



ATHENEE SAINT JOSEPH ANTSIRABE
(ASJA)
Université Privée à Vocation Professionnalisante

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME D'INGENIEUR**

En

Filière : Sciences Agricoles

Option : Agronomique

**EVALUATION DE SYSTEMES DE CULTURE
A BASE DE RIZ PLUVIAL
INTEGRANT DES PLANTES FOURRAGERES**

Présenté par : **RAZAFINDRAKOTO Alice Noël Michèle**

Soutenu le 14 Novembre 2008

Devant les membres du jury composés de :

Président : Monsieur Léon Joseph RAHERIMANDIMBY, Ingénieur Agronome

Rapporteurs : Madame Julie DUSSERRE, Docteur en Ecophysiologie

: Madame Sahondra ANDRIAMALAZA, Docteur en Pédologie

Examineurs : Monsieur Jean Marie DOUZET, Ingénieur Agronome

: Monsieur Damien RALAIVAOHITA, Ingénieur Agroéconomiste



URP/SCRiD
SRR FOFIFA
Antsirabe 110



Athénée Saint Joseph Antsirabe
BP.287 Tél:4448319/20
E-mail:asja@moov.mg



ATHENEE SAINT JOSEPH ANTSIRABE
(ASJA)
Université Privée à Vocation Professionnalisante

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME D'INGENIEUR**

En

Filière : Sciences Agricoles

Option : Agronomique

**EVALUATION DE SYSTEMES DE CULTURE
A BASE DE RIZ PLUVIAL
INTEGRANT DES PLANTES FOURRAGERES**

Présenté par : **RAZAFINDRAKOTO Alice Noël Michèle**

Soutenu le 14 Novembre 2008

Devant les membres du jury composés de :

- Président** : Monsieur Léon Joseph RAHERIMANDIMBY, Ingénieur Agronome
Rapporteurs : Madame Julie DUSSERE, Docteur en Ecophysiologie
: Madame Sahondra ANDRIAMALAZA, Docteur en Pédologie
Examineurs : Monsieur Jean Marie DOUZET, Ingénieur Agronome
: Monsieur Damien RALAIVAOHITA, Ingénieur Agroéconomiste



URP/SCRiD
SRR FOFIFA
Antsirabe 110



Athénée Saint Joseph Antsirabe
BP.287 Tél:4448319/20
E-mail:asja@moov.mg

REMERCIEMENTS

« Garde-moi, Ô Dieu ! Car je cherche en Toi mon refuge »

Psaumes 16, 1- Bible

Avant tout, nous tenons à remercier **DIEU** tout Puissant qui nous a donné vie, santé, force et intelligence. C'est Lui qui nous garde et qui nous guide partout où nous allons et dans tout ce que nous faisons. C'est aussi grâce à sa Bénédiction que nous avons pu réaliser ce travail

Ce travail est le fruit de la contribution de plusieurs personnes et institutions à qui nous voudrions présenter notre profonde gratitude et nos sincères remerciements. Qu'ils retrouvent ici l'expression de notre reconnaissance. Nous ne pourrions cependant ne pas distinguer les personnes suivantes qui ont porté plus qu'une attention sur notre travail.

Nous tenons ainsi à remercier en particulier :

***Père Giuseppe MARIO CUOMO**, Fondateur et Directeur Général de l'Athénée Saint Joseph d'Antsirabe (A.S.J.A.) avec sa volonté et son courage, il construit cette université afin d'aider les jeunes malgaches à continuer leurs études.

***Madame Laurence RALAMBORANTO**, Recteur de l'ASJA, ses charges administratives, considérables à l'Université ne l'empêchent pas de nous prodiguer de judicieux, conseils.

***Monsieur Léon Joseph RAHERIMANDIMBY**, Ingénieur Agronome et Enseignant à l'ASJA, Merci pour l'honneur de nous avoir accepté en tant que président du jury.

***Monsieur Jean Marie DOUZET**, Ingénieur Agronome et chercheur du CIRAD, d'avoir consacré une partie de son temps précieux pour rehausser la valeur de ce travail. C'est grâce à sa correction et ses remarques constructives que ce mémoire a été mise au point. Nous le remercions de nous avoir accordé son attention en tant qu'examineur.

*** Monsieur Damien RALAIVAOHITA**, Ingénieur Agroéconomiste et Enseignant à l'ASJA, Nous lui sommes très reconnaissante de nous avoir accordé un peu de son temps et de siéger comme membre de notre jury.

***Madame Julie DUSSERE**, Docteur en Ecophysiologie et chercheur du CIRAD, qui nous a encadré professionnellement malgré sa lourde responsabilité au sein du CIRAD. Vos conseils et vos aides durant notre stage nous ont beaucoup servi. Vos directives nous ont été précieuses pour

compléter nos connaissances lors de nos pratiques sur terrains. Merci pour avoir veillé au bon déroulement de celles-ci.

***Madame Sahondra ANDRIAMALAZA, Docteur en Pédologie**, Enseignante de Pédologie à l'ASJA, notre encadreur pédagogique qui nous a consacré beaucoup de temps précieux pour l'élaboration de ce mémoire. L'intérêt que vous avez porté sur notre travail nous a beaucoup marqué.

Nous tenons aussi à remercier :

*** Monsieur RAMAHANDRY ANDRIANDRAHONA Fidiniaina, Ingénieur Agronome** et chercheur du FOFIFA. Nous sommes très reconnaissantes d'avoir aidé sur l'accomplissement de ce mémoire.

*** Tous les professeurs et personnels de l'Athénée Saint Joseph Antsirabe** qui nous ont épaulé depuis le début de nos études jusqu'à la réalisation de ce mémoire.

*** les Techniciens et mains - d'oeuvre de l'URP/SCRiD**, en particulier ceux d'Andranomanelatra pour les détails techniques et leur précieuse aide au cours de nos travaux sur terrain.

***Tout le Personnel de Fofifa et de Cirad** pour leur précieuse collaboration qu'ils nous ont offerts durant notre stage.

***Mes parents, et toute ma famille** pour leur soutien moral et financier, pour leur amour durant nos études

. Mes camarades de classe pour la bonne collaboration durant cinq ans d'étude.

***Les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin**, pour le bon déroulement de ce stage.

RESUME

A Madagascar, le développement durable de la riziculture pluviale passe par la mise au point de systèmes de culture performants conservant la fertilité du sol et respectant l'environnement.

Notre étude est une infime partie de ces recherches. Elle a été réalisée sur le dispositif expérimental de l'URP/ SCRiD à Andranomanelatra. L'évaluation de systèmes de culture à base de riz pluvial intégrant des plantes fourragères est intéressante car ces systèmes pourraient fournir au producteur à la fois une production vivrière et une production fourragère, tout en maintenant son capital sol. Notre recherche nous a conduit à faire différentes mesures au sein du dispositif pour chaque système étudié :

- les relations (compétition / complémentarité) entre plantes associées : mesures au cours du cycle de la hauteur du riz et du maïs, de la nutrition azotée du riz (SPAD)
- les rendements et leurs composantes
- les biomasses produites
- les quantités de résidus restant sur la parcelle à la fin de la saison froide

Les résultats ne nous ont pas montré d'effet net de la fertilisation sur le riz, par contre l'effet est significatif sur le maïs.

Pour le riz, le passage de conditions météorologiques défavorables (vent, basses températures) lors de la période autour de la floraison a eu pour conséquence de très faibles rendements (entre 0,74 et 1,34 t/ha) dus à de faibles pourcentages de grains pleins. Nous avons observé que ce sont les systèmes S1 et S2 en labour qui donnent les meilleurs rendements, ainsi que le riz associé avec la vesce semée 1 mois après le riz. Mais l'association avec l'éleusine est très intéressante car elle semble très favorable au riz (plus fort nombre de panicules par m²).

Pour le maïs, c'est le S2 labour qui présente la plus forte valeur de rendement atteignant 3,5 t/ha et la plus forte biomasse au total (5,9 t/ha, cannes plus plantes associées). Entre associations, le meilleur rendement est observé avec l'association lupin semis en simultané, et le plus faible avec l'association avec Brachiaria.

La production de biomasse de la plante associée la plus forte est liée avec le rendement le plus faible (cas du radis avec le riz et cas du brachiaria avec le maïs). La réalisation de coupes des couvertures les plus envahissantes, en plus de limiter la concurrence avec la culture principale, permettrait d'exporter de la biomasse pour l'élevage.

Mots-clés : riz, maïs, système de culture, association, rendement, biomasse

ABSTRACT

In Madagascar, sustainable development of rainfed upland rice focuses on the cropping system which maintains soil fertility and protects environment. Realizing this, URP/SCRiD has established an experimental field in Andranomanelatra. This study is based on a part of URP/SCRiD research work. In this study, upland rice based production system is integrated with fodder crop, as it can produce rice and fodder from the same field at the same time maintaining soil fertility. The objective of this study is to find out the relationship (competitions and complementarities) between two associated crops (rice and maize) in terms of plant height, nitrogen level expressed in the rice leaves using SPAD meter. Biomass production (dry matter), grain yield and its components, and quantities of the residue left in the field in the end of the winter season were observed. Three cropping systems with two association crops (rice and maize) were experimented for the study.

There is no significant difference with fertilizer application in upland rice in our results, whereas significance difference is found in maize. Unfavorable weather condition (frequent high wind speed and low temperature/cold stress) during flowering stage of rice has caused low grain yield due to higher percentage of sterility (between 0.74 and 1.34 t/ha). The cropping system with tillage and association with *Eleusine coronaca* gave higher rice grain yield than the rice associated with *Viscia vellosa* sowed one month after rice. Association of rice with *Eleusine coronaca* is more favorable as the rice had higher panicle number per m².

The cropping system with tillage association with *Eleusine coronaca* is also favorable for maize as it had the highest grain yield (3.5 t/ha) and total biomass (dry matter) of maize and its associated crop (5.9 t/ha). Among the associated crops, the high grain yield is observed in Lupin sowed in simultaneous with maize and low with *Brachiaria*.

In these systems, the crop with low grain yield has its associated fodder crop with high biomass (Raphanus mixed with rice and *Brachiaria* with maize). It is realized that the fodder crop production in these type of cropping system can supplement animal feed to the farmers as well as cereal grain at the same time without extra cost.

Key words: rice, maize, cropping system, association, yield, dry matter

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

Abréviations

AFD	: Agence Française de Développement
ASJA	: Athénée Saint Joseph Antsirabe
BP	: Boîte Postale
CIRAD	: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CORUS	: Coopération pour la Recherche Universitaire et Scientifique
DRDR	: Direction Régionale de Développement Rural
FAO	: Food and Agriculture Organization
FIFAMANOR	: Fiompiana Fambolena Malagasy Norvezianina
FM	: Fumure Minérale recommandée
FOFIFA	: FOibem- pirenena momba ny Fikarohana ampiarina ho Fampanandrosoana ny tontolo Ambanivohitra
FU	: Fumier seulement
GP	: Grains Pleins
GRET	: Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques
GSDM	: Groupement Semis Direct à Madagascar
GV	: Grains Vides
JAS	: Jours Après Semis
KOBAMA	: KOBA MAlagasy
LAB	: Labour
MAEP	: Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
MAT	: Quantité de Matière Azotée Totales
MO	: Matière Organique
MS	: Matière Sèche
Nbr Ep	: Nombre d'épillets
Nbr GP	: Nombre de Grains Pleins
Nbr pan	: Nombre de panicules
Nbr plt	: Nombre de plants
ONG	: Organisation Non Gouvernemental
PCD	: Plan Communal de Développement

PCP	:Pôle de Compétence en Partenariat
PDIE	:Protéines Digestibles dans l'Intestin selon l'Energie
PDIN	:Protéines Digestibles dans l'Intestin selon l'azote (N)
PDR	: Programme de Développement Régional
PIG	: Poids d'un grain
PRA	: Projet Riz d'Altitude
Rdt	: Rendement
SOCOLAIT	: Société Malgache de Produits Laitiers
ROMA	:ROnono Malagasy
ROMANOR	:Ronono Malagasy Norveziana
ROMINCO	:Ronono Malagasy Industrie et Commerce
SCV	: Semis Direct sur Couverture Végétale
SPAD	: Soil Plant Analyses Development
SRA	: Système de Riziculture Améliorée
SRI	: Système de Riziculture Intensive
TAFA	: TAny sy FAmpandrosoana
UPDR	: Unité Politique de Développement Rural
URP	: Unité de Recherche en Partenariat
SCRiD	: Système de Culture et Rizicultures Durables
UFL	: Unité Fourragère Lait
USA	: United States of America
USD	: United States Dollars

Symboles et formules chimiques

N	: Azote
P	: Phosphore
K	: Potassium
Ca	: Calcium

Unités de mesure

%	: pourcentage
°C	: degré Celsius
cm	: centimètre
g	: gramme

h : heure
ha : hectare
j : jour
kg : kilogramme
NPK : engrais complexe composé d'Azote, de Phosphore et de Potassium
km : kilomètre
km² : kilomètre carré
m : mètre
m² : mètre carré
mm : millimètre
t : tonne

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les surfaces exploitables et les productions rizicoles dans la région du Vakinankaratra.....	5
Tableau 2 : Résultats attendus de la stratégie de relance horizon 2010.....	6
Tableau 3 : Calendrier cultural des rizicultures pluviale et irriguée.....	8
Tableau 4 : Température de l'air nécessaire à la culture du riz (°C).....	11
Tableau 5 : Superficies occupées par la riziculture pluviale dans la région du Vakinankaratra.....	13
Tableau 6 : Les productions laitières estimées dans la région du Vakinankaratra.....	16
Tableau 7 : Les surface exploitables et les productions fourragères dans la région du Vakinankaratra.....	25
Tableau 8 : Table des valeurs alimentaires des fourrages.....	27
Tableau 9 : Calendrier de production fourragère dans les systèmes à base de riz en SCV.....	28
Tableau 10 : Association possible pour le riz.....	28
Tableau 11 : Pourcentage de levée en fonction de la profondeur de semis.....	33
Tableau 12 : Les surfaces exploitées et les productions de maïsiculture dans la région du Vakinankaratra.....	36
Tableau 13 : Caractéristique de variété F161.....	51
Tableau 14 : Les différents plantes fourragères associées avec le riz et le maïs.....	51
Tableau 15 : Les différents tests riz.....	53
Tableau 16 : Les différents tests maïs.....	54
Tableau 17 : Comparaison des valeurs SPAD obtenus sur les différents systèmes et sur les deux fertilisations en jours après semis jusqu'à floraison	63
Tableau 18 : Les rendements obtenus sur les différents systèmes et sur les deux fertilisations	65
Tableau 19 : Biomasses des pailles obtenus sur les différents systèmes et sur les deux fertilisations.....	66

<u>Tableau 20</u> : Evolution des hauteurs du riz en cm jusqu'à floraison (date de mesure en jours après semis).....	70
<u>Tableau 21</u> : Comparaison des valeurs SPAD sur les différentes associations et sur les deux fertilisations, en jours après semis jusqu'à floraison.....	71
<u>Tableau 22</u> : Rendements obtenus sur les différentes associations et sur les deux fertilisations.....	73
<u>Tableau 23</u> : Biomasses des pailles de riz obtenues sur les différentes associations et sur les deux fertilisations.....	73
<u>Tableau 24</u> : Rendements maïs obtenus sur les différentes associations et sur les deux fertilisations	77
<u>Tableau 25</u> : Biomasse des cannes et plantes associées obtenues sur les différentes associations et sur les deux fertilisations	77

Liste des organigrammes

<u>Organigramme 1</u> : Composition de la matière des fourrages.....	26
<u>Organigramme 2</u> : Elaboration du rendement de maïs.....	37

Liste des figures

<u>Figure 1</u> : Phases de croissance d'un plant du riz pluvial.....	10
<u>Figure 2</u> : Couverture morte par l'apport de paille.....	22
<u>Figure 3</u> : Les différentes phases du cycle du riz et la formation des composantes du rendement.....	35
<u>Figure 4</u> : Production de biomasse dans la parcelle.....	38
<u>Figure 5</u> : Courbe ombrothermique, campagne 2007-2008.....	46
<u>Figure 6</u> : Courbe ombrothermique, moyenne des 5 précédentes années.....	47
<u>Figure 7</u> : Durée semis – stade 50% floraison en jours après semis pour chaque système et fertilisation.....	64
<u>Figure 8</u> : Comparaison des rendements obtenus en maïs en t.ha ⁻¹ par système et fertilisation.....	66

Figure 9 : Comparaison des biomasses en cannes de maïs, et des plantes associées au maïs en t.ha ⁻¹ par système en Fertilisation organique et minérale (FM).....	68
Figure 10 : Comparaison des biomasses en cannes de maïs, et des plantes associées au maïs en t.ha ⁻¹ par système en fertilisation organique seule (Fu).....	68
Figure 11 : Comparaison des biomasses produites à la récolte et restantes à la fin de la saison froide sur les parcelles en SD.	69
Figure 12 : Comparaison des biomasses des plantes associées au riz en t.ha ⁻¹ par fertilisation.....	74
Figure 13 : Comparaison des biomasses produites à la récolte et restantes à la fin de la saison froide sur les parcelles de cajanus et d'éleusine.....	75
Figure 14 : Evolution de la hauteur du maïs en cm pour chaque association, sur la fertilisation minérale (FM).....	76
Figure 15 : Evolution de la hauteur du maïs en cm pour chaque association, sur la fertilisation organique (Fu).....	76

Liste des cartes

Carte 1 : Localisation de la zone d'étude.....	45
Carte 2 : Dispositif expérimental de l'URP/SCRiD à Andranomanelatra campagne 2007-2008.....	50

Liste des photos

Photo 1 : Arrachage de poquet.....	57
Photo 2 : Comptage du nombre de plants, de talles, et de panicule.....	57
Photo 3 : Pesage des panicules	58
Photo 4 : Pesage des grains pleins	58
Photo 5 : Pesage des grains vides.....	58
Photo 6 : Pesage des pailles.....	59
Photo 7 : Séchage des composantes à l'étuve.....	59

TABLE DE MATIERES

REMERCIEMENTS

RESUME

ABSTRACT

LISTE DES SIGLES ET ABRVIATIONS

LISTE DES ILLUSTRATIONS

INTRODUCTION.....1

PARTIE I : Contexte et problématique de l'étude

Chapitre I : Etude de la production de riz pluvial et de fourrage sur les Hautes Terres

Centrales malgaches.....3

11-Etude de la production rizicole sur les Hautes Terres Centrales.....3

111- Place du riz sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar.....3

1111-Les Hautes Terres Centrales de Madagascar.....3

1112- Ecologie.....3

112-Les stratégies de développement rizicole.....4

1121-Les politiques rizicoles.....4

1122- Les potentialités rizicoles.....5

113- Les contraintes rizicoles.....6

1131- Les contraintes physiques.....6

1132- Les contraintes techniques.....6

1133-Les contraintes économiques.....6

114- Les différentes catégories de rizicultures rencontrées.....6

1141- La riziculture irriguée ou aquatique.....7

1142-La riziculture pluviale ou sèche.....7

115-Cycle cultural des rizicultures irriguée et pluviale.....8

12- Généralités sur le riz.....8

121- Biologie du riz.....8

1211- Position systématique.....8

1212- Phases et cycles végétatifs.....9

a- La phase végétative.....9

b- La phase reproductive.....9

c- La phase de maturation.....10

122- Ecologie du riz.....	11
1221- Latitude, altitude.....	11
1222- Lumière et température.....	11
1223-Eau.....	11
1224-Sol.....	11
1225-Eléments nutritifs.....	12
123- Modes de culture du riz.....	12
1231- Culture du riz traditionnel.....	12
1232- Culture du riz moderne.....	12
124- Les spécificités de la riziculture pluviale d'Altitude.....	12
1241- Mise en valeur des <i>tane ty</i> par la riziculture pluviale.....	13
1242- Les rotations en culture pluviale.....	13
1243- Facteurs nécessaires à la riziculture pluviale.....	14
a-Les semences utilisées.....	14
b-La maîtrise des mauvaises herbes.....	14
c-La nature du sol.....	14
d-La fertilisation.....	14
13-Situation de la production laitière sur les Hautes Terres Centrales malgaches.....	15
131- Place et dynamique de la production laitière.....	15
1311- Importance du lait.....	15
1312-La production laitière.....	15
1313- Le volume de production laitière.....	16
132- Les potentialités et politiques laitières sur les Hautes Terres Centrales.....	17
1321- Les potentialités en matière de production laitière.....	17
1322- La politique laitière.....	17
133- Les principales contraintes à la production laitière.....	18
<u>Chapitre II : Les systèmes de culture pour la production fourragère en SCV.....</u>	19
21- Les modes de gestion du sol.....	19
211-Culture avec labour.....	19
2111-But.....	19
2112-Les avantages du labour.....	19
2113-Les inconvénients.....	19
212-SCV.....	20

2121- Définition et naissance du semis direct sur couverture végétale.....	20
a-Définition.....	20
b-Naissance du SCV à MADAGASCAR.....	20
2122-Objectifs du SCV à base de plantes fourragères.....	21
2123-Fonctionnement.....	21
2124-Principes.....	22
2125-Techniques de base du SCV.....	22
a-Les systèmes sur résidus ou sur couverture végétale morte.....	22
b-Les systèmes sur couverture végétale vivante.....	23
2126- Avantages et inconvénients des SCV.....	23
a-Avantages.....	23
b-Inconvénients.....	24
22- Production des plantes fourragères.....	24
221-Les caractéristiques communes des plantes fourragères.....	24
2211-Légumineuses fourragères.....	25
2212-Graminées fourragères.....	25
2213-La valeur des plantes fourragères.....	26
a-La composition de la matière des fourrages.....	26
b- Tables des valeurs alimentaires de quelques espèces fourragères.....	26
222- Production fourragère dans les systèmes à base de riz en SCV.....	27
223-Association possible pour le riz.....	28
23 -Notions et acquis sur l'association de culture.....	29
231- Les principes raisons pour l'association de cultures.....	29
232- Les mécanismes de la dominance et de la complémentarité.....	29
2321 -Les compétitions pour les facteurs de croissance.....	29
a-Compétition pour la lumière.....	29
b-Compétition pour les facteurs du sol.....	30
2322-Les complémentarités pour les facteurs de croissance.....	30
a-Complémentarités pour la lumière.....	30
b-Complémentarités pour les facteurs du sol.....	30
233-Contraintes sur l'association de culture.....	30
2331- Les semis.....	30
2332- Les travaux du sol.....	31

2333- La récolte.....	31
2334- Le problème de la fertilisation.....	31
Chapitre III – Evaluation de l’élaboration des composantes du rendement et des biomasses	
produites.....	32
31 – Elaboration des composantes du rendement.....	32
311 Les composantes du rendement du riz.....	32
312-L’élaboration du rendement suivant le cycle du riz.....	32
3121-La phase végétative.....	32
a-La germination - levée : Détermination du nombre de pieds/m ²	33
b- Le tallage : détermination du nombre de panicules / m ² (Npa/m ²).....	34
3122-La phase reproductive.....	34
3123- La phase de maturation.....	34
32- Généralités sur la culture de maïs.....	36
321-Elaboration du rendement de maïs.....	36
322- Elaboration des composantes du rendement du maïs durant le cycle	
végétatif.....	37
3221- Le nombre de plants/ha.....	37
3222-La phase végétative.....	38
33 Evaluation de la biomasse.....	38
331-Caractéristique de la biomasse.....	38
3311- La biomasse brute.....	39
3312- La biomasse secondaire.....	39
332 -La biomasse représentant les précédents culturaux.....	39
333-Traitement d’un prélèvement de biomasse produite.....	40
PARTIE II : Présentation de la zone d’étude, des matériels et méthodes utilisés	
Chapitre I : Justification du thème.....	41
11-Cadrage de l’étude.....	41
111-Contexte général et centre d’accueil.....	41
1111-Contexte général.....	41
1112-Centre d’accueil.....	41
a-Le projet CORUS.....	41
b- URP SCRiD.....	42

112-Problématique.....	42
113- Objectif et méthodologie de recherche.....	43
1131-Objectif du stage.....	43
1132-Méthodologie de recherche.....	43
12-Présentation générale de la zone d'étude.....	44
121-Limites administratives.....	44
122-Limites géographiques.....	44
123- Les unités climatiques.....	46
1231- Le Climat.....	46
1232-La température.....	47
1233-La pluviométrie.....	47
1234-Le Vent.....	48
124- Les unités pédologiques.....	48
<u>Chapitre II : Les dispositifs et matériel végétal.....</u>	49
21- Le dispositif expérimental de l'URP SCRiD.....	49
22-Le matériel végétal.....	51
221-Les variétés du riz.....	51
222-La variété de maïs.....	51
223-Les différentes plantes fourragères associées avec le riz et le maïs.....	51
23-Systèmes de culture comparés.....	51
231- Parcelles de comparaison de systèmes de culture.....	51
2311-S1: Riz//Maïs + haricot - (Avoine).....	51
2312-S2 :Riz//Maïs + éleusine.....	52
2313-S3 : Riz//Maïs + Soja + (Radis fourrager).....	52
232- Parcelles de tests de cultures d'association.....	52
2321-Test riz.....	52
2322-Test maïs.....	54
<u>Chapitre III : Les méthodes de mesure.....</u>	56
31-Les différentes mesures de suivi des cultures.....	56
311-Mesure de la hauteur des plantes (riz et maïs).....	56
3 111-Principe.....	56
3112-Mode opératoire.....	56
312-Mesure du statut azoté par le SPAD <i>Chlorophyll meter</i> (riz).....	56

3 121-Principe.....	56
3 122-Mode opératoire.....	56
32-Mesure à la récolte.....	57
321-Composantes du rendement du riz (sur les systèmes et les tests en double ligne de riz).....	57
322-Rendement du maïs.....	59
323-Mesure des cultures associées et reste des résidus sur la parcelle.....	60
3231-Mesure des cultures associées au riz.....	60
3232-Mesure des cultures associées au maïs.....	60
33-Mesure des biomasses produites.....	61

PARTIE III : Résultats et discussion

Chapitre I : Résultats sur les comparaisons des systèmes à base de riz pluvial en rotation

avec du maïs en association et dérobée.....	62
11- Résultats sur les suivis au cours du cycle.....	62
111- Le statut azoté du riz.....	62
112- Le stade 50 % floraison.....	64
12- Résultats sur les rendements du riz et leurs composantes.....	64
13- Biomasses produites sur les rotations du riz (systèmes maïs).....	66
131- Rendement en maïs.....	66
132- Biomasses à la récolte.....	67
133- Mesure des biomasses produites à la récolte et restantes à la fin de la saison froide sur les parcelles en SD	69
<u>Chapitre II</u> : Résultats sur les cultures associées en riz et en maïs.....	70
21- Associations avec le riz.....	70
211- Suivis au cours du cycle.....	70
2111- Suivi de la hauteur.....	70
2112- Suivi du statut azoté.....	70
212- Mesures à la récolte.....	72
2121- Rendement et composantes du riz.....	72
2122- Biomasses pailles et associations.....	73

213- Mesures des biomasses produites à la récolte et restantes à la fin de la saison froide.....	74
22- Associations avec le maïs.....	75
221- Suivis au cours du cycle : la hauteur.....	75
222- Mesures à la récolte.....	77
2221- Rendements en maïs.....	77
2222- Biomasses cannes et cultures associées.....	77
CONCLUSION.....	78
SUGGESTION.....	80
BIBLIOGRAPHIE.....	81
ANNEXES	
Annexe I : Caractéristiques de quelques espèces fourragères	
Annexe II : Les matériels et équipements utilisés	
Annexe III : Les itinéraires techniques culturaux	
Annexe IV : Quelques notions sur les dispositifs de l'URP/SCRiD	
Annexe V : Les composantes du rendement de test riz	
Annexe VI : Les composantes du rendement et les biomasses des plantes de couverture en association avec le maïs	
Annexe VII : Mesure des rendements du système maïs et des biomasses.	

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Ce mémoire de fin d'études a été élaboré dans le cadre de l'étude Universitaire Athénée Saint Joseph Antsirabe (ASJA), en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, en collaboration avec des organismes tels que le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en recherche Agronomique pour le Développement) et le FOFIFA (Foibe Fikarohana ho an'ny Fampanandroana ny tontolon'ny Ambanivohitra)

Pour Madagascar, le riz est un produit de première nécessité car il constitue le principal aliment. Il a une place importante dans tous les domaines de la vie des Malgaches. En plus, la majorité de la population de Madagascar tire sa principale source de revenus des activités agricoles. La consommation de riz par habitant y est l'une des plus élevées du monde. Or les rendements agricoles en général et rizicoles en particulier restent faibles : moyennes de 2,1 t/ha en aquatique, 1,5 t/ha en pluvial et 0,8 t/ha en *tavy*. Les rizicultures pluviales ne représentent que 10% des superficies et moins de 10% de la production. Cependant l'augmentation de la pression foncière sur les terres inondées, en particulier dans les zones à densité de population élevée comme les Hautes Terres, conduit au développement sur les *tanety* de systèmes de culture pluviaux incluant la riziculture pluviale.

Toutefois, le développement de la production rizicole est entravé par de multiples problèmes. A une échelle d'une trentaine d'années, la progression de la production (1,2% par an) ne suit pas la croissance démographique (2,8% par an). Vu la fragilité de l'écosystème pluvial, il est difficile de concilier les objectifs de durabilité et de production. La démographie en forte extension de Madagascar invite à réfléchir à des solutions à long terme. La préservation de l'environnement et la prise en compte des critères socio-économiques sont des éléments indissociables et préalables à toute opération de développement agricole durable.

Des programmes et actions ont été lancés par le Cirad et le Fofifa pour augmenter la production vivrière en privilégiant une meilleure intégration avec l'élevage, en promouvant le semis direct sur résidus de récolte, et l'association de la culture principale (riz ou rotation) à des couvertures vives fourragères. Ces activités sont réalisées sur les dispositifs expérimentaux de

INTRODUCTION

Ce mémoire de fin d'études a été élaboré dans le cadre de l'étude Universitaire Athénée Saint Joseph Antsirabe (ASJA), en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, en collaboration avec des organismes tels que le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en recherche Agronomique pour le Développement) et le FOFIFA (Foibe Fikarohana ho an'ny Fampandrosoana ny tontolon'ny Ambanivohitra)

Pour Madagascar, le riz est un produit de première nécessité car il constitue le principal aliment. Il a une place importante dans tous les domaines de la vie des Malgaches. En plus, la majorité de la population de Madagascar tire sa principale source de revenus des activités agricoles. La consommation de riz par habitant y est l'une des plus élevées du monde. Or les rendements agricoles en général et rizicoles en particulier restent faibles : moyennes de 2,1 t/ha en aquatique, 1,5 t/ha en pluvial et 0,8 t/ha en *tavy*. Les rizicultures pluviales ne représentent que 10% des superficies et moins de 10% de la production. Cependant l'augmentation de la pression foncière sur les terres inondées, en particulier dans les zones à densité de population élevée comme les Hautes Terres, conduit au développement sur les *tanety* de systèmes de culture pluviaux incluant la riziculture pluviale.

Toutefois, le développement de la production rizicole est entravé par de multiples problèmes. A une échelle d'une trentaine d'années, la progression de la production (1,2% par an) ne suit pas la croissance démographique (2,8% par an). Vu la fragilité de l'écosystème pluvial, il est difficile de concilier les objectifs de durabilité et de production. La démographie en forte extension de Madagascar invite à réfléchir à des solutions à long terme. La préservation de l'environnement et la prise en compte des critères socio-économiques sont des éléments indissociables et préalables à toute opération de développement agricole durable.

Des programmes et actions ont été lancés par le Cirad et le Fofifa pour augmenter la production vivrière en privilégiant une meilleure intégration avec l'élevage, en promouvant le semis direct sur résidus de récolte, et l'association de la culture principale (riz ou rotation) à des couvertures vives fourragères. Ces activités sont réalisées sur les dispositifs expérimentaux de

l'URP SCRiD d'Andranomanelatra. Les systèmes de cultures pratiqués sur ces dispositifs visent l'accroissement des ressources alimentaires en riz pluvial et des ressources fourragères pour l'élevage laitier.

