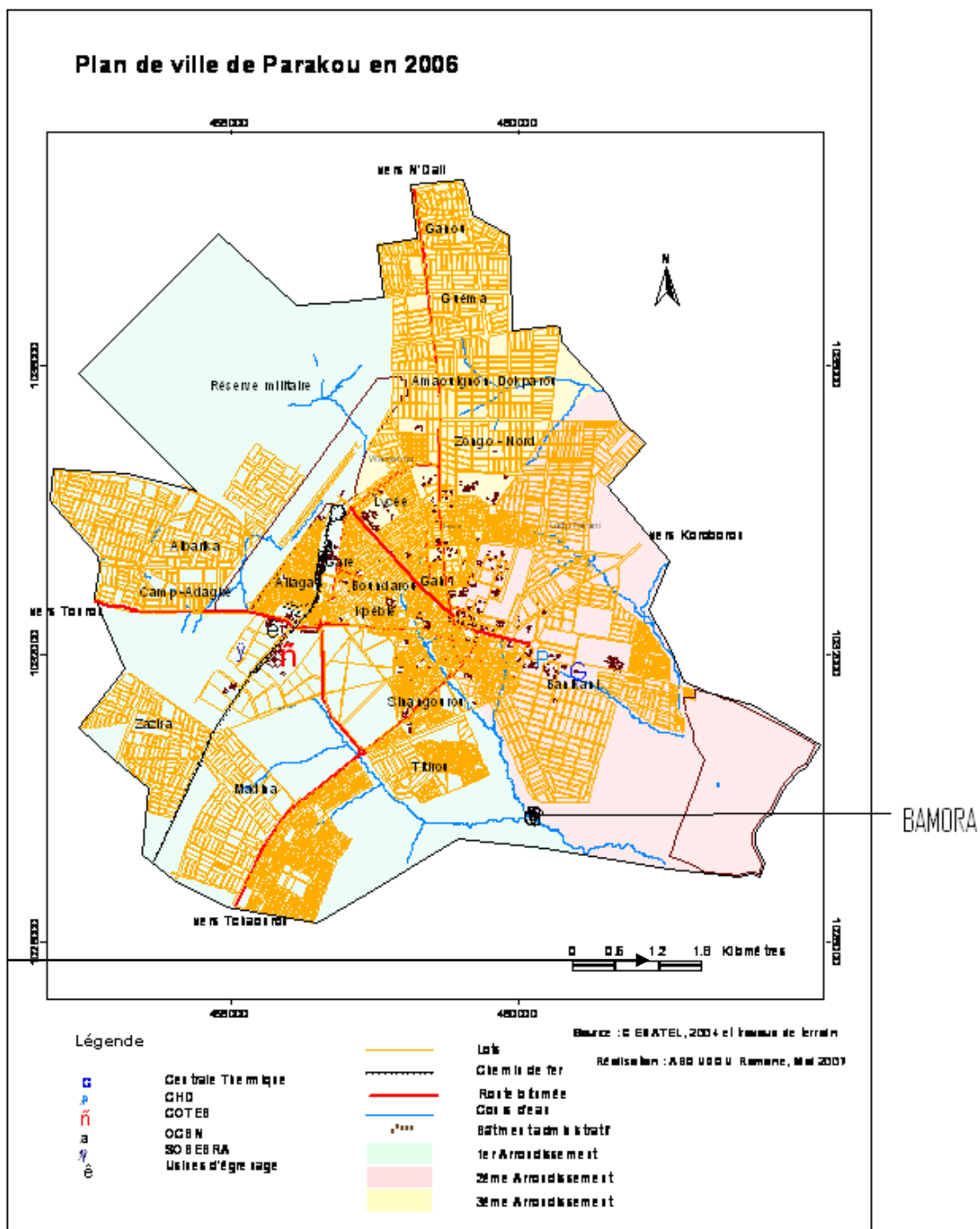


Figure 1 : Plan de la ville de Parakou

1.3. Matériels de travail

1.3.1. Matériel de riziculture

Il est formé de :

- machette servant à débarrasser le site des mauvaises herbes et plantes nuisibles ;
- grande houe et petite houe permettant de nettoyer et de mettre les parcelles en casiers pour le repiquage et la mise en place des plants ainsi qu'aux travaux de désherbage ;
- arrosoirs, motopompe, et bottes pour irriguer des plants ;
- faucille pour la récolte du riz ;
- bâche et sacs pour le séchage et la mise en sacs ;
- balance de précision pour peser la récolte et
- ruban pour la mesure de l hauteur des plans de riz.

1.3.2. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de :

- une variété de riz Adny 11 ayant un rendement potentiel de 5 à 7,5 tonnes à l'hectare et un rendement réel de 4 à 6 tonnes à l'hectare .Il a une très bonne réponse à la fumure avec un cycle végétatif de 105 à 110 jours
- *Azolla filiculoides*, une fougère aquatique producteur d'ammoniaque à partir de l'azote atmosphérique. Elle provient du laboratoire de l'Unité de Recherche sur les Zones Humides et est utilisée en Asie et au Madagascar en riziculture comme fertilisant biologique.

2. Méthodes

2.1. Dispositif expérimental

Le dispositif d'évaluation est en blocs à 3 répétitions par traitement et comporte 6 traitements.

Tableau n°4 : Schéma du dispositif expérimental

Trt	1	2	3	4	5	6
R e p						

La densité de mise en place des plants de riz dans ce dispositif est aux écartements de 20cm x 20cm à raison de 3 brins par poquet sur une superficie de 5m² par répétition (essai) soit 15m² par traitement.

2.2. La fertilisation du champ

La fertilisation apportée est en deux fractions : le NPK en fumure de fond au repiquage et l'urée 30 jours après le repiquage pour les traitements 2, 3, 4 et 5, Azolla pour le traitement 1 et l'absence de fertilisation pour le traitement 6 qui est le traitement témoin.

- Le traitement 1(trt1) est sans NPK et sans Urée. Il est fertilisé avec Azolla à la dose de 3 tonnes à l'hectare (tapis de 30 jours).
- Le traitement 2(trt2) est fertilisé avec du NPK à 200kg/ ha et 100kg /ha d'Urée et sans Azolla ; cette dose d'engrais est la dose forte que les paysans pratiquent sur des sols très pauvres.
- Le traitement 3 (trt3) est fertilisé avec du NPK à 150kg/ha et 75kg/ha d'Urée et sans Azolla, c'est la dose normale d'engrais que les paysans pratiquent.

- Le traitement 4 (trt4) est fertilisé avec du NPK à 100kg/ha et 50kg/ha d'Urée et sans Azolla, c'est la dose d'engrais sur les sols assez riches.
- Le traitement 5 (trt5) est fertilisé avec du NPK à 50kg/ha et 25kg/ha d'Urée et sans Azolla, c'est une dose jamais appliquée par les riziculteurs.
- Le traitement 6 (trt6) est le témoin, il n'est ni fertilisé au NPK, ni à l'Urée ni à l'Azolla, il permet de faire les comparaisons et déductions.

La fertilisation peut être résumée comme suit :

Tableau n°5 : Fertilisation des traitements

Traitements	NPK	Urée	Azolla frais
1	00kg/ha	00kg/ha	3tonnes/ha
2	200kg/ha	100kg/ha	00kg/ha
3	150kg/ha	75kg/ha	00kg/ha
4	100kg/ha	50kg/ha	00kg/ha
5	50kg/ha	25kg/ha	00kg/ha
6	00kg/ha	00kg/ha	00kg/ha

2.3. Mise en place d'une pépinière

Une pépinière de plants de riz est mise en place auparavant. Elle permet d'avoir des jeunes plants de riz pour repiquer plus tard entre 25 et 30 jours des semis. Ces plantules sont déterrées, puis repiquées soigneusement puis suivies par quinzaine.

2.4. Méthode de collecte des données

Elle consiste à recueillir les données suivantes :

- hauteur des plants de riz par quinzaine ;

- nombre de feuilles par poquet par quinzaine ;
- nombre de thalles par poquet par quinzaine ;
- nombre de panicules par poquet par quinzaine ;
- poids moyen de paille et de paddy, et la masse de matière sèche de riz par casier et par essai en fin de récolte.

2.5. Méthode d'échantillonnage

La mesure de la hauteur des plantes de riz s'est faite par un ruban. Elle consiste à prendre la hauteur des plants. Les mesures effectuées se rapportent à vingt plants fixés et numérotés par casier soit 60 plants identifiés par traitement. Ces plants sont choisis au centre des casiers pour éviter l'effet de périphérie qui fait développer les plants périphériques mieux que les plants de la base jusqu'à l'extrémité de la feuille la plus longue situés au centre des casiers.

