



**ATHENEE SAINT JOSEPH ANTSIRABE
(A.S.J.A.)**

Université Privée à Vocation Professionnalisante

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

En

Filière : Sciences Agronomiques

Option : Agriculture

Présenté par : RAHANTANIRINA Alice Marie

**EVALUATION DES SYSTEMES DE CULTURE
DU RIZ PLUVIAL : COMPARAISON DES
FERTILISATIONS, DES MODES DE GESTION DU
SOL ET DES PRECEDENTS CULTURAUX.**

Soutenu le 27 Novembre 2007

Devant les membres du jury composés de :

Président : Père Giuseppe CUOMO MARIO, Directeur Général de l'ASJA

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
BP. 230



BP. 287 Tél : 44 483 19/20
E-mail : asja@dts.mg

REMERCIEMENTS

Nous rendons grâce à **Dieu** pour sa bonté, sa grande bienveillance et son amour de nous avoir donné vie, santé, force et intelligence afin que nous puissions mener à terme ce mémoire.

Ce travail est également le fruit de nos travaux bibliographiques et de nos recherches sur un champ d'expérimentation agricole situé à Andranomanelatra. Toutefois, la réalisation de ce mémoire a nécessité une collaboration de plusieurs personnes à qui nous voudrions adresser notre sincère gratitude.

➤ Nous tenons à remercier plus particulièrement :

✚ **Père Giuseppe CUOMO MARIO**, Fondateur et Directeur Général de l'Athénée Saint Joseph d'Antsirabe (A.S.J.A.), Université à vocation professionnalisante ; pour sa grande contribution d'aider les jeunes à avoir un avenir meilleur et d'avoir fait l'honneur de présider la soutenance de ce mémoire ;

✚ **Madame le Professeur Laurence RALAMBORANTO**, Recteur de l'Athénée Saint Joseph Antsirabe, Enseignante de Biochimie, Parasitologie alimentaire, d'avoir accompli sa fonction par amour en donnant des conseils aux étudiants pour le bien être de l'Université ;

✚ **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 en acceptant de siéger parmi les membres du jury. Vos suggestions et vos remarques seront appréciées pour améliorer ce travail et compléter nos connaissances ;

✚ **Monsieur Damien RALAIVAOHITA, Ingénieur Agroéconomiste** Enseignant à l'ASJA, d'avoir accepté d'apporter les valeurs de son jugement en tant qu'examineur de ce travail ;

✚ **Madame Julie DUSSERE, Docteur en Ecophysiologie** qui nous a encadré techniquement malgré sa lourde responsabilité au sein du CIRAD. Nous vous sommes entièrement reconnaissante pour l'étroite collaboration que vous avez montrée lors de nos pratiques sur terrains et surtout vous avez partagé vos

connaissances et vos expériences en nous donnant des instructions pour la rédaction de ce mémoire ;

✚ **Madame Sahondra ANDRIAMALAZA, Docteur Pédologue**, Enseignante de Pédologie à l'ASJA , notre encadreur pédagogique qui a donné le meilleur d'elle pour l'efficacité de ce mémoire à travers des conseils, des questions de réflexion et des critiques constructives ;

➤ Nous adressons également nos vifs remerciements à :

✚ **Monsieur Alain RATNADASS, ex -** Coordonnateur de l'URP/SCRiD, chercheur du CIRAD, de nous avoir acceptée en tant que stagiaire et sur l'appui financier pour le bon déroulement de nos travaux de recherche et la mise en forme de notre mémoire ;

✚ tous les **Enseignants à l'A.S.J.A.** qui nous ont donné les connaissances nécessaires pour que notre formation soit complète ;

✚ 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.

✚ **Ma famille** pour le soutien moral et financier durant toutes mes études ;

✚ **Mes camarades de classe** pour la bonne collaboration sur toutes ses formes et l'ambiance dans la classe. Les années académiques ont été courtes et agréables en votre compagnie ;

✚ Toutes les personnes non citées mais qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

A TOUS ET A TOUTES, ENCORE MERCI

RESUME

Vu l'insuffisance de la production rizicole à Madagascar, l'extension de la riziculture vers les *Tanety* et l'utilisation des techniques adaptées avec l'usage des fertilisations recommandées ont été adoptées.

Notre étude s'est déroulée sur le dispositif expérimental de l'URP/ SCRiD situé à Andranomanelatra. La démarche de l'évaluation de systèmes de culture du riz pluvial a été faite en trois étapes :

- Comparaison de la nutrition azotée du riz au cours du cycle ;
- Comparaison des rendements du riz obtenus à la récolte ;
- Comparaison de la production de biomasse paille du riz à la récolte et des résidus des cultures sur les parcelles en rotation avec le riz à la récolte et à la fin de la saison froide.