Notre étude prend place dans le cadre de ces recherches et s'intitule : « EVALUATION DE SYSTEMES DE CULTURE A BASE DE RIZ PLUVIAL INTEGRANT DES PLANTES FOURRAGERES ». Notre plan de travail est constitué de trois grandes parties :

Première partie : Contexte et problématique de l'étude

Deuxième partie : Présentation de la zone d'étude, des matériels et méthodes utilisés

Troisième partie : Résultats et discussion

Première partie :

Contexte et problématique de l'étude

Première partie

Chapitre I : Etude de la production de riz pluvial et de fourrage sur les Hautes Terres Centrales malgaches

11- Etude de la production rizicole sur les Hautes Terres Centrales

111- Place du riz sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar

A Madagascar, le riz est l'aliment de base et la majorité des Malgaches mangent du riz trois fois par jour, surtout sur les Hautes Terres Centrales très peuplées (Vololona, 2004). Même si la production annuelle est toujours croissante, l'offre n'arrive pas à satisfaire la demande des consommateurs. Le stock au début de la saison est insuffisant (Alice Rahantanirina, 2007).

1111- Les Hautes Terres Centrales de Madagascar

Les Hautes Terres centrales, dont l'altitude varie de 900 à 1 700 mètres, ont une superficie de 120 000 km². Elles sont limitées au Nord par le massif du Tsaratanana avec un prolongement dans la partie haute de la montagne d'Ambre. Les massifs de l'Isalo et d'Analavelona sont aussi rattachés à ce domaine (cours 5ème année, 2008). C'est la principale région de production du riz. Cette région n'est pas exempte de diversité : vallées, grandes plaines, régimes hydrologiques. (<http://agroecologie.cirad.fr/pdf/992642458.pdf>). Les exploitations y pratiquent la polyculture qui inclut toujours la production du riz. Les autres cultures et l'élevage servent à compléter l'alimentation et les revenus monétaires (Fifamanor et al, 2008).

1112- Ecologie

La pluviométrie moyenne annuelle est de 1 200 à 1 500 mm. Pendant l'année, une saison chaude et pluvieuse alterne avec une longue saison sèche et fraîche (altitudes élevées et latitudes relativement basses). Pour cette raison il ne se pratique qu'une seule campagne rizicole, en saison des pluies (<http://agroecologie.cirad.fr/pdf/992642458.pdf>).

Du point de vue géologique, les Hautes Terres sont constituées essentiellement de roches granito-gneissiques du socle précambrien, des sols rouges ferrallitiques acides sans induration ferrugineuse (carapaces ou cuirasses).

Une nappe phréatique d'altérite permanente imprègne la base de ce manteau d'altération, et joue un grand rôle sur les régimes hydrologiques des plaines et vallées.

112-Les stratégies de développement rizicole

Selon la perspective de la politique rizicole de 2004 : « la demande en riz pour le marché local va s'accroître dans les années à venir pour répondre à l'augmentation attendue de la population. D'ici 2010, la population malgache augmenterait d'environ 32% pour atteindre 19,3 millions d'habitants. La consommation du riz sur le marché local (pour la satisfaction des besoins de la population urbaine et rurale) devrait passer ainsi de 1,7 millions de tonnes à 4,2 millions de tonnes. » (Ramarofidy, 2006).

La stratégie de développement des échanges ciblant des pôles régionaux à haut potentiel se situe dans le contexte de la compétition entre riz national et riz importé. Il s'agit de développer les échanges à partir de pôles régionaux actuellement excédentaires ou à fort potentiel de productivité. De plus, la stratégie de sécurité alimentaire et de réduction de la pauvreté vise prioritairement à mieux assurer l'autosuffisance en riz des ménages ruraux, à améliorer leur capacité, à stocker leur récolte pour assurer la consommation familiale annuelle, à diversifier les productions agricoles et les activités économiques (sources de revenus en fonction des opportunités locales). En outre, la stratégie globale de relance de la production vise aussi à augmenter la production pour satisfaire les besoins des consommateurs urbains malgaches tout en développant les emplois de la filière rizicole (Dabat, 2004).

1121-Les politiques rizicoles

La mise en œuvre de la politique rizicole de l'Etat est calquée sur la nouvelle méthode dite « Approche à Résultats Rapides ». Elle a été initiée par le gouvernement malgache en février 2005 (Chauvigne, 2005). Elle vise à l'extension des zones de culture potentielles pour la culture pluviale. Les acteurs cibles sont de deux types : les groupements paysans et les opérateurs économiques. Pour le cas de la région du Vakinankaratra, 10 000 hectares de *tanety* sont destinés à la production de riz pluvial. 70% de cette surface sont destinés aux opérateurs économiques et les 30% restants sont attribués aux groupements de paysans (Chauvigne, 2005).

Tableau 1: Les surfaces exploitables et les productions rizicoles dans la région du Vakinankaratra

Année d'exploitation	Spéculations	Surface (ha)	Rendement (t/ha)	Production (t)
2004-2005	Riz pluvial	3 700	1,4	5 180
	Riz irrigué	97 000	2,9	278 000
2005-2006	Riz pluvial	5 100	1,7	8 830
	Riz irrigué	97 500	3,1	300 000
2006-2007	Riz pluvial	5 700	1,4	8 100
	Riz irrigué	104 000	2,8	295 000
2007-2008	Riz pluvial	7 600	1,3	10 000
	Riz irrigué	106 000	3,4	361 000

Source : DRDR Antsirabe, 2008

1122- Les potentialités rizicoles

Les moyens techniques pour atteindre le même niveau que les pays asiatiques passent par l'augmentation de la surface irriguée et de la productivité agricole. La pénurie nationale de riz vers la fin de l'année 2004 a déclenché la politique d'augmentation de la production rizicole en 2005. Le facteur « pression foncière » limitant l'extension de la riziculture irriguée de bas fonds, la riziculture pluviale devient alors la plus concernée. Cette riziculture est en phase de développement dans certaines régions grâce aux efforts de diffusion de la recherche et de certains organismes non gouvernementaux (Dabat et al, 2005).

Deux résultats bien distincts sont attendus dans les potentialités rizicoles de 2004 :

- l'augmentation de la production de paddy, en prenant en compte la problématique environnementale, par :

*une augmentation de la productivité,

*une augmentation des surfaces cultivées ;

- l'organisation des acteurs et l'amélioration du fonctionnement de la filière. (MAEP, 2004).

Pour ce qui concerne les Hautes Terres malgaches, voici un tableau résumant les résultats attendus de la stratégie de relance à l'horizon 2010.

Tableau 2 : Résultats attendus de la stratégie de relance horizon 2010

	Hautes Terres	National
Surface (ha)	373 000	1 690 000
Niveau de rendement en 2010		
En aquatique (t/ha)	5,55	3,72
En pluvial (t/ha)	3,75	2,05
Global (t/ha)	5,39	3,44
Croissance annuelle de rendement		
En aquatique (%)	10,71	9,14
En pluvial (%)	6,57	8,29
Global (%)	10,14	11,29
Croissance de la production		
Croissance annuelle (%)	14,57	16,55
Production additionnelle (t)	1 030 000	3 218 000
Production 2010 (t)	2 040 000	6 000 000

Source : Politique de développement Rizicole horizon 2004-2010

Atteindre une augmentation d'environ 114% de la production de paddy en 2010 permettrait en premier lieu de satisfaire la demande, tout en améliorant le niveau de consommation, et en second lieu d'exploiter l'équivalent de 1,8 millions de tonnes de paddy (MAEP, 2004). Cette augmentation de production est fonction de l'extension des surfaces rizicoles et de l'intensification agricole qui devrait permettre le doublement des rendements (Ramarofidy, 2006).

En outre, le riz pluvial offre une opportunité pour les paysans car c'est un moyen d'augmenter la production, le riz pouvant être utilisé pour l'alimentation ou gardé ou vendu comme semence. (Rakotoson, 2003).

113- Les contraintes rizicoles

Ces contraintes sont principalement de trois ordres :

1131- Les contraintes physiques

Des infrastructures routières non seulement insuffisantes mais aussi en mauvais état conduisent à l'enclavement de certaines zones de production (Guyou, 2003).

De plus, une météorologie défavorable peut aussi être une contrainte, ainsi le passage annuel des cyclones tropicaux qui provoquent d'une part des vents violents pouvant entraîner la

verse de la culture, et, d'autre part, des pluies fréquentes et abondantes qui inondent les rizières. (Rahantanirina, 2007). La détérioration de l'environnement naturel et la faible fertilité des sols sont des problèmes majeurs causés par la pratique du *tavy*, de l'érosion sur *tanety* et de la réduction de la jachère (Dabat, 2004).

1132- Les contraintes techniques

Elles concernent la mauvaise maîtrise de l'eau provenant de la mauvaise construction des réseaux d'irrigation. L'utilisation de techniques améliorées est faible (du fait des exigences techniques) par rapport aux pratiques de systèmes traditionnels qui sont moins productives. En outre le niveau d'équipement est limité (Dabat, 2004).

1133- Les contraintes économiques

La difficulté d'accès aux crédits agricoles formels est l'une des contraintes principales. Il y a aussi une insécurité foncière due à la complexité de la procédure d'acquisition des terres. Enfin, les marchés ruraux sont déficients et ce sont les opérateurs économiques qui tirent un grand profit de l'achat des produits agricoles car ils agissent comme des acheteurs en position de monopole, fixant eux-mêmes les prix.

114- Les différentes catégories de rizicultures rencontrées

La culture du riz est pratiquée sur toutes les Hautes Terres Centrales de Madagascar ; il existe 2 grandes catégories de riziculture :

*la riziculture irriguée ou aquatique

*la riziculture pluviale ou sèche

1141- La riziculture irriguée ou aquatique

C'est la plus répandue. Le riz végète sur un sol submergé plus ou moins constamment durant toute la durée du cycle végétatif. La riziculture aquatique en semis direct ou à repiquage en sol submergé exige la maîtrise de l'eau de submersion.

Elle peut se réaliser de deux manières :

-avec repiquage : le semis se fait dans une pépinière et il est suivi d'un repiquage dans la rizière

-sans repiquage : le semis s'effectue directement dans la rizière (Angledette, 1966).

1142- La riziculture pluviale ou sèche

La riziculture pluviale se caractérise essentiellement par l'absence de toute submersion ou irrigation du terrain de culture. La végétation est entièrement sous la dépendance de la

pluviométrie, sans intervention du riziculteur sur l'eau nécessaire. La culture est pratiquée sur les *tanety*. On distingue 2 types :

-la riziculture sèche itinérante : il s'agit du « riz de *tavy* » ou de montagne. Les techniques culturales sont forts réduites. La forêt est brûlée et les cendres légèrement enfouies, puis deux sarclages sont effectués. Il n'y a pas de travail de sol préalable à la culture du riz.

-la riziculture sèche permanente : elle est pratiquée traditionnellement sur les *baiboho*. Les techniques culturales sont un peu moins rudimentaires que dans le cas précédent (Angledette, 1966).

115- Cycle cultural des rizicultures irriguée et pluviale

Le cycle cultural se déroule de la levée jusqu'à la maturité. Le cycle cultural du riz pluvial est plus long que celui de la culture irriguée. Il s'étend généralement d'Octobre à Février, mais cette période varie en fonction des variétés cultivées. Le repiquage de la culture irriguée commence au mois de novembre et la récolte se fait vers le mois d'Avril alors que le semis en culture pluviale se pratique dès que la pluviométrie le permet. C'est la raison pour laquelle les paysans optent pour la riziculture irriguée si la pluie est en retard. Le riz pluvial est récolté vers le mois de Mars.

Tableau 3 : Calendrier cultural des rizicultures pluviale et irriguée

	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Jui
Riz pluvial			labour	semis	sarclage				récolte			
Riz irrigué				labour	repiquage					récolte		

Source : CIRAD-CA/programme cultures alimentaires/PCP SCRiD, septembre 2003

Dans ce contexte général de la riziculture, la recherche en matière d'association riziculture pluviale - fourrage pratiquée en SCV pourrait contribuer à l'accroissement de la production rizicole souhaitée mais également à l'alimentation fourragère des vaches laitières dans la zone du Vakinankaratra.

12- Généralités sur le riz

121- Biologie du riz

1211- Position systématique

Il existe 2 espèces cultivées : *Oryza sativa*, d'origine asiatique, est diversifiée sur les cinq continents ; l'autre, d'origine africaine, est *Oryza glaberrima*. Les 2 espèces ont des caractères diploïdes ($2n=24$) et autogames.

Règne : Végétal

Embranchement : Spermaphytes

Sous embranchement : Angiospermes

Famille : Poaceae

Classe : Monocotyledones

Genre : Oryza

Espèce : *Oryza glaberrima* et *Oryza sativa*

1212- Phases et cycles végétatifs

La croissance du riz se déroule en trois phases :

a- La phase végétative

Elle commence à la germination et va jusqu'au début de l'initiation des organes reproducteurs.

Elle se divise en 2 étapes :

-la germination-levée : c'est le passage de la vie ralentie à la vie active. Environ 4 à 5 jours après le semis survient la levée, 10 jours sur les Hautes Terres : c'est la sortie de la plantule du sol (MAEP, 2008).

-le tallage : c'est un facteur qui conditionne l'obtention des panicules, par l'émission des tiges secondaires, tertiaires. Le tallage commence normalement au stade 3 feuilles. L'apparition des feuilles survient petit à petit et la surface foliaire augmente. (MAEP, 2008).

b- La phase reproductive

La phase de reproduction commence au début de la formation de la panicule et se termine à la fécondation, généralement confondue dans le temps avec l'épiaison et la floraison. A un moment donné du cycle qui varie suivant les variétés et les dates de semis, les panicules se développent, c'est « l'initiation paniculaire ». Cette phase comprend :

-La formation de la jeune panicule

Durant laquelle se différencient les épillets.

- La formation des cellules reproductives

C'est-à-dire des ovules et des grains de pollen. Durant cette période, un certain nombre d'épillets peuvent dégénérer. Cette stérilité ne s'observe qu'après épiaison, par la présence de grains vides.

- La floraison.

La floraison se caractérise par l'ouverture des glumelles durant une courte période, et

l'apparition des étamines à l'extérieur de ces dernières. Immédiatement après la pollinisation, il y a formation du grain, c'est la fécondation. La durée de cette phase est normalement de 35 jours (MAEP, 2008)

c- La phase de maturation

Elle se caractérise par le développement de l'ovaire et donne progressivement sa dimension définitive au grain. La maturation des graines se définit par la couleur virée au jaune et la dureté. Cette phase dure environ 30 jours (25 jours pour les variétés précoces).

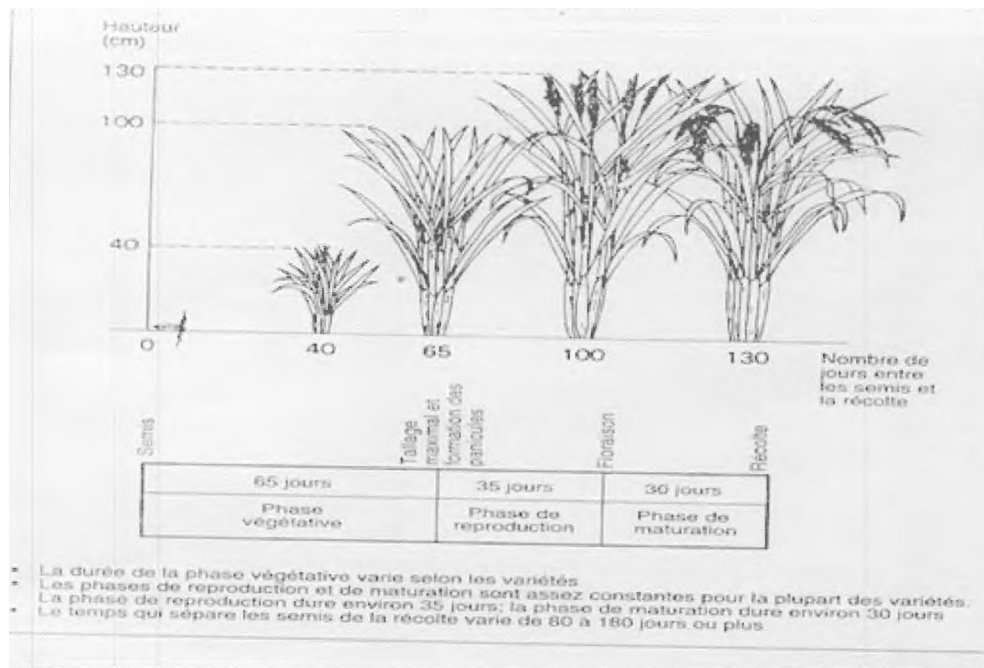


Figure 1 : Phases de croissance d'un plant de riz pluvial

Source : Hari K. Panda, 1997

Dans la majorité des cas, le cycle végétatif du riz pluvial peut s'étendre de 80 à 240 jours selon les variétés, les conditions climatiques et pédologiques ainsi que les techniques et pratiques culturales.

Les variétés peuvent ainsi être classées suivant cet intervalle de temps :

- Les variétés à cycle court ou précoce
- Les variétés à cycle moyen ou intermédiaire : exemple FOFIFA 161, le cycle végétatif est compris entre 80 et 105 jours.
- Les variétés tardives ou relativement longues (cycle végétatif supérieur à 105 jours)

122- Ecologie du riz

1221- Latitude, altitude

Le riz est cultivé depuis 40° Sud, en Argentine, jusqu'à 53° Nord, en Chine. Le riz pousse depuis le niveau de la mer jusqu'à 1800 m d'altitude. Cependant, la riziculture d'altitude exige des variétés résistantes au froid (MAEP, 2008).

1222- Lumière et température

Le riz demande beaucoup de lumière. Un fort ensoleillement provoque un raccourcissement de la phase de maturation

Le tableau ci-dessous montre les besoins en température

Tableau 4 : Température de l'air nécessaire à la culture du riz (°C, riz tropicaux, ces valeurs sont inférieures pour le riz tempéré et d'altitude)

Étapes de développement	Température de l'air, °C		
	Minimum	optimum	maximum
Germination	14-16	30-35	42
Tallage	16-18	28-30	40
Floraison	22	27-29	40
maturation	—	25	40

Source : Cirad-Gret, 2002

1223- Eau

Le riz a besoin de 160-300 mm d'eau par mois, soit 1 000-1 800 mm durant son cycle végétatif. Pendant l'épiaison-floraison, une pluie suffisante et l'absence de vent sont exigées pour assurer la fécondation et assurer le remplissage des grains. Concernant la pratique de la riziculture pluviale, il existe une interdépendance entre le besoin en eau et la nature du sol : par exemple, pour un sol argilo-limoneux, le riz exige une pluviométrie de 800 à 1 000 mm (Rahantanirina, 2007).

1224- Sol

Il convient de choisir un sol riche, qui puisse tamponner les variations climatiques, c'est à dire avec une bonne capacité de rétention en eau, un sol léger et non tassé (perméable), un sol contenant à la fois de l'argile, du limon et du sable. Le pH idéal du sol est compris entre 6 et 7 (MAEP, 2008), le riz tolère des pH faibles, jusqu'à 4,5.

1225-Eléments nutritifs

La fertilisation est une opération qui consiste à incorporer des engrais organiques et inorganiques dans le sol pour améliorer sa productivité et obtenir une croissance et un rendement meilleurs des cultures. La culture du riz réclame généralement une fertilisation, au minimum organique.

123- Modes de culture du riz

Chaque région possède ses pratiques et techniques culturales.

1231- Culture du riz traditionnel

Certains cultivateurs optent pour les techniques traditionnelles telles que : 0 labour ou labour à l'*angady*, semis direct ou repiquage en foule, fumure organique ou non, sans sarclage ou sarclage. Le riz pluvial est traditionnellement cultivé dans des systèmes itinérants d'abattis brûlés. Ces systèmes sont de moins en moins productifs du fait du raccourcissement de la durée des jachères (rendements passés de 2 à 1 t/ha). Ils se heurtent aussi de plus en plus à la préoccupation de protection des forêts. (CIRAD, GRET, 2002).

1232- Culture du riz modernes

D'autres ont été plus perméables aux techniques modernes telles que le Système de Riziculture Amélioré (SRA) : repiquage en ligne, utilisation de semences améliorées, adoption de jeunes plants, sarclage mécanisé et apport de fertilisants minéraux. Ce système est adopté sur près du quart des superficies emblavées de Madagascar, surtout sur les Hautes Terres.

Dans tous les cas, il est observé que les paysans cherchent à minimiser leurs temps de travaux. Ce qui entrave quelque peu l'application du Système de Riziculture Intense (SRI) qui requiert un volume de travail assez important et une assiduité sans faille.

L'exigence en maîtrise d'eau et le coût des dépenses de production très élevé constituent un frein à l'expansion du SRI.

124- Les spécificités de la riziculture pluviale d'Altitude

Les possibilités de la riziculture pluviale sont essentiellement conditionnées par la répartition et la quantité des précipitations au cours de la saison de culture (Dobelmann, 1976). Sur les *tanety* il est nécessaire de faire coïncider l'évolution agricole de la plante avec la saison

des pluies, et d'utiliser des variétés précoces et résistantes à de courtes périodes de sécheresse.

1241- Mise en valeur des *tanety* par la riziculture pluviale

Sur les Hautes Terres malgaches, l'accroissement de la pression démographique s'est traduit par la saturation des terres inondées destinées à la riziculture et par une emprise agricole de plus en plus forte sur les terres de versant. C'est la raison pour laquelle la mise en valeur des *tanety* par le riz pluvial est très importante.

Le riz pluvial représente 18 % de la superficie rizicole du Vakinankaratra. La riziculture offre la possibilité d'exploiter ces terrains. En outre, son adoption ne nécessite pas des aménagements coûteux comme en riziculture aquatique. Le tableau ci-dessous montre les superficies occupées par la riziculture pluviale seulement dans la région du Vakinankaratra.

Tableau 5 : Superficies occupées par la riziculture pluviale dans la région du Vakinankaratra

Superficie physique cultivée selon le mode de fertilisation (ha)				
Modes de fertilisation	Organique	Minérale	Mixte	Sans fertilisation
Superficie	70 847	1 211	11 830	39 987
Superficie physique des exploitations agricoles selon le mode de culture et jachère (ha)				
	Mode de culture			Jachère
	Pure	Associées	Mixtes	
Superficie	85 927	35 519	2 428	1 407

Source : Maep, 2006, in Alice Rahantanirina, 2007

1242- Les rotations en culture pluviale

Les rotations en culture pluviale sont nécessaires car elles permettent, de manière économique, de maintenir la fertilité du sol à un niveau convenable et de lutter contre les mauvaises herbes, en vue d'obtenir une stabilité des rendements. En outre, les plus mauvais précédents du riz sont le riz lui-même et la jachère courte. Les meilleurs précédents du riz sont en général les engrais verts qui enrichissent le sol en azote, et les plantes sarclées (maïs, coton) (Dabat, 2004).

1243- Facteurs nécessaires à la riziculture pluviale

La riziculture pluviale exige quelques éléments

a-Les semences utilisées

La pratique de la riziculture pluviale exige des semences certifiées qui doivent être renouvelées. De plus, les variétés utilisées doivent être résistantes aux aléas climatiques (irrégularité des pluies, sécheresse). L'utilisation de variétés sensibles aux maladies est également à proscrire, la pyriculariose étant la maladie la plus redoutable.

b-La maîtrise des mauvaises herbes

La maîtrise des mauvaises herbes reste un problème important pour la riziculture pluviale, car celle-ci ne bénéficie pas des moyens de lutte efficaces comme le repiquage et l'immersion en culture irriguée. Donc des sarclages répétés ou des traitements chimiques sont effectués pour permettre au riz de bien se développer (Razanantoanina, 2003).

c-La nature du sol

La culture pluviale exige un sol meuble à forte macroporosité pour favoriser un développement racinaire qui pourra assurer l'alimentation de la plante (eau, éléments nutritifs).

d-La fertilisation

Les fertilisants les plus utilisés sont le fumier et les engrais minéraux, dont le NPK (11-22-16). En effet, l'N assure le développement de la plante et en particulier le tallage, le P confère aux racines un développement plus rapide et contribue à la précocité du cycle, et le K permet d'avoir une bonne résistance à certaines maladies et à la verse du riz. La fumure organique permet de retenir la stabilité structurale du sol et de limiter les fumures minérales (Chauvigne, 2005).

D'une façon générale, l'intégration de l'agriculture et de l'élevage est l'un des axes majeurs de la politique malgache en vue de réduire la sous-nutrition. Ce qui nous amène à parler de la production laitière. Cette production exige une production fourragère abondante et de bonne qualité.

13-Situation de la production laitière sur les Hautes Terres Centrales malgaches

131- Place et dynamique de la production laitière

A Madagascar, l'élevage des vaches laitières se pratique surtout sur les Hautes Terres Centrales, au sein du triangle laitier formé par Manjakandriana au Nord-Est, Sakay au Moyen Ouest et Ambalavao au Sud. Toutefois, 90 % des éleveurs sont concentrés dans la région du Vakinankaratra (Raharimalala, 2002). En dehors du triangle laitier, l'élevage est essentiellement extensif.

En 1972, FIFAMANOR fut créé par un accord conclu entre la Norvège et le gouvernement malgache. Ce centre de développement rural et de recherche appliquée procéda à la diffusion de la race Pie Rouge Norvégienne (PRN) en provenance de Norvège dans la région du Vakinankaratra jusqu'en 1993 puis plus tard dans les régions du triangle laitier dans le cadre du Projet Sectoriel Elevage (PSE). En outre, la diffusion de la fabrication des aliments concentrés a débuté à partir de 1996. Par ailleurs, dans les années 1980, le projet ROMANOR (Ronono Malagasy Norveziana), financé par la Norvège, a été créé pour la collecte et la transformation du lait, notamment dans la région du Vakinankaratra (Raharimalala, 2002).

En 1991, le volet transformation et commercialisation de ROMANOR fut repris par ROMINCO (Ronono Malagasy Industrie et Commerce), alors que le volet vulgarisation paysanne était repris par ROMA (RONONO Malagasy), dans le cadre du projet PSE.

L'implantation d'industries laitières est importante dans la région du Vakinankaratra, avec la société TIKO et la société SOCOLAIT (Société Malgache de Produits Laitiers).

1311- Importance du lait

Le lait est un aliment complet. Il tient une grande place dans la nourriture des bébés. De plus, le lait est aussi destiné à la fabrication d'autres produits laitiers, à savoir : le beurre, le yaourt, le fromage, la crème fraîche, le lait concentré sucré, le lait pasteurisé, la farine de lait. S'il contient entre 80 et 90% d'eau, le lait comporte cependant d'importants éléments nutritifs (Charron Guy, 1986).

1312-La production laitière

Dans la région, plus de 12 000 producteurs laitiers élèvent quelques 37 000 têtes afin de répondre à une demande laitière croissante. La production laitière se concentre en général sur les Hautes Terres, et en particulier dans les régions du triangle laitier délimité par Manjakandriana,

Tsiroanomandidy et Ambalavao Tsienimparihy.

Ces régions monopolisent la production laitière malgache à cause de leur altitude et de leur climat, proches de ceux d'Europe (Maep, 2008). Les races Pie Rouge Norvégienne et Friesland s'adaptent bien dans ces zones. Le tableau ci-dessous montre l'estimation des productions laitières dans la région du Vakinankaratra.

Tableau 6 : Les productions laitières estimées dans la région du Vakinankaratra

Réalisations des 4 années	Unité en litre
2005	27 749 100
2006	31 725 300
2007	35 673 700
Juin 2008	23 543 130

Source : FIFAMANOR « rapport d'activité 2007 »

1313- Le volume de production laitière

En 2002, le cheptel laitier à Madagascar est estimé à 20 000 vaches, produisant environ 300 millions de litres de lait par an (Raharimalala, 2002). Le type d'exploitation est essentiellement familial, en stabulation libre. La part de production destinée à la commercialisation tourne aux alentours de 10 à 12 millions de litres. Ainsi, les industries laitières sont confrontées à des problèmes d'approvisionnement tant en quantité qu'en qualité. La société TIKO, qui n'arrive à collecter que 15 % seulement de sa capacité, et la société SOCOLAIT, qui produisent des produits frais tels que fromage, yaourt, beurre se voient obligées de recourir à l'importation de matières premières de meilleure qualité. En réalité, malgré les efforts déployés pour l'intensification, l'élevage laitier reste semi-intensif à 90 % dans le triangle laitier.

Rationnement pratique de la vache laitière

En règle générale, l'alimentation des vaches laitières se compose d'une ration de base et d'un complément de production.

*** La ration de base**

Elle est constituée par les ressources fourragères disponibles qui peuvent être de valeur nutritive très inégale, selon les zones climatiques et le type d'exploitation. Elle peut être fournie par du pâturage naturel ou du pâturage amélioré, du foin ou de l'ensilage, des pailles ou des résidus de récolte divers, des cultures fourragères. Cette ration est distribuée à volonté et doit

couvrir au minimum les besoins d'entretien des animaux, et même, si possible, assurer une légère production laitière. Si tel n'est pas le cas, il convient d'apporter un complément d'équilibre (énergétique, azoté ou minéral) permettant de corriger les déficits (Riviere, 1979).

***Le complément de production**

Il apporte les éléments nutritifs nécessaires à la sécrétion lactée, et doit être adapté pour chaque vache à sa production quotidienne.

132- Les potentialités et politiques laitières sur les Hautes Terres Centrales

1321- Les potentialités en matière de production laitière

La production laitière malgache connaît un développement favorable. Cette production, localisée essentiellement entre les altitudes 1000 et 2000 m a connu une augmentation, certes lente, mais régulière. Elle a été l'origine de l'implantation des industries de transformation locale dans la région du Vakinankaratra où les producteurs laitiers représentent 66 % des exploitants agricoles avec une production totale de 19 760 000 litres en 2001 (Ramananarivo, 2002). La production laitière présente des atouts considérables dont les principaux sont les suivants :

-l'effectif du cheptel est important et les espèces élevées sont adaptées aux rudes conditions climatiques.

-l'identification et l'aménagement de nombreuses zones pastorales sont de nature à sécuriser l'élevage et à favoriser le développement de la production laitière.

1322- La politique laitière

La politique laitière est orientée vers l'autosuffisance en produits laitiers et vers l'élimination progressive des importations. A cet effet, le lait devrait être à la portée de tout le monde, tant en quantité qu'en qualité et prix. Mais pour atteindre cet objectif, les efforts sont axés sur :

- * la maximisation de la production
- * l'amélioration des techniques de production
- * le développement des infrastructures routières afin d'améliorer la collecte
- * la motivation des paysans à l'aide d'un prix incitatif
- * la vulgarisation de vaches laitières

133- Les principales contraintes à la production laitière

Plusieurs contraintes freinent cette intensification, dont notamment celle de l'alimentation du bétail, liée aux conditions écologiques, celles qui sont liées au manque de professionnalisme des producteurs et celles qui ont trait à l'organisation de la collecte (infrastructures, coût des matériels et d'équipement). En effet, une alimentation insuffisante ou un déséquilibre entre les nutriments influent directement sur la production et la composition du lait. En réalité, malgré les efforts déployés pour l'intensification, l'élevage laitier reste semi-intensif à 90 % dans le triangle laitier.

La pratique de la fauche et de la conservation de l'herbe ainsi que la constitution de réserves fourragères à partir des résidus agricoles sont insuffisantes pour assurer les besoins de tous les troupeaux en saison sèche. Par ailleurs, l'herbe, qui est abondante en saison pluvieuse, est réduite en cendre par les feux de brousse pendant la saison sèche. De ce fait, la valeur nutritive de l'herbe restant pendant la saison sèche est faible (Riviere, 1979).

La production de plantes fourragères par l'utilisation du semis direct sur couverture végétale ou l'association dans l'agriculture en tenant compte des problèmes d'intégration entre agriculture et élevage, permettront d'améliorer la productivité actuelle en rendant le système durable tout en réduisant la pression sur les milieux naturels. C'est la raison pour laquelle il est essentiel d'étudier les systèmes de culture pour la production fourragère en SCV.