2.6. Méthode d'analyse des données

Les données ont été encodées à l'aide du logiciel Excel ; les différentes analyses ont été faites à l'aide des logiciels SPSS et Minitab.

Le traitement des données s'est basé sur le test d'analyse de variance et de comparaison multiple des moyennes suivant le dispositif du tableau n°3. Le dispositif expérimental est un groupe randomisé.

Les valeurs de Fisher et de probabilité pour que l'hypothèse nulle des effets soit acceptée ou non, ont permis de conclure l'existence d'une différence significative ou non au seuil de probabilité de 5%. Ce test d'analyse de variance (ANOVA subject-effect) nous a permis de voir la signification de l'effet des traitements sur les paramètres de croissance et de rendement.

Suite aux analyses de variances, il a été fait le test de comparaison multiple de moyenne, le test de Student Newman keuls des hauteurs, du nombre de feuilles, du nombre de thalles, du nombre de panicules et des différents rendements (rendement grain, rendement en paille et la masse de matière sèche.

CHAPITRE III

RESULTATS

1. Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla filiculoïdes* sur la croissance du riz

1.1. Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla filiculoïdes* sur la croissance en hauteur (en cm) du riz

L'analyse de variance de la croissance en hauteur des plants de riz révèle que l'effet de la fertilisation sur la hauteur des plants est significatif au seuil de 5% à partir de la première quinzaine pour tous les traitements. La hauteur des plants est plus élevée en fertilisation avec *Azolla* qu'en fertilisation chimiques quelque soit la dose d'engrais chimique selon le test de Student Newman et Keuls comme l'indique le tableau 6.

L'effet de la fertilisation sur la hauteur des plants de riz de différents traitements montre que le traitement 4 donne une hauteur plus élevée que les autres traitements à engrais chimiques et le témoin.

Tableau n°6: Hauteurs des plants de riz

Temps en quinzaine	0	1	2	3	4	5	6
Traitements							
1	14,72a	34,75e	47,63f	66,67f	77,40f	95,48e	98,67f
2	14,88a	25,10c	35,75d	45,07c	63,68d	79,85c	88,42c
3	14,73a	22,32b	30,55c	46,67d	61,87c	89,00d	90,42d
4	14,93a	30,52d	39,87e	54,28e	69,42e	90,17d	96,42e
5	14,92a	21,73b	26,27b	41,41b	59,35b	69,70b	74,67b
6	14,95a	18,97a	24,77a	37,85a	56,30a	65,57a	68,93a

NB : Dans les colonnes, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de cinq pour cent (5%) selon le test de Student Newman et Keuls.

L'effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* en riziculture révèle que la croissance en hauteur des plants de riz diminue quand la quantité d'engrais chimique baisse à partir 100kg de NPK et 50kg d'Urée par hectare apportée devient de plus en plus faible lorsque cette même quantité d'engrais chimique augmente. Cette croissance en fertilisation organique de *Azolla* est plus élevée. La croissance est continue mais devient faible à partir de la cinquième quinzaine.

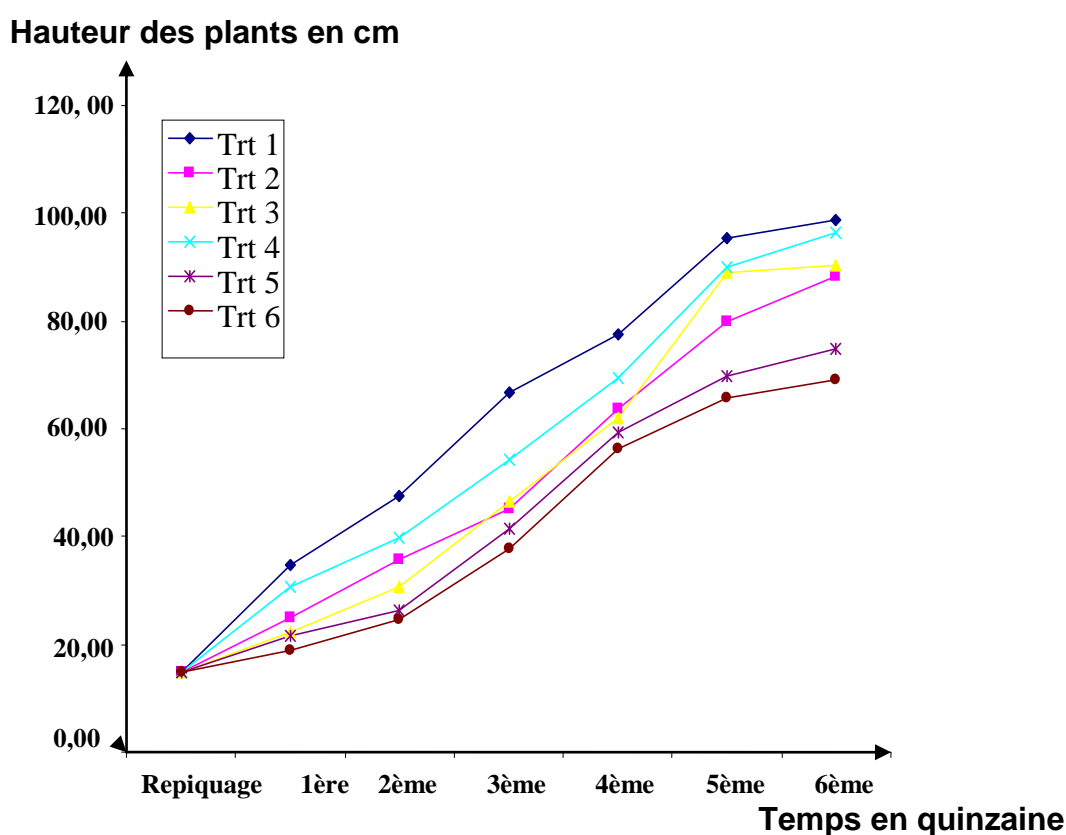


Figure 2: Effet de substitution des engrais par *Azolla* sur de la hauteur des plants de riz

1.2. Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* sur la foliation

L'analyse de variance de la croissance du nombre de feuilles par poquet des plants de riz révèle que l'effet de la fertilisation sur le nombre de feuilles émises par les plants est significatif au seuil de 5% dès la première quinzaine. Le

nombre de feuilles émises par les plants est plus élevé en fertilisation avec *Azolla* que le nombre de feuilles portées par les plants en fertilisation chimiques quelque soit la dose d'engrais chimique selon le test de Student Newman et Keuls comme l'indique le tableau n°7.

Trois quinzaines après repiquage, l'effet de la fertilisation sur le nombre de feuilles émises par les plants de riz de différents traitements montre que le traitement 4 donne une foliation plus élevée que les autres traitements à engrais chimiques.

Tableau n°7: Evolution du nombre de feuilles par poquet

Tps Trt	0	1	2	3	4	5	6
1	6,13b	13,75e	28,67e	45,70f	57,93f	58,22d	56,88e
2	6,07ab	9,53bc	25,63d	28,03d	33,13c	41,15b	42,72c
3	6,00a	7,98a	20,07b	25,07c	37,93d	41,27b	40,07b
4	6,05ab	12,02d	24,33c	36,73e	40,97e	50,22c	51,08d
5	6,03ab	10,02c	12,85a	19,16b	30,38b	40,10b	40,65b
6	6,03ab	9,05b	11,95a	16,53a	25,83a	30,68a	29,97a

NB : Dans les colonnes, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de cinq pour cent (5%) selon le test de Student Newman et Keuls.

La substitution des engrais par *Azolla* donne une foliation plus accrue que la foliation en fertilisant chimique. Cette formation de feuilles culmine et s'arrête cependant dès la quatrième quinzaine pour le traitement avec *Azolla* et à partir de la cinquième quinzaine pour les autres traitements.