Une élaboration des composantes du rendement a été conçue afin d'en connaître les facteurs limitants au cours du cycle.

Les résultats ont montré que les valeurs SPAD (Soil Plant Analyses Development) des systèmes SCV sont faibles par rapport aux systèmes labourés au début du cycle mais ils les rattrapent à la fin des mesures. Le système ayant la plus haute valeur SPAD tout au long du cycle (T LAB FM) a le plus haut rendement.

Quant au rendement, sur les anciens systèmes, le riz est plus productif quand il est précédé d'une Légumineuse, les valeurs en FM sont meilleures qu'en Fu. Le rendement est fortement associé à la densité de plants à la récolte. Sur les nouveaux systèmes, les rendements du riz ne sont pas significativement différents. Le rendement est dans ce cas associé au pourcentage de grains pleins, en relation avec l'utilisation dans ces essais de la variété F154 sensible à la pyriculariose.

Enfin la production de biomasse paille est proportionnelle au rendement sur les anciens systèmes, elle est presque semblable sur les nouveaux systèmes. La quantité de biomasse des précédents culturaux n'influe pas sur le rendement du riz.

MOTS CLES : riz, valeurs SPAD, rendement, biomasse

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

Abréviations

AFD	: Agence Française de Développement
ANAE	: Association Nationale d'Actions Environnementalistes
ASJA	: Athénée Saint Joseph Antsirabe
BD	: Base de Données
BP	: Boîte Postale
CIRAD	: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
DGE	: Direction Générale de l'Economie
F0	: Sans fumure
FAO	: Food and Agriculture Organization
FIFAMANOR	: Fiompiana Fambolena Malagasy Norvezianina
FM	: Fumure Minérale recommandée
FOFIFA	: FOibem- pirenena momba ny Fikarohana ampiharina ho Fampandrosoana ny tontolo Ambanivohitra
Fu	: Fumier seulement
GP	: Grains Pleins
GRET	: Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques
GSDM	: Groupement Semis Directs à Madagascar
GV	: Grains Vides
JAS	: Jours Après Semis
KOBAMA	: KOBA MALagasy
LAB	: Labour
LCC	: Leaf Color Chart
MAEP	: Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
MEFB	: Ministère de l'Economie, des Finances et du Budget
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	: Organisme Non Gouvernemental
PCD	: Plan Communal de Développement
PCP	: Pôle de Compétence en Partenariat
PDR	: Programme de Développement Régional
PG	: Poids d'un grain
PIB	: Produit Intérieur Brut
PMG	: Poids de Mille Grains
PPN	: Produits de Première Nécessité
PRA	: Projet Riz d'Altitude
R²	: Coefficient de détermination sur le graphique
Rdt	: Rendement
RIE	: Revue d'Information Economique
SCV	: Semis Direct sous Couverture Végétale
SPAD	: Soil Plant Analyses Development
SRI	: Système de Riziculture Intensive
TAFA	: TAny sy FAmpanandrosoana
TMR	: Temps Moyen de Résidence
TMT	: Tests en Milieux Paysans
UPDR	: Unité Politique de Développement Rural
URP	: Unité de Recherche en Partenariat
SCRiD	: Système de Culture et Rizicultures Durables
USA	: United States of America
USD	: United States Dollars

Symboles et formules chimiques

C/N	: rapport entre carbone et azote
CO₂	: dioxyde de carbone (gaz carbonique)
CO₃²⁻	: ion carbonate
Ca²⁺	: ion calcium
H₂O	: eau
K	: Potassium
K₂O	: potasse
MgO	: oxyde de magnésium
N	: Azote

N₃⁻ : ion nitrate
NH₄⁺ : ion ammonium
P : Phosphore
P₄³⁻ : ion phosphate
P₂O₅ : anhydride phosphorique
PH : Potentiel Hydrogène
S₄²⁻ : ion sulfate