Chapitre II : Les systèmes de culture pour la production fourragère en SCV

Un système de culture est un ensemble de procédés pour exploiter la terre dans le but de produire des végétaux utiles à l'homme.

21- Les modes de gestion du sol

Les différents modes de gestion des sols se distinguent en particulier par la pratique ou non du labour. Parmi les préparations du sol sans labour, on peut citer la culture sur brûlis (*tavy*) et le semis direct sur couverture végétale.

211-Culture avec labour

Le mode de préparation du sol avec labour est le plus pratiqué dans les milieux paysans ou dans la grande exploitation.

2111-But

Le labour est une façon culturale qui a pour rôle d'améliorer la structure superficielle du sol, un ameublissement est réalisé par le retournement de la bande de sol travaillé. Donc l'objectif général est de travailler le sol et de créer une structure nouvelle pour permettre une bonne germination, un développement racinaire important et une bonne alimentation de la plante (Rajaonera, 2005).

2112-Les avantages du labour

Le labour améliore la structure du sol en fissurant les mottes compactes et l'assainit par la destruction de larves parasites. De plus, il régularise l'humidité du sol en favorisant l'écoulement et l'infiltration. En outre, il limite l'évaporation (Rahantanirina, 2007).

Le travail du sol rend plus efficace l'assimilation des éléments chimiques, soit en mélangeant dans une partie plus ou moins épaisse du profil les éléments insolubles, soit en remontant vers la surface au moment du labour une partie des éléments en cours de lessivage, soit en luttant contre l'abaissement du pH. De plus, il peut favoriser leur activité par l'incorporation de la matière organique.

Le labour présente des effets positifs sur la plante. Il permet d'assurer les conditions d'une bonne germination, une bonne pénétration des racines. Il permet également de lutter contre les mauvaises herbes, les parasites et les maladies.

2113-Les inconvénients

Le labour peut entraîner plusieurs risques, les plus connus étant les risques d'érosion et de

dégradation du sol à cause de l'absence d'une couverture protectrice en surface du sol. De plus, le labour profond entraîne le retournement en surface d'une terre infertile (plus pauvre en humus et de faible stabilité structurale). Les matières organiques sont en général enfouies trop profondément et mal réparties dans le profil

D'autre part, en majorité, la pratique du labour se fait à la main, ce qui demande temps et main d'oeuvre. Pour résoudre ces problèmes, l'application de nouveaux systèmes durables comme les SCV à base de plantes fourragères pourrait présenter une solution.

212-SCV

2121- Définition et naissance du semis direct sur couverture végétale

a-Définition

Le SCV est un système conservatoire des sols et des cultures, dans lequel les semences sont placées directement dans le sol qui n'est jamais travaillé. Seul un petit trou ou sillon est ouvert, de profondeur et de largeur suffisantes, avec des outils spécialement prévus à cet effet pour garantir une bonne couverture et un bon contact de la semence avec le sol. Aucune préparation du sol n'est effectuée. L'élimination des mauvaises herbes, avant et après le semis, est faite avec des herbicides les moins polluants possibles pour le sol qui doit toujours rester couvert (Ranarison, 2006)

b-Naissance du SCV à MADAGASCAR

Les systèmes de culture basés sur les principes du semis direct sur couverture végétale permanente proposent une agriculture attractive, rentable, protectrice de l'environnement et durable.

Les premiers tests de SCV à Madagascar ont été menés en 1990 à Antsirabe sur les Hautes Terres. Avec la création de l'ONG Tafa en 1994 et un appui technique du Centre International de Coopération en Recherche Agronomique pour le développement (CIRAD), dans la région du Vakinankaratra, une expérimentation est progressivement installée dans différents sites tels que Andranomanelatra, derrière la KOBAMA, Ibity, Antsampanimahazo, Betafo.

Les premières opérations de diffusion ont été entreprises dès 1998 par différents organismes (FIFAMANOR, Inter-Aide...) et intensifiées avec le soutien financier de l'Agence Française de Développement (AFD) et du Ministère malgache de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (MAEP).

La création en 2000 du Groupement Semis Direct de Madagascar (GSDM) qui regroupe ces différents organismes permet par ailleurs d'assurer la coordination technique des différentes

actions entreprises en matière de recherche et de vulgarisation des techniques de SCV.

Avec ces techniques agro-écologiques, TAFa a développé une approche pour leur diffusion au niveau de terroirs villageois basée sur un conseil rapproché à l'exploitation (Seguy et al. 1998).

2122-Objectifs du SCV à base de plantes fourragères

Il a pour objectifs d'assurer, au niveau d'une exploitation, l'autosuffisance alimentaire (en particulier la satisfaction des besoins en riz) et la production de fourrage si nécessaire, tout en permettant une amélioration des sols et des productions et en minimisant les risques (et donc les investissements) (Husson, 2008).

Ainsi, ces systèmes peuvent permettre :

- la production de riz. Ces systèmes visent à répondre à une préoccupation majeure et souvent prioritaire des paysans : assurer leur auto-satisfaction en riz. La production de riz peut se faire au niveau d'une parcelle :

* chaque année dans les milieux où cela est possible (rizières, baiboho), de tels systèmes étant souvent exigeants en intrants et travail ;

* un an sur deux, en alternance avec une année de forte production de biomasse pour le bon fonctionnement du semis direct, ce qui peut permettre de réduire les besoins en intrants et travail ;

* après deux années ou plus pour l'amélioration des sols avec un minimum d'intrants sur les parcelles les plus pauvres.

- la production de grains ou de tubercules chaque année ou en alternance avec une plante améliorante. Ces systèmes permettent d'obtenir un revenu régulier au niveau d'une parcelle. Dans ces deux derniers types de systèmes, l'exportation de biomasse pour l'alimentation fourragère se fait souvent au détriment des performances agronomiques, sauf dans le cas de systèmes intensifs à très forte production de biomasse (Husson, 2008)

2123-Fonctionnement

Le SCV s'inspire directement du fonctionnement d'un écosystème forestier naturellement stable, durable et basé sur une forte activité biologique. Au travail mécanique se substitue un travail biologique assurant la structuration du sol, le recyclage des éléments minéraux et une meilleure gestion de l'eau. Ces systèmes se rapprochent d'une forêt car ils permettent la production d'une litière et fonctionnent en circuit fermé, sans perte de matière (éléments chimiques et terre) en profondeur ou en surface avec un recyclage permanent entre matières végétales mortes et vivantes (AFD, novembre 2006).

2124-Principes

Le SCV fonctionne selon deux grands principes. Le premier consiste à ne plus labourer (« Zéro labour ») le sol, afin d'obtenir un système imitant l'écosystème forestier tout en accroissant la productivité. De plus, l'aération et l'infiltration de l'eau sont améliorées par les racines et la faune du sol qui remplacent le travail mécanique du sol.

Le second concerne la couverture du sol d'une façon permanente par des végétaux morts (résidus de récolte précédente) ou vivants (installation de plantes de couverture). Les cultures sont mises en place par semis direct dans le couvert. Le développement des couvertures vives est contrôlé afin d'éviter la compétition avec la culture principale.

2125-Techniques de base du SCV

Les deux types de SCV les plus fréquents sont :

a-Les systèmes sur résidus ou sur couverture végétale morte

La couverture du sol par les résidus de cultures est une méthode très efficace pour réduire l'évaporation, la croissance des adventices, maintenir l'humidité du sol en saison sèche et arrêter l'érosion. C'est aussi une voie courte pour restituer la totalité de la biomasse et les nutriments qui la constituent à mesure de la dégradation par la macrofaune, de la minéralisation et de l'humification à travers la méso et la microfaune (Rajaonera, 2005).

Les cultures sont installées directement d'une part dans les résidus conservés des cultures annuelles précédentes, éventuellement renforcés par du paillage importé, et d'autre part dans les biomasses des plantes pérennes tuées manuellement par fauche ou desséchées aux herbicides (FIFAMANOR et al, 2008).

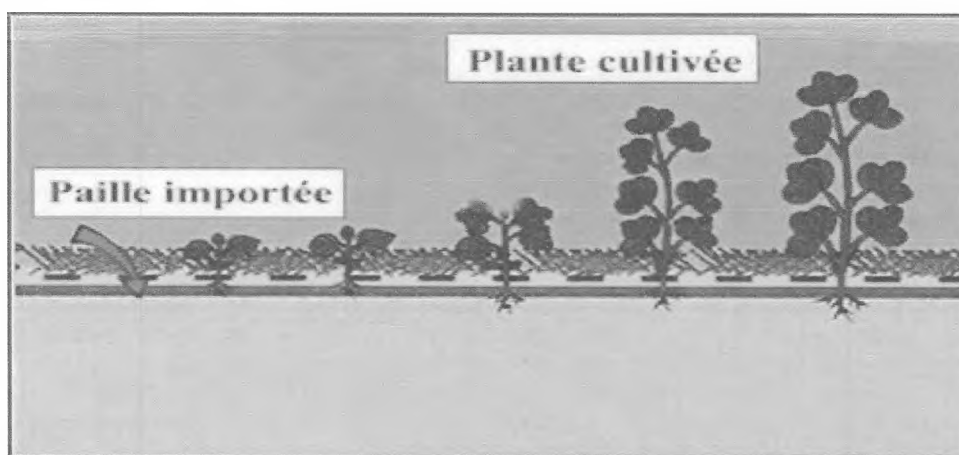


Figure 2: Couverture morte par l'apport de paille

Source : LE COMTE & NAUDIN, 2008

b- Les systèmes sur couverture végétale vivante

Les cultures sont installées dans des couvertures vivantes. Celles-ci peuvent être éventuellement contrôlées par le gel, par herbicide ou par fauchage, pour ne pas entrer en compétition (minérale, hydrique ou pour la lumière) avec les plantes cultivées. Pour assurer une diversité végétale, il faut associer les légumineuses aux couvertures de graminées (FIFAMANOR et al, 2008).

2126- Avantages et inconvénients des SCV

a-Avantages

Les techniques de Semis Direct sur Couverture Végétale Permanente proposent :

-des intérêts agronomiques

Les couvertures garantissent le recouvrement permanent du sol, la restauration et le maintien de sa fertilité.

-des intérêts environnementaux

Comme en milieu forestier, les couvertures végétales permettent d'équilibrer le bilan de matière organique et de ramener à la surface un certain nombre d'éléments nutritifs qui seront redistribués dans le sol et seront disponibles pour la culture commerciale. En plus, ils contrôlent aussi l'érosion et protègent les bassins versants en cas d'aménagements. La pratique de semis direct sur couverture végétale a des avantages majeurs pour la réduction de l'ensablement des rizières et la récupération des sols abandonnés (FIFAMANOR et al, 2008).

-Intégration agriculture et élevage en SCV

La plupart des plantes de couverture utilisées en SCV sont aussi d'excellents fourrages, offrant la possibilité d'une meilleure intégration avec l'élevage (alimentation des vaches laitières). Ainsi, la production vivrière et la production de fourrages se font en même temps et toute l'année. De plus, les cultures bénéficient du supplément de fumier. En outre, les plantes de couverture à système racinaire puissant améliorent le sol et permettent de valoriser tous les types de milieux (tanety et bas-fond) (FIFAMANOR et al, 2008)

Le temps des travaux est valorisé grâce aux SCV. Les fourrages installés à moindre coût permettent de transformer les pratiques traditionnelles en élevage laitier performant. Les revenus agricoles se diversifient avec un apport de trésorerie régulier et sécurisé.

b-Inconvénients

Si le SCV est présenté comme l'innovation d'une agriculture moderne conciliant l'homme avec la nature, il peut toutefois induire des effets peu appréciés, notamment :

- la présence de résidus en surface favorise l'infestation phytopathogène et le niveau de pression des mauvaises herbes y est important ;

- la culture sous couverture végétale ne reflète pas toujours l'image d'une agriculture de grande envergure pour une exploitation plus que vivrière ;

- la nécessité de l'incorporation dans le système d'une culture pour la production de biomasse diminue sa productivité par rapport au temps d'occupation de l'espace et demeure un frein à sa diffusion quand le sol cultivable est de moins en moins suffisant (Radanielson, 2004)

Concernant la pratique de l'élevage et de l'agriculture en même temps, un problème majeur se pose aussi dans l'exploitation. Le sol est maintenu en permanence en SCV et recouvert par les résidus de récolte alors que le bétail se nourrit en grande partie de paille en saison sèche, ou bien de cultures fourragères qui peuvent être implantées en contre saison. Il faut que les activités de l'agriculture et de l'élevage soient complémentaires, non compétitives, c'est à dire que l'agriculture fournit du fourrage au bétail et l'élevage à son tour produit du fumier (Rahantanirina, 2007). C'est pour cette raison que les plantes fourragères tiennent une grande place afin d'augmenter la production

22- Production des plantes fourragères

Par définition, une culture fourragère est une culture de plantes pour leurs parties végétatives (feuilles, tiges, racines), à l'exclusion des fruits et des graines, que l'on utilise soit à l'état frais, soit conservées généralement par séchage ou par ensilage. Ces herbes ou ces plantes servent à nourrir les animaux en saison des pluies et en saison sèche. Il existe de nombreuses plantes fourragères, la majorité faisant partie de deux grands groupes, les graminées et les légumineuses. De plus les cultures fourragères peuvent entrer dans la rotation comme les autres cultures (Cours d'apprentissage agricole, 1982).

221-Les caractéristiques communes des plantes fourragères

Les plantes fourragères sont très utiles, soit pour nourrir les animaux, soit pour améliorer l'agriculture et l'élevage. Ces cultures sont répandues dans toutes les Hautes Terres, en particulier la région du Vakinankaratra. Le tableau ci-dessous résume la production de cette région.

Tableau 7 : Les surfaces exploitables et les productions fourragères dans la région du Vakinankaratra

Année	Surface (ha)	Rendement (t/ha)	Production (t)
2004-2005	500	20	10 000
2005-2006	1 000	60	60 000
2006-2007	15 000	60	90 000
2007-2008	20 000	80	160 000

Source : DRDR Antsirabe, 2008

Les plantes fourragères appartiennent à des nombreuses familles botaniques mais deux vont particulièrement retenir notre attention.

2211-Légumineuses fourragères

Les légumineuses sont un groupe de plantes à fleurs (Angiospermes), dicotylédones, dont le fruit est une gousse. Toutes les légumineuses ne se ressemblent pas. Certaines sont couchées, d'autres sont droites ou grimpantes. Elles sont herbacées ou ligneuses. Les feuilles des légumineuses sont larges, et un peu rondes. De plus, elles se multiplient le plus souvent par semis. Il vaut mieux les associer avec une graminée.

Les légumineuses sont de très bonnes plantes de couverture. Elles améliorent le sol. De plus, elles prennent l'azote de l'air avec les nodosités de leurs racines. L'azote de l'air se transforme en azote assimilable pour la plante. C'est pourquoi les feuilles de légumineuses sont particulièrement riches en matière azotée : les teneurs en Matières Azotées Digestibles sont en moyenne de 12g/100g de matière sèche pour les légumineuses contre seulement 3,7g/100g de matière sèche pour les graminées.

Les légumineuses que nous avons utilisés sont : le *Stylosanthes guyanensis*, le *Cajanus cajan*, le lupin, la vesce ; leurs caractéristiques se trouvent dans l'Annexe I.

NB : Le Radis fourrager est une crucifère.

2212-Graminées fourragères

Les graminées ont des tiges droites et rondes. Elles sont minces et creuses. Les feuilles sont composées de deux parties, d'une part la gaine qui part d'un nœud et entoure la tige jusqu'au niveau du limbe, d'autre part le limbe composé de nervures parallèles, long et étroit. Les graines sont petites et plusieurs enveloppes les entourent. De plus, beaucoup de graminées tallent à partir

Tableau 8 : Table des valeurs alimentaires des fourrages

Nature	MS	MO	MAT	UFL	PDIN	PDIE
Radis plante entière	9	84,9	17,4	0,85	116	74
Paille de riz	81	86,1	6,0	0,58	46	68
Paille de maïs	87	92,5	3,9	0,57	29	50
Vesce	22	88,1	24,1	0,71	236	106
Lupin	-	-	40,0	1,25	230	82
<i>Brachiaria ruziensis</i>	23	89,4	13,6	0,70	97	92

Source : FIFAMANOR et al, 2008

MS : taux de matière sèche du fourrage en %

MO : quantité de matière organique en U MS

MAT : quantité de matières azotées totales en U MS

UFL : unité fourragère lait par kg de MS

PDIN, PDIE : quantité de protéines digestibles dans l'intestin en g par kg de MS, calculée selon l'azote ou l'énergie disponible dans le fourrage et à équilibrer dans la ration.

NB : La valeur des fourrages diminue au cours de la croissance. La plante s'appauvrit en matières azotées et en glucides solubles et s'enrichit en parois, en cellulose et en lignine.

222- Production fourragère dans les systèmes à base de riz en SCV

Le riz est associé avec les plantes fourragères en vue de la production de fourrage au sein de systèmes de culture à base de riz pluvial. Ces systèmes sont intéressants car, d'une part, la production de riz pourrait assurer la sécurité alimentaire et les résidus de récolte pourraient être utilisés pour le paillage du sol et aussi pour la nourriture des troupeaux, et, d'autre part, les plantes fourragères peuvent servir également à l'alimentation du bétail.

- Principes généraux :

Il est important de choisir un sol avec une bonne porosité pour le riz. Les précédents légumineuses sont privilégiés pour ces systèmes du fait de leur forte production de biomasse, leur bon contrôle de l'enherbement et surtout leurs apports en azote. De plus, il est utile d'utiliser des variétés de riz pluvial tolérantes à la pyriculariose comme le FOFIFA 161.

Il est essentiel de semer avant la mi-novembre pour obtenir de bons rendements, et il faut même avancer à fin octobre pour les altitudes supérieures à 1700 m (Tableau 9).

Tableau 9 : Calendrier de production fourragère dans les systèmes à base de riz en SCV

Cultures en rotation avec le riz	Calendrier	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct
Maïs+haricot + avoine	Première	Installer riz			Récolter riz								
Haricot/avoine + vesce					Exploiter paille de riz								
Soja+ Avoine + Vesce	Deuxième	Installer riz			Récolter riz								
				Installer fourrage	Exploiter fourrage								
Maïs+haricot +radisfourrager	2 ^{ème} et Suite	Installer riz			Exploiter fourrage								
Maïs+cajanus													

Source : FIFAMANOR et al, 2008

Pendant la saison sèche, qui dure de 6 à 8 mois, la majorité des éleveurs laitiers sont confrontés à un problème d'aliments, tant en qualité qu'en quantité, et ceci surtout dans les zones productrices de lait ; il est alors possible de faire des associations culturales avec les graminées et les légumineuses fourragères les plus cultivées.

223-Association possible pour le riz

Le riz est apte à s'associer avec des plantes fourragères. Le tableau suivant montre quelques plantes possibles pour l'association avec le riz.

Tableau 10: Association possible pour le riz

Production de fourrage	Date de semis	Espèce	Rendement du riz en kg/a	
			Paddy	Paille
Saison intermédiaire	Janvier-Février	Avoine	20 à 40	40 à 10
Saison pluviale	Décembre	Brachiaria		

Source : FIFAMANOR et al, 2008

23 -Notions et acquis sur l'association de culture

L'association culturale est une culture simultanée de deux ou plusieurs espèces végétales dans un même terrain, en lignes ou en bandes alternées, mais semées et récoltées séparément.

231- Les principales raisons pour l'association de cultures

Les principales raisons pour l'association des cultures sont :

-profiter de l'influence bénéfique que certaines espèces végétales ont sur d'autres, probablement à cause de substances excrétées par leurs racines ;

-mieux occuper l'espace en associant des espèces à cycle court et des espèces à cycle long ;

-mieux utiliser le sol qui sera dès lors plus productif ;

-mieux couvrir le sol de façon à le rendre moins facilement sensible à l'envahissement par les mauvaises herbes

-mieux profiter de l'azote puisé dans l'air par les espèces appartenant à la famille des légumineuses (haricot, pois, fève, trèfle,...) et qui est libéré dans le sol au fur et à mesure de la décomposition des racines ;

-bénéficier de l'effet protecteur (face aux maladies) ou répulsif (face aux ravageurs) de certaines espèces. Dans les cultures associées, on veillera à ne cultiver ensemble que des espèces qui se stimulent mutuellement ou qui au moins ne se gênent pas.

La pratique des cultures associées par un agriculteur résulte d'un choix technique qu'il opère en fonction de ses objectifs.

232- Les mécanismes de la dominance et de la complémentarité (République Française, Ministère des relations extérieures et al 1982)

2321 -Les compétitions pour les facteurs de croissance

Les facteurs de la croissance pour lesquels les plantes entrent en compétition sont principalement la lumière, les éléments minéraux et l'eau.

a-Compétition pour la lumière

Elle intervient dans tous les peuplements végétaux, sauf peut être juste après la levée.

Lorsque l'une des composantes de l'association se situe plus haut qu'une autre, elle interceptera la plus grande part de lumière. La réduction du flux lumineux en fonction de la hauteur dans le peuplement végétal est souvent exponentielle. Ainsi, de faibles différences de hauteur peuvent conduire à de forts effets de compétition.

L'intensité de la compétition dépend également de l'arrangement des plantes les unes par rapport aux autres.

b-Compétition pour les facteurs du sol

La compétition porte le plus souvent sur l'azote et l'eau, du fait de leur grande mobilité. Elle peut se manifester assez tôt.

Une domination pour la lumière se traduit pour la plante par un faible développement racinaire qui entraîne une perte de compétitivité pour les facteurs du sol. Lorsque ni l'eau ni les éléments minéraux ne sont limités, la capacité compétitive des plantes au niveau racinaire n'a pas d'influence.

2322-Les complémentarités pour les facteurs de croissance.

a-Complémentarités pour la lumière

Les composants de l'association peuvent occuper différentes strates. Verticalement, le composant le plus haut peut avoir un feuillage tolérant à une lumière forte et à une demande évaporative importante, tandis que le plus bas peut être une plante d'ombre requérant une humidité assez élevée. L'utilisation d'arbres fournissant de l'ombrage prend une grande place pour la complémentarité en lumière.

b-Complémentarités pour les facteurs du sol.

Dans les associations de légumineuses et graminées, la légumineuse satisfait généralement l'essentiel de ses besoins en azote par ses possibilités de fixation symbiotique au niveau de ses nodosités. Les autres composantes exploitent la solution du sol. Généralement l'effet est moindre, mais correspond cependant à une économie de fertilisants azotés. Pourtant, la présence de légumineuses dans une association n'entraîne pas forcément la fixation d'azote.

233-Contraintes sur l'association de cultures

L'association de cultures peut engendrer beaucoup de problèmes.

2331- Les semis

En cultures associées, l'agencement des différents composants les uns par rapport aux autres est particulier, ce qui permet de répondre à des contraintes d'ordre agronomique (minimisation de la compétition pour la lumière) ou plus techniques (peuplement en poquets facilitant le sarclage).

Les dates de semis des différents composants sont souvent différentes. L'introduction de matériel dans la parcelle pour le semis de la seconde composante peut endommager la première.

2332- Les travaux du sol

Les opérations de sarclage mécanique posent des problèmes techniques : elles nécessitent des semis en ligne, difficiles dans les associations.

2333- La récolte

La présence de plusieurs composantes dans une parcelle cultivée constitue un obstacle important à la mécanisation. Les multiples dates de semis et l'hétérogénéité des populations indigènes (étalement des dates de floraison, floraisons successives sur le même individu), ce qui va de pair avec une diminution des risques, ne permettent pas toujours une seule date de récolte.

2334- Le problème de la fertilisation

En systèmes de cultures associées, la fertilisation pose plus de problèmes (exemple : compétition entre éléments nutritifs et hydriques) qu'en systèmes de cultures pures.

Chapitre III – Evaluation de l'élaboration des composantes du rendement et des biomasses produites

31 – Elaboration des composantes du rendement

Les rendements sont les quantités récoltées par unités (ha, a) de surface. La nature du produit (grain, épis, paille ...) doit être précisée. Le rendement est la résultante des interactions s'établissant entre le sol, le climat et le peuplement végétal tout au long du cycle de la culture.

311 Les composantes du rendement du riz

L'élaboration de chaque composante du rendement du riz est déterminée à une période bien définie du cycle et constitue donc un témoin des conditions et des facteurs de croissance durant cette période. Ainsi une bonne conduite de la culture (ressource minérale, alimentation hydrique – suffisantes) entraînera une meilleure condition d'élaboration de chacune des composantes pendant le cycle de la plante.

Les composantes du rendement dépendent aussi des conditions de culture. Elles sont également très interdépendantes : par exemple un faible nombre de plantes au m² peut être en partie corrigé par un tallage plus élevé ou par un plus grand nombre de grains par panicule.

Les techniques culturales et les conditions climatiques ont une influence décisive sur chacune des composantes du rendement en grain. En revanche, elles ont un effet limité sur l'indice de récolte (rendement en grain/production totale de matière sèche), qui est avant tout une caractéristique variétale (Villain, 1997).

312-L'élaboration du rendement suivant le cycle du riz

3121-La phase végétative

La phase végétative constitue donc la première phase du cycle et concerne le développement et la croissance des organes végétatifs jusqu'au début de l'initiation des organes reproducteurs. Un pied donne naissance à plusieurs tiges appelées également talles. La composante du rendement s'élaborant durant cette période est le nombre de pieds/m² et le nombre de panicules/m². Le nombre de talles fertiles porteuses de panicules est bien déterminé même si les panicules ne sont pas visibles à la fin de cette phase. Le nombre de pieds est lié aux problèmes de semis et germination.

Durant cette phase, un certain nombre de talles meurent ou ne donneront pas de panicules (talles stériles) ; ce problème est lié à la fertilité du sol.

a-La germination - levée : Détermination du nombre de pieds/m²

La germination

Elle correspond au passage de l'état de vie ralentie à l'état de vie active. Pour que la germination se déroule normalement, les conditions suivantes doivent être réunies : graines en période de levée de dormance vivantes ayant un embryon et des réserves, tégument perméable à l'eau et à l'oxygène à une température optimale de 18 à 30°C ou bien de 18 à 40°C, dans un milieu aéré et humide

La levée

L'avenir de la plantation dépend en grande partie de la réussite de la levée. Celle-ci correspond au pourcentage de plantes qui ont germé par rapport au nombre de grains semés. Plusieurs facteurs peuvent gêner cette levée: des obstacles mécaniques formés par des mottes compactes ou une croûte de battance, de mauvaises conditions d'humidité du sol, des obstacles photosynthétiques, des difficultés d'ancrage causé par des semis profonds. Chez le riz, le coléoptile se développe en général avant la racine.

Tableau 11 : Pourcentage de levée en fonction de la profondeur de semis

Profondeur d'enfouissement en cm	% de levée	Levée en jours
1	78	4
2 – 3 – 4	98	4
5	63	5
6	54	5
7	21	6
8	18	6
+ 10	Néant	

Source : J P Doberman, 1976

b- Le tallage : détermination du nombre de panicules/m² (Npa/m²)

Cette composante du rendement s'élaborant durant la période végétative constitue la première phase du cycle et représente le développement et la croissance des organes végétatifs jusqu'au début de l'initiation des organes reproducteurs.

La durée du tallage varie selon les variétés, particulièrement en fonction de la sensibilité au photopériodisme et à la température. Par conséquent, les fortes températures ont tendance à

raccourcir le cycle, donc à avancer la date de l'initiation paniculaire. Au cours de cette phase, le nombre de talles augmente, il est particulièrement intense vers le 60^{ème} jour qui suit le semis.

Une alimentation en eau suffisante, une fertilisation optimale combinée à un bon écartement des plantes peuvent permettre d'avoir le maximum de tallage ainsi que des talles fertiles.

3122-La phase reproductive

Durant cette phase reproductive sont déterminés le nombre d'épillets/panicule et le pourcentage des grains pleins. Cette phase débute avec l'initiation paniculaire et se termine avec la fécondation. Elle est confondue dans le temps avec l'épiaison et la floraison.

En général ces composantes varient selon 3 facteurs principaux qui sont la température durant la phase reproductive, le rayonnement et les éléments nutritifs.

Les deux premiers facteurs restent constants pour toutes les parcelles, l'abondance des éléments nutritifs est le facteur qui fait varier ces composants.

3123- La phase de maturation

Le poids moyen des grains est souvent présenté comme s'élaborant lors de la période de maturation. En pratique, le poids de 1000 grains est en partie lié aux conditions de maturation. Le poids moyen d'un grain est caractérisé par la taille de l'enveloppe et le remplissage du grain. Ce dernier dépend de deux éléments : le nombre de grain à remplir et le niveau possible d'alimentation de ces grains (Rakotoherimandimby, 2006). Cette alimentation provient de la source photosynthétique fournissant de la matière carbonée et des éléments azotés et phosphorés. Concernant la détermination de la taille de l'enveloppe, elle semble correspondre au stade critique de la division réductionnelle de méiose (Rahantanirina, 2007). Le nombre des grains pleins en relation avec le pourcentage de stérilité est lié à des problèmes de maladies (exemple pyriculariose), de températures trop fortes ou trop faibles, de stress hydrique et de vent également.

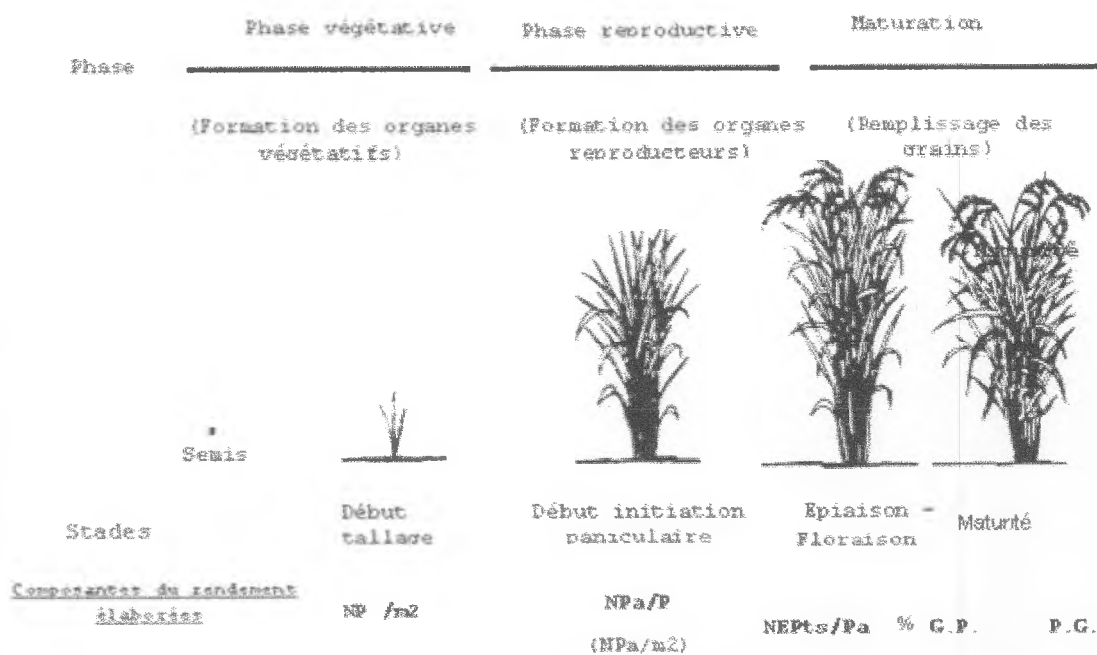


Figure 3 : Les différentes phases du cycle du riz et la formation des composantes du rendement

Source: Moreau, 1987

- NP/m² = nombre de plants par m²
- NPa/P = nombre de panicules par plant
- NPa/m² = nombre de panicules par m²
- Nepts/Pa = nombre d'épillets par panicule
- %GP = pourcentage de grains pleins
- P.G = poids d'un grain

Calcul du rendement en grain

Il est réalisé avec la formule suivante :

$$\text{Rendement (t/ha ou kg/m}^2\text{)} = \frac{\text{nombre de plantes (nb plt)} \times \text{nombre de panicules (nb pa)} \times \text{nombre de grains (nb g)}}{\text{nombre plante} \times \text{nombre panicule} \times \text{nombre grains}} \times \text{nombre de grains pleins (nb GP)} \times \text{poids d'un grain}$$

Le maïs est la deuxième culture principale ; l'évaluation des rendements est importante afin d'améliorer la production et d'assurer le complément des aliments. Nous allons donc présenter

quelques généralités sur le maïs

32- Généralités sur la culture de maïs

Le maïs est un élément important du système de culture. Il apparaît dans les rotations et les associations. Il est important dans l'alimentation de la population rurale malgache car il peut servir de complément d'aliments précieux pour les paysans en période de soudure. Il est cultivé un peu partout, entre autres dans la région du Vakinankaratra.