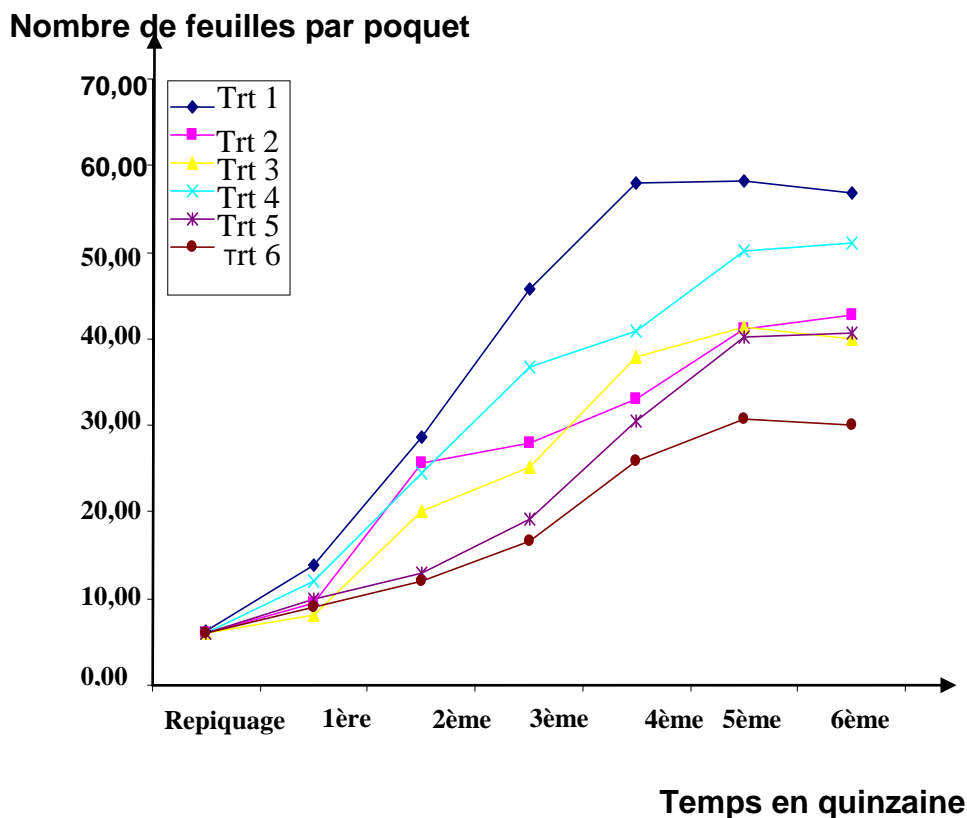


Figure 3 : Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* sur la foliation

1.3. Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* sur la mise en place des thalles

L'analyse de variance de la croissance du nombre de thalles par poquet des plants de riz révèle que l'effet de la fertilisation sur le nombre de thalles émis par les plants est significatif au seuil de 5% à partir de la deuxième quinzaine pour tous les traitements. Le nombre de thalles émis par les plants est plus élevé en fertilisation avec *Azolla* que le nombre de thalles portés par les plants en fertilisation chimiques quelque soit la dose d'engrais chimique selon le test de Student Newman et Keuls comme l'indique le tableau n°8.

Dès la deuxième quinzaine après repiquage, l'effet de la fertilisation sur le nombre de thalles émis par les plants de riz de différents traitements montre que

le traitement 4 donne une mise en place de thalles plus élevée que les autres traitements à engrais chimiques.

Tableau n°8 : Evolution du nombre de thalles par poquet

Tps Trt	0	1	2	3	4	5	6
1	00	00	14,78d	21,18e	29,17e	32,00f	31,50f
2	00	00	10,33b	13,87b	17,72b	22,65c	24,57d
3	00	00	8,43a	14,41bc	18,88c	24,27d	23,73c
4	00	00	12,02c	19,05d	23,00d	27,67e	28,70e
5	00	00	8,00a	15,00c	17,42b	19,05b	19,70b
6	00	00	8,14a	11,50a	13,62a	15,37a	15,23a

NB : Dans les colonnes, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de cinq pour cent (5%) selon le test de Student Newman et Keuls.

La mise en place des thalles qui commence à la première quinzaine est mieux faite en présence de *Azolla* et s'achève à la cinquième quinzaine. De là se déroule la régression des thalles chétifs.

Nombre de thalles/poquet

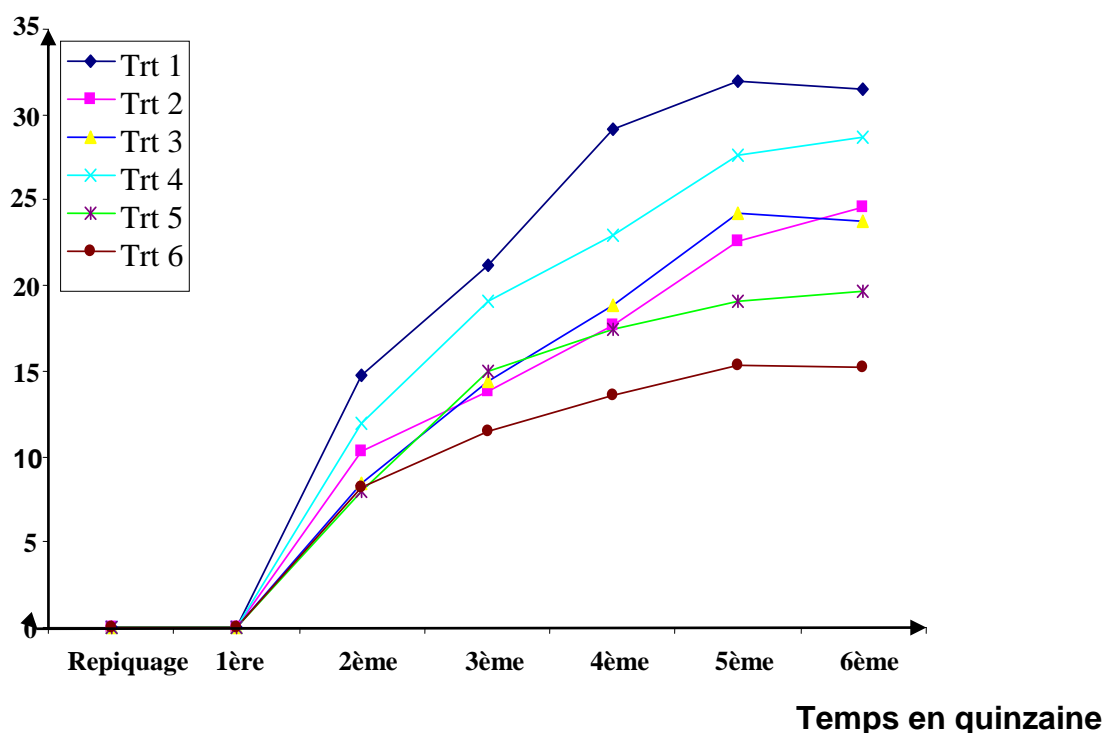


Figure 4 : Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* sur la mise en place des thalles

1.4. Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* sur la floraison et la fructification

L'analyse de variance de la croissance du nombre de panicules par poquet des plants de riz révèle que l'effet de la fertilisation sur le nombre de panicules émis par les plants est significatif au seuil de 5% à partir de la quatrième quinzaine pour tous les traitements. Le nombre de panicules émis par les plants est plus élevé en fertilisation avec *Azolla* que le nombre de panicules portées par les plants en fertilisation chimiques quelque soit la dose d'engrais chimique selon le test de Student Newman et Keuls comme l'indique le tableau n° 9.

L'effet de la fertilisation sur la floraison et la fructification des plants est significatif au seuil de 5% dès la quatrième quinzaine après repiquage selon le test de Student Newman et Keuls. Et atteint son maximum à la cinquième

quinzaine pour le traitement avec *Azolla*, les autres traitements continuent légèrement d'augmenter le nombre de panicules.

Tableau n°9 : Evolution du nombre de panicules par poquet

Tps Trt	0	1	2	3	4	5	6
1	00	00	00	2,36a	17,00d	32,13f	29,42e
2	00	00	00	1,57a	8,13a	22,53c	24,67c
3	00	00	00	1,67a	10,02b	23,60d	24,73c
4	00	00	00	2,11a	11,65c	26,10e	27,32d
5	00	00	00	1,25a	9,05ab	17,15b	18,90b
6	00	00	00	1,67a	9,28ab	13,17a	12,55a

NB : Dans les colonnes, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de cinq pour cent (5%) selon le test de Student Newman et Keuls.

L'effet de la fertilisation sur la floraison et la fructification des plants est significatif au seuil de 5% de la quatrième quinzaine après repiquage selon le test de Student Newman et Keuls. Il existe une différence significative selon les traitements et selon le temps.

Les panicules qui sont les précurseurs des grains du riz et annoncent la bonne récolte. En fertilisation avec *Azolla*, les panicules sont plus nombreuses et à partir de la cinquième quinzaine, les panicules malformées tombent.