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 principaux producteurs de riz en 1998 (millions de tonnes)	4
Tableau 2 : Disponibilité en riz à Madagascar de 1997 à 2003 (tonnes).....	4
Tableau 3 : Niveau d'équipement des riziculteurs	7
Tableau 4 : Températures de l'air nécessaires à la culture du riz (°C).....	11
Tableau 5 : Pourcentage de levée en fonction de la profondeur de semis.....	13
Tableau 6 : Superficies occupées par la riziculture pluviale dans la région du Vakinankaratra.....	17
Tableau 7 : Calendrier cultural du riz pluvial et du riz irrigué sur les Hautes Terres :	18
Tableau 8 : Les façons culturales et leurs caractéristiques	31
Tableau 9 : Caractéristiques de quelques espèces	33
Tableau 10 : Composition des engrais de ferme : cas du fumier des bovins.....	35
Tableau 11 : Evolution des constituants organiques du fumier.....	36
Tableau 12 : Les différents systèmes de culture.....	58
Tableau 13 : Caractéristiques des variétés F154 et F161	60
Tableau 14 : Les plantes de couverture installées sur les nouveaux systèmes	60
Tableau 15 : Les systèmes étudiés sur les parcelles en Maïs	65
Tableau 16 : Les systèmes étudiés sur les parcelles en rotation autre que le maïs.....	66
Tableau 17 : Comparaison des valeurs SPAD en Jours Après Semis (JAS) par traitement en FM, de début tallage à floraison	68
Tableau 18 : Les différentes composantes du rendement sur tous les anciens systèmes de culture en fonction des modes de gestion du sol et des fertilisations (F161),	72
Tableau 19 : Les composantes du rendement sur les nouveaux systèmes (F154).....	81
Tableau 20 : Les valeurs de la biomasse paille sur tous les systèmes en fonction des modes de gestion du sol et des fertilisations	83
Tableau 21 : Les biomasses produites sur les systèmes R3, R4, Rp à la récolte et à la fin de la saison froide.....	90

Liste des figures

Figure 1 : Les phases de croissance d'un plant de riz pluvial.....	10
Figure 2 : Les différentes phases du cycle du riz et la formation des composantes du rendement du riz	15
Figure 3 : Fonctionnement d'un écosystème forestier	25
Figure 4 : Dynamique de minéralisation – Accumulation du carbone dans les sols tropicaux par les techniques du Semis Direct sur couverture végétale permanente.....	40
Figure 5 : Courbe ombrothermique d'Andranomanelatra, campagne 2006- 2007	52
Figure 6 : Courbe ombrothermique d'Andranomanelatra, moyenne des 5 précédentes années	52
Figure 7 : Evolution des valeurs SPAD par système en FM de début tallage à la floraison en jours après semis.....	69
Figure 8 : Rendements (t/ha) obtenus par la variété F161 sur les systèmes T LAB, T SCV, R2 SCV, R4 LAB, R1 SCV, Rp LAB, R4 SCV, R3 SCV en fonction des fertilisations.....	71
Figure 9 : Relation entre les moyennes de rendement et les moyennes du nombre de grains pleins par m ²	73
Figure 10 : Relation entre le PMG et le nombre d'épillets par m ²	74
Figure 11 : Relation entre le % GP et le Nombre d'épillets par m ²	75
Figure 12 : Relation entre le Nombre d'épillets par m ² et le nombre de panicules par m ²	75
Figure 13 : Relation entre Nombre de panicules par m ² et Nombre de plants par m ²	76
Figure 14 : Comparaison des rendements obtenus en simple et double lignes pour les variétés F161 et F154 sur les systèmes T.....	77
Figure 15 : Comparaison du pourcentage de GP entre les variétés F161 et F154.....	78
Figure 16 : Rendements moyens obtenus sur les systèmes en double ligne avec la variété F154 en Fertilisation Minérale.....	79
Figure 17 : Rendements obtenus sur les systèmes en double ligne avec F154 en FM représentés sur les 4 blocs.....	79
Figure 18 : Relation entre le rendement et le nombre de grains pleins.....	80
Figure 19 : Les biomasses pailles (t/ha) obtenues à la récolte par la variété F161 sur les systèmes T LAB, R4 LAB, R2 SCV, T SCV, R1 SCV, Rp LAB, R4 SCV, R3 SCV en FM et Fu	82
Figure 20 : Comparaison des biomasses pailles obtenues en simple et double lignes pour les variétés F161 et F154 sur les systèmes T	83

Figure 21 : Les biomasses pailles obtenues sur les systèmes en double ligne avec F154 et FM	84
Figure 22 : Comparaison entre les systèmes des biomasses résidus sur le riz en double ligne (F154 sur SCV et Labour)	85
Figure 23 : Comparaison entre les systèmes des biomasses résidus sur le riz en double ligne (F154 en FM).....	85
Figure 24 : Comparaison sur la biomasse aérienne produite (résidus) entre tous les systèmes en rotation après le riz en FM et Fu	86
Figure 25 : Comparaison du rendement en riz et des biomasses produites sur les parcelles en rotation pour tous les systèmes	87
Figure 26 : Comparaison entre les systèmes des biomasses des résidus en rotation sur les nouveaux systèmes de maïs.	88
Figure 27 : Comparaison des biomasses résidus totales produites entre à la récolte et à la fin de la saison froide	89