Tableau 12 : Les surfaces exploitées et les productions de maïsiculture dans la région du Vakinankaratra

Année	Surface (ha)	Rendement (t/ha)	Production (t)
2004-2005	42 400	1	42 400
2005-2006	43 000	1	43 000
2006-2007	42 000	1	42 000
2007-2008	64 400	1,4	90 160

Source : DRDR Antsirabe, 2008

321-Elaboration du rendement de maïs

L'analyse de la croissance et de l'élaboration du rendement permet de déterminer quels ont été les facteurs limitants durant les phases du cycle des plantes. Cela nécessite aussi une analyse fine des conditions du milieu : climat, sol. Le rendement final résulte de la multiplication du nombre de grains/m² par le poids moyen d'un grain. Le nombre de grains par unité de surface est lui-même fonction de la densité, de la prolificité (nombre moyen d'épis/plante) et du nombre de grains réels/épi (lui-même lié au nombre d'ovules/épi et à la réussite de la fécondation).

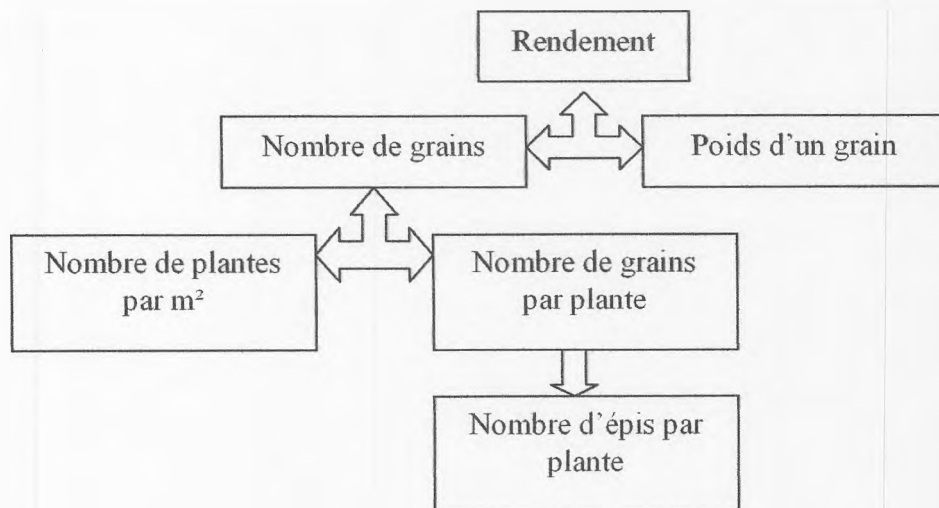
Détermination des composantes du rendement du maïs

Les composantes du rendement du maïs sont les suivantes :

- nombre de pieds par mètre carré : NP/m²
- nombre d'épis par pieds : NE/P
- nombre de grains par épi : NG/E
- poids moyen d'un grain : PIG

Rendement = nombre de pieds/m² x nombre d'épis/pieds x nombre de grains/épi x poids moyen d'un grain (g/m² ou kg/ha)

ORGANIGRAMME 2 : Elaboration du rendement de maïs



Source : Cirad , Gret, 2002

322- Elaboration des composantes du rendement du maïs durant le cycle végétatif

Chez le maïs, les différentes phases du développement de la plante, correspondant aux différentes composantes qui conditionnent le rendement final, se succèdent au long de la vie de la plante. Chacune d'entre elles peut, sous l'effet d'un stress, contribuer à diminuer le rendement potentiel. Le rendement réel est donc le résultat d'une série de soustractions à partir du rendement potentiel.

3221- Le nombre de plants/ha

Il résulte du choix d'une densité par l'agriculteur et de la réussite du semis et de la levée. La qualité de la semence, les conditions du semis, la présence éventuelle d'insectes attaquant les

plantules, la pratique d'un nouveau semis ou d'un démariage sont autant de facteurs qui interviennent dans l'élaboration de la densité à la récolte.

3222-La phase végétative

Pendant la phase végétative les racines, la tige et les feuilles subissent éventuellement le contrecoup de conditions défavorables. Par exemple, une attaque virale précoce peut fortement réduire la surface foliaire utile. Le succès de la mise en place de l'appareil végétatif conditionne largement le rendement final.

Un stress pendant la formation des épis réduit le nombre de rangs, puis la longueur de l'épi. Quant au nombre d'épis/plante, il n'est fixé que quelques jours avant la sortie des soies. La prolificité en épis est recherchée en milieu tropical car elle permet une régulation du rendement et peut, notamment, compenser une faible densité.

33 Evaluation de la biomasse

Les systèmes de culture SCV sont capables d'assurer une productivité de biomasse élevée et un renouvellement de stocks d'éléments minéraux nutritifs. Donc, il est essentiel d'évaluer la production de biomasse produite au sein de la parcelle.

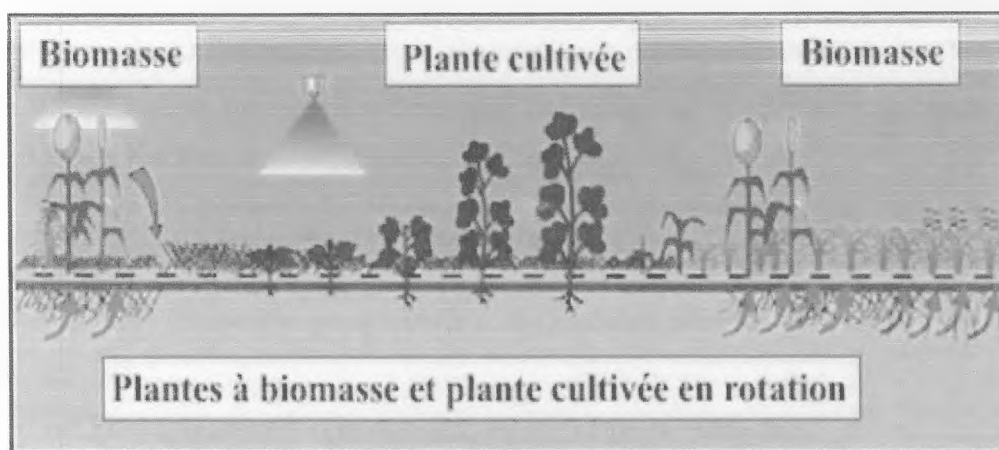


Figure 4 : Production de biomasse dans la parcelle

Source : Le Comte & Naudin, 2008

331-Caractéristique de la biomasse

Par définition, la biomasse est l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale. Cette matière peut être valorisée de différentes manières (industrielle, énergétique,

alimentaire) et participer à l'équilibre écologique. De plus, la biomasse est produite par des organismes vivants, par l'activité photosynthétique des plantes. Une certaine partie de la biomasse provient aussi des animaux, des insectes, des micro-organismes.

Pour plus d'information, quels sont les types de biomasse ?

Il existe deux types de biomasse : la biomasse brute et la biomasse secondaire.

3311- La biomasse brute

La biomasse brute se compose principalement d'arbres et d'arbustes de forêts ou de cultures telles que les herbes, les légumes, les céréales etc. Concernant la biomasse des plantes, on distingue deux grands groupes : la biomasse aérienne et la biomasse souterraine. Cette dernière est formée des tubercules, des racines etc., les organes végétatifs souterrains. De même, la biomasse aérienne est constituée par les organes végétatifs aériens tels que les feuilles, les tiges, les fleurs, les graines. La répartition de la biomasse entre feuilles, tiges et parties souterraines dépend de la vitesse de la mise en place des structures aériennes mais est aussi modulée par la disponibilité en assimilats.

3312- La biomasse secondaire

La biomasse secondaire se compose de toute matière qui a été obtenue de la biomasse brute mais qui a subi des modifications chimiques et physiques : le fumier et les litières des animaux, les déchets de manutention des grains (les paillettes, le petit blé et les grains de qualité inférieure), les résidus de récolte (la paille et la canne de maïs).

La biomasse produite sur une parcelle peut avoir une utilisation directe (plante fourragère) mais est également importante pour les effets de précédent cultural qu'elle induit pour la culture suivante.

332 -La biomasse représentant les précédents culturaux.

C'est un des facteurs qui peut occasionner la réussite ou non de la culture suivante tant en labour qu'en SCV. Selon le Dictionnaire Universel Francophone, de 1999 : après la récolte, la totalité de la biomasse ou une partie de la production (les résidus des plantes) sont restitués au sol pour constituer une source de matière organique pour la nutrition de la culture suivante.

-Les effets des précédents

Michel Vilain, 1997, affirme que l'effet de la culture précédent correspond à la variation d'état du milieu (caractères biologique, physique et chimique) entre le début et la fin de la culture

sous l'influence combinée du peuplement végétal et des techniques culturales appliquées. De plus, un effet de culture précédent est l'analyse de la modification des paramètres physique, chimique et biologique de la parcelle sous l'effet d'un système de culture (ex : une espèce ou association d'espèces cultivée avec un itinéraire technique donné et dans les conditions climatiques d'une année donnée) (Cirad-Gret, 2002).

333-Traitement d'un prélèvement de biomasse produite

D'une manière générale, pour estimer la biomasse produite sur une parcelle, nous récoltons plusieurs carrés échantillons de surface connue (de 1 à 4 m²), représentatifs de la parcelle.

Le prélèvement de biomasse suit les étapes suivantes :

1-La matière fraîche donne une indication de la productivité de la parcelle mais varie fortement suivant les conditions climatiques. Il est donc toujours préférable d'exprimer les quantités récoltées en M.S. rapportée à la surface récoltée. Après avoir pesé la matière fraîche prélevée sur notre carré, nous en prélevons donc un échantillon représentatif, qui est pesé également ; le reste est alors remis sur le sol à l'endroit du prélèvement.

2-Le séchage durant 72 h à l'étuve à 60° permet d'amener l'échantillon à 92-94 % de matière sèche. C'est la référence quand on veut exprimer la productivité en biomasse par ha d'une plante. On peut alors calculer le taux d'humidité de la matière fraîche, avec les formules :

$$\% \text{ MS} = \frac{\text{PS matière}}{\text{PF matière}} \times 100$$

$$\text{MS} = 100 - \text{taux d'humidité}$$

(g/ m² ou kg/ha)

3-Après séchage et pesée, si aucune analyse n'est prévue, l'échantillon est remis sur le sol à l'endroit du prélèvement afin de maintenir la fertilité du sol et de lutter contre les mauvaises herbes : « c'est le paillage ou mulching » pour les cultures suivantes (Le Comte & Naudin, 2008)

Deuxième partie :

***Présentation de la zone d'étude,
des matériels et méthodes utilisés***

Deuxième partie

Chapitre I : Justification du thème

11-Cadrage de l'étude

111-Contexte général et centre d'accueil

1111- Contexte général

Notre travail de recherche a été effectué sur les champs d'expérimentation de l'Unité de Recherche en Partenariat « Systèmes de Culture et Rizicultures Durables » (URP SCRiD). Il s'intègre dans le projet CORUS qui a débuté à la fin 2007, associant plusieurs partenaires de recherche (URP SCRiD, Département de géographie de l'Université d'Antananarivo, AgroParisTech, Pôle élevage du CIRAD Réunion.) et de développement (FIFAMANOR, ONG TAFI).

La riziculture pluviale (riz cultivé sur les terres de versant en saison des pluies) a été introduite sur les Hautes Terres il y a une dizaine d'années, après la création de variétés de riz pluvial tolérantes au froid. Etant donné l'attachement de la population au riz et la saturation des terres inondées, il y a actuellement une forte expansion des surfaces cultivées en riz pluvial. Elle contribue, en complément des rizicultures aquatiques, à la sécurité alimentaire.

L'innovation majeure du projet est de produire le fourrage au sein de systèmes de cultures vivrières à base de riz pluvial sur les Hautes Terres malgaches. D'une part, il s'agit d'assurer sur le long terme la sécurité alimentaire en favorisant la production agro-écologique de riz pluvial pour l'autoconsommation tout en permettant la génération de revenus complémentaires liés à la production de surplus de riz. D'autre part, concernant l'élevage, ce projet consiste à produire du lait en travaillant sur la production de fourrage.

1112-Centre d'accueil

a-Le projet CORUS

Ce projet de recherche fait partie du second programme de Coopération pour la Recherche Universitaire et Scientifique (CORUS), portant sur le thème de "L'homme dans son environnement". CORUS est un projet FSP (Fonds de Solidarité Prioritaire) développé par le Ministère français des Affaires étrangères (MAE) qui finance des projets de recherche

scientifique conçus et conduits en partenariat entre des établissements universitaires et de recherche des pays d'Afrique et de l'Océan Indien et des établissements français.

b-URP SCRiD

*** Origine de l'URP SCRiD :**

L'Unité de Recherche en Partenariat sur les Systèmes de Culture et Rizicultures Durables (URP SCRiD) a été créée fin 2001. L'URP SCRiD associe le FOFIFA, l'Université d'Antananarivo et le CIRAD.

Elle est née de la volonté des 3 institutions, d'une part, de renforcer leur coopération pour assurer l'accompagnement agronomique et économique du développement de la riziculture pluviale sur les collines, et, d'autre part, de promouvoir à la fois une recherche de qualité, répondant aux besoins du développement, et la formation sous tous ses aspects.

Le défi majeur de développement auquel l'unité se propose de répondre est l'augmentation durable de la production rizicole, par l'amélioration de la productivité et de la durabilité technique et socio-économique des systèmes pluviaux qui contribuent dans plusieurs régions du pays, en complément des rizicultures aquatiques, à la sécurité alimentaire.

***Les enjeux de l'URP SCRiD**

Les enjeux scientifiques de l'unité sont :

- l'explication des mécanismes biologiques et physico-chimiques sous-tendant les performances des systèmes SCV à base de riz pluvial ;
- l'identification des facteurs socio-économiques et institutionnels favorables ou des contraintes à leur adoption par les producteurs ;
- ainsi que le renforcement des capacités à travers les formations supérieures par encadrement de thèses et stages développés à partir des thématiques de l'unité

112-Problématique

Sur les Hautes Terres de Madagascar, l'augmentation de la pression démographique et la saturation des bas-fonds rizières entraînent une surexploitation des collines aux sols fragiles. Les techniques de culture traditionnelle, telles que le labour manuel, conduisent à une érosion intense, à une baisse de la fertilité et des rendements, qui condamnent à terme cette agriculture de subsistance.

Pour surmonter ces problèmes, des expérimentations en semis direct sur couverture

permanente (SCV) ont été conduites depuis plus de 10 ans par TAFa (Tany sy Fampanandrosoana) et le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), couvrant les diverses situations agro-écologiques et socio-économiques de la région.

113- Objectif et méthodologie de recherche

1131- Objectif du stage

L'objectif est d'évaluer et comparer la production (en terme de rendement en grains et de biomasses de paille/couverture) de différents systèmes de culture entrant soit :

- en rotation du riz, l'année où le riz est cultivé il est alors en culture pure ;
- en associations avec le riz pluvial ou avec sa rotation (riz + fourrages et maïs + fourrages); en fonction de différents traitements : la date de semis des plantes fourragères, et de la fertilisation (fertilisation organique (fumier) ou fertilisation organo-minérale).

1132- Méthodologie de recherche

L'étude va se décomposer entre des mesures qui seront réalisées au cours du cycle cultural et d'autres à la récolte, une dernière mesure est prévue également à la fin de la période froide pour estimer les biomasses restantes sur les parcelles.

- Durant le stage végétatif :

- * Suivi de la croissance du riz et du maïs associé par des mesures de la hauteur de 3 poquets par parcelle toutes les 2 semaines. Ce suivi permettra de mettre en évidence des relations entre cultures associées : relations de dominance ou de complémentarité.

- * Evaluation du statut azoté de la culture de riz associée, par des mesures au SPAD Chlorophyll meter toutes les semaines

- A la floraison :

- * La date de floraison (50%) du riz

- * La biomasse aérienne produite à la floraison pour le maïs (méthode non destructive)

- * La quantification à la récolte des biomasses produites (riz, maïs et plantes fourragères) et des rendements obtenus (riz et maïs).

- * Et, enfin, on estimera les biomasses et résidus restant sur la parcelle à la fin de la saison froide.

12-Présentation générale de la zone d'étude

121-Localisation de la zone d'étude

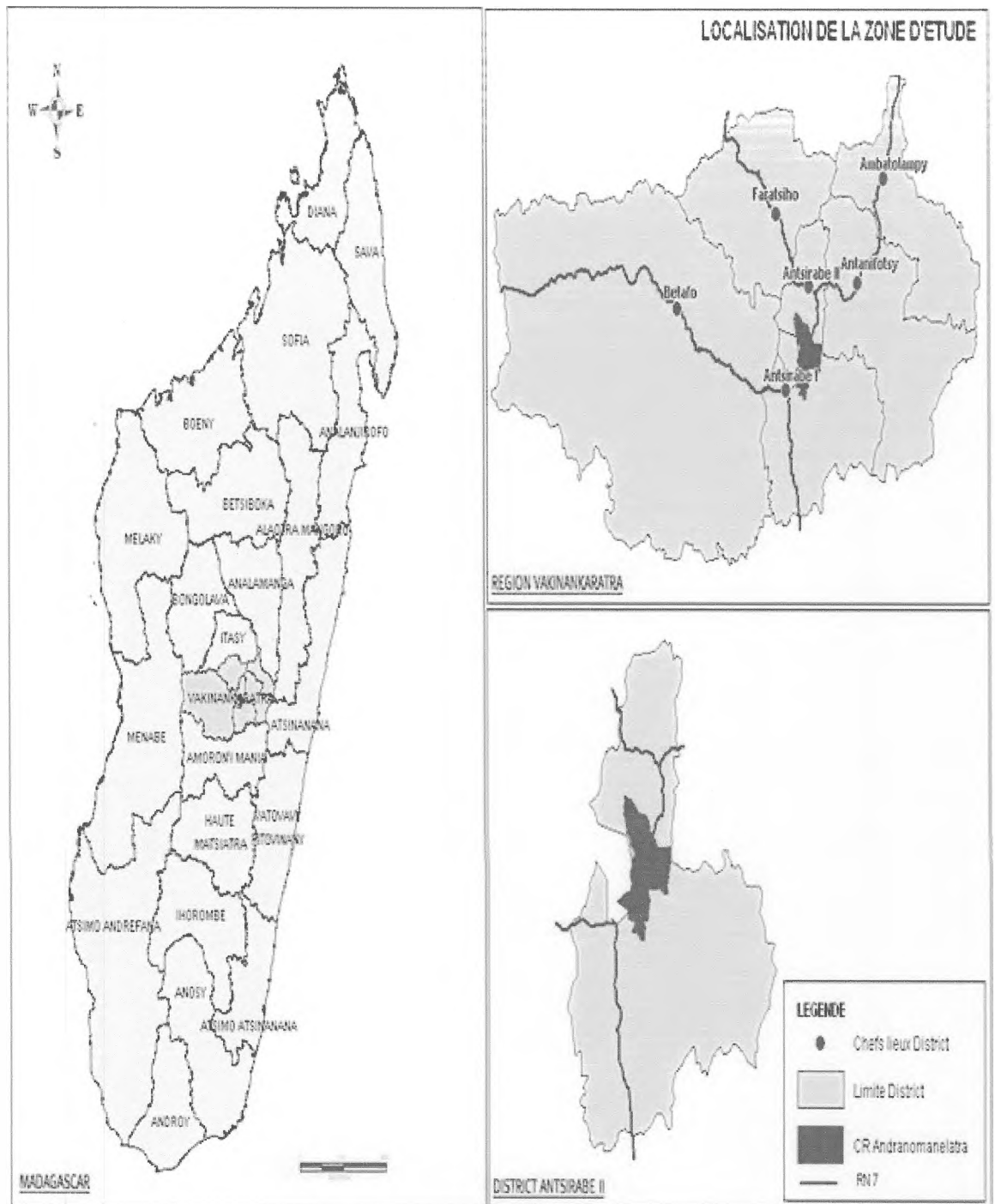
Notre zone d'étude se situe dans la région du Vakinankaratra sur les Hautes Terres Centrales malgaches. L'expérimentation a été réalisée à Andranomanelatra, sur un ancien terrain de la ferme de l'usine KOBAMA.

1211-Limites administratives

La commune rurale d'Andranomanelatra est localisée dans la région du Vakinankaratra District d'Antsirabe II (carte de localisation dans la page suivante). Ce district s'étend sur 2769 km² et est composé de 20 communes. La commune d'Andranomanelatra comprend elle-même 14 Fonkontany (PCD Andranomanelatra, 2003).

1212-Limites géographiques

Andranomanelatra est située à la longitude Est 47°60, à la latitude Sud 19°47 et à une altitude de 1628 m. La commune est entourée au Nord par la commune d'Antsoatany, à l'Est par Ambohimiarivo, au Sud-Ouest par la ville d'Antsirabe, à l'Ouest par la commune d'Ambano. Elle s'étend sur 164 km², et est située sur la route nationale N°7, à 16 km au Nord d'Antsirabe (PCD Andranomanelatra, 2003).



Carte 1: Localisation de la zone d'étude

Source : Auteur

122- Les unités climatiques

1221- Le Climat

La Région du Vakinankaratra est affectée par un régime climatique tropical d'altitude (altitude supérieure à 900 mètres). L'année comporte deux saisons bien individualisées :

- une saison pluvieuse et moyennement chaude, de Novembre à Mars
- une saison sèche et relativement froide de Avril à Octobre (UPDR, 2003)

La région est rarement touchée par des perturbations tropicales. L'abondance des pluies pendant le passage des cyclones (exemple le cyclone Yvan) sur les hautes terres risque pourtant de provoquer l'inondation des parties basses et l'érosion des bassins versants.

La station météorologique CIMEL installée sur le site d'Andranomanelatra permet d'avoir les conditions climatiques affectant l'expérimentation, c'est à dire la température, l'humidité de l'air, la pluviométrie, le vent et le rayonnement. Ces facteurs climatiques ont une influence sur le développement de la plante.

Les figures ci-dessous montrent les données ombrothermiques obtenus à partir de la station météorologique CIMEL Andranomanelatra

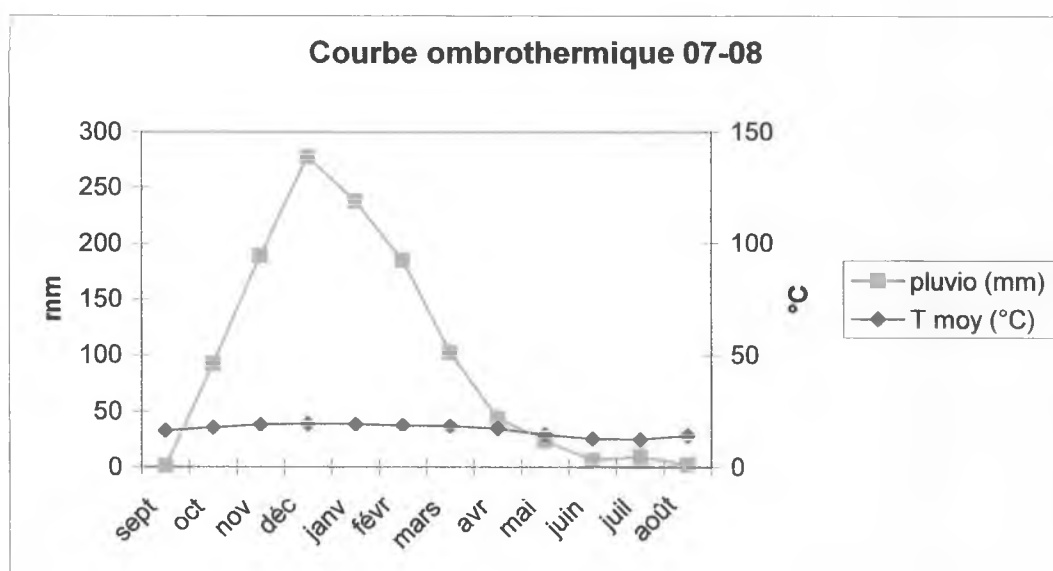


Figure 5 : Courbe ombrothermique, campagne 2007-2008

Source : Station CIMEL Andranomanelatra

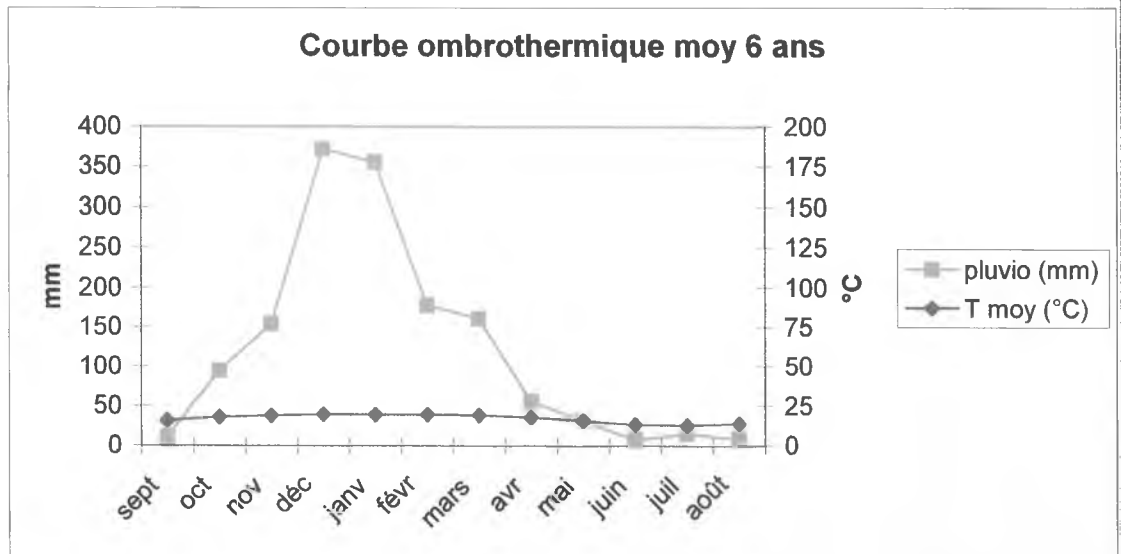


Figure 6 : Courbe ombrothermique, moyenne des 5 précédentes années

Source : Station CIMEL Andranomanelatra

Pluvio = pluviométrie

T moy = température moyenne

1222-La température

La température moyenne annuelle de la région du Vakinankaratra se situe aux environs de 17°C avec des maxima de 25°C (octobre à novembre) et des minima de 5°C (juin) (UPDR 2005).

Durant cette campagne 2007-2008, les courbes de températures moyennes mensuelles montrent :

- une température minimale mensuelle de 5,9°C au mois d'août
- une température moyenne mensuelle de 16,3°C
- une température maximale mensuelle de 26,0°C aux mois d'octobre et décembre

1223-La pluviométrie

La pluviométrie, du point de vue de la quantité de précipitation annuelle, ne présente pas de grande différence sur les statistiques des 20 aux 30 dernières années, c'est par contre la répartition dans l'année qui comporte parfois des périodes sèches trop longues au début de saison fraîche, ne permettant pas ainsi un bon démarrage de la campagne agricole surtout pour les rizicultures de bas fonds (UPDR, 2003).

Cette année a été marquée par des événements climatiques susceptibles de perturber la croissance et le développement du riz : passage de cyclone tropical durant le cycle cultural, vers le mois de février (Yvan) marqué par un pic de 300mm. Ces événements ont coïncidé avec la phase d'épiaison et de floraison qui est une phase critique pour les variétés et pourrait être une cause de stérilité des panicules. Une longue période de sécheresse a pu également perturber la croissance en début de cycle (26 mm seulement en 20 jours fin novembre – début décembre).

1224-Le Vent

Les pénéplaines de la région du Vakinankaratra sont soumises à des vents froids importants entre janvier et avril, qui provoquent une mauvaise fécondation du riz à la floraison entraînant de très nombreux grains vides dans les panicules à la récolte (Ranarison, 2006).

Cette campagne a été caractérisée par de fortes dépressions tropicales (Yvan) au mois de février, marquées par le passage de vents très forts.

123- Les unités pédologiques

En matière de pédologie, la région du Vakinankaratra est marquée par la dominance de deux types de sols. Les sols ferrallitiques couvrent une grande partie de la région. Ils sont d'évolutions très diverses, pouvant porter du maïs, du manioc, et peuvent se prêter à la culture de pommes de terre et à l'arboriculture. Les sols alluvionnaires, constituant les bas-fonds, portent, en plus du riz, des cultures de contre saison.

Le sol du dispositif d'Andranomanelatra a été classé par Zebrowski (Ratsimbazafy, 1979 et Raunet, 1981) comme un sol ferrallitique gibbsitique, fortement désaturé, roux ou ocre, sur alluvions volcano – lacustres (Razafimbelo, 2005). Les sols ferrallitiques fortement désaturés possèdent de faibles niveaux de matière organique et des teneurs élevées en Aluminium échangeable liées à une très forte acidité. Ces caractéristiques ne permettent d'obtenir que de faibles rendements en culture de défriche. Cette situation peut être améliorée par des amendements massifs et/ou apports de matières organiques (Professeur Y. Demarly, 1988).

Chapitre II : Les dispositifs et matériel végétal

21- Le dispositif expérimental de l'URP SCRiD

Sur le dispositif expérimental d'Andranomanelatra, installé depuis fin 2002 sur une surface totale de 3,2 ha, sont testés et comparés différents systèmes de culture. Ce dispositif est constitué de 120 parcelles regroupées en quatre blocs A, B, C, D (ie 4 répétitions). Puis chaque bloc est subdivisé en 30 petites parcelles de dimension variable selon les essais proposés. Chaque répétition compare trois facteurs, les systèmes de culture (S1, S2, S3), deux modes de gestion du sol (labour et SCV) et deux niveaux de fertilisation qui sont :

- Fu : Fumier seul à la dose de 5 t/ha

- FM : fumier (5 t/ha) avec fertilisation minérale constituée par :

* 300 kg/ha de NPK (11-22-16)

* 500 kg/ha de dolomie pour corriger l'acidité du sol ferrallitique et faciliter le développement de l'activité microbienne du sol.