Nombre de panicules/poquet

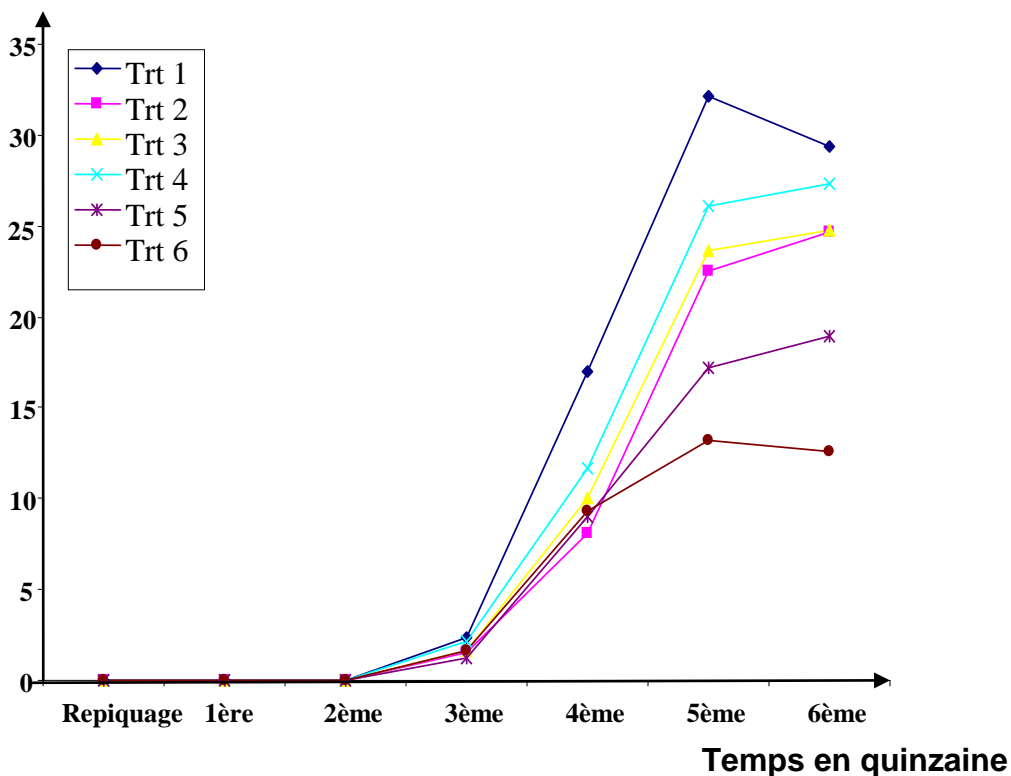


Figure 5 : Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* sur la floraison et la fructification

2. Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* sur les rendements à la récolte

Les rendements sont donnés par :

- le rendement graine qui représente la masse du riz en paddy à 14% d'humidité et est estimé en tonnes par hectare ;
- le rendement paille qui représente la masse de paille récoltée (feuilles et chaumes) par traitement. Il est exprimé en tonnes par hectare ;
- la masse de matière sèche qui est le cumul des masses de paddy et de paille, elle est exprimée en tonnes par hectare et

- l'indice IH qui représente le rapport du rendement graine à la masse de matière sèche. Il permet d'apprécier la rentabilité et permet d'orienter si l'on doit utiliser *Azolla* comme fertilisant pour produire des plantes fourragères ou pour produire des paddy de riz.

L'analyse de variance des rendements des traitements révèle que l'effet de la fertilisation sur les rendements donnés par les traitements est significatif au seuil de 5%. La masse de paddy et la masse de matière sèche sont plus élevées en fertilisation avec *Azolla* qu'en fertilisation chimiques quelque soit la dose d'engrais chimique selon le test de Student Newman et Keuls comme l'indique le tableau n° 10.

Tableau n°10 : Rendements à la récolte

Trt	Rdt G	Rdt P	MS	IH
1	8,02f	7,16d	15,18f	0,52 e
2	6,09c	6,86c	12,96c	0,47c
3	6,39d	7,45d	13,85d	0,46c
4	7,06e	7,31d	14,38e	0,48d
5	4,66b	6,26b	10,86b	0,43b
6	3,04a	4,55a	7,58a	0,40a

NB : Dans les colonnes, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de cinq pour cent (5%) selon le test de Student Newman et Keuls.

Masse du paddy en tonne/ha

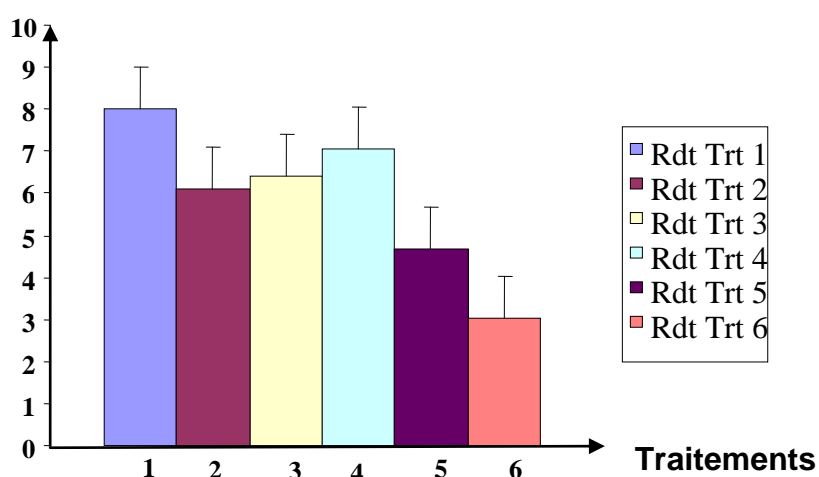


Figure 6 : Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* sur le rendement en grain (paddy).

Cela montre que le rendement grain du traitement 1 à *Azolla* est nettement supérieur aux autres traitements. Le rendement grain montre une différence significative entre les six (6) traitements au seuil de 5% selon le test de Student Newman et Keuls. Par ordre chronologique on a, le traitement 1 avec *Azolla* qui donne un rendement plus élevé suivi de celui du traitement 4, du 3, du 2 et en fin les traitements 5 et 6.

Masse de la Paille en tonne/ha

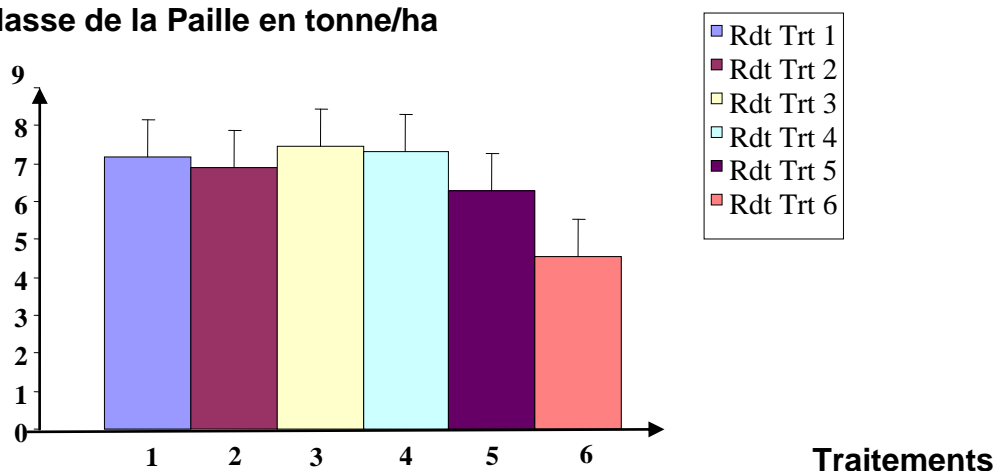


Figure 7 : Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* sur le rendement en paille du riz

Le rendement paille montre l'existence de quatre groupes homogènes bien que la production de paille du traitement 3 soit la plus élevée. La production de paille est considérable en traitement 1 avec *Azolla* mais est très élevée avec le traitement 3 qui donne le meilleur rendement paille. Le rendement paille montre une différence significative entre les quatre (4) Traitements (groupe homogène) au seuil de 5% selon le test de Student Newman et Keuls.

Masse de matière sèche en t/ha

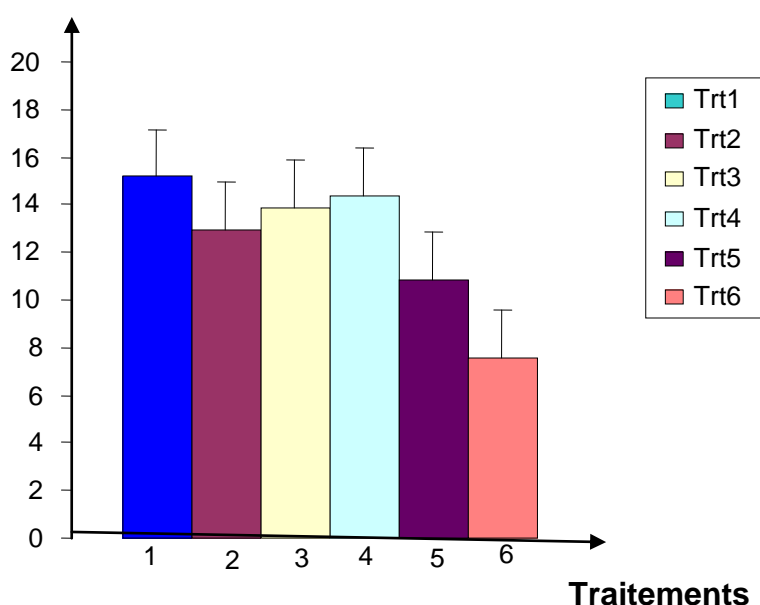


Figure 8: Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* sur le rendement en matière sèche (Paille + Grain)

L'analyse de variance au seuil de 5% montre que l'effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* est significatif. On a six groupes homogènes (traitements). Le rendement en masse de matière sèche montre que la productivité primaire est plus élevée avec le traitement 1 avec *Azolla* que les autres traitements. IL y a une différence significative entre les traitements au seuil de 5% selon le test de Student Newman et de Keuls. Il montre que le traitement avec *Azolla* donne une masse de matière sèche plus élevée que les

autres traitements. Il est suivi du traitement 4, puis respectivement des traitements 3, 2, 5 et 6.

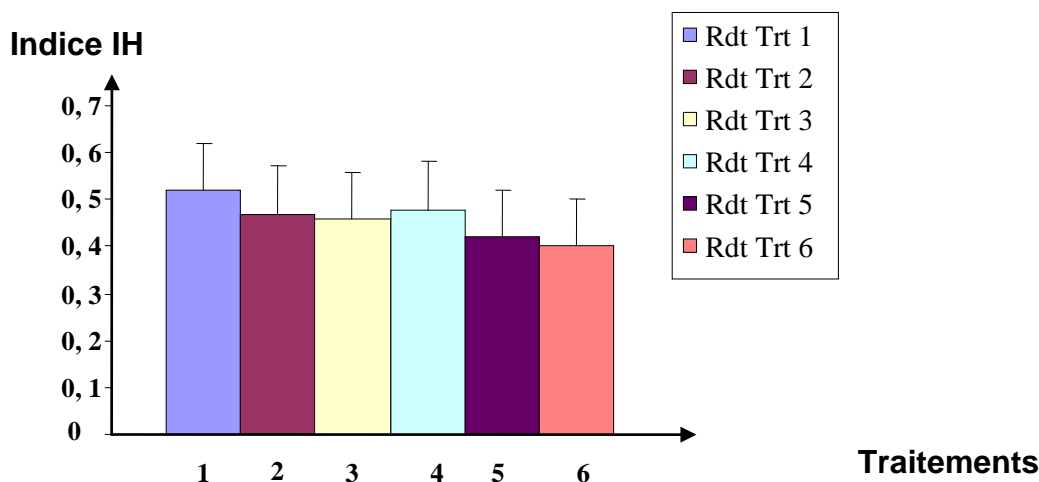


Figure 9 : Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* sur le rendement en indice IH

L'indice IH est plus élevé en traitement 1 à *Azolla* que les autres traitements.

L'indice IH aussi donne e différence significative au seuil de 5% selon le test de Student Newman et Keuls. Il est plus fort pour le traitement 1 suivi respectivement des traitements 2, 3, 4, 5 et en fin du 6.

Cet indice permet d'apprécier lequel des traitements est plus indiqué pour le fourrage ou pour la production des grains de riz.

De tous ces résultats, on constate que les rendements en grain, et en masse de matière sèche (la productivité primaire) sont plus élevés lorsque les engrais chimiques sont substitués par *Azolla*. Dans ces conditions la production de la paille est significative et l'indice IH est aussi plus élevé.

DISCUSSIONS

1. Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* sur la croissance plants de riz

De cette étude, il ressort que la croissance sous fertilisation organique de *Azolla* est plus élevée qu'en fertilisation chimique minérale et la différence est significative, de même la croissance sous fertilisation chimique est plus élevée qu'en absence de fertilisation (témoin) et la différence est également significative ($P \leq 0,05$).

En effet ces résultats obtenus sont conformes aux résultats de PSI/CORAF, 1980 et ceux de IRAT et FAO/OMVS, 1972, selon lesquels le riz répond positivement aux apports d'azote. Pour DOBERMANN et al, 2000, la fertilisation en azote affecte tous les paramètres contribuant à l'obtention d'un bon rendement (hauteur, nombre de feuilles, nombre de thalles nombre de panicules et nombre d'épillets par panicules). La fertilisation est alors nécessaire à la culture du riz ce qui est cependant contraire à la conclusion de Arf et al, 1996, qui ont étudié certaines variétés de riz soumises à des doses variables d'azote par hectare et qui ont trouvé que l'engrais n'a pas d'influence sur les caractéristiques agronomiques du riz. Mais on peut expliquer les réponses positives obtenues dans le cadre de cette étude par la pauvreté (relative) du sol de notre site expérimental par rapport à un sol de jachère ou forestier ou de zones humides naturellement riche en minéraux.

Le traitement 4 est celui qui a une croissance finale proche de la croissance du traitement 1 sous fertilisation organique de *Azolla*. C'est le traitement dont la croissance est optimale en fertilisation chimique. Cela signifie que la fertilisation chimique de 100 kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'urée (Trt 4) est la fertilisation optimale ce qui n'est pas conforme avec les travaux de Thio, Sawadogo, 2002 selon lesquels la dose optimale est la dose du traitement 3 (200 kg de NPK et 100 kg d'urée par hectare). On pourrait cependant expliquer cette

différence par les conditions hydriques un peu difficiles au cours de l'expérimentation.

Le témoin sans fertilisation a la plus petite croissance. La fertilisation est donc en corrélation avec la hauteur ce qui est conforme aux résultats de Assigbé, Akakpo et al qui ont rappelé que les engrais chimiques améliorent la croissance du riz.

Le traitement avec *Azolla* a donné la meilleure croissance donc *Azolla* permet une bonne croissance du riz. Celle-ci est possible en raison de la mise à disposition de façon permanente de l'Azote assimilable à la plante de riz par *Azolla* comme l'a montré les travaux de Maria Andrea, 2007. En effet grâce aux hétérocystes contenus dans les cellules de *Azolla* qui sont des sites fixatrices de l'azote atmosphérique, (Dupuy, Rabeharisola, et Fetlarison, 1987), la plante de *Azolla* fixe et accumule de l'azote qu'elle transforme en ammoniac. Cette forme d'azote assimilable permet la croissance des plants de riz. Comme en Asie et au Madagascar *Azolla* est une plante capable d'augmenter la croissance du riz au Bénin. Ce qui est conforme aux études de Becking, 1979, qui préconise l'utilisation de *Azolla* dans les zones tropicales pour limiter la pollution agricole causée par la culture du riz.

Enfin ces études montrent qu'une bonne croissance du riz est une des conditions sine qua non pour un très bon rendement du riz.

2. Effet de substitution des engrais chimiques par *Azolla* sur les rendements du riz

L'analyse statistique de ces résultats montre qu'il existe une différence hautement significative ($P \leq 0,01$) entre les traitements à différentes doses d'engrais et le traitement sous fertilisation de *Azolla* en ce qui concerne les rendements. Et tous ces traitements ont une différence significative avec le témoin.

Cela signifie que la fertilisation minérale augmente les rendements. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Malavolta et Formasieni, 1983, Barbosa 1987, 1991, qui affirment l'augmentation de la biomasse et de la masse du paddy avec l'utilisation d'engrais. Fageria et Baligar, 2001 ont montré que la fertilisation augmente la production après un essai sur plusieurs variétés. Il en est de même pour les travaux de Mamadou DIO-LIANDE 1981 selon lequel les engrais chimiques doublent le rendement de riz dans la zone de plateau de Côte d'Ivoire. Brohl et al 1997, ont aussi montré que l'apport d'azote sous forme d'engrais augmente le rendement en paille et la masse de matière sèche. Ils corroborent ceux de Stone et al, 1979 qui ont obtenu une augmentation de la productivité par l'application de 60kg d'azote par hectare. Mais ils diffèrent fondamentalement des résultats de Crusciol, 1982, qui a trouvé que le taux des nutriments n'a pas affecté le développement des plants. Cette contradiction s'explique par la richesse des sols sites de leur expérimentation.

Le traitement 4 à 100 kg de NPK et 50 kg d'urée par hectare est le traitement optimal au lieu du traitement 3 à 150 kg de NPK et 75kg d'urée par hectare ce qui est contraire aux travaux de Assigbé 2002 pour qui le traitement qui donne le meilleur rendement est le traitement 3 (150kg de NPK et 75kg d'urée par hectare). Comme pour la croissance, on pourrait expliquer cette différence par les conditions hydriques un peu difficiles au cours de l'expérimentation.