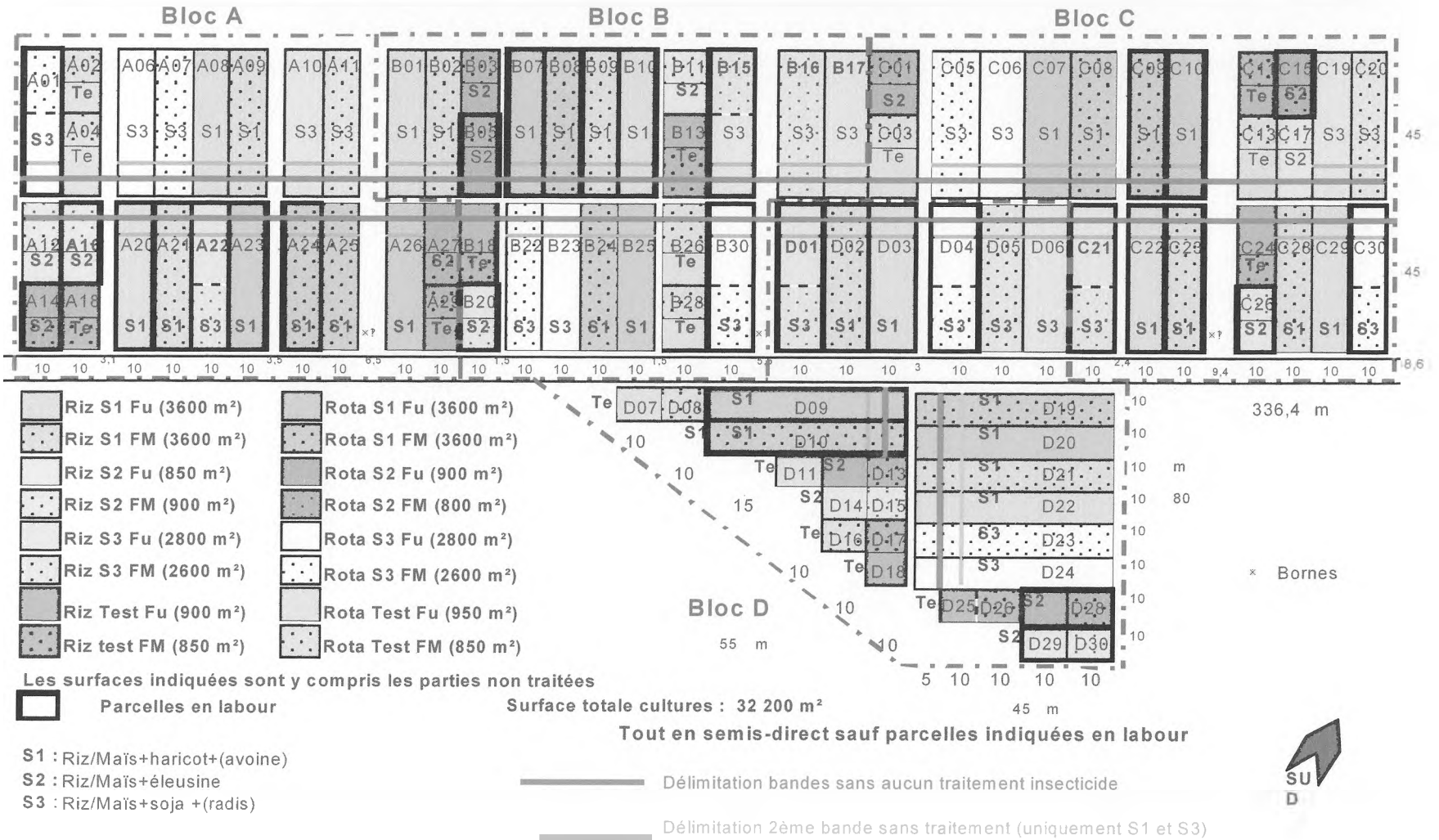
* 100 kg/ha d'urée apportée en 2 apports.

Statistiquement, c'est un dispositif en split-plot. De plus, certaines parcelles sont réservées à des essais, en particulier des essais variétaux et les essais associations de cultures que nous avons suivis.

Notre étude est concentrée sur les systèmes d'associations de culture.

ARO's plots

DISPOSITIF PCP-URP SCRiD / (ARO'S) à ANDRANOMANELATRA Campagne 2007-2008



22-Le matériel végétal

221-Les variétés du riz

Une seule variété sera suivie, FOFIFA 161, ses caractéristiques sont données dans le tableau ci-dessous.

Tableau 13: Caractéristiques de la variété F161

Variété	Caractéristique
FOFIFA 161	C'est une variété de croisement entre l' IRAT 114 et FOFIFA 133. La hauteur moyenne d'une plante de cette variété est de 85 cm, avec un port semi-érigé. Le type de grain est gros et poilu. De plus, le FOFIFA 161 est une variété intéressante car elle possède les caractères suivants : rustique, résistante à la pyriculariose, fertile et plus ou moins sensible à l'égrenage. Elle est adaptée à l'altitude entre 1000 et 1850m. Son rendement moyen est de 2,8 t/ha et 6,5t/ha pour le maximum. Le cycle de cette variété est moyen ou intermédiaire (floraison comprise entre 80 et 105 jours).

222-La variété de maïs

L'ensemble des parcelles de maïs est semé avec la variété TOMBOTSOA. C'est une variété de maïs grain.

223-Les différentes plantes fourragères associées avec le riz et le maïs

Quelques plantes fourragères ont été étudiées sur les tests riz et maïs afin de connaître leur biomasse.

Tableau 14 : Les différentes plantes fourragères associées avec le riz et le maïs

Tests	Riz	Maïs
Les plantes fourragères associées	<i>Stylosanthes guyanensis</i> , <i>Cajanus cajan</i> , éleusine, radis fourrager, vesce	<i>Stylosanthes guyanensis</i> , <i>Brachiaria ruzizensis</i> , radis fourrager, lupin, <i>Cajanus cajan</i> , éleusine

Source : Auteur

23-Systèmes de culture comparés

231- Parcelles de comparaison de systèmes de culture

Depuis 2007 les systèmes comparés sont :

2311-S1: Riz//Maïs + haricot - (Avoine)

L'association maïs + haricot avec de l'avoine en dérobée précède le riz.

Pour la parcelle en riz, ce système servira toujours de support aux essais variétaux et à

une bande F154 pour les études sur la pyriculariose. Pour les parcelles en rotation, le maïs culture principale et le haricot seront semés en simultané, puis l'avoine sera semée en dérobée dès la maturité du haricot. L'avoine est cultivée pour produire beaucoup de fourrage pour les animaux ou des couvertures mortes pour la culture suivante.

2312-S2 : Riz//Maïs + éleusine

Le riz (variété F161) est conduit en rotation avec du maïs associé à l'éleusine.

Pour les parcelles en rotation, le maïs culture principale et l'éleusine seront semés en simultané. L'éleusine est une plante avec un système racinaire important et puissant qui aide à la décompaction du sol.

2313-S3 : Riz//Maïs + Soja + (Radis fourrager)

L'association maïs + soja avec du radis fourrager en dérobée précède le riz.

Pour les parcelles en rotation, le maïs et le soja seront semés en simultané ; le radis fourrager sera semé en dérobée dès le jaunissement des feuilles de soja. Le radis est cultivé pour produire beaucoup de fourrage, tandis que le soja pour sa capacité à fixer l'azote.

// : Rotation culturale

+ : en association

() : en dérobée

NB : Une seule variété de riz sera suivie, la variété FOFIFA 161 (F161). L'ensemble de ces systèmes est conduit en SCV et Labour avec deux niveaux de fumure FU et FM.

Nous avons effectué également notre travail sur deux essais, riz et maïs, où la culture principale est associée avec diverses plantes selon huit systèmes proposés.

232- Parcelles de tests de cultures d'association

2321-Test riz

Ces systèmes comportent des doubles lignes de riz à 15 cm (poquets à 20 cm sur la ligne), écartées de 40 cm ; entre les doubles lignes sont semées diverses plantes :

L1 : *Stylosanthes guyanensis* ; semis simultané avec le riz (20 cm entre poquets)

L2 : *Cajanus cajan* ; semis simultané avec le riz (40 cm entre poquets)

L3 : éleusine ; semis simultané avec le riz (25 cm entre poquets)

L4 et L5 : radis fourrager semé 1 mois et 2 mois après le riz (25 cm entre poquets)

L6 et L7 : vesce semée 1 mois et 2 mois après le riz (40 cm entre poquets)

L8 : témoin riz en simple ligne (20*20 cm)

L'ensemble des parcelles est semé avec 2 variétés, F154 (sensible à la pyriculariose) et F161 (peu sensible à la pyriculariose). Le tableau ci-dessous résume les spéculations étudiées dans ces différentes cultures associées.

Tableau 15 : Les différents tests riz

Tests	Les différentes cultures associées	Spéculations étudiées
L1	Riz dble ligne + <i>Stylosanthes</i>	Le riz est associé avec le <i>stylosanthes</i> . Ces deux cultures sont semées simultanément. Le <i>stylosanthes</i> produit un excellent fourrage ou des couvertures mortes pour les cultures suivantes (résidus de récolte). Le <i>stylosanthes</i> est une légumineuse généralement cultivée en association avec des graminées (riz et maïs). Cette plante pousse même sur des sols pauvres et résiste à la sécheresse, mais préfère une altitude inférieure à 1000 m.
L2	Riz dble ligne + <i>Cajanus</i>	L'association riz et <i>cajanus</i> permet d'augmenter la production fourragère et la biomasse. Le <i>cajanus</i> est semé simultanément avec le riz.
L3	Riz dble ligne + éléusine	Le riz est associé avec l'éléusine pour la même raison qu'en L2. De plus, l'éléusine est une graminée avec un développement racinaire dense, capable de décompacter le sol.
L4 et L5	Riz dble ligne + radis fourrager	Sur les systèmes L4 et L5, les radis fourragers sont associés avec le riz, mais semés avec un décalage d'un mois (L4) ou deux mois (L5). Le radis est également une source importante de fourrages. De plus, le radis possède des effets répulsifs contre les insectes ravageurs, et son tubercule permet un recyclage des éléments fertilisants.

L6 et L7	Riz dble ligne + Vesce	L'association du riz avec la vesce permet d'ajouter la production de biomasse et de fourrage. Ces deux systèmes se différencient par la date de semis de la plante fourragère. Dans L6, la vesce est semée 1 mois et dans L7 2 mois après le riz. De plus, la vesce fixe l'azote.
L8	Riz simple ligne	C'est un système de culture pure, considéré comme un témoin. Le riz est semé en simple ligne.

+ : en association ; dble : double

2322-Test maïs

Systèmes d'association avec maïs en rotation du riz, les lignes de maïs sont écartées de 120 cm, avec poquets séparés de 50 cm ; entre les lignes seront semées 2 lignes de plante de couverture, séparées de 40 cm, selon les systèmes proposés.

R1 : *Stylosanthes guyanensis*, semis simultané (20 cm entre poquets)

R2 : *Brachiaria ruziziensis*, installée par bouture à 20 cm, en décembre

R3 : radis fourrager, semis simultané (25 cm entre poquets)

R4 : radis fourrager, semis en janvier (25 cm entre poquets)

R5 : lupin, semis simultané (40 cm entre poquets)

R6 : lupin, semis en janvier (40 cm entre poquets)

R7 : éleusine + cajanus, 1 ligne de chaque, en simultané avec le riz (25 cm entre poquets pour éleusine, 40 cm pour cajanus)

R8 : radis + vesce, 1 ligne de chaque, semis janvier (25 cm entre poquets pour radis, 40 cm pour vesce)

Tableau 16 : Les différents tests maïs

Tests	Les différentes cultures associées	Spéculations étudiées
R1	Maïs + <i>Stylosanthes</i>	Le maïs est associé avec le <i>stylosanthes</i> .
R2	Maïs + <i>brachiaria</i>	Tous les deux sont des graminées. L'installation du <i>brachiaria</i> par bouture doit être décalée de 20 jours après le semis du maïs. Un apport d'engrais sur le maïs est nécessaire pour limiter la compétition du <i>brachiaria</i> . L'association maïs et <i>brachiaria</i> permet d'augmenter la production fourragère et la biomasse
R3 et R4	Maïs + radis fourrager	Le radis est semé soit en simultané (R3), soit en

		janvier (R4).
R5 et R6	Maïs + lupin	Sur les systèmes R5 et R6, le lupin, associé avec le maïs, est semé soit en simultané (R5) soit en janvier (R6). Le lupin est une légumineuse fourragère.
R7	Maïs + éleusine + cajanus	Cette association est intéressante pour la décompaction du sol, l'injection de carbone forte dans le sol et la fixation d'azote, avec production de grains et de fourrages par l'éleusine et le <i>cajanus</i> . Une forte biomasse produite par l'éleusine permet en général la mise en culture l'année suivante sans herbicide.
R8	Maïs +radis + (vesce)	Le radis + vesce est semé un peu plus tard par rapport à la culture principale (maïs) afin d'augmenter la production de biomasse. La fixation d'azote par la vesce et le recyclage d'éléments nutritifs par le radis fourrager permettent d'améliorer la fertilité du sol.

+ : en association

() : en dérobée

Que ce soit sur les tests riz ou maïs, les fertilisations sont les mêmes : FM et Fu ; toutefois, le fumier et la dolomie seront épandus à la volée avant le semis ; le NPK sera épandu au poquet au moment du semis.

Chapitre III : Les méthodes de mesure

31-Les différentes mesures de suivi des cultures

311-Mesure de la hauteur des plantes (riz et maïs)

3111-Principe

La mesure de la hauteur des plantes peut être mise en relation avec la croissance des plantes dans l'association. La comparaison entre les différents systèmes permet d'étudier les relations de dominance ou de complémentarité. La réalisation de cette mesure se fait dès le début tallage jusqu'à la floraison pour le riz et le maïs

3112-Mode opératoire

Se mesure à l'aide d'un mètre du sol jusqu'au point le plus haut du poquet en étirant les feuilles avec les mains. On effectue la mesure sur trois poquets par parcelle toutes les deux semaines.

312-Mesure du statut azoté par le SPAD *Chlorophyll meter* (riz)

3121-Principe

Le SPAD (ou chlorophyll meter) est un outil de diagnostic simple, portable, qui est utilisé pour estimer la teneur en chlorophylle in situ d'un végétal par mesure de la quantité de lumière transmise à travers la feuille (valeur SPAD, Soil Plant Analyse Development, développé par la société Minolta). La chlorophylle est un pigment présent dans la plante qui capte la lumière utilisée lors de la photosynthèse. La teneur en chlorophylle dans les plantes est en relation avec la teneur en azote de la plante (Radanielson, 2004). L'azote est un élément nutritif de très grande importance, sa carence occasionne des troubles graves chez la plante et affecte le rendement. Il s'avère alors nécessaire de connaître la quantité d'azote nécessaire au riz au cours de son cycle. Cela permettra d'une part d'ajuster les apports en urée, et d'autre part de donner des indications sur le statut azoté du riz en fonction des associations. Les mesures commencent au début tallage et se terminent à la floraison.

3122-Mode opératoire

Dans chaque parcelle, la mesure est toujours réalisée sur la dernière feuille ligulée car cette dernière est la plus jeune et renseigne le mieux sur le niveau de satisfaction des besoins azotés de la plante. Les mesures se font toutes les semaines, de préférence la matinée à l'ombre. Les mesures se font sur 10 poquets au hasard en traversant la parcelle en diagonale.

32-Mesure à la récolte

321-Composantes du rendement du riz (sur les systèmes et les tests en double ligne de riz)

Les mesures du rendement et de ses composantes sont réalisées sur des carrés de 2 m sur 2 m et le reste de la parcelle est récolté normalement.

1) Tout d'abord repérage du carré avec 4 piquets et comptage du nombre de poquets présents par carré. Le nombre de poquets par m² dépend du mode d'installation (espacement entre lignes, écartement entre poquets). Ensuite, repérage et arrachage des 8 poquets aux 4 coins du carré.

2) Sur un échantillon de 8 poquets, comptage du nombre de plants (ce qui nous donnera le **nombre de plants par m²**).

* nombre de plants par m²

$$\text{Nbr plts/ m}^2 = \text{Nbr plts/ poquet} \times \text{Nbr total de poquets dans 1 m}^2$$

On compte également le nombre de talles et de panicules sur ces plants, ce qui nous donnera le **nombre de panicule par plant**, par la formule suivant :

$$\text{Nbr pan/plt} = \text{Nbr pan} / \text{Nbr plt}$$



Photo 1 : Arrachage de poquet

Source : Auteur, 2008



Photo 2 : Comptage du nombre de plants, de talles

Source : Auteur, 2008

3) Les grains de ces panicules sont égrenés, séparés en grains pleins et vides à l'aide d'une vanne, séchés (passage à l'étuve 72h à 60°C) et pesés.



Photo 3 : Pesage des panicules Photo 4 : Pesage des grains pleins Photo 5 : Pesage des grains vides

Source : Auteur, 2008

4) Un sous échantillon de 200 grains pleins et 200 vides est repesé, ce qui nous permettra d'obtenir le **poids d'un grain** et d'estimer à partir de ce poids la fraction de grains pleins et vides de notre premier échantillon, et nous donnera ainsi le nombre de grains (que l'on pourra ramener au **nombre de grains par panicule** car nous connaissons le nombre de panicules de notre échantillon) et le **pourcentage de grains pleins**.

* **nombre de grains par panicule**

$$\text{Nbr Gr/pan} = \frac{\text{Nbr Gr}}{\text{Nbr pan}}$$

* **pourcentage de grains pleins**

$$\%GP = \frac{\text{Nbr GP}}{\text{Nbr GP} + \text{Nbr GV}} \times 100$$

* **Le poids moyen d'un grain**

$$\text{PMG} = \frac{\text{PS GP}}{\text{Nbr GP}}$$

5) Les pailles de l'échantillon sont pesées en frais et en sec après passage à l'étuve 72h à 60°C, ce qui nous permettra d'obtenir le poids sec et le taux d'humidité des pailles.

$$\text{Taux d'humidité paille} = \frac{(\text{PF paille} - \text{PS paille})}{\text{PF paille}} \times 100$$



Photo 6: Pesage des pailles



Photo 7: Séchage des composantes à l'étuve

Source : Auteur, 2008

En résumé, la formule du rendement peut se présenter :

$$\text{Rendement} = \text{Nbr plant/m}^2 \times \text{Nbr pan/nbr plant} \times \text{Nbr gr/nbr pan} \times \text{Nbr GP/nbr gr} \times \text{P1G}$$

(t/ha ou kg/m²)

Ce qui implique :

$$\text{Rendement} = \text{Nbr GP/m}^2 \times \text{P1G}$$

(t/ha ou kg/m²)

NB : Le nombre de placettes installées dépend de la surface de la parcelle :

- * 2 pour les grandes parcelles de système S3 ; nous avons pris la moyenne des 2 placettes
- * 1 pour les autres systèmes et les tests.

322-Rendement du maïs

Les récoltes sont réalisées sur 3 lignes de maïs (système) ou sur 2 interlignes (test d'association) sur 2 m de long. Sur cette placette, nous avons compté le nombre de plants, le nombre d'épis. Ces données nous présentent la formule suivante :

* **nombre de plants par m²**

$$\text{Nbr plts/ m}^2 = \text{Nbr plts/ poquet} \times \text{Nbr total de poquets dans 1m}^2$$

***nombre d'épis par plant**

$$\text{Nbr épi/plt} = \text{Nbr épis} / \text{Nbr plt}$$

Les épis sont récoltés en laissant les spathes sur le plant et pesés ; on prélève ensuite un échantillon de 5 épis pesés en frais puis en sec après passage à l'étuve 72 h à 60°C ; ces épis sont ensuite égrenés et les grains sont pesés. Les plants sont coupés et pesés (avec un échantillon de 3 plants pesé frais puis sec après passage à l'étuve 72h à 60°C).

323-Mesure des cultures associées et reste des résidus sur la parcelle

Il est indispensable de mesurer la matière sèche, qui est liée au taux d'humidité, afin d'estimer la production de fourrage (voir tableau de valeur alimentaire des fourrages page 25). La formule suivante nous explique la procédure de calcul :

$$\% \text{ MS} = \frac{\text{PS matière}}{\text{PF matière}} \times 100$$

$$\text{MS} = 100 - \text{taux d'humidité}$$

(g/ m² ou kg/ha)

Ou

3231-Mesure des cultures associées au riz

La moitié de la parcelle seulement est récoltée après la récolte du riz, l'autre moitié est laissée en l'état pour être récoltée en septembre enfin de vérifier si les plantes fourragères continuent à produire durant la saison froide.

Sur la moitié de parcelle, nous avons compté tous les plants présents, coupé à 5-10 cm de hauteur et pesé en frais ; un échantillon a ensuite été pris et pesé en frais puis en sec après passage à l'étuve 72h à 60°C pour obtenir le taux d'humidité. Dans le cas du radis fourrager les plants sont arrachés avec les tubercules.

3232-Mesure des cultures associées au maïs

Sur les placettes où a été mesuré le rendement du maïs : comptage (sauf le brachiaria qui ne sera pas compté) et coupe à 5 – 10 cm de hauteur (sauf le radis fourrager qui est arraché) de tous les plants de chaque culture associée puis pesage et prise d'un échantillon, repesé en sec après passage à l'étuve 72h à 60°C. Les restes de ces cultures associées sont remis à l'endroit du prélèvement.

33-Mesure des biomasses produites

La mesure des biomasses produites se fait en deux périodes c'est à dire à la récolte et à la fin de la saison froide.

-Mesure des biomasses résidus sur les parcelles systèmes maïs (S1, S2, S3)

La mesure de biomasse totale de maïs (résidus de récolte) se fait à la fin de la saison froide sur les trois systèmes (S1, S2, S3). Il en est de même pour la mesure de biomasse à la récolte. Cette mesure se fait sur les rotations du riz

Sur chaque parcelle, la mesure se fait comme suit :

*délimitation d'une aire de 4 m² pour le lieu de prélèvement ;

*récolte de tous les éléments de biomasse existants dans le carré (maïs, résidus de récoltes, diverses plantes de couverture) ; ces composantes seront gardées séparées lors de la mesure à récolte, par contre l'échantillon sera mélangé à la fin de la saison froide

*pesage de toutes les biomasses (Poids Frais biomasse), puis prélèvement et pesée d'un échantillon représentatif de cette biomasse (Poids Frais échantillon) ;

*passage de tous les échantillons à l'étuve pendant 72 heures à 60°C, puis pesée de ces échantillons secs (Poids Sec échantillons), afin de connaître le taux d'humidité ;

*remise des biomasses à l'endroit du prélèvement (échantillons et restes).

NB : A la fin de la saison froide, sur les grandes et moyennes parcelles S1 et S3, nous avons installé 2 placettes de 4 m² dans chaque parcelle. Pour les parcelles S2, nous avons décidé de prendre 1 seule placette de 4 m² car ce sont des petites parcelles.

Troisième partie :
Résultats et discussion

Troisième partie

Chapitre I : Résultats sur les comparaisons des systèmes à base de riz pluvial en rotation avec du maïs en association et dérobée

Le traitement statistique des données a été fait avec le logiciel SAS version 8.02 pour Windows (SAS Institute, Cary, NC, USA). Les analyses de variance ont été faites avec la procédure GLM (General Linear Model). Nous avons testé l'interaction entre les deux traitements (système et fertilisation) : en cas d'interaction les résultats sont présentés par des graphiques, les systèmes sont alors comparés par fertilisation, dans le cas contraire, les résultats sont présentés par un tableau par traitement.

11- Résultats sur les suivis au cours du cycle

111- Le statut azoté du riz

Le **tableau 17** présente les valeurs SPAD qui est un indicateur de la teneur en chlorophylle des feuilles, liée au statut azoté de la plante et mesuré sur les différents systèmes pour plusieurs dates de mesure, de **36 jours après semis (JAS)** jusqu'à la floraison. Une détermination de l'indice de nutrition azotée des plantes (mesuré à partir de la teneur en azote de plantes en fonction de leur biomasse produite) nous aurait apporté plus d'information sur le statut azoté de la culture durant la phase végétative, mais pour cela il aurait fallu faire des prélèvements et des analyses de la teneur en azote des plantes.

D'après les résultats entre les systèmes, nous avons observé sur les 3 premières dates de mesure, que les valeurs SPAD obtenues sur le système S1 sont plus faibles par rapport aux deux autres systèmes S1 et S2, indépendamment du mode de gestion du sol. Le riz sur le système S1 présente donc une plus faible teneur en azote en début du cycle comparativement aux deux autres systèmes. A 54 JAS, c'est le système S2 qui donne une meilleure valeur SPAD, par rapport à S1 et S3. A partir de 75 JAS et pratiquement jusqu'à floraison, c'est en **semis direct (SD)** que nous avons observé les plus fortes valeurs SPAD par rapport au labour, indépendamment de la rotation. Ce qui indique des teneurs en azote plus importantes dans la plante en SD qu'en labour. Ces valeurs peuvent indiquer une meilleure nutrition azotée des plantes, par contre elle représente la plus faible croissance des plantes en SD.

Selon les fertilisations, nous avons obtenu des valeurs SPAD plus élevées en **fertilisation organique plus minérale (FM)** en début de cycle, sur les 4 premières dates de

mesure, par rapport à la **fertilisation organique seule (Fu)**. Cela peut s'expliquer par l'apport de 300kg/ha de NPK (11 22 16, soit apport de 33 kg de N par hectare) au semis et l'apport d'urée(50 kg urée soit 23 kg de N par hectare) au 36 JAS que la plante utilise l'azote pour démarrer en début du cycle. Ces apports d'engrais sont donc bénéfiques à la culture du riz en début de cycle. Tandis que le deuxième apport d'urée (50 kg urée) sur le traitement FM à 84 JAS n'a plus d'influence sur la plante jusqu'à floraison 117 JAS.

Ainsi ,nous avons observé une chute des valeurs SPAD pour tous les traitements lors de la mesure à 96 JAS, date qui correspond au passage d'une forte dépression cyclonique accompagnée de vents forts et d'une chute des températures. Ces conditions météorologiques particulières ont pu avoir un effet sur la teneur en azote des plantes, ou directement sur la prise de la mesure.

Tableau 17 : Comparaison des valeurs SPAD obtenus sur les différents systèmes et sur les deux fertilisations, en jours après semis jusqu'à floraison

Systèmes Fertilisation	SPAD 36 JAS	SPAD 42 JAS	SPAD 49 JAS	SPAD 54 JAS	SPAD 61 JAS	SPAD 68 JAS	SPAD 75 JAS	SPAD 82 JAS
S1 LAB	35,4bc*	37,1 c	37,9 c	37,9 c	40,4 d	43,4 c	43,4 b	43,9 c
S1 SD	34,1 c	36,5 c	38,4 bc	38,7 bc	41,6 c	44,1 bc	45,0 a	45,9 b
S2 LAB	37,2 a	39,1 a	39,5 a	39,3 ab	42,0 bc	44,2 abc	43,8 b	44,0 c
S2 SD	36,2 ab	37,5 bc	39,2 ab	39,8 a	43,2 a	45,0 ab	45,0 a	46,6 ab
S3 LAB	37,0 ab	38,6 ab	38,7 abc	38,9 b	42,0 bc	43,9 c	43,1 b	44,3 c
S3 SD	36,1 ab	38,3 ab	39,1 ab	38,6 bc	42,7 ab	45,2 a	45,1 a	47,7 a
FM	37,2 a	38,9 a	39,7 a	39,8 a	42,2 a	44,5 a	44,2 a	45,2 a
Fu	34,8 b	36,7 b	37,9 b	38,0 b	41,8 a	44,1 a	44,2 a	45,6 a
Systèmes Fertilisation	SPAD 89 JAS	SPAD 96 JAS	SPAD 103 JAS	SPAD 110 JAS	SPAD 117 JAS			
S1 LAB	44,9 b	42,1 b	46,5 b	47,1 b	48,3 ab			
S1 SD	47,1 a	43,5 a	48,8 a	49,7 a	47,9 ab			
S2 LAB	45,0 b	42,1 b	46,2 b	47,3 b	46,8 b			
S2 SD	47,4 a	44,3 a	48,7 a	50,6 a	49,5 a			
S3 LAB	44,5 b	42,5 b	45,7 b	45,7 b	47,2 b			
S3 SD	47,4 a	43,8 a	49,1 a	50,4 a	48,7 ab			
FM	46,1 a	42,9 a	47,3 a	48,9 a	47,9 a			
Fu	46,0 a	43,1 a	47,7 a	48,1 a	48,2 a			

* Entre traitements les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

S1 : Riz // maïs + haricot + (avoine) , S2 : Riz // maïs + éléusine , S3 : Riz // maïs + soja + (radis)

Fu : fumure organique seule, FM : fumure minérale + fumure organique

Lab : labour, SD : semis direct

112- Le stade 50 % floraison

Ce stade représente la phase reproductive du riz qui peut influencer sur le rendement du riz à la récolte. Pendant notre suivi aux 50% de floraison, nous avons constaté une floraison plus avancée en FM par rapport en FU.

L'analyse statistique n'indique pas de différence significative entre les durées semis – stade 50 % floraison des différents traitements. Ces durées en jours après semis sont présentées sur la **figure 7**.

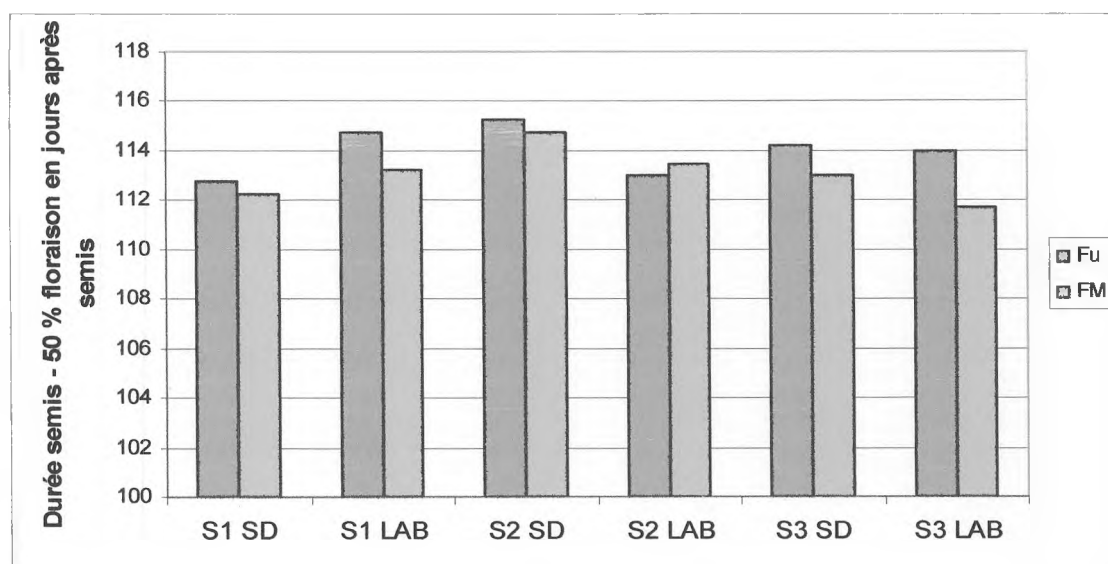


Figure 7 : Durée semis – stade 50% floraison en jours après semis pour chaque système et fertilisation

S1 : Riz // maïs + haricot + (avoine) , S2 : Riz // maïs + éléusine , S3 : Riz // maïs + soja + (radis)

Fu : fumure organique seule, FM : fumure minérale + fumure organique

Lab : labour, SD : semis direct

12- Résultats sur les rendements du riz et leurs composantes

D'après le **tableau 18**, nous avons (dernière colonne) des rendements assez faibles compris en moyenne entre 0,74 et 1,34 t.ha⁻¹. De façon générale, ces faibles rendements sont expliqués par de faibles valeurs du pourcentage de grains pleins qui varient entre 32,2 et 41,6 %. Les conditions météorologiques (vent, basses températures) subies lors de la période autour de la floraison doivent expliquer ces niveaux très faibles de pourcentage de grains pleins.

Malgré les faibles valeurs et les écarts, nous observons des différences significatives entre systèmes. Ce sont les systèmes S1 et S3 en labour qui présentent les meilleurs rendements tandis que S2 SD a le plus faible rendement. Cela peut être lié plus

particulièrement au nombre de panicules produites par m². Nous observons également des valeurs de panicules produites par m² plus fortes en systèmes S1 et S3 labour qu'en S2 SD.

Un plus fort nombre de panicules par m² indique des conditions de culture plus favorables pour ces systèmes au cours de la phase végétative.