Notre étude montre également que sous fertilisation organique de *Azolla* le rendement grain, le rendement paille et la masse de matière sèche augmente. Ce qui est en adéquation avec Dièye ,2002 qui a fait une étude comparative entre les fertilisations de *Azolla*, de bouse de vache et des engrais chimiques et qui conclue que *Azolla* appliqué à 30 kg par hectare d'azote permet des niveaux de rendement supérieurs comparés aux traitements en fertilisation chimiques, ils sont aussi conformes aux travaux de Lumpkin, Plucknett 1982, qui aboutit à la conclusion : *Azolla* est un engrais vert permettant l'augmentation sensible du

rendement du riz. Cette augmentation de rendement a lieu à cause de la mise à disposition de façon permanente de l'Azote assimilable à la plante de riz comme l'a montré les travaux de Maria Andrea, 2007. Cette Azote assimilable permet la croissance, augmente le rendement comme le montre l'analyse des rendements à la récolte. Selon Razaf Mahenina et Schramm, les caractéristiques microscopiques de la symbiose de *Azolla* réside dans la présence de nombreux sites de fixation et de transformation de l'azote atmosphérique en de l'azote assimilable de façon permanente.

La riziculture sans engrais chimiques ou réduction sensible de l'utilisation des engrais chimique est donc possible au Bénin. Ces résultats sont conformes à ceux de Diara 2000 qui ont montré que l'utilisation de *Azolla* augmente le rendement en grain au Sénégal. Ces travaux sont également en conformité avec ceux de Rakotonasolo, 1988 qui affirme que *Azolla* améliore de façon significative le rendement du riz à Madagascar et que confirme Reynaud 1984, qui affirme que dans la zone tropicale sèche l'utilisation de *Azolla* en riziculture est une prospective agronomique importante.



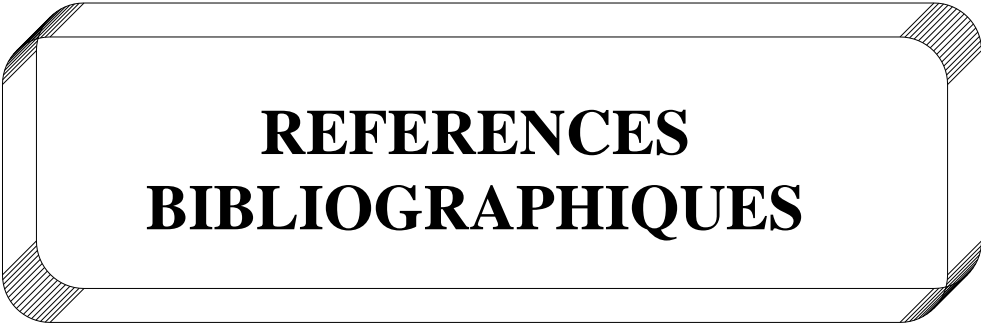
**CONCLUSIONS ET
PERSPECTIVES**

L'intensification de la riziculture au Bénin s'accompagne d'une forte utilisation d'intrants agricoles à prix très élevés. En raison de ces prix, ces intrants sont inaccessibles aux paysans pauvres dont les moyens limités ne leur permettent pas de s'en approvisionner. De plus, ces intrants tels que utilisés actuellement, polluent la nappe phréatique et peuvent générer des problèmes de santé.

Azolla, une petite fougère aquatique capable de transformer l'azote atmosphérique (N_2) en ammoniac (NH_3) par le biais d'une symbiose héréditaire avec une cyanobactérie (*Anabeana Azolla*), utilisée en riziculture, permet l'accélération de la croissance, la foliation, la mise en place des thalles et des panicules puis l'augmentation du rendement du riz. Il peut donc substituer valablement les engrais chimiques qui sont très chers, non accessibles aux paysans pauvres et qui polluent les sols et la nappe phréatique.

En substituant la fertilisation minérale et chimique par la fertilisation organique du sol par *Azolla*, on obtient une bonne croissance et un rendement meilleur que ceux des diverses doses d'engrais chimiques minéraux. . Son utilisation est donc conseillée aux riziculteurs pour augmenter le rendement de la culture du riz et diminuer le coût de production. *Azolla* est donc une solution à la pollution chimique liée à l'utilisation des intrants du riz au Bénin : *Azolla* est une prospective agronomique en zone tropicale sèche (Reynaud, 1984). La plante de *Azolla* est donc une plante capable d'accélérer la croissance en hauteur, le nombre de feuilles des plants de riz, le nombre de thalles par poquet, le nombre de panicules et les rendements à la récolte du riz au Bénin comme en Asie et au Madagascar.

Il convient donc d'étudier l'effet de plusieurs variétés de *Azolla* sur les variétés de riz cultivés au Bénin, sur le comportement des adventives du riz face à ces variétés de *Azolla*, sur le degré de réduction de la pollution de *Azolla* en riziculture au Bénin et sur l'effet de *Azolla* sur la toxicité ferreuse des bas-fonds pour la riziculture avant de proposer son utilisation de façon générale en riziculture au Bénin.



**REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Adegbola P.Y. et Singbo A.G. 2005, Impact de l'importation du riz sur la compétitivité et la rentabilité de la production nationale au Bénin. (Programme PAPA de l'IN RAB)

Ajit Kumar Podder et Charles Van Hove. 1994, Biological Nitrogen Fixation Associated With Rice Production

Arf,O.,SA,M.E.,Rodrigues,R.A.F.,Buzetti,Stradioto,M.F.,Pastana,A.R.M.P. 1996,Comportamento de cultiars de arroz para condição de sequeiro irrigados por aspersão em diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura.Cientifica,V.24, P85-97

Assigbe. 2003, Maîtrise de l'eau pour la culture du riz : adaptabilité écologique des variétés vulgarisées au Bénin.4p

Assigbe.P, Akakpo, C .Adjé, T.I Hononta. E et Adjo.L. 2005, Mieux produire le riz pluvial et de bas- fond INRAB.

Barbosa Filho M.P.1991, Adubação do arroz de sequeio.Informe Agropecuário,n.14p.32-38

Barbosa Filho M.P.1987, Nutrição e adubação do arroz Piracicaba:Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do fosfato,127p.

B.Thio,A..Sawadogo,et S. Kiemde,2002, Mise au point de methodes de lutte contre les nematodes parasites du riz, INERA/Station de Farako Bobo-dioulasso in Actes de la seconde revue régionale de la recherche rizicole(4Rs 2002) 9p

Becking.j.h. 1979, Environmental requirement of Azolla for use in tropical rice production, dans Nitrogen and Rice IRRI, los Bangs, Philippines pp 345 – 373

Brohl A..R.,Karaman R.M.,Aktas A.,Savasli E.1997. Effect of nitrogen and phosphorus fertilisation on the yield and nutrient status of rice crop grown on artificial siltation soil from the kelkit river.Tr.J.of Agriculture and forestry 22(1998)585-592pp.

CIRAD- GRET. 2002, memento de l'agronome.

Crusciol,C.A.C.,1998.Efeitos de laminas de água e da adubação mineral em dois cultivares de arroz de sequeiro sob irrigação por aspersão.Botucatu/UNESPA/FSA,1998.129p (Tese-Doutorado)

Diara H. F.2000, L'utilisation d'Azolla comme engrais vert dans la riziculture ouest africaine ADRAO –station régionale de saint –louis Sénégal 10 pages

Doberman A et Fairhurst T.2000, Nutriments disorders and nutriments management. International Plant Nutrition Institute, 191p

DPP/MAEP. 2004, annuaire statistique Cotonou Bénin

Dupuy J, Rabeharisola, Fetlarison. 1987, Mesure de la fixation biologique d'azote par Azolla sp. – Résultat des expériences préliminaires. Recherche pour le développement. Série sciences biologiques n° 4 pp 239 – 251

FAO.1997, Elaboration d'un plan national de relance de la filière riz. Rapport définitif. Volumes 1 et 2, FAO Projet TCP/BEN/5613 (A) Cotonou 1997

FAO, 2001, Annuaire statistiques FAO.

FAO. 2004, Année internationale du riz- 2004, Vingt troisième conférence régionale pour l'Afrique, Johannesburg (Afrique du Sud) 1- 5 mars 2004.

FAO, 2004, Production year book ,Vol.58 Rome

Gaur, J.P. and Noraho,N, 1995a. Role of certain environmental factors on cadmium uptake and toxicity in Spirodela polyrhiza and Azolla pinnata Biomedical and environmental Science 8:202-210

International Rice Research Institute (IRRI). 1988, Standard Evaluation System for rice (SES).Los Banos, Laguna, The Philippines, 3rd Edition, pp23.

Irebrul.G. 2004, Rizicultures Asiatiques, enjeu écologique et économique à l'aube du XX^{ème} siècle 15p

Lacharme, M .2001, Le plant du riz .Données morphologiques et cycle de la plante "Fascicule2", Mémento technique de riziculture

Lumpkin T.A, Plucknett D. L. 1982, Azolla as green manure use and management in top production. Westview prerr/Boulder,Colorado 230,pill.map.ref

Fageria N.K. et Baligar V.C. 2001, Lowland rice response to nitrogen fertilisation.Taylor &Francis publishers. Volume 32 1405-1429.