Tableau 18 : Les rendements obtenus sur les différents systèmes des fertilisations et sur les deux fertilisations

Systèmes Fertilisation	Nbre plants /m ²	Nbre panicule / plant	Nbre panicule /m ²	Nbre épillets panicule	Nbre d'épillets / m ²	% grains pleins	Nbre grains pleins / m ²	PMG (g)	Rendement (t/ha)
S1 LAB	127,9 a*	1,93 ab	243,1 ab	60,4 a	14 915 a	35,1 ab	4 872 ab	24,2ab	1,29 a
S1 SD	119,4 abc	1,75 bc	206,5 c	52,6 ab	10 965 b	32,2 b	3 741 cd	25,3 ab	0,91 bc
S2 LAB	120,7 ab	1,82 ab	211,9 bc	45,0 b	9 598 bc	41,6 a	3 933 bcd	23,7 b	1,03 b
S2 SD	111,8 bc	1,40 c	152,7 d	51,4 ab	7 982 c	36,8 ab	2 979 d	24,9 ab	0,74 c
S3 LAB	122,8 ab	2,14 a	258,5 a	54,9 ab	14 198 a	40,4 a	5 428 a	24,2 ab	1,34 a
S3 SD	104,5 c	1,86 ab	183,3 cd	57,9 a	11 048 b	41,0 a	4 655 abc	26,0 a	1,06 b
FM	121,5 a	1,85 a	221,9 a	53,1 a	12 142 a	31,5 b	3 793 b	24,0 b	0,93 b
Fu	114,2 a	1,78 a	196,8 b	54,3 a	10 760 a	44,2 a	4 743 a	25,4 a	1,19 a

* Entre traitements les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

S1 : Riz // maïs + haricot + (avoine) , S2 : Riz // maïs + éleusine , S3 : Riz // maïs + soja + (radis)

Fu : fumure organique seule, FM : fumure minérale + fumure organique

Lab : labour, SD : semis direct

Concernant les biomasses des pailles produites par système présentés par le **Tableau 19**, c'est le système S1 labour et SD qui présente une valeur élevée de biomasse par rapport aux systèmes S2 et S3 SD les plus faibles. La biomasse élevée en S1 SD n'est pas forcément liée au rendement.

En terme de production de biomasse, le système S3 vient en second, puis le S2 en dernier ; des écarts sont aussi observés entre modes de gestion du sol, avec des biomasses grains et pailles supérieures en labour qu'en SD.

Entre fertilisations, plus de biomasse de paille a été produite en FM ; ceci est en relation avec le nombre de panicules par m², plus élevé en FM, les conditions de nutrition durant la phase végétative ayant été meilleures en FM qu'en Fu. Mais les rendements sont meilleurs en Fu, en raison principalement d'un taux de grains pleins plus élevé en Fu qu'en FM.

Tableau 19 : Biomasses des pailles obtenues sur les différents systèmes et sur les deux fertilisations

Systèmes Fertilisation	Biomasse des pailles en t/ha
S1 LAB	4,28 a*
S1 SD	3,65 ab
S2 LAB	3,13 bcd
S2 SD	2,41 e
S3 LAB	3,61 abc
S3 SD	2,78 de
FM	3,76 a
Fu	2,86 b

* Entre traitements les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

S1 : Riz // maïs + haricot + (avoine) , S2 : Riz // maïs + éléusine , S3 : Riz // maïs + soja + (radis)

Fu : fumure organique seule, FM : fumure minérale + fumure organique

Lab : labour, SD : semis direct

13- Biomasses produites sur les rotations du riz (systèmes maïs)

131- Rendement en maïs

D'après la **figure 8** les meilleurs rendements en maïs sont obtenus en fertilisation minérale (FM) par rapport à la fertilisation organique seule (Fu). Notons que le système S2 SD présente une faible différence de rendement entre les 2 fertilisations (non significative), c'est également le système présentant le meilleur rendement en Fu.

En FM, ce sont les systèmes en labour S2 et S1 qui présentent les meilleurs rendements variant entre 3,5 t/ha pour S2 et 3 t/ha pour S1.

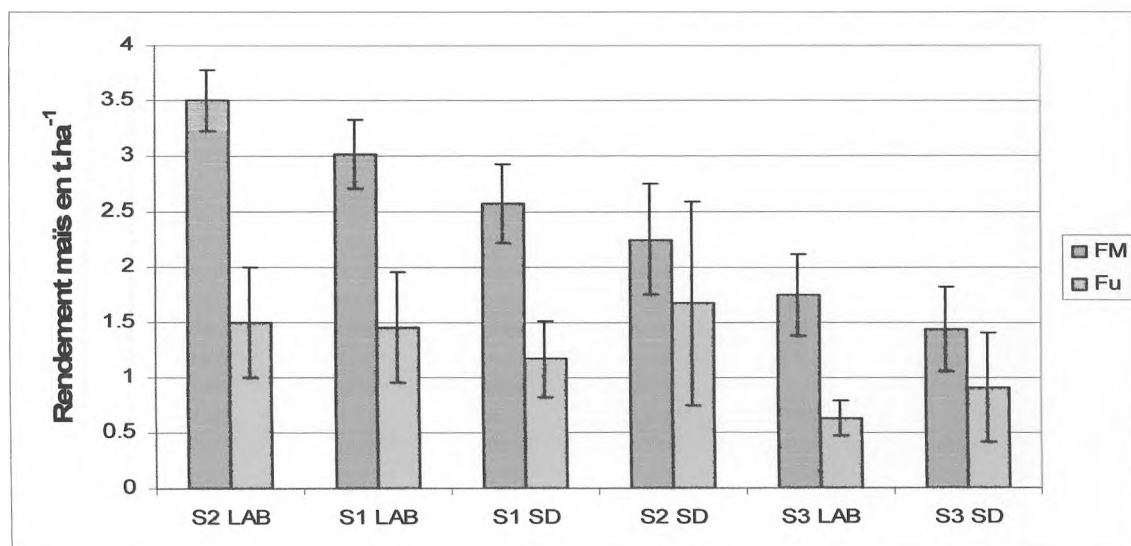


Figure 8 : Comparaison des rendements obtenus en maïs en t.ha⁻¹ par système et fertilisation

Les barres indiquent les écarts type

S1 : Riz // maïs + haricot + (avoine) , S2 : Riz // maïs + éleusine , S3 : Riz // maïs + soja + (radis)

Fu : fumure organique seule, FM : fumure minérale + fumure organique

Lab : labour, SD : semis direct

132- Biomasses à la récolte

Concernant les biomasses produites hors grains sur les systèmes, ce sont les biomasses des cannes de maïs et des plantes associées au maïs. (figures 9 et 10)

En FM c'est sur le système S2 LAB que nous retrouvons la plus forte biomasse de canne de maïs et également le plus de biomasse au total ($5,9 \text{ t.ha}^{-1}$, canne plus plantes associées, ici éleusine). C'était également le système qui avait le meilleur rendement en maïs ($3,5 \text{ t.ha}^{-1}$). C'est toutefois la biomasse de canne de maïs qui fait la différence; en S2 SD la production de biomasse de la plante associée est comparable à celle en labour, alors que celle de canne de maïs est beaucoup plus faible, entraînant la plus faible production globale de biomasse pour ce système.

Les systèmes S1 ont un niveau de production de biomasse totale comparable en labour et SD, mais avec plus de canne en labour et plus de biomasse de plantes associées en SD. Nous avons observé la même tendance sur le S3, mais avec une production plus importante en SD.

En Fu, il y a peu de différence entre systèmes pour la production de biomasse totale dans tous les systèmes compris entre 2 à 3 t/ha et notons que pour chaque système, une production de canne plus importante en labour et en SD pour les plantes associées sauf pour le S1 labour.

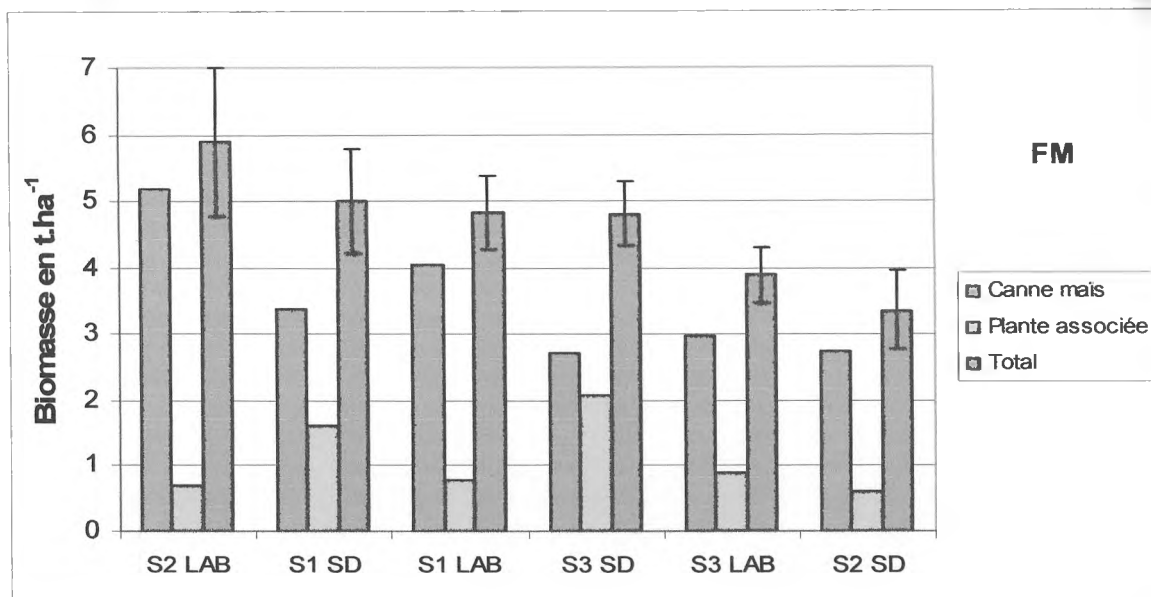


Figure 9 : Comparaison des biomasses en cannes de maïs, et des plantes associées au maïs en t.ha⁻¹ par système en Fertilisation organique et minérale (FM)

Les barres indiquent les écarts type.

S1 : Riz // maïs + haricot + (avoine) , S2 : Riz // maïs + éléusine , S3 : Riz // maïs + soja + (radis)

Fu : fumure organique seule, FM : fumure minérale + fumure organique

Lab : labour, SD : semis direct

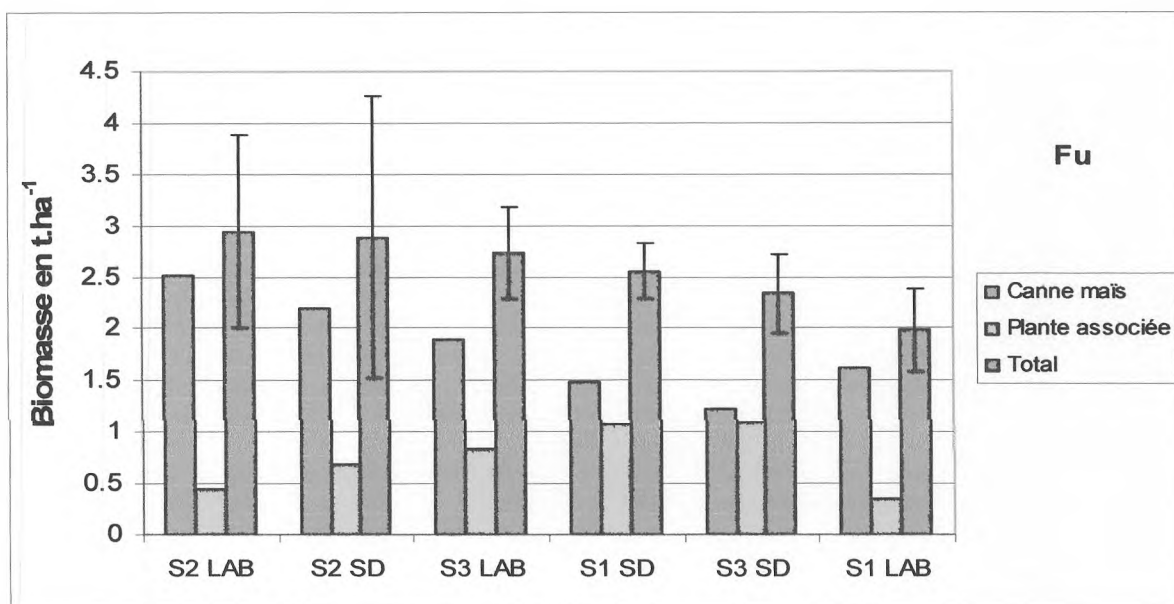


Figure 10 : Comparaison des biomasses en cannes de maïs, et des plantes associées au maïs en t.ha⁻¹ par système en fertilisation organique seule (Fu)

Les barres indiquent les écarts type.

S1 : Riz // maïs + haricot + (avoine) , S2 : Riz // maïs + éléusine , S3 : Riz // maïs + soja + (radis)

Fu : fumure organique seule, FM : fumure minérale + fumure organique

Lab : labour, SD : semis direct

133-Mesure des biomasses produites à la récolte et restantes à la fin de la saison froide sur les parcelles en SD

La mesure à la fin de la saison froide consiste à connaître la décomposition de la biomasse et sa minéralisation pour la culture suivante.

Pour les systèmes en SD, la mesure des biomasses restantes sur les parcelles n'a pas de différences significatives, ce qui veut dire qu'il n'y a pas de décomposition des biomasses entre la récolte et la fin saison froide (mois de juin à septembre) (**figure 11**)

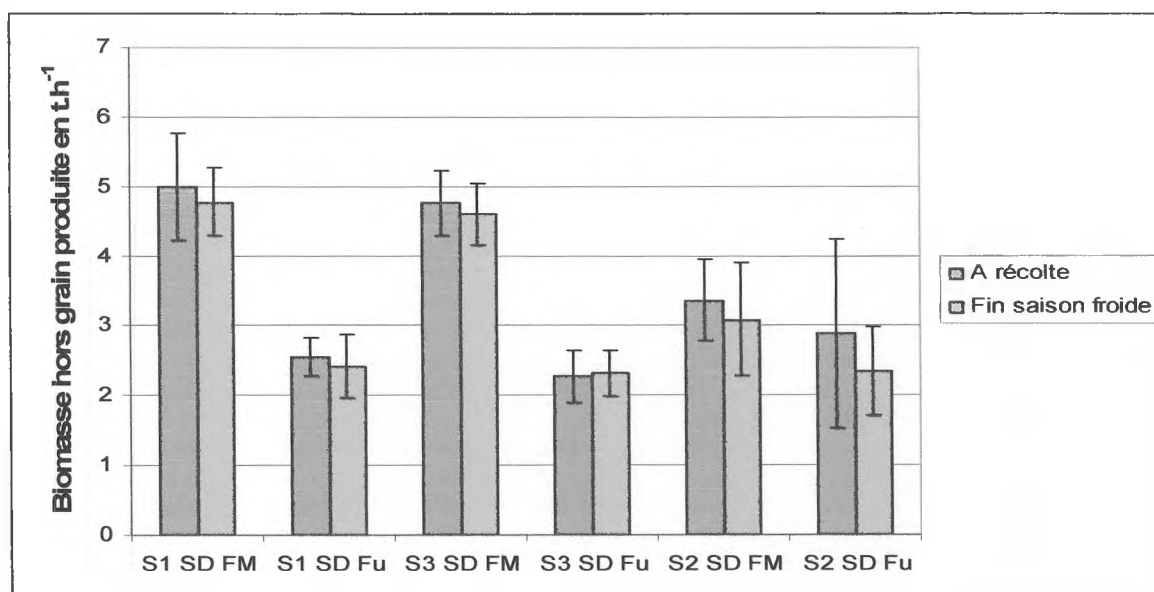


Figure 11 : Comparaison des biomasses produites à la récolte et restantes à la fin de la saison froide sur les parcelles en SD.

Les barres indiquent les écarts type

S1 : Riz // maïs + haricot + (avoine) , S2 : Riz // maïs + éleusine , S3 : Riz // maïs + soja + (radis)

Fu : fumure organique seule, FM : fumure minérale + fumure organique

Lab : labour, SD : semis direct

Chapitre II : Résultats sur les cultures associées en riz et en maïs

21- Associations avec le riz

211- Suivis au cours du cycle

2111- Suivi de la hauteur

La hauteur du riz a été suivie afin d'estimer sa croissance au cours de la phase végétative. On note un effet significatif de la fertilisation sur la hauteur et nous observons systématiquement des valeurs plus fortes en fertilisation organique et minérale (FM) par rapport à la fertilisation organique seule (Fu) (**tableau 20**).

Entre associations, nous avons remarqué une croissance positive du riz au cours de la phase végétative dans tous les systèmes du 49 JAS jusqu'à la floraison. Les valeurs de hauteur en fin de période végétative pour le riz simple ligne sont comparables à celles du riz associé avec la vesce et le cajanus. Et pour les riz associés avec l'éleusine, le radis fourrager (2 dates) et le stylosanthes, les hauteurs sont plus élevées.

Tableau 20 : Evolution des hauteurs du riz en cm jusqu'à floraison (date de mesure en jours après semis)

Associations Fertilisation	Hauteur 49 JAS	Hauteur 65 JAS	Hauteur 86 JAS	Hauteur r 99 JAS	Hauteur 113 JAS	Hauteur 121 JAS
<i>Stylosanthes scabra</i>	36,3 a*	53,6 abc	68,6 abc	74,6 abc	81,7 bcd	83,0 abc
<i>Cajanus</i>	35,3 ab	52,7 abc	67,5 abc	72,5 bc	78,8 d	79,7 cd
Eleusine	36,9 a	55,5 a	70,1 a	76,9 a	85,5 a	85,1 a
Radis fourrager 1 mois	36,6 a	55,0 ab	70,2 a	74,5 abc	85,4 ab	84,0 ab
Radis fourrager 2 mois	37,1 a	53,6 abc	69,1 ab	75,7 ab	83,3 abc	84,0 ab
Vesce 1 mois	34,3 b	51,0 c	65,9 bc	73,1 bc	79,1 d	80,6 bcd
Vesce 2 mois	35,9 ab	52,5 bc	65,7 c	71,5 c	78,5 d	78,8 d
Riz simple ligne	36,6 a	52,4 abc	68,2 abc	71,4 c	80,0 cd	79,7 cd
FM	40,2 a	57,8 a	73,5 a	79,0 a	85,8 a	86,5 a
Fu	32,1 b	48,8 b	62,3 b	68,5 b	77,3 b	77,2 b

* Entre traitements les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

Fu : fumure organique seule, FM : fumure minérale + fumure organique

2112- Suivi du statut azoté

Entre les fertilisations (cf. **tableau 21**), on note des valeurs SPAD plus élevées en FM en début de cycle, sur les 3 premières dates de mesure, par rapport au Fu. Nous avons observé que la nutrition azotée de test riz semble identique dans les systèmes du labour et SI (résultats précédents).

Entre associations, les meilleures valeurs SPAD sont observées en première date de mesure surtout sur les associations éleusine et radis ce que nous pouvons expliquer par le pouvoir fixateur d'azote pour l'éleusine et par le recyclage des éléments nutritifs en profondeur contenu dans le sol pour le radis. Les différences sont par la suite peu ou pas significatives. En fin de période végétative, les associations avec le stylosanthes et le cajanus (légumineuses toutes deux) présentent les plus fortes valeurs de SPAD, qui peuvent être en relation avec le bon développement de ces nodosités fixatrices d'azote et le riz simple ligne les plus faibles.

Tableau 21 : Comparaison des valeurs SPAD sur les différentes associations et sur les deux fertilisations, en jours après semis jusqu'à floraison

Associations Fertilisation	SPAD 50 JAS	SPAD 57 JAS	SPAD 64 JAS	SPAD 71 JAS	SPAD 78 JAS	SPAD 85 JAS	SPAD 92 JAS	SPAD 99 JAS
<i>Stylosanthes scabra</i>	37,8 bc*	40,7 a	43,3 a	42,5 ab	44,4 ab	45,0 ab	45,3 a	47,7 a
<i>Cajanus</i>	36,7 cd	40,6 a	43,2 a	42,0 ab	43,9 abc	44,4 b	45,7 a	47,5 a
Eleusine	38,7 ab	40,6 a	43,3 a	42,3 ab	43,4 c	45,6 a	45,7 a	46,6 a
Radis four. 1 mois	38,0 abc	40,0 a	43,1 a	41,9 ab	43,8 abc	44,9 ab	44,7 a	46,8 a
Radis four. 2 mois	39,5 a	40,6 a	43,7 a	42,7 a	44,3 ab	45,2 ab	44,7 a	47,9 a
Vesce 1 mois	36,5 cd	40,3 a	42,9 a	42,2 ab	44,6 a	44,8 ab	44,8 a	47,3 a
Vesce 2 mois	36,1 d	40,3 a	43,3 a	42,3 ab	43,7 bc	44,7 b	45,1 a	46,4 a
Riz simple ligne	36,9 cd	40,0 a	43,1 a	41,7 b	43,4 c	43,5 c	44,6 a	46,3 a
FM	38,5 a	41,3 a	43,7 a	42,3 a	44,0 a	44,9 a	45,1 a	47,1 a
Fu	36,6 b	39,5 b	42,8 b	42,1 a	43,8 a	44,6 a	45,0 a	47,0 a
Associations Fertilisation	SPAD 106JAS	SPAD 113 JAS						
<i>Stylosanthes scabra</i>	49,1 a	49,6 a						
<i>Cajanus</i>	47,6 ab	49,1 a						
Eleusine	48,0 ab	48,4 ab						
Radis four. 1 mois	47,6 ab	47,7 ab						
Radis four. 2 mois	48,3 ab	47,9 ab						
Vesce 1 mois	47,5 ab	47,7 ab						
Vesce 2 mois	48,0 ab	48,7 ab						
Riz simple ligne	47,3 b	46,8 b						
FM	48,2 a	48,9 a						
Fu	47,6 a	47,6 b						

* Entre traitements les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

Fu : fumure organique seule, FM : fumure minérale + fumure organique

212- Mesures à la récolte

2121- Rendement et composantes du riz

D'après le **tableau 22**, les rendements du riz varient en moyenne entre 0,28 et 0,93 t.ha⁻¹, ce que nous pouvons expliquer par de très faibles valeurs du pourcentage de grains pleins qui varient entre 13,4 et 37,5 %.

Entre fertilisations, on note un effet de la fertilisation minérale sur le nombre de panicules par plant, qui induit un nombre de panicules par m² et nombre d'épillets par m² plus important en FM. Par contre le pourcentage de grains pleins est nettement supérieur en Fu, et plus de grains pleins par m² sont produits en Fu comparativement au FM. C'est cette composante qui aura le plus de poids sur le rendement, et un rendement supérieur en Fu est obtenu (0,85 t.ha⁻¹ en Fu contre 0,47 t.ha⁻¹ en FM).

Entre associations, si nous détaillons les composantes, le nombre de plants par m² est le plus élevé pour le riz en simple ligne soit 114,7 et réduit jusqu'à 84,9 par m² aux associations ce qui est lié à la densité de semis. 3 systèmes se démarquent pour le nombre de panicules par m² : les associations avec stylosanthes et éleusine, et le riz simple ligne. Le riz associé à l'éleusine présente le nombre d'épillets produits par panicule le plus important, c'est sur cette association que l'on obtient le plus grand nombre d'épillets formés par m² (17 418). Cette association avec l'éleusine semble très favorable au riz jusqu'au stade de la floraison. On note par la suite des valeurs de pourcentage de grains pleins très faibles, et des écarts importants entre les associations. Ce sont les associations vesce semis 1 mois après le riz et le riz simple ligne qui présentent les pourcentages de grains pleins les plus élevés, et l'association radis 1 mois après le semis du riz le plus faible. Nous pouvons préciser que dans le cas de cette dernière association, le radis a complètement envahi le riz, et a dû perturber la fécondation et le remplissage des grains. En relation avec les pourcentages de grains pleins les plus élevés ce sont l'association vesce semis 1 mois après le riz et le riz simple ligne qui présentent les meilleurs rendements.

Tableau 22 : Rendements obtenus sur les différentes associations et sur les deux fertilisations

Associations Fertilisation	Nbre plants / m ²	Nbre panicules / plt	Nbre panicules / m ²	Nbre épis/panicule	Nbre d'épillets / m ²	% grains pleins	Nbre grains pleins / m ²	PMG (g)	Rendement (t/ha)
<i>Stylosanthes</i>	99.1b*	2.54 a	252,1 a	52.7 b	13 126ab	23.1 b	2 920 bc	20,9 abc	0.62 cd
<i>Cajanus</i>	96.0 b	2.40 a	228,9 ab	52.4 b	12 168b	27.8 b	3 249 abc	21,3 ab	0,74abc
Eleusine	96.8b	2.57 a	251,0 a	68,1 a	17 418a	21.6 bc	2 966 bc	21,6 ab	0.63 cd
Radis 1 mois	84,9b	2.23 a	193,6 b	53.4 b	10 726b	13.4 c	1 214 d	19.4 c	0.28 e
Radis 2 mois	99.3b	2.27 a	225.7 ab	58,6 ab	13 306ab	21.8 bc	2 346 cd	20,3 bc	0.50 d
Vesce 1 mois	87.9b	2.48 a	216.5 ab	57,2 ab	12 752b	37,5 a	4 218 a	20,9 abc	0,93 a
Vesce 2 mois	97.6b	2.39 a	234.7 ab	52.0 b	12 269b	27.9 b	3 206 abc	22,2 a	0.72 bc
Riz simple ligne	114,7a	2.22 a	253,8 a	52.6 b	13 334ab	29,4 ab	3 765 ab	22,3 a	0,90 ab
FM	99.6a	2,49 a	248,9 a	56.8 a	14 413a	16,5 b	2 193 b	20,6 b	0,47 b
Fu	94.4a	2,29 b	215.1 b	55,0 a	11 862 b	34,1 a	3 777 a	21,7 a	0,85 a

* Entre traitements les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

Fu : fumure organique seule, FM : fumure minérale + fumure organique

2122- Biomasses pailles et associations

Les biomasses de paille de riz les plus élevées sont observées en FM par rapport au Fu ; entre les associations, la biomasse la plus élevée est obtenue avec l'association éléusine, la plus faible avec l'association vesce semis 1 mois après le riz (cf. tableau 23).

Tableau 23 : Biomasses des pailles de riz obtenues en association

Associations Fertilisation	Biomasse des pailles en t/ha
<i>Stylosanthes scabra</i>	3,60 ab *
<i>Cajanus</i>	3,15 ab
Eleusine	3,76 a
Radis four. 1 mois	3,23 ab
Radis four. 2 mois	3,66 a
Vesce 1 mois	2,66 b
Vesce 2 mois	2,96 ab
Riz simple ligne	3,26 ab
FM	3,89 a
Fu	2,68 b

* Entre traitements les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

Fu : fumure organique seule, FM : fumure minérale + fumure organique

La **figure 12** montre les valeurs des biomasses produites par les plantes associées au riz. La plus forte production de biomasse en FM et en Fu est celle du radis fourrager semé 1 mois après le riz, toutefois nous avons vu que le rendement du riz de cette association était très faible en raison de l'envahissement du riz par le radis.

L'association avec cajanus apparaît être la plus équilibrée en terme de rendement en riz ($0,74 \text{ t.ha}^{-1}$) et de production de biomasse ($1,26 \text{ t.ha}^{-1}$) dans les conditions de cette campagne. On note aussi une production qui se démarque pour l'éleusine en Fu.

Les coupes de biomasse n'ont pas été réalisées sur le stylosanthes, celui-ci étant laissé une année de plus sur les parcelles.

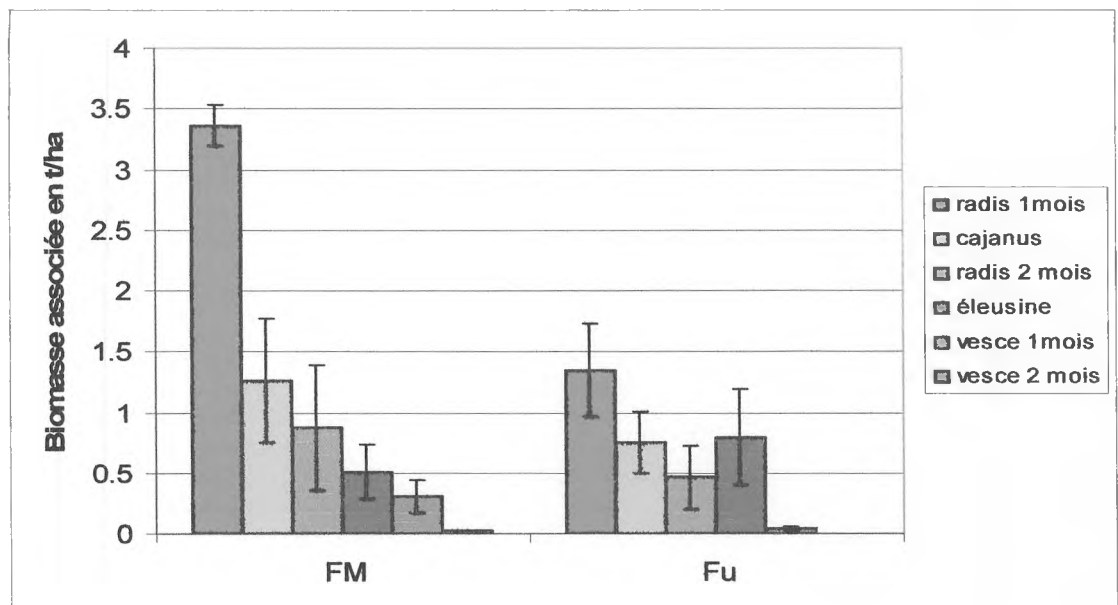


Figure 12: Comparaison des biomasses des plantes associées au riz en t.ha^{-1} par fertilisation

Les barres indiquent les écarts type

213- Mesures des biomasses produites à la récolte et restantes à la fin de la saison froide

Une mesure des biomasses restant sur la parcelle a été réalisée à la fin de la saison froide, pour les plantes associées qui étaient encore sur pieds. La biomasse obtenue à la récolte est plus élevée qu'en fin de la saison pour l'éleusine sur pied mais séchée. En ce qui concerne le *cajanus* qui est encore vert, en FM, il continue de pousser durant la saison froide et c'est la raison pour laquelle sa biomasse en fin de saison est meilleure par rapport à la récolte. Les biomasses pour ces 2 associations sont présentées à la **figure 13**.

Remarque : Le *stylosanthes* était également sur certaines parcelles encore vert, mais l'estimation de la biomasse produite se fera à la fin de la deuxième année de culture

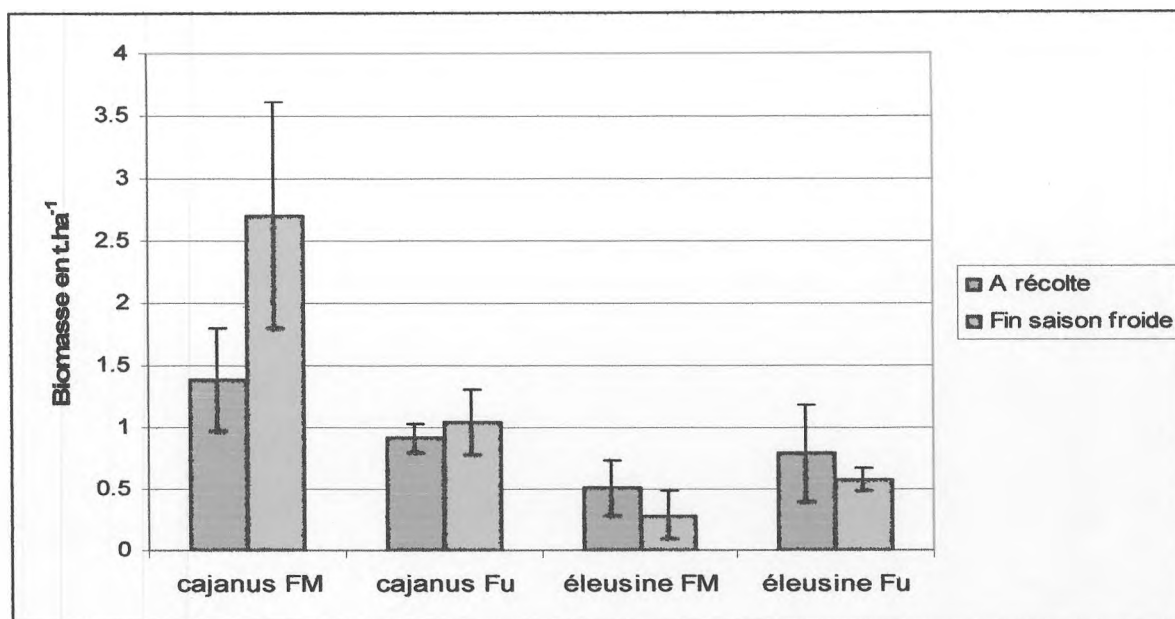


Figure 13 : Comparaison des biomasses produites à la récolte et restantes à la fin de la saison froide sur les parcelles de cajanus et d'éleusine.