Macleon J.L., Dave DC, Hardy B, Hettel G.P.2002, Rice almanac. Los Banos (Philippines): International Rice Research Institute, Bouaké (Cote d'Ivoire): West Africa Rice Développement Association, Cali (Colombia): International

Center for Tropical Agriculture, Rome (Italy): Food and Agriculture Organisation.253p□

Malavota E. et ,FornastériFihod.,1983,Nutrição mineral da cultura do arroz. In :ERREIRA,M;E;YAMADA T .MALAVOLTA E. cultura do arroz de sequeiro fatores afetando a produtividade. Piracicaba:Instituto da potassa & fosfata,1983,p.95-143

Mamadou DIO~LIANDÉ, 1981, Effets direct et combiné des engrais et de Meloidogyne incognita sur le riz pluvial

Maria Andrea Kern, Paul L.G.Vlek, 2/2007, Azolla, une technique d'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote. Agriculture & développement rural, Zentrum fur Entwicklungsforschung (Centre d'études pour le développement) Bonn, Allemagne

Noraho et Gaur. 1995, Adsorption and uptake of cadmium by Azolla pinnata: kinetics of inhibition by pressed Biomedical Environmental and Science 8:149 - 1557

ONG « RAMILAMINA ». 1998, Note de presentation

Patrick W M. H Mahapatra I. O.1968, Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in water logged sorls. Adv Agram 29, pp 323 – 359

Pande, H.K., Tran V.D.et That T.T. 1997, Systèmes améliorés de riziculture pluviale .FAO, Rome.11p

Rakotonasolo F. et Schramm. 1988, Série Sciences biologiques n°7. Contribution à l'étude de l'utilisation de Azolla comme engrais vert en riziculture malgache 10 p

Razaf/Mahenina et Schramm M, dans série sciences biologiques n°7 1988, Contribution à l'étude de certaines caractéristiques microscopiques de la symbiose de Azolla Pinnata.

Reynaud P.A.1984, Ecophysologie des cyanobactéries fixatrices d'azote libre on en symbiose (Azolla) dans la zone tropicale sèche ; prospective agronomiques, thèse d'Etat Université d'Aix Marseille II Faculté des sciences de LUMINY

Reynaud P.A et Franche C.1986, Azolla Pinnata var africana. De la biologie moléculaire aux applications agronomiques ORSTOM Sénégal 15p

Raemaeker. 2001, agriculture en Afrique tropical ED CIP. Bibliographie royale Albert I Bruxelles.

Sadiki M. et Hilali A. 1992, Recent developpement in biological Nitrogen Fixation Research in Africa. Fifth International Conference Rabat Morocco.10p

Shiomi Kitoh and, 1993, the growth and nitrogen fixing Azolla of in polluted Aquatic water Botany 46:129-139

Van Hove, C.H.F.Diara et Godard P. 1983, Azolla en Afrique de l'ouest /West Africa bill, Morovia: West Africa Rice Developpement Association. 53 p.

Verlinden .E. et Soulé B.G. 2003, Etude de la filière riz au Bénin : Diagnostic. Plan d'action PADSE .pp102. SOFRECO.18

Wilson,G. et Al-Hamdani 1997, Effects of chromium and humic substances one selected physiological responses of Azolla Caroliniana.American Ferm 87:17-27 XXème siècle 15p



ANNEXES

Résultats bruts

Résultats des croissances

Repiquage					1ere Quinzaine				
TRT	H	F	T	P	TRT	H	F	T	P
1	14,72	6,13			1	34,75	13,75		
2	14,88	6,07			2	25,1	9,533		
3	14,73	6,00			3	22,32	7,983		
4	14,93	6,05			4	30,52	12,02		
5	14,92	6,03			5	21,73	10,02		
6	14,95	6,03			6	18,97	9,05		

2 ^{ème} Quinzaine					3 ^{ème} Quinzaine				
TRT	H	F	T	P	TRT	H	F	T	P
1	47,63	28,67	14,78		1	66,67	45,7	21,18	2,36
2	35,75	25,63	10,33		2	45,07	28,03	13,87	1,57
3	30,55	20,07	8,433		3	46,67	25,07	14,41	1,67
4	39,84	24,46	11,98		4	54,28	36,73	19,05	2,11
6	24,77	11,95	8,137		5	41,41	19,16	15	1,25
					6	37,85	16,53	11,5	1,67

4 ^{ème} Quinzaine				
TRT	H	F	T	P
1	77,40	57,93	29,16	17
2	63,68	33,13	17,716	8,13
3	61,86	37,93	18,88	10,01
4	69,47	40,96	23	11,65
5	59,35	30,38	17,41	9,05
6	56,30	25,83	13,61	9,28

5 ^{ème} Quinzaine				
TRT	H	F	T	P
2	79,85	41,15	22,65	22,5
3	89	41,27	24,27	23,6
4	90,17	50,22	27,67	26,1
5	69,7	40,1	19,05	17,2
6	65,57	30,68	15,37	13,2
6 ^{ème} Quinzaine				
TRT	H	F	T	P
1	98,67	56,88	31,52	29,4
2	88,42	42,72	24,57	24,7
3	90,45	40,07	23,73	24,7
4	96,42	51,08	28,7	27,3
5	74,67	40,65	19,7	18,9
6	68,93	29,97	15,23	12,6

Résultats regroupés par forme de croissance

HAUTEUR

TRT	Repiquage	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}
1	14,72	34,75	47,63	66,67	77,40	95,48	98,67
2	14,88	25,1	35,75	45,06666667	63,68333333	79,85	88,41666667
3	14,73	22,31666667	30,55	46,67241379	61,86666667	89	90,45
4	14,93	30,51666667	39,84210526	54,28333333	69,41666667	90,16666667	96,41666667
5	14,92	21,73333333	26,26666667	41,40983607	59,35	69,7	74,66666667
6	14,95	18,96666667	24,76666667	37,85	56,3	65,56666667	68,93333333

FEUILLES

TRT	Repiquage	1 ^{ère} quinzaine	2 ^{ème} quinzaine	3 ^{ème} quinzaine	4 ^{ème} quinzaine	5 ^{ème} quinzaine	6 ^{ème} quinzaine
1	6,13	13,75	28,66666667	45,7	57,93333333	58,21666667	56,88333333
2	6,07	9,533333333	25,63333333	28,03333333	33,13333333	41,15	42,71666667
3	6,00	7,983333333	20,06666667	25,06896552	37,93333333	41,26666667	40,06666667
4	6,05	12,01666667	24,45614035	36,73333333	40,96666667	50,21666667	51,08333333
5	6,03	10,01666667	12,85	19,16393443	30,38333333	40,1	40,65
6	6,03	9,05	11,95	16,53333333	25,83333333	30,68333333	29,96666667

THALLES

TRT	Repiquage	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}
1	0	0	14,78333333	21,18333333	29,16666667	32	31,51666667
2	0	0	10,33333333	13,86666667	17,71666667	22,65	24,56666667
3	0	0	8,433333333	14,4137931	18,88333333	24,26666667	23,73333333
4	0	0	11,98245614	19,05084746	23	27,66666667	28,7
5	0	0	8	15	17,41666667	19,05	19,7
6	0	0	8,136666667	11,5	13,61666667	15,36666667	15,23333333

PANICULES

TRT	Repiquage	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}
1	0	0	0	2,357142857	17	32,13333333	29,41666667
2	0	0	0	1,571428571	8,133333333	22,53333333	24,66666667
3	0	0	0	1,666666667	10,01666667	23,6	24,73333333
4	0	0	0	2,111111111	11,65	26,1	27,31666667
5	0	0	0	1,25	9,05	17,15	18,9
6	0	0	0	1,666666667	9,283333333	13,16666667	12,55

Résultats des rendements

TRT	Rep	rdt g	rdt p	rdt total	IH=g/total	rdt g/ha	rdtp/ha	rdt tota/ha
1	1	4,01	3,71	7,72	0,5194301	8020	7420	15440
1	2	4,01	3,51	7,52	0,5332447	8020	7020	15040
1	3	4,01	3,53	7,54	0,5332447	8020	7060	15080
2	1	3,01	3,5	6,51	0,4623656	6020	7000	13020
2	2	3,07	3,4	6,47	0,4744977	6140	6800	12940
2	3	3,06	3,4	6,46	0,4729521	6120	6800	12920
3	1	3,2	3,7	6,9	0,4637681	6400	7400	13800
3	2	3,19	3,71	6,9	0,4623188	6360	7420	13800
3	3	3,21	3,77	6,98	0,4598854	6420	7540	13960
4	1	3,49	3,6	7,19	0,4853964	6980	7200	14380
4	2	3,5	3,7	7,2	0,486111	7000	7400	14400
4	3	3,51	3,67	7,18	0,488879	7200	7340	14360
5	1	2,3	3	5,2	0,4423077	4600	6000	10400
5	2	2,36	3,1	5,46	0,4322344	4720	6200	10920
5	3	2,34	3,29	5,63	0,4365672	4680	6580	11260
6	1	1,52	2,3	3,8	0,4	3040	4600	7600
6	2	1,54	2,27	3,81	0,401995	3080	4540	7620
6	3	1,51	2,26	3,77	0,4005305	3010	4520	7540