Les barres indiquent les écarts type.

22- Associations avec le maïs

221- Suivis au cours du cycle : la hauteur

L'analyse statistique indiquant des interactions entre les traitements association et fertilisation, les résultats des suivis des hauteurs sont présentés pour chaque fertilisation aux figures 14 et 15.

L'effet fertilisation est significatif pour toutes les dates. Par contre pour une fertilisation, les écarts de hauteur du maïs entre associations sont faibles. Seule, en Fu, l'association maïs avec le radis et la vesce se démarque avec des valeurs de hauteur plus élevées que les autres associations. En FM, à la floraison, l'association avec le lupin en semis simultané présente des valeurs supérieures aux autres associations.

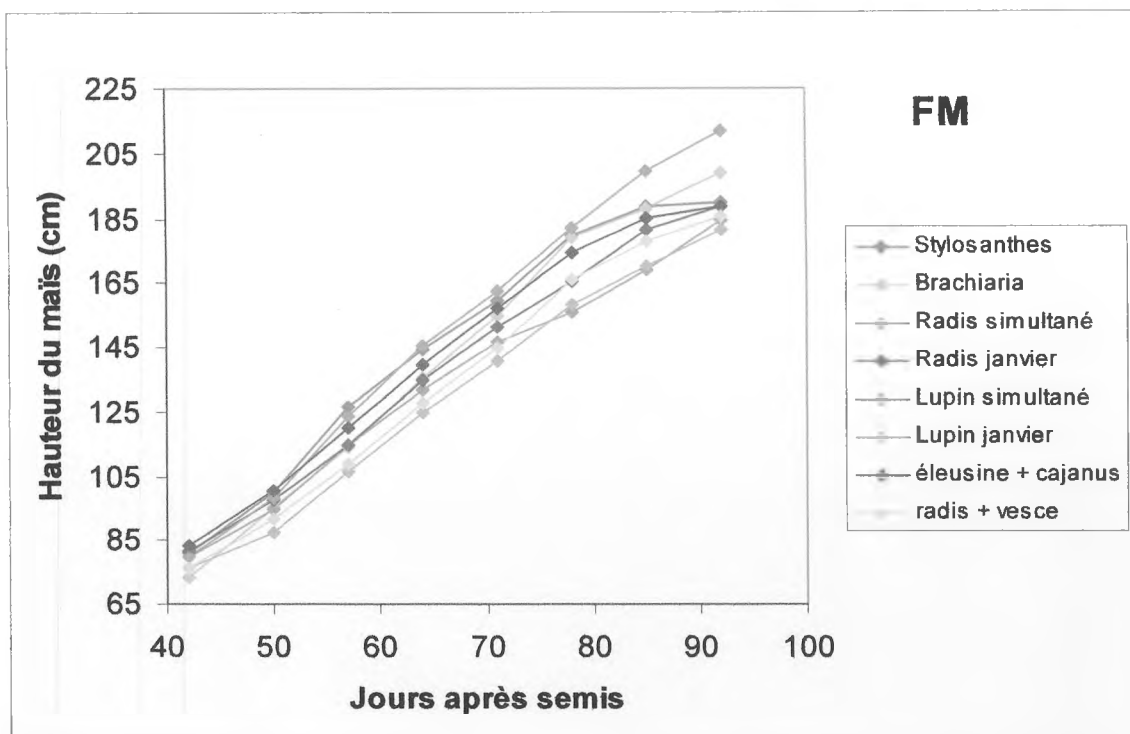


Figure 14 : Evolution de la hauteur du maïs en cm pour chaque association, sur la fertilisation minérale (FM)

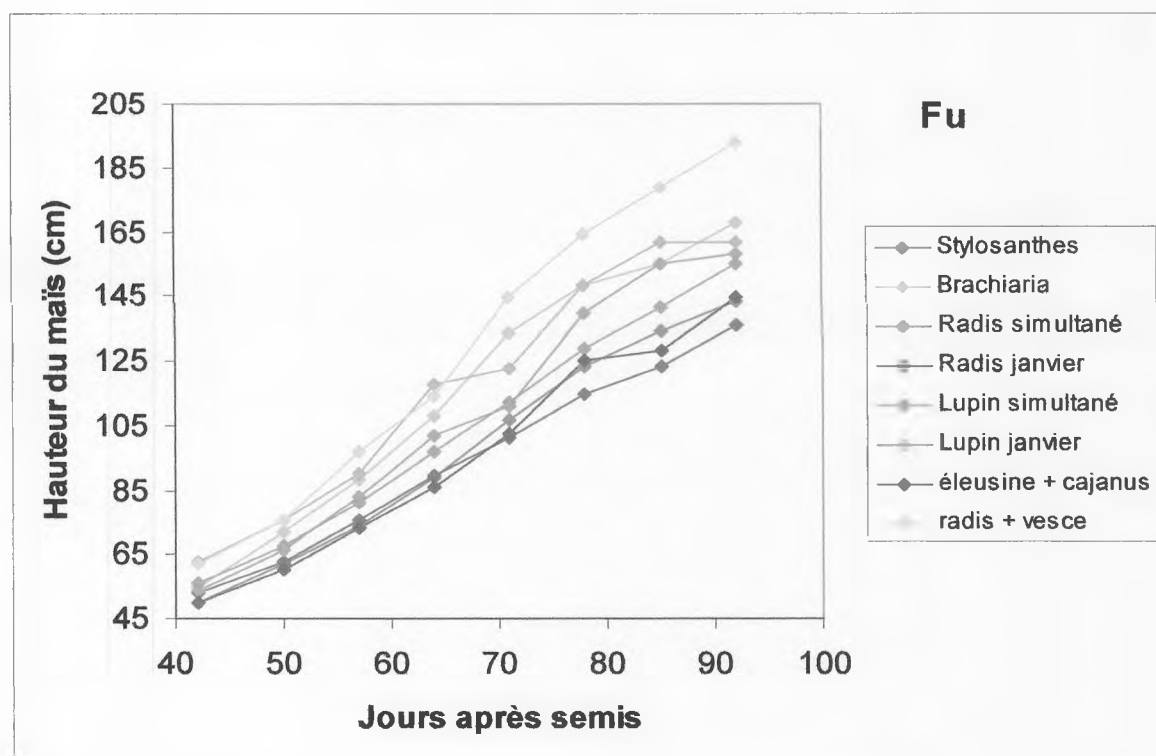


Figure 15 : Evolution de la hauteur du maïs en cm pour chaque association, sur la fertilisation

222- Mesures à la récolte

2221- Rendements en maïs

Le meilleur rendement en maïs est observé avec l'association lupin semis en simultané, et le plus faible avec l'association *Brachiaria* (cf. **tableau 24**). Nous avons constaté également un meilleur rendement en FM par rapport au Fu.

Tableau 24 : Rendements maïs obtenus sur les différentes associations de culture

Associations Fertilisation	Rendement en t.ha ⁻¹
<i>Stylosanthes scabra</i>	1,83 ab*
<i>Brachiaria</i>	1,00 c
Radis four. Simult.	1,25 bc
Radis four. janvier	1,63 abc
Lupin simultané	2,08 a
Lupin janvier	1,91 ab
Eleusine + cajanus	1,71 ab
Radis + vesce	1,76 ab
FM	1,87 a
Fu	1,43 b

Entre traitements les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

2222- Biomasses cannes et cultures associées

Comme pour le riz, la production de biomasse de la plante associée la plus forte est liée avec le rendement le plus faible, cas du *Brachiaria* avec le maïs (**tableau 25**). Les associations qui apparaissent les plus intéressantes sont celles avec l'éleusine + cajanus et radis + vesce en terme de rendement en maïs et de biomasse restant sur la parcelle.

Tableau 25 : Biomasse des cannes et plantes associées obtenues sur les différentes associations et sur les deux fertilisations .

Associations Fertilisation	Biomasse canne en t.ha ⁻¹	Biomasse associée en t.ha ⁻¹	Biomasse totale en t.ha ⁻¹
<i>Stylosanthes scabra</i>	2,46 a*	Non mesuré	
<i>Brachiaria</i>	1,52 bc	3,28 a	4,80 a
Radis four. Simult.	1,38 c	2,02 b	3,40 b
Radis four. janvier	1,60 abc	1,86 bc	3,46 ab
Lupin simultané	2,03 abc	0,89 cd	2,93 b
Lupin janvier	2,35 ab	0,71 d	3,06 b
Eleusine + cajanus	2,18 abc	1,95 b	4,13 ab
Radis + vesce	2,05 abc	1,75 bc	3,80 ab
FM	2,07 a	1,94 a	3,96 a
Fu	1,82 a	1,62 a	3,35 a

Entre traitements les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

CONCLUSION

CONCLUSION

Dans le cadre de ce travail effectué sur le dispositif de l'URP SCRiD situé à Andranomanelatra, les observations effectuées et les résultats obtenus nous ont permis de faire une distinction entre les systèmes de culture ayant les meilleurs résultats. Les conclusions suivantes ont pu être tirées.

Premièrement, sur les systèmes de culture à base de riz pluvial en rotation avec du maïs :

Sur les suivis de culture au cours du cycle ; la valeur SPAD mesurée en première phase (36 JAS-49JAS) de développement du riz donne un bon statut azoté de la plante (tableau 17). Cette mesure, non destructive, ne prend pas en compte l'état de croissance de la culture. Les systèmes ayant eu les meilleurs rendements ne sont pas ceux qui ont eu les plus fortes valeurs SPAD et inversement.

***Sur les rendements du riz et leurs composantes** : durant cette campagne, le passage de conditions météorologiques défavorables (vent, basses températures) lors de la période autour de la floraison a eu pour conséquence de très faibles rendements (entre 0,74 et 1,34 t/ha) dus à de faibles pourcentages de grains pleins. Nous avons observé que ce sont les systèmes S1 et S2 en labour qui donnent les meilleurs rendements, tandis que le système S2 SD présente le plus faible rendement. Selon l'analyse des composantes du rendement, c'est le nombre des grains pleins par m^2 qui est la composante la plus liée au rendement.

***En terme de production de biomasse des pailles produites par système** : ce sont les systèmes S1 en labour et SD qui présentent les meilleures valeurs et les systèmes S2 et S3 SD qui donnent les plus faibles valeurs de biomasse. Les biomasses des pailles du riz ne sont pas en relation avec les composantes du rendement en grain, elles sont à relier avec les conditions subies durant la phase végétative.

***Concernant les biomasses sur les parcelles en rotation du riz** : les meilleurs rendements en grain du maïs sont obtenus en fertilisation minérale par rapport à la fertilisation organique. C'est le S2 labour qui présente la plus forte valeur de rendement atteignant 3,5 t/ha. Pour les biomasses produites en période de récolte (hors grains) sur les systèmes en FM, c'est le système S2 labour qui présente la plus forte biomasse de canne de maïs et également le plus de biomasse au total (5,9 t/ha, cannes plus plantes associées). Dans le cas du maïs les 2 productions sont liées : les meilleurs rendements en grain du maïs sont observés sur les biomasses de canne de maïs ayant les plus fortes valeurs. Pour chaque système en Fu, nous observons une production de canne plus importante en labour et de biomasse des plantes associées plus importante en SD.

Deuxièmement, concernant les cultures associées en riz et en maïs

***Sur les suivis au cours du cycle** : des hauteurs du riz plus élevées se démarquent sur les associations avec l'éleusine, le radis fourrager 2 dates et le *stylosanthes*. La valeurs SPAD en culture associé est le même comportement qu'en riz étudié sur le système Quand au maïs, l'effet fertilisation est significatif pour toutes les dates. Ceci indique que la croissance du maïs est fortement liée aux apports d'engrais.

***Concernant le rendement sur les cultures associées** : pour le riz, les rendements s'échelonnent en moyenne entre 0,28 et 0,93 t/ha. Le mélange de vesce semée 1 mois après le semis du riz présente le meilleur rendement (0,93 t/ha) tandis que le plus faible est observé sur l'association radis 1 mois après semis du riz (0,28t/ha). Ce rendement est en corrélation avec le pourcentage de grain plein et surtout avec les conditions écologiques. D'après les résultats obtenus, l'association avec l'éleusine est très intéressante car elle semble très favorable au riz tandis que avec le radis le rendement est faible, du fait de l'envahissement de ce type de culture qui perturbe la fécondation et le remplissage des grains. Quant au maïs, le meilleur rendement est observé avec l'association lupin semis en simultané, et le plus faible avec le *Brachiaria*. Ceci peut être dû à la concurrence trophique car ces cultures sont toutes deux des graminées, et de plus le *Bracharia* est très envahissant.

***En terme de production de biomasse des pailles produites en association** : La biomasse de paille de riz la plus forte est obtenue avec l'association éleusine, atteignant 3,76 t/ha tandis que la plus faible est observée avec l'association vesce semis 1 mois après le riz.

***Concernant les biomasses produites en association** : Nous avons vu que la production de biomasse de la plante associée la plus forte est liée avec le rendement le plus faible (cas du radis avec le riz et cas du *brachiaria* avec le maïs). Concernant le maïs, les associations qui apparaissent les plus intéressantes sont celles avec l'éleusine + cajanus et radis + vesce en terme de rendement en maïs et de biomasse restant sur la parcelle. Ce résultat est comparable à celui de l'année précédente obtenu par Alice Rahantanirina,2007.

L'aboutissement des résultats de recherche devrait être d'aider les paysans en terme d'intégration de l'agriculture et d'élevage afin d'augmenter la production.

SUGGESTIONS

Ces systèmes peuvent être intéressants, en choisissant de donner 2 fonctions à la parcelle, d'un côté pour assurer chaque année un fort rendement et de l'autre côté pour permettre une forte production de biomasse (de rendre possible une utilisation partielle de la biomasse produite). Selon les méthodes et les techniques de culture, nous suggérons :

- 1) soit la possibilité d'avancer la période de semis pour toutes les cultures de cycle relativement long (supérieur à 3-4 mois comme le riz et le maïs) et de respecter le calendrier cultural avec des soins culturaux suivant les conditions pédologiques, (rotation, sarclage) d'une part afin de permettre une bonne production de biomasse et la mise en place des plantes de couvertures en dérobé pour qu'elles puissent s'installer correctement avant la saison sèche et, d'autre part afin d'éviter la compétition entre les cultures.

Il est possible et recommandé de semer en sec sous un paillage, avant même les premières pluies si celles-ci se font attendre. Grâce au paillage qui va absorber les premières pluies si elles sont faible, les risques de germination sans réserve en eau minimale dans le sol sont limités. Il faudra en effet une réserve de pluie pour déclencher la germination.

- 2) La réalisation de coupes des couvertures les plus envahissantes (cas du radis première date et du bracharia), qui en plus de limiter la concurrence avec la culture principale, permettrait d'exporter de la biomasse pour l'élevage. Les périodes et quantités de coupes devront encore être testées.

BIBLIOGRAPHIE

- 1-André ANGLEDETTE - *Le riz : techniques agricoles et production tropicale* - Collection COSTE - Paris, 1966 – 930 pages.
- 2-AFD - *Le semis Direct sur Couverture Végétale permanente : une solution alternative aux systèmes de culture dans les pays du Sud*, Novembre 2006- 64 pages.
- 3- Fanomezantsoa ANDRIAMAMPIRAY - *PCD (Commune Rurale Andranomanelatra)*.- Antsirabe, Mars 2003. – 39 pages.
- 4-Cécile GUYOU - *Analyse de la filière riz pluvial dans la région des Hauts Plateaux de Madagascar*.- Edition :INAP, GIEDES.- Septembre 2003
- 5- Camille CEDRA - *Les matériels de fertilisation et traitement des cultures : technologies de l'agriculture*.- Collection : FORMAGRI, volume 4/5 1^{ère} Edition.-1997 - 343 pages.
- 6- Guy CHARRON.- *Les productions laitières : les bases de la production*.- volume 1.- Paris, 1986.- 341 pages.
- 7- CIRAD-GRET .- *Mémento de l'agronome*.- éditions : Ministère des Affaires Etrangères.- France, Décembre 2002 - 1691 pages.
- 8-Cours d'apprentissage agricole.- *Les productions de l'agriculture : pâturage et cultures fourragères*.- Formation : Inades.- Côte d'Ivoire, 1982 - 60 pages.
- 9-Diary valy.- *Culture vivrières : agenda agricole*.- Madagascar, 1996 - 53 pages.
- 10-Encyclopédie Microsoft Encarta, 2005.
- 11-FIFAMANOR, Tafa et al.-*Conduite des systèmes de culture sur couverts végétaux et affouragement des vaches laitières : guide pour les Hautes Terres de Madagascar* - Antsirabe, Mai 2008-90 pages.
- 12-GRET.-*Manuel d'Agronomie tropicale*.- France, 1991- 489 pages
- 13- Panda HARI K- *Systèmes améliorés de riziculture*.- Edition : FAO - Rome, 1997 -121 pages.
- 14- Nahal IBRAHIM- *Principes d'agriculture durable* - édition ESTEM .-1997 - 121 pages.
- 15- Michel JACQUOT, et al. -*Le riz pluvial*.- Edition : Maisonneuve et Larose - Paris, 1983.- 134 pages
- 16-J-P. DOBELMAN.- *Riziculture pratique: riz pluvial*.- Edition : Techniques vivantes Presses Universitaires de France.- Paris, 1976.-123 pages
- 17-L. SEGUY, RAKOTONDRAMANANA et al.- *Le semis Direct sur Couverture Végétale Permanente : Enjeu et potentiel pour une agriculture durable à Madagascar*. CIRAD/GSDM.

- 18- Le Comte & Naudin - *Harmonisation des mesures de biomasse* -Madagascar, Antsirabe.- 2008
- 19-MAEP.-*Recensement de l'agriculture* : campagne 2004-2005 Madagascar, Août 2006.
- 20-MAEP.- *Fiche technique : Riz pluvial* .-Madagascar,2008
- 21-MAEP.-*Politique de développement Rizicole* : Horizon 2010 Madagascar, Août 2004-22 pages.
- 22-Marie-Hélène DABAT et al.- *La riziculture pluviale dans les systèmes d'exploitation, Hautes Terres et Moyen Ouest à Madagascar*- Décembre 2005.
- 23- Marie-Hélène DABAT et al.- *Analyse de la filière riz à Madagascar* .-France,2004.- 14pages
- 24-Michel VILAIN.-*La production végétale* : Les composantes de la production, Volume 1- 3^{ème} édition : Agriculture d'aujourd'hui, Sciences Techniques Application. Londres, Paris, New York ,1997 - 449 pages.
- 25-Didier MOREAU- *L'analyse de l'élaboration du rendement du riz* : Les outils de diagnostic.- Editions GRET.- Paris, 198-125 pages.
- 26-Olivier HUSSON et RAKOTONDRAMANANA - *Mise au point, évaluation et diffusion des techniques agro-écologiques à Madagascar*. CIDAD,GSDM.- Collection EDITECH, Madagascar, Octobre 2006 - 67 pages.
- 27- Olivier HUSSON et al .- *Manuel pratique du semis direct à Madagascar* : Comment proposer aux agriculteurs un choix de systèmes SCV adaptés à leurs besoins et contraintes- Volume II chapitre 1- Madagascar, Mai 2008, 12 pages.
- 28- Olivier HUSSON et al .- *Manuel pratique du semis direct à Madagascar* : Climat de moyenne altitude (inférieure à 1000m) avec longue saison sèche (inférieure à 6 mois) Lac Alaotra et Moyen Ouest .- Volume II chapitre 2.- Madagascar, Mai 2008, 24 pages.
- 29-Patrick VALLOIS.- *Discours de la méthode du riz : Rapport sur la nouvelle riziculture malgache (SRI)* -2^{ème} édition- Antananarivo, Février 1996.-140 pages
- 30-Paul HUBERT- Recueil de fiches techniques d'agriculture spéciale.- tome 1.-Madagascar, 1970.-379 pages.
- 31-R RIVIERE.- *Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical : Manuel et précis d'élevage*.- 2^{ème} édition.- Paris, 1979.- 527 pages.
- 32-Ando Mariot RADANIELSON - *Etude de la valorisation et de la rentabilité de la fertilisation azotée du riz dans différents types de rotations culturales pratiquées dans la région du Vakinankaratra* .-Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur ESSA.- Antananarivo, 2004.-117 pages.

- 33- Julie RAHARIMALALA- *Lait et Politique laitière à Madagascar.*- Antananarivo, 2002
- 34-Marie Alice RAHANTANIRINA- *Evaluation des systèmes de culture du riz pluvial : comparaison des fertilisations, des modes de gestion du sol et des précédents culturaux* - Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en agronomie ASJA- Antsirabe, 2007 - 95 pages.
- 35-Mamonjiniaina Andriamijoro RAMAROFIDY - *Systèmes de Culture sous Couverture Végétale : caractérisation de la dynamique de l'azote minéral dans le profil cultural et quantification du stock d'azote.*- Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en agronomie ASJA - Antsirabe, 2006 - 93 pages.
- 36-Vololona RANARISON - *Evaluation variétale du riz pluvial en relation avec les conditions du milieu de culture.*- Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en agronomie ASJA.- Antsirabe, 2006 - 87 pages
- 37-René RAKOTO-HERIMANDIMBY -*Etude des interactions géotype et environnement : Analyse de la croissance, du développement et de l'élaboration du rendement des variétés de riz pluvial d'altitude en fonction du système de culture d'altitude.*- Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur ESSA - Antananarivo, 2006 - 89 pages.
- 38-République Française, Ministère des relations extérieures et al.- *Cultures associées en milieu tropical : élément d'observation et d'analyse.*- édition GRET.- Paris, 1982 - 75 pages.
- 39-UPDR MAEP - *Monographie de la région du Vakinankaratra.*- Madagascar, Juin 2003- 107 pages.
- 40-Violette CHAUVIGNE - *Enjeux et perspective du développement de la riziculture pluviale à Madagascar.*- IEDES Université Paris I, Octobre 2005 - 115 pages.
- 41- Les Hautes Terres Centrales : <http://agroecologie.cirad.fr/pdf/992642458.pdf>
- 42- Ecologie des Hautes Terres Centrales : <http://agroecologie.cirad.fr/pdf/992642458.pdf>
- 43- La production du riz pluvial : http://www.fofifa.mg/pcp_scriid.htm

ANNEXES

ANNEXES

Annexe I : Caractéristiques de quelques espèces fourragères

Les espèces fourragères n'ont pas les mêmes caractères. Le tableau ci-après indique ces différences

Tableau : Caractéristiques des quelques espèces fourragères

Groupes	Espèces	Description des plantes	Qualité du fourrage	Rôles particuliers
Légumineuses	<i>Stylosanthes guyanensis</i>	C'est une plante droite avec des tiges longues. Le <i>stylosanthes</i> pousse même sur des sols pauvres	C'est un fourrage excellent riche en protéine qui reste vert et pousse pendant la saison froide et sèche	Elle améliore la structure du sol. De plus la plante permet la fixation d'azote atmosphérique. Elle est utilisée pour l'association avec des cultures et comme couverture morte.
	<i>Cajanus cajan</i>	C'est une légumineuse vivace qui peut prendre le port d'un arbrisseau	C'est un bon fourrage	Elle facilite la décompaction du sol et permet la fixation d'azote. Elle a la capacité de se « brancher » à la réserve d'eau profonde du sol (en dessous de la zone d'utilisation de la céréale) et ainsi de prolonger la production de biomasse en saison sèche après la récolte des céréales

	<p>Lupin (<i>Lupinus sp.</i>)</p>	<p>C'est une espèce herbacée de 30 à 100 cm de hauteur, pérenne. Les feuilles sont longuement pétiolées. L'inflorescence est en forme de grappes terminales dressées, composées de fleurs. Le fruit est une gousse.</p>	<p>C'est une excellente vocation fourragère car il est riche en minéraux (phosphore, calcium) et en acide aminés. Sa teneur importante en matières grasses (8 %) lui confère une valeur énergétique élevée.</p>	<p>Il permet la fixation d'azote et améliore la structure du sol</p>
	<p>Vesce (<i>Vicia sativa</i>)</p>	<p>C'est une plante grimpante. Les tiges sont fréquemment ridées. Les feuilles sont pennées et terminées par une vrille ou une pointe. Les fleurs de la vesce sont pourpres. La feuille est composée de plusieurs folioles, jusqu'à 16</p>	<p>C'est une bonne qualité de fourrage</p>	<p>Les racines porteuses de nodosités permettent une fixation de l'azote. C'est ce qui conduit à l'amélioration de la structure du sol. Elle permet la production de biomasse en saison froide</p>
Crucifères	<p>Radis fourrager (<i>Raphanus sativus</i>)</p>	<p>Le radis est une plante bisannuelle à racine tubérisée. C'est une plante à très grande vitesse de croissance. Il est très facile à cultiver. Dans le tubercule de radis le pourcentage en matière sèche est très bas, 8 à 10%</p>	<p>C'est une bonne qualité de fourrage. Il est moins sensible au stress hydrique.</p>	<p>Les tubercules de radis ont des effets répulsifs contre les insectes, qui jouent le rôle d'insecticide. De plus, le radis continue à produire de la biomasse en saison froide et participe au recyclage d'éléments nutritifs.</p>

Graminées	<i>Brachiaria ruziziensis</i>	C'est une graminée assez haute, les feuilles sont courtes et très pointues qui possèdent des nervures parallèles. Elles ont beaucoup de poils	Elles sont utilisées en vert ou en foin, mais aussi le séchage du brachiaria nu est plus lent, c'est ce qui limite son utilisation en tant que foin. En général, la qualité de ce fourrage est moyenne	Le brachiaria est une culture de rotation. Il agit en association avec des cultures et en utilisation en couverture morte. Il améliore et stabilise la structure du sol grâce à ses systèmes de racines fasciculées, capable de se développer dans les conditions difficiles
	Eleusine (<i>Eleusine corocana</i>)	C'est une plante annuelle de 40 cm à 1 m de haut qui pousse en touffes denses	C'est une plante qui donne un excellent fourrage	Elle serait la seule graminée qui fixe l'azote de l'air (sous réserves). De plus l'éleusine a des caractères insectifuge et insecticide (Hugues Dupriez)

Annexe II : Les matériels et équipements utilisés

Matériels et équipements	Utilisation
- SPAD (Soil Plant Analyses Development)	-Mesure de la teneur en chlorophylle, et donc en azote
-Balances de précision : d=0,01 maximum 200g et d=0,1 maximum 2400g	-Les différentes pesées à l'abri du vent
-Balance électrique d=0,1 maximum 5 kg	-Pesage des biomasses au champ
-Balance électrique d=0,1 maximum 10 kg	-Pesage des composantes du rendement au champ
-Balance électrique d=0,01 maximum 20kg	-Pesage des biomasses au champ
-Etuve	-Séchage des biomasses pour avoir le taux d'humidité
-Ciseaux	-Coupe des racines du riz ou des biomasses prélevées sur les parcelles
-Cuvettes	-Support des biomasses à peser
-Vanne	-Séparation des grains pleins et grains vides
-Piquets	-Délimitation des placettes
-Sacs	-Contenir les grains pleins et grains vides, les échantillons des biomasses prélevées à la récolte et à la fin de la saison froide.
-faucilles	- fauchage des biomasses au champ
-Bâche	-Dépôt des plants de riz arrachés

Annexe III : Les itinéraires techniques culturaux

1) Préparation du terrain : à partir de 01 octobre

- Labour à l'*angady*,
- Désherbage des mauvaises herbes de grande taille avant le semis
- Transport d'eau et arrosage du fumier

*** Travaux sur semis**

- Emottage, nettoyage, nivellement.
- Epannage d'engrais
- **Semis**

- Systèmes riz à forte production de rendement : 12 au 17 novembre 2007

-Système maïs à fort production de biomasse : 21 au 30 novembre 2007

-Tests riz : 20 au 21 novembre 2007

-Tests maïs à fort production de biomasse : à partir de 27 novembre

✓ Installation des plantes de couverture sur les parcelles systèmes 28 novembre au 30 novembre 2008

✓ Installation des plantes de couverture sur les parcelles tests à partir de 20 novembre 2007

*Resemis de quelques plantes de couverture sur les parcelles tests à partir de 07 janvier 2008.

Les écartements pour le riz sont :

- Simple ligne LABOUR et SCV : 20cm X 20 cm
- Double ligne LABOUR et SCV : des doubles lignes de riz à 15 cm, écartées de 40 cm ; entre les doubles lignes sont semées les plantes de couverture.

2) Fertilisation:

- Pour la culture de riz parcelles Fu : seulement du fumier : 5 t/ha au semis

- Pour la culture de riz parcelles FM : 5 t/ha de fumier + 500 kg/ha de dolomie + 300 kg/ha de N-P-K 11 22 16 au moment du semis , 100 kg d'urée fractionnée en deux apports de 50 kg/ha à 36 JAS et à 84 JAS

3) Entretien et traitements phytosanitaires:

➤ INSECTICIDE/FONGICIDE :

Application insecticide Cypermethrine 240EC à la dose 500ml /Ha sur test

Application carbofuran 10G sur URP (riz) ; mode épandage en localisation sur toutes les parcelles

Application insecticide et fongicide (Cypvert 240 EC 300ml/Ha ; Dithane 2.5 Kg/ Ha)

➤ HERBICIDE :

Au moment du semis et au cours du cycle cultural :

-Traitement à l'herbicide Glyphader m. a Glyphosate et de 2,4 D en plusieurs passages

Application d'Alligator au moment du semis : Stomp ou Alligator 400 EC 3 à 3,2 litres/ha
(pendimethalin 400, groupe chimique : xylidine)

-Sarclage en plusieurs répétitions.

Annexe IV- Quelques notions sur les dispositifs de l'URP/SCRiD

Choix du site

Le choix du lieu d'étude repose sur deux critères :

-Caractéristiques pédo-géologiques

Les caractéristiques pédo-géologiques du site d'Andranomanelatra permettent une présentation des principales caractéristiques des sols ferrallitiques désaturés et fortement acides. Il présente aussi des zones de pente sur lesquelles le ruissellement favorise l'érosion. Tous ces critères rassemblent les facteurs à étudier pour la protection et la mise en valeur des sols ferrallitiques de Hautes Terres dans le cadre du SCV.

-Les dispositifs de recherche

L'existence des dispositifs expérimentaux sur ces sites facilite les travaux de recherche. En effet, les installations présentes sur ces dispositifs permettent d'avoir une meilleure appréciation sur les différents systèmes de cultures à proposer.

Ces systèmes ont été choisis en fonction de leurs effets a priori contrastés sur la porosité du sol, sa teneur en azote et en carbone, en vue d'une étude pluridisciplinaire, à long terme, de leurs performances socio-économiques, des interactions géotype x environnement en relation avec l'adaptation variétale du riz à ces systèmes, de la réduction de l'érosion et de l'émission de gaz à effet de serre, de la restauration et du maintien de la fertilité, et de la réduction de l'incidence des bio agresseurs.

- Les modes de gestion du sol dans l'URP/SCRiD

Le mode de gestion des sols se définit comme l'ensemble des manières dont on exploite le sol sur une parcelle bien définie. Il s'applique sur tous types de systèmes de culture, aussi bien sur SCV que sur labour. Les principaux composants des modes de gestion des sols sont la rotation culturale et la succession des cultures, et l'association.

-L'association de culture

Une association culturale est la mise en culture de deux ou plusieurs espèces de plantes sur une même parcelle. Les cycles cultureux de ces différentes espèces et leur période de récolte ne sont pas forcément les mêmes. L'arrangement spatial de chaque espèce cultivée peut être variable, mélangé ou intercalé, selon le but de l'association.

-La rotation culturale et la succession des cultures

Nous parlons de rotation culturale quand il y a répétition sur la même parcelle d'une succession ordonnée de cultures durant plusieurs années. Elle est un élément important du maintien ou de l'amélioration de la fertilité des sols et donc un atout pour l'augmentation des rendements.

Une succession de culture se définit comme la continuation temporelle de quelques cultures qui se succèdent sur une même parcelle durant une campagne donnée. Cette succession n'a pas d'ordre précis ou défini mais comporte un changement de culture à chaque fin de cycle cultural.

-L'assolement

L'assolement est l'application ordonnée et pluriannuelle de deux ou plusieurs rotations de culture sur deux ou plusieurs parcelles. Comme pour l'association de culture, il est aussi pratiqué dans le but précis d'améliorer les propriétés physico-chimiques du sol pour un rendement meilleur.

Annexe V : Les composantes du rendement de test riz

Bloc	Test	Association	Ferti	Date	carré			8 poquets													
					Nb poquets	PF carré paille	PF carré pan	Nb plants	Nbr plts/m ²	Nb talles	Nb pan	Tallage utile	Nbr pan/plt	Nbr pan/m ²	PF ech paille	PS ech paille	PF ech pan	PF ech GP	ch GV	PS ech GP	PS ech GV
A	L2	riz+cajanus	Fu	23/5	78	1711	588	36	87,8	114	94	82,5	2,6	229,1	350	135,6	77	60	10	51,13	8,77
A	L6	riz+vesce 1mois	Fu	22/5	79	225	649	38	93,8	124	86	69,4	2,3	212,3	371	128,5	70	56	9	50,53	8,53
A	L7	riz+vesce 2 mois	Fu	22/5	74	1678	471	37	85,6	116	73	62,9	2,0	168,8	319	135,9	54	40	10	34,1	9,03
A	L8	riz	Fu	22/5	95	2804	618	39	115,8	111	92	82,9	2,4	273,1	303	134,3	57	44	9	39,41	8,52
A	L2	riz+cajanus	FM	22/5	78	2614	376	49	119,4	111	84	75,7	1,7	204,8	383	136,2	41	24	11	19,86	10,42
A	L6	riz+vesce 1mois	FM	22/5	78	2978	673	40	97,5	157	101	64,3	2,5	246,2	714	249,4	72	41	20	34,76	18,95
A	L7	riz+vesce 2 mois	FM	22/5	79	3459	522	38	93,8	135	111	82,2	2,9	274,0	501	196,5	55	32	17	26,89	13,58
A	L8	riz	FM	22/5	91	2418	512	28	79,6	107	57	53,3	2,0	162,1	197	84,3	29	18	7	15,17	6,83
A	L1	riz+stylo	FM	23/5	71	2600	427	39	86,5	145	104	71,7	2,7	230,8	567	214,3	60	33	20	28,65	17,25
A	L3	riz+éleusine	FM	23/5	79	4713	544	36	88,9	118	94	79,7	2,6	232,1	540	205	48	22	19	20,33	17,56
A	L4	riz+radis 1mois	FM	7/6	63	2207	177	30	59,1	97	71	73,2	2,4	139,8	363	159,9	22	2	15	1,55	12,77
A	L5	riz+radis 2 mois	FM	7/6	68	3229	492	40	85,0	130	87	66,9	2,2	184,9	584	269	85	46	27	40,35	21,28
A	L1	riz+stylo	Fu	23/5	71	3384	480	45	99,8	150	125	83,3	2,8	277,3	639	220,8	55	24	22	20,55	20,38
A	L3	riz+éleusine	Fu	23/5	72	2122	602	35	78,8	80	73	91,3	2,1	164,3	378	128,5	77	62	9	53,62	8,07
A	L4	riz+radis 1mois	Fu	6/6	69	2752	485	32	69,0	110	84	76,4	2,6	181,1	386	169	62	40	16	35,39	15,62
A	L5	riz+radis 2 mois	Fu	6/6	61	1242	275	34	64,8	119	65	54,6	1,9	123,9	260	116,9	49	33	12	30,15	10,01
B	L1	riz+stylo	Fu	26/5	78	3757	482	41	99,9	114	79	69,3	1,9	192,6	496	182,8	50	27	17	23,14	16,34
B	L3	riz+éleusine	Fu	27/5	79	3652	551	41	101,2	114	96	84,2	2,3	237,0	513	181,5	61	38	16	32,68	13,54
B	L4	riz+radis 1mois	Fu	7/6	68	2862	271	32	68,0	105	68	64,8	2,1	144,5	391	169,6	33	13	15	11,24	13,61
B	L5	riz+radis 2 mois	Fu	7/6	80	3051	576	41	102,5	145	102	70,3	2,5	255,0	487	214,6	55	31	16	27,29	14,15

B	L1	riz+stylo	FM	26/5	80	4544	494	50	125,0	186	132	71,0	2,6	330,0	721	276,3	42	15	19	13,32	17,53
B	L3	riz+éleusine	FM	26/5	77	4133	346	44	105,9	189	132	69,8	3,0	317,6	715	287,2	40	6	27	5,21	23,41
B	L4	riz+radis 1mois	FM	7/6	78	4036	240	46	112,1	157	120	76,4	2,6	292,5	691	292,6	26	1	18	0,51	17,12
B	L5	riz+radis 2 mois	FM	7/6	79	4565	329	46	113,6	186	126	67,7	2,7	311,1	862	371,1	42	5	30	3,82	27,44
B	L2	riz+cajanus	Fu	26/5	79	1783	673	37	91,3	82	79	96,3	2,1	195,0	187	116,4	63	48	10	41,78	8,16
B	L6	riz+vesce 1mois	Fu	26/5	74	1808	613	38	87,9	125	80	64,0	2,1	185,0	380	136,3	74	59	10	51,09	9,27
B	L7	riz+vesce 2 mois	Fu	26/5	78	2190	687	43	104,8	129	96	74,4	2,2	234,0	463	165	79	59	14	50,12	12,26
B	L8	riz	Fu	26/5	91	2270	722	41	116,6	105	83	79,0	2,0	236,0	302	115,9	71	58	8	50,6	7,15
B	L2	riz+cajanus	FM	23/5	78	3070	504	44	107,3	137	117	85,4	2,7	285,2	597	226,3	75	45	21	39,57	19,73
B	L6	riz+vesce 1mois	FM	23/5	71	3302	479	47	104,3	141	111	78,7	2,4	246,3	634	223,6	69	42	22	36,52	19,98
B	L7	riz+vesce 2 mois	FM	26/5	79	3142	513	48	118,5	115	112	97,4	2,3	276,5	577	228,8	74	41	23	35,54	19,35
B	L8	riz	FM	26/5	97	3201	593	49	148,5	136	99	72,8	2,0	300,1	465	195,4	60	35	19	29,27	15,7
C	L2	riz+cajanus	FM	27/5	80	3553	399	35	87,5	114	81	71,1	2,3	202,5	362	137,5	30	13	12	11,2	10,94
C	L6	riz+vesce 1mois	FM	27/5	80	2301	522	25	62,5	114	79	69,3	3,2	197,5	251	102	46	33	10	28,8	8,31
C	L7	riz+vesce 2 mois	FM	27/5	76	2144	365	30	71,3	119	72	60,5	2,4	171,0	287	112,4	40	23	10	20,81	9,56
C	L8	riz	FM	27/5	100	3540	373	37	115,6	140	99	70,7	2,7	309,4	399	165,4	36	16	13	13,35	13
C	L2	riz+cajanus	Fu	27/5	76	2249	522	38	90,3	111	85	76,6	2,2	201,9	473	152,5	57	37	12	31,55	11,36
C	L6	riz+vesce 1mois	Fu	27/5	74	2227	543	29	67,1	74	61	82,4	2,1	141,1	260	90,4	43	33	5	29,76	4,49
C	L7	riz+vesce 2 mois	Fu	27/5	75	1920	420	39	91,4	84	71	84,5	1,8	166,4	290	106,7	45	29	10	26,06	9,23
C	L8	riz	Fu	27/5	100	2648	677	38	118,8	73	68	93,2	1,8	212,5	314	111,7	50	36	10	30,38	8,98
C	L1	riz+stylo	Fu	27/5	79	3078	602	43	106,2	154	107	69,5	2,5	264,2	458	185	72	52	14	44,3	12,21
C	L3	riz+éleusine	Fu	27/5	77	2280	425	37	89,0	123	106	86,2	2,9	255,1	404	150,9	67	45	13	39,71	12,19
C	L4	riz+radis 1mois	Fu	9/6	79	2335	413	42	103,7	122	98	80,3	2,3	241,9	378	169,7	42	24	15	22,48	14,04

C	L5	riz+radis 2 mois	Fu	9/6	77	3045	544	40	96,3	135	99	73,3	2,5	238,2	411	185,9	42	24	12	21,15	11,83
C	L1	riz+stylo	FM	27/5	80	4786	400	45	112,5	176	112	63,6	2,5	280,0	699	267,8	35	7	21	6,21	19,37
C	L3	riz+éleusine	FM	27/5	80	4170	417	44	110,0	141	120	85,1	2,7	300,0	671	268,5	47	18	24	15,16	19,02
C	L4	riz+radis 1mois	FM	9/6	80	3995	329	45	112,5	151	121	80,1	2,7	302,5	791	331,4	51	7	32	5,21	22,52
C	L5	riz+radis 2 mois	FM	9/6	78	3854	330	47	114,6	160	123	76,9	2,6	299,8	562	247,4	39	14	17	13,85	15,22
D	L1	riz+stylo	FM	28/5	73	1895	432	32	73,0	137	73	53,3	2,3	166,5	308	146,3	34	26	16	18,48	6,97
D	L8	riz	FM	28/5	98	2138	448	34	104,1	112	99	88,4	2,9	303,2	376	189,8	49	22	8	22,75	13,55
D	L4	riz+radis 1mois	FM	9/6	76	1266	57	30	71,3	72	35	48,6	1,2	83,1	144	69,5	6	2	3	1,51	2,76
D	L5	riz+radis 2 mois	FM	9/6	80	2045	239	38	95,0	125	90	72,0	2,4	225,0	317	152,9	24	11	9	9,9	8,75
D	L1	riz+stylo	Fu	27/5	78	1652	478	37	90,2	143	113	79,0	3,1	275,4	492	178,6	73	54	12	49,9	11,24
D	L8	riz	Fu	27/5	100	1636	497	42	131,3	133	81	60,9	1,9	253,1	222	92,9	35	27	5	24,14	4,48
D	L4	riz+radis 1mois	Fu	9/6	79	791	231	34	83,9	79	66	83,5	1,9	162,9	137	73,8	22	15	5	13,88	4,11
D	L5	riz+radis 2 mois	Fu	9/6	80	1207	315	49	122,5	104	67	64,4	1,4	167,5	183	96,9	30	22	5	20,89	4,37
D	L2	riz+cajanus	Fu	28/5	75	3085	559	36	84,4	138	98	71,0	2,7	229,7	359	137,1	45	29	9	26,08	8,75
D	L6	riz+vesce 1mois	Fu	28/5	75	1720	487	40	93,8	170	99	58,2	2,5	232,0	397	161,2	61	42	13	36,89	11,25
D	L7	riz+vesce 2 mois	Fu	28/5	77	2349	492	40	96,3	184	108	58,7	2,7	259,9	506	199,1	53	29	17	26,81	15,05
D	L8	riz	Fu	27/5	98	2440	644	30	91,9	118	73	61,9	2,4	223,6	242	102,1	52	42	6	36,14	5,28
D	L2	riz+cajanus	FM	28/5	78	4253	392	41	99,9	124	116	93,5	2,8	282,8	550	219,9	33	8	17	7,66	15,15
D	L6	riz+vesce 1mois	FM	28/5	79	4135	477	39	96,3	165	110	66,7	2,8	271,6	563	250	57	29	20	25,6	19,21
D	L7	riz+vesce 2 mois	FM	28/5	78	3810	470	49	119,4	236	134	56,8	2,7	326,6	668	264,6	53	20	23	16,75	22,03
D	L8	riz	FM	28/5	100	5022	494	38	118,8	135	94	69,6	2,5	293,8	550	221,6	43	20	18	16,5	15,39

Parcelle	Bloc	Test	Association	Ferti	Date	Nbr GP / m ²	PS 200 GP	PMG GP	PS 200 GV	PMG GV	Taux hum paille	PS paille t/ha	Rdt GP 0% t/ha	Rdt composante
A18	A	L2	riz+cajanus	Fu	23/5	6 231	4	20,0	0,82	4,1	61,3	2,00	1,10	1,25
A18	A	L6	riz+vesce 1mois	Fu	22/5	5 954	4,19	21,0	0,99	5,0	65,4	0,52	1,30	1,25
A18	A	L7	riz+vesce 2 mois	Fu	22/5	3 782	4,17	20,9	0,77	3,9	57,4	2,13	0,83	0,79
A18	A	L8	riz	Fu	22/5	5 212	4,49	22,5	0,62	3,1	55,7	3,44	1,17	1,17
A19	A	L2	riz+cajanus	FM	22/5	2 344	4,13	20,7	0,58	2,9	64,4	2,66	0,50	0,48
A19	A	L6	riz+vesce 1mois	FM	22/5	4 236	4	20,0	0,73	3,7	65,1	3,22	0,90	0,85
A19	A	L7	riz+vesce 2 mois	FM	22/5	3 278	4,05	20,3	0,69	3,5	60,8	3,88	0,71	0,66
A19	A	L8	riz	FM	22/5	2 059	4,19	21,0	0,7	3,5	57,2	2,80	0,71	0,43
A29	A	L1	riz+stylo	FM	23/5	3 108	4,09	20,5	0,68	3,4	62,2	2,99	0,58	0,64
A29	A	L3	riz+éleusine	FM	23/5	2 466	4,07	20,4	0,61	3,1	62,0	4,99	0,63	0,50
A29	A	L4	riz+radis 1mois	FM	7/6	157	1,36	19,4	0,59	3,0	56,0	2,83	0,04	0,03
A29	A	L5	riz+radis 2 mois	FM	7/6	3 951	4,34	21,7	0,67	3,4	53,9	4,39	0,68	0,86
A30	A	L1	riz+stylo	Fu	23/5	2 146	4,25	21,3	0,64	3,2	65,4	3,48	0,50	0,46
A30	A	L3	riz+éleusine	Fu	23/5	5 362	4,5	22,5	0,87	4,4	66,0	2,12	1,18	1,21
A30	A	L4	riz+radis 1mois	Fu	6/6	3 303	4,62	23,1	0,7	3,5	56,2	3,43	0,78	0,76
A30	A	L5	riz+radis 2 mois	Fu	6/6	2 554	4,5	22,5	0,76	3,8	55,0	1,69	0,50	0,57
B13	B	L1	riz+stylo	Fu	26/5	2 605	4,33	21,7	0,7	3,5	63,1	3,92	0,62	0,56
B13	B	L3	riz+éleusine	Fu	27/5	3 907	4,13	20,7	0,62	3,1	64,6	3,68	0,82	0,81
B13	B	L4	riz+radis 1mois	Fu	7/6	1 096	4,36	21,8	0,57	2,9	56,6	3,53	0,26	0,24
B13	B	L5	riz+radis 2 mois	Fu	7/6	3 563	3,83	19,2	0,63	3,2	55,9	3,90	0,78	0,68
B14	B	L1	riz+stylo	FM	26/5	1 538	4,33	21,7	0,79	4,0	61,7	5,04	0,42	0,33
B14	B	L3	riz+éleusine	FM	26/5	530	4,73	23,7	0,56	2,8	59,8	4,87	0,13	0,13
B14	B	L4	riz+radis 1mois	FM	7/6	101	0,54	12,3	0,73	3,7	57,7	5,00	0,01	0,01
B14	B	L5	riz+radis 2 mois	FM	7/6	450	3,88	21,0	0,52	2,6	56,9	5,84	0,08	0,09
B18	B	L2	riz+cajanus	Fu	26/5	4 352	4,74	23,7	0,73	3,7	37,8	3,07	1,22	1,03

B18	B	L6	riz+vesce 1mois	Fu	26/5	5 907	4	20,0	0,65	3,3	64,1	1,96	1,19	1,18
B18	B	L7	riz+vesce 2 mois	Fu	26/5	5 323	4,59	23,0	0,71	3,6	64,4	2,36	1,21	1,22
B18	B	L8	riz	Fu	26/5	5 873	4,9	24,5	0,46	2,3	61,6	2,47	1,41	1,44
B19	B	L2	riz+cajanus	FM	23/5	4 615	4,18	20,9	0,49	2,5	62,1	3,48	0,76	0,96
B19	B	L6	riz+vesce 1mois	FM	23/5	4 011	4,04	20,2	0,65	3,3	64,7	3,47	0,73	0,81
B19	B	L7	riz+vesce 2 mois	FM	26/5	3 434	5,11	25,6	0,79	4,0	60,3	3,69	0,70	0,88
B19	B	L8	riz	FM	26/5	3 874	4,58	22,9	0,68	3,4	58,0	3,85	0,80	0,89
C11	C	L2	riz+cajanus	FM	27/5	1 386	4,04	20,2	0,99	5,0	62,0	3,72	0,40	0,28
C11	C	L6	riz+vesce 1mois	FM	27/5	3 582	4,02	20,1	0,88	4,4	59,4	2,59	0,89	0,72
C11	C	L7	riz+vesce 2 mois	FM	27/5	2 187	4,52	22,6	0,77	3,9	60,8	2,38	0,53	0,49
C11	C	L8	riz	FM	27/5	1 959	4,26	21,3	0,67	3,4	58,5	4,08	0,38	0,42
C12	C	L2	riz+cajanus	Fu	27/5	3 109	4,82	24,1	0,57	2,9	67,8	2,19	0,80	0,75
C12	C	L6	riz+vesce 1mois	Fu	27/5	2 678	5,14	25,7	0,99	5,0	65,2	2,16	1,01	0,69
C12	C	L7	riz+vesce 2 mois	Fu	27/5	2 795	4,37	21,9	0,79	4,0	63,2	2,03	0,67	0,61
C12	C	L8	riz	Fu	27/5	3 805	4,99	25,0	0,55	2,8	64,4	2,63	1,10	0,95
C24	C	L1	riz+stylo	Fu	27/5	5 196	4,21	21,1	0,71	3,6	59,6	3,57	1,04	1,09
C24	C	L3	riz+éleusine	Fu	27/5	4 672	4,09	20,5	0,63	3,2	62,6	2,51	0,73	0,96
C24	C	L4	riz+radis 1mois	Fu	9/6	2 581	4,3	21,5	0,69	3,5	55,1	3,04	0,61	0,55
C24	C	L5	riz+radis 2 mois	Fu	9/6	2 406	4,23	21,2	0,7	3,5	54,8	3,91	0,74	0,51
C25	C	L1	riz+stylo	FM	27/5	774	4,01	20,1	0,73	3,7	61,7	5,25	0,19	0,16
C25	C	L3	riz+éleusine	FM	27/5	1 840	4,12	20,6	0,4	2,0	60,0	4,84	0,37	0,38
C25	C	L4	riz+radis 1mois	FM	9/6	704	3,7	18,5	0,52	2,6	58,1	5,01	0,10	0,13
C25	C	L5	riz+radis 2 mois	FM	9/6	1 810	3,73	18,7	0,6	3,0	56,0	4,86	0,33	0,34
D17	D	L1	riz+stylo	FM	28/5	2 061	4,09	20,5	0,72	3,6	52,5	2,62	0,63	0,42
D17	D	L8	riz	FM	28/5	3 458	4,03	20,2	0,7	3,5	49,5	3,17	0,58	0,70
D17	D	L4	riz+radis 1mois	FM	9/6	213	1,6	16,8	0,8	4,0	51,7	1,70	0,04	0,04
D17	D	L5	riz+radis 2 mois	FM	9/6	1 256	3,94	19,7	0,58	2,9	51,8	2,85	0,27	0,25

D18	D	L1	riz+stylo	Fu	27/5	5 933	4,1	20,5	0,72	3,6	63,7	1,95	0,94	1,22
D18	D	L8	riz	Fu	27/5	3 653	4,13	20,7	0,57	2,9	58,2	1,94	0,92	0,75
D18	D	L4	riz+radis 1mois	Fu	9/6	1 558	4,4	22,0	0,67	3,4	46,1	1,25	0,40	0,34
D18	D	L5	riz+radis 2 mois	Fu	9/6	2 778	3,76	18,8	0,57	2,9	47,0	1,84	0,60	0,52
D25	D	L2	riz+cajanus	Fu	28/5	3 056	4	20,0	0,6	3,0	61,8	3,29	0,88	0,61
D25	D	L6	riz+vesce 1mois	Fu	28/5	4 291	4,03	20,2	0,52	2,6	59,4	2,15	0,83	0,86
D25	D	L7	riz+vesce 2 mois	Fu	28/5	2 899	4,45	22,3	0,83	4,2	60,7	2,81	0,69	0,65
D25	D	L8	riz	Fu	27/5	5 089	4,35	21,8	0,73	3,7	57,8	2,83	1,21	1,11
D26	D	L2	riz+cajanus	FM	28/5	900	4,15	20,8	0,71	3,6	60,0	4,80	0,25	0,19
D26	D	L6	riz+vesce 1mois	FM	28/5	3 090	4,09	20,5	0,67	3,4	55,6	5,22	0,60	0,63
D26	D	L7	riz+vesce 2 mois	FM	28/5	1 921	4,25	21,3	0,64	3,2	60,4	4,43	0,41	0,41
D26	D	L8	riz	FM	28/5	2 479	4,16	20,8	0,68	3,4	59,7	5,61	0,52	0,52

Annexe VI : Les composantes du rendement et les biomasses des plantes de couverture en association avec le maïs

TESTS ROTTION

Récoltes

bloc	fum	parc	syst	couverture	date	maïs									couverture		
						Nbma	Nbep	PFpa	PFep	PFechpa	PFechep	Psechpa	PSechep	PSgr	Nbcol	PFcol	PFechcol
A	FM	A02	R2	brachiaria	10-juin	14	10	1482	852	265	361	154,8	267,7	219,3x		3934	142
			R5	lupin	10-juin	20	16	2670	2369	324	594	155,0	445,1	370,2	18	458	88
			R6	lupin janv	10-juin	18	16	1918	1915	172	498	157,4	391,2	325,3	18	100	24
			R8	1 radis	10-juin	18	15	2114	1592	318	533	132,4	377,6	298,4	19	3750	455
				2 vesce											7	41	16
	Fu	A03	R2	brachiaria	11-juin	24	15	2200	1146	170	435	144,8	272,9	215,6x		4378	171
			R5	lupin	11-juin	24	16	2403	1206	297	428	114,9	293,2	243,8	28	607	70
			R6	lupin janv	10-juin	23	18	1904	1505	206	495	129,8	363,2	294,4	23	627	116
			R8	1 radis	11-juin	24	18	1656	1479	161	352	114,7	238,5	186,8	15	5694	547
				2 vesce											11	90	38
	FM	A04	R1	stylo	11-juin	18	19	3956	3148	500	686	342,8	483,7	389,6			
			R3	radis	11-juin	18	16	2744	2335	261	617	151,2	466,4	399,8	18	10963	468
			R4	radis janv	11-juin	16	16	2500	2290	283	613	160,9	471,1	611,1	31	20929	891
			R7	1 éleusine	11-juin	22	20	5228	3702	274	970	159,0	735,0	399,9	11	717	106
				2 cajanus											11	746	159
	Fu	A05	R1	stylo	11-juin	21	17	2700	2243	110	562	164,1	381,7	310,2			
			R3	radis	11-juin	19	13	1209	1193	191	355	84,1	252,1	204,7	7	173	68
			R4	radis janv	11-juin	17	21	2037	1903	136	478	78,5	339,6	287,3	10	4456	596
			R7	1 éleusine	11-juin	19	15	1623	1691	177	346	96,3	303,9	225,3	10	656	174
				2 cajanus											10	1988	232
B	FM	B26	R1	stylo	12-juin	19	20	3204	3335	190	608	111,6	451,2	371,1			
			R3	radis	12-juin	16	15	1738	1488	142	505	112,0	399,0	331,7	19	12448	332
			R4	radis janv	12-juin	20	21	2657	2842	168	687	121,0	528,9	429,8	26	6000	504
			R7	1 éleusine	12-juin	20	20	4295	3492	176	748	129,9	546,7	466,4	13	643	142
				2 cajanus											10	1722	119
	Fu	B27	R1	stylo	12-juin	26	23	4443	3616	233	924	147,6	675,6	523,1			

			R3	radis	12-juin	25	24	2336	2080	157	604	104,7	480,7	401,0	20	6890	399
			R4	radis janv	12-juin	19	19	2026	1856	283	412	171,5	388,1	326,3	24	6960	459
			R7	1 éleusine	12-juin	19	11	2847	1333	355	470	151,3	328,7	280,9	12	1477	110
				2 cajanus											9	2336	177
FM	B28		R2	brachiaria	11-juin	21	17	2300	1647	176	587	80,7	444,8	355,0x		2900	152
			R5	lupin	12-juin	19	20	3500	2462	525	594	290,7	455,4	375,5	12	1395	95
			R6	lupin janv	11-juin	22	16	1730	1406	127	325	79,5	243,8	205,4	19	2765	490
			R8	1 radis	11-juin	21	19	1860	1547	258	490	109,5	396,5	334,5	9	9718	369
				2 vesce											4	81	10
Fu	B29		R2	brachiaria	11-juin	19	6	806	190	62	136	34,4	105,1	88,0x		4340	158
			R5	lupin	11-juin	20	16	1390	1263	145	390	78,9	267,5	215,3	17	500	94
			R6	lupin janv	11-juin	13	7	370	379	75	266	47,5	94,2	75,6	15	182	60
			R8	1 radis	11-juin	22	19	1326	1056	121	459	75,8	316,1	260,4	16	1580	144
				2 vesce											12	35	20
C	FM	C03	R1	stylo	12-juin	18	15	1530	1016	291	366	101,8	275,2	219,9			
			R3	radis	12-juin	18	13	1080	871	112	316	61,6	248,0	208,4	16	3119	251
			R4	radis janv	12-juin	20	15	1178	662	104	237	81,4	177,4	150,3	21	1129	39
			R7	1 éleusine	12-juin	12	11	940	861	83		77,7	225,7	183,8	7	593	11
				2 cajanus											9	1380	117
Fu	C04		R1	stylo	12-juin	10	9	2722	1482	104	104	57,9	520,7	426,4			
			R3	radis	12-juin	11	8	901	873	112	112	76,1	318,7	269,1	2	6070	2606
			R4	radis janv	12-juin	17	14	1000	756	117	117	81,8	222,7	180,2	22	6130	303
			R7	1 éleusine	12-juin	15	12	1970	2118	166	166	128,4	502,0	424,3	2	12	12
				2 cajanus											10	3356	124
FM	C13		R2	brachiaria	16-juin	16	14	2287	1832	326	555	101,2	403,0	331,8x		3410	80
			R5	lupin	16-juin	19	20	3174	3373	266	657	132,1	517,0	431,1	14	400	82
			R6	lupin janv	16-juin	20	20	3340	2839	193	733	168,1	549,0	441,2	21	525	83
			R8	1 radis	16-juin	19	18	3075	3075	275	812	220,2	654,1	559,2	18	6790	406
				2 vesce										417,6	2	14	14
Fu	C14		R2	brachiaria	16-juin	21	21	3825	2770	130	708	92,6	515,7	417,6x		3520	370
			R5	lupin	16-juin	15	13	2105	2125	272	114	122,9	511,0	424,3	14	242	47
			R6	lupin janv	16-juin	20	21	4380	3245	280	571	135,4	418,1	334,1	24	1029	192
			R8	1 radis	16-juin	21	20	3299	3528	238	744	158,1	546,1	450,0	15	3030	176
				2 vesce											11	70	30

D		D07	R1	stylo	17-juin	22	13	1193	670	83	308	51,0	221,9	180,8			
			R3	radis	17-juin	20	16	1623	1009	103	291	50,1	207,1	195,4	24	5749	336
			R4	radis janv	17-juin	25	15	1484	1059	164	397	78,0	252,7	216,8	30	5656	134
			R7	1 éleusine	17-juin	24	15	1030	833	90	238	58,1	187,5	152,3	14	1272	236
				2 cajanus											11	3503	292
	FM	D08	R1	stylo	17-juin	19	18	2236	2349	106	606	88,9	478,9	399,2			
			R3	radis	17-juin	22	19	1890	1501	245	439	119,7	307,5	258,2	22	14212	1381
			R4	radis janv	17-juin	22	21	1220	2080	99	550	91,8	393,7	340,1	30	5805	267
			R7	1 éleusine	17-juin	23	22	2970	3091	236	976	96,2	722,4	614,9	13	1414	247
				2 cajanus											8	1084	177
	Fu	D11	R2	brachiaria	17-juin	13	6	1364	547	282	463	107,8	348,9	275,1x		5200	203
			R5	lupin	17-juin	22	21	4240	3825	240	925	141,3	671,9	557,7	21	462	137
			R6	lupin janv	17-juin	20	16	3220	3020	194	605	121,0	447,5	358,0	13	443	128
			R8	1 radis	17-juin	17	19	4680	3251	245	812	140,6	619,7	500,1	12	4748	372
				2 vesce											5	76	76
	FM	D16	R2	brachiaria	17-juin	17	7	1704	811	215	644	66,8	512,3	412,5x		7090	187
			R5	lupin	17-juin	23	18	5943	3244	320	1075	96,7	745,5	602,6	8	70	27
			R6	lupin janv	17-juin	20	25	4590	3788	366	656	177,2	512,4	428,6	12	342	88
			R8	1 radis	17-juin	15	7	2473	910	244	844	77,8	633,4	508,3	14	7232	219
				2 vesce											3	17	17

Annexe VII : Mesure des rendements de système maïs et des biomasses.

	rdt pa maïs	rdt gr maïs	rdt pa couv	rdt résidus	rdt biom tot
S1	2632,4	2054,0	101,1	858,0	3591,6
S3	2166,3	1183,0	381,2	923,6	3431,9
S2	3159,8	2231,2	123,3	487,1	3770,2
S1 SCV	2427,4	1870,8	133,2	1215,7	3776,3
S1 Lab	2837,4	2237,1	69,1	500,4	3406,9
S3 SCV	1982,7	1178,7	575,8	1014,9	3517,6
S3 Lab	2441,6	1189,3	89,3	786,6	3317,5
S2 SCV	2471,9	1957,6	219,0	432,9	3123,8
S2 Lab	3847,6	2504,7	27,7	541,4	4416,6
S1 Fu	1553,4	1313,3	68,4	648,3	2270,2
S1 FM	3711,4	2794,6	133,8	1067,8	4913,0
S3 Fu	1498,4	800,5	47,5	947,6	2470,8
S3 FM	2834,2	1565,4	714,8	899,5	4392,9
S2 Fu	2351,4	1586,3	91,1	473,7	2916,2
S2 FM	3968,1	2876,1	155,6	500,5	4624,3
S1 SCV Fu	1482,0	1170,3	104,3	969,3	2555,6
S1 SCV FM	3372,8	2571,2	162,1	1462,1	4997,0
S1 Lab Fu	1624,9	1456,3	32,6	327,3	1984,8
S1 Lab FM	4050,0	3017,9	105,6	673,4	4829,0
S3 SCV Fu	1235,9	915,0	46,1	1051,7	2273,8
S3 SCV FM	2729,4	1442,5	1105,4	978,1	4761,4
S3 Lab Fu	1892,1	628,7	49,7	791,5	2733,3
S3 Lab FM	2991,2	1749,9	128,9	781,6	3901,7
S2 SCV Fu	2199,5	1669,3	173,7	512,6	2885,9
S2 SCV FM	2744,3	2246,0	264,3	353,1	3361,8
S2 Lab Fu	2503,3	1503,3	8,4	434,7	2946,5
S2 Lab FM	5191,9	3506,2	46,9	648,0	5886,7