MOYENNE DES RENDEMENTS

TRT	rdt g	rdt p	rdt total	IH=g/total	rdt g/ha	rdtp/ha	rdt total/h a
1	4,01	3,58333333	7,59333333	0,5280948	8,020	7,166	15,186
2	3,04666667	3,43333333	6,48	0,4701646	6,09332	6,86666	12,960
3	3,2	3,72666667	6,92666667	0,4619827	6,400	7,4532	13,853
4	3,5	3,65666667	7,19	0,4867872	7,000	7,300	14,380
5	2,33333333	3,13	5,43	0,4297114	4,66666	6,260	10,860
6	1,52333333	2,27666667	3,79333333	0,40084183	3,04666	4,55332	7,580

Extrait des résultats statistiques Homogeneous Subsets

Repiquage

Hauteur			
	Trt	N	Subset for alpha = 0.05
			1
Student-Newman-Keuls ^a	1	60	14,72
	3	60	14,73
	2	60	14,88
	5	60	14,92
	4	60	14,93
	6	60	14,95
	Sig.		

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

Feuille				
	Trt	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Student-Newman-Keuls ^a	3	60	6,00	
	5	60	6,03	6,03
	6	60	6,03	6,03
	4	60	6,05	6,05
	2	60	6,07	6,07
	1	60		6,13
	Sig.			,572

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

1ère quinzaine

		Hauteur				
Trt	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
Student-Newman-Keuls ^a	6	18,97				
	5		21,73			
	3		22,32			
	2			25,10		
	4				30,52	
	1					34,75
	Sig.	1,000	,289	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

		Feuilles				
Trt	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
Student-Newman-Keuls ^a	3	7,98				
	6		9,05			
	2		9,53	9,53		
	5			10,02		
	4				12,02	
	1					13,75
	Sig.	1,000	,144	,144	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

2ème quinzaine

		Hauteur						
Trt	N	Subset for alpha = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	
Student-Newman-Keuls ^a	6	60	24,77					
	5	60		26,27				
	3	60			30,55			
	2	60				35,75		
	4	60					39,87	
	1	60						47,63
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

		Feuilles					
Trt	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	
Student-Newman-Keuls ^a	6	60	11,95				
	5	60	12,85				
	3	60		20,07			
	4	60			24,33		
	2	60				25,63	
	1	60					28,67
	Sig.		,173	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

Thalles

	Trt	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Student-Newman-Keuls ^a	5	60	8,00			
	6	60	8,14			
	3	60	8,43			
	2	60		10,33		
	4	60			12,02	
	1	60				14,78
	Sig.			,376	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

3ème quinzaine

Hauteur

	Trt	N	Subset for alpha = 0.05					
			1	2	3	4	5	6
Student-Newman-Keuls ^a	6	60	37,85					
	5	61		41,41				
	2	60			45,07			
	3	58				46,67		
	4	60					54,28	
	1	60						66,67
	Sig.			1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 59,820

Feuilles

	Trt	N	Subset for alpha = 0.05					
			1	2	3	4	5	6
Student-Newman-Keuls ^a	6	60	16,53					
	5	61		19,16				
	3	58			25,07			
	2	60				28,03		
	4	60					36,73	
	1	60						45,70
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 59,820.

Thalles

	Trt	N	Subset for alpha = 0.05					
			1	2	3	4	5	
Student-Newman-Keuls ^a	6	60	11,50					
	2	60		13,87				
	3	58		14,41	14,41			
	5	61			15,00			
	4	59				19,05		
	1	60					21,18	
	Sig.		1,000	,211	,180		1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 59,652.

		Panicules	
		N	Subset for alpha = 0.05
Trt			1
Student-Newman-Keuls ^a	5	4	1,2500
	2	7	1,5714
	3	6	1,6667
	6	6	1,6667
	4	9	2,1111
	1	14	2,3571
	Sig.		,469

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6,603.

4ème quinzaine

		Hauteur						
		N	Subset for alpha = 0.05					
Trt			1	2	3	4	5	6
Student-Newman-Keuls ^a	6	60	56,30					
	5	60		59,35				
	3	60			61,87			
	2	60				63,68		
	4	60					69,42	
	1	60						77,40
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

Feuilles

Trt	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
Student-Newman-Keuls ^a							
6	60	25,83					
5	60		30,38				
2	60			33,13			
3	60				37,93		
4	60					40,97	
1	60						57,93
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

Thalles

Trt	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
Student-Newman-Keuls ^a						
6	60	13,62				
5	60		17,42			
2	60		17,72			
3	60			18,88		
4	60				23,00	
1	60					29,17
Sig.		1,000	,497	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

		Panicules			
Trt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Student-Newman-Keuls ^a					
2	60	8,13			
5	60	9,05	9,05		
6	60	9,28	9,28		
3	60		10,02		
4	60			11,65	
1	60				17,00
Sig.		,255	,379	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

5ème quinzaine

		Hauteur				
Trt	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
Student-Newman-Keuls ^a						
6	60	65,57				
5	60		69,70			
2	60			79,85		
3	60				89,00	
4	60				90,17	
1	60					95,48
Sig.		1,000	1,000	1,000	,074	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

Feuilles

Trt	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
Student-Newman-Keuls ^a 6	60	30,68			
5	60		40,10		
2	60		41,15		
3	60		41,27		
4	60			50,22	
1	60				58,22
Sig.		1,000	,118	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

Panicules

Trt	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
Student-Newman-Keuls ^a 6	60	13,17					
5	60		17,15				
2	60			22,53			
3	60				23,60		
4	60					26,10	
1	60						32,13
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

6ème quinzaine

		Hauteur						
		N	Subset for alpha = 0.05					
Trt			1	2	3	4	5	6
Student-Newman-Keuls ^a	6	60	68,93					
	5	60		74,67				
	2	60			88,42			
	3	60				90,45		
	4	60					96,42	
	1	60						98,67
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

		Feuilles					
		N	Subset for alpha = 0.05				
Trt			1	2	3	4	5
Student-Newman-Keuls ^a	6	60	29,97				
	3	60		40,07			
	5	60		40,65			
	2	60			42,72		
	4	60				51,08	
	1	60					56,88
	Sig.		1,000	,266	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

Thalles

	Trt	N	Subset for alpha = 0.05					
			1	2	3	4	5	6
Student-Newman-Keuls ^a	6	60	15,23					
	5	60		19,70				
	3	60			23,73			
	2	60				24,57		
	4	60					28,70	
	1	60						31,52
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

Panicules

	Trt	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
Student-Newman-Keuls ^a	6	60	12,55				
	5	60		18,90			
	2	60			24,67		
	3	60			24,73		
	4	60				27,32	
	1	60					29,42
	Sig.		1,000	1,000	,856	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 60,000.

RENDEMENT

		rdt g/ha						
		N	Subset for alpha = 0.05					
TRT			1	2	3	4	5	6
Student-Newman-Keuls ^a	6	3	3,04333					
	5	3		4,66667				
	2	3			6,09333			
	3	3				6,39333		
	4	3					7,06000	
	1	3						8,02000
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

		rdtp/ha				
		N	Subset for alpha = 0.05			
TRT			1	2	3	4
Student-Newman-Keuls ^a	6	3	4,55333			
	5	3		6,26000		
	2	3			6,86667	
	1	3				7,16667
	4	3				7,31333
	3	3				7,45333
	Sig.		1,000	1,000	1,000	,130

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

		rdt tota/ha						
		N	Subset for alpha = 0.05					
TRT			1	2	3	4	5	6
Student-Newman-Keuls ^a	6	3	7,58					
	5	3		10,86				
	2	3			12,96			
	3	3				13 ,85		
	4	3					14,38	
	1	3						15,18
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

		IH=g /total					
		N	Subset for alpha = 0.05				
TRT			1	2	3	4	5
Student-Newman-Keuls ^a	6	3	,400841833				
	5	3		,437036433			
	3	3			,461990767		
	2	3			,469938467		
	4	3				,486795467	
	1	3					,528639833
	Sig.		1,000	1,000	,068	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.