Liste des cartes

Carte 1 : Les 22 Régions de Madagascar.....	50
Carte 2 : Présentation de la Région du Vakinankaratra et localisation géographique d'Andranomanelatra	51
Carte 3 : Dispositif PCP- URP/SCRiD d'Andranomanelatra , Campagne 2006-2007	57

Liste des schémas

Schéma 1 : Schéma général de l'évolution des matières organiques dans le sol.....	37
Schéma 2 : Voies et mécanisme fondamentaux du cycle d'azote impliquant les êtres vivants	43

TABLE DES MATIERES

RESUME

REMERCIEMENTS

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

LISTE DES ILLUSTRATIONS

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION1

PREMIERE PARTIE

CHAPITRE PREMIER : LE RIZ3

1.1. La filière riz à Madagascar3

1.1.1. Place du riz dans l'économie de Madagascar3

1.1.1.1. Place du riz face au PIB et à l'importation3

1.1.1.2. Place du riz dans les activités agricoles et les emplois créés par la filière riz
.....5

1.1.1.3. Place du riz dans le budget des ménages5

1.1.2. Les atouts de la filière rizicole malgache.....5

1.1.2.1. Situations agro-écologiques favorables5

1.1.2.2. Un niveau de consommation élevée6

1.1.3. Les contraintes de la filière riz.....6

1.1.3.1. Les contraintes physiques6

1.1.3.2. Les contraintes techniques7

1.1.3.3. Les contraintes économiques8

1.2. Biologie et physiologie du riz8

1.2.1. Les phases de développement du riz.....8

1.2.1.1. La phase végétative.....8

a) La germination :9

b) Le tallage9

1.2.1.2. La phase reproductive9

a) La montaison9

b) La floraison.....9

1.2.1.3. La phase de maturation9

1.2.2. Ecologie du riz pluvial	10
1.2.2.1. Besoin en latitude, altitude, lumière et température	10
1.2.2.2. Besoin en eau	11
1.2.2.3. Besoin en sol	11
1.2.3. Elaboration des composantes du rendement	11
1.2.3.1. Les composantes du rendement	11
1.2.3.2. L'élaboration du rendement suivant le cycle du riz	12
a) La phase végétative	12
b) La phase reproductive	14
c) La phase de maturation	14
1.3. Le riz pluvial à Madagascar	16
1.3.1. Place du riz pluvial dans la riziculture malgache	16
1.3.1.1. Historique du riz pluvial	16
1.3.1.2. Mise en valeur des Tanety par la riziculture pluviale	16
1.3.1.3. Le PRA (Projet Rizicole d'Altitude)	17
1.3.2. Particularités techniques du riz pluvial	18
1.3.2.1. Le cycle cultural	18
1.3.2.2. Les exigences recherchées par la riziculture pluviale	19
a) Les semences utilisées	19
b) La maîtrise des mauvaises herbes	19
c) La nature du sol	19
CHAPITRE II : LES SYSTEMES DE CULTURE	20
2.1. Les modes de gestion du sol	20
2.1.1. Le labour	20
2.1.1.1. Les avantages du labour	20
a) Les effets du labour sur le sol	20
b) Les effets du labour sur la plante	21
2.1.1.2. Les inconvénients du labour	22
2.1.2. Le SCV	23
2.1.2.1. Historique du SCV	23
a) Dans le monde	23
b) Le SCV à Madagascar	23
2.1.2.2. Les fondements du SCV	24
a) Fonctionnement du SCV	24
b) Les principes de base	25

c) Techniques de base	26
2.1.2.3. Les avantages et inconvénients du SCV	27
a) Les avantages.....	27
b) Les inconvénients du SCV	28
2.2. Les précédents culturaux	29
2.2.1. La biomasse représentant les précédents culturaux	29
2.2.1.1. Définition	29
2.2.1.2. Les effets des précédents	29
2.2.1.3. La sensibilité du suivant	29
2.2.2. Les façons culturales.....	31
2.2.3. Caractéristiques des Légumineuses et des Graminées.....	32
2.2.3.1. Caractéristiques communes des Légumineuses.....	32
2.2.3.2. Caractéristiques communes des Graminées.....	32
2.2.3.3. Caractéristiques de quelques espèces sur la production de biomasse.....	32
CHAPITRE III LA FERTILISATION AZOTEE DU RIZ PLUVIAL	34
3.1. La matière organique	34
3.1.1. Les types de matières organiques	34
3.1.2. Les sources de matières organiques.....	34
3.1.2.1. Les résidus de récolte.....	34
3.1.2.2. Le fumier de ferme	35
3.1.3. La décomposition de la matière organique	36
3.1.3.1. Schéma de la décomposition de la matière organique	36
3.1.3.2. Les étapes de la décomposition de la matière organique.....	38
a) La décomposition des matières organiques jeunes ou minéralisation primaire.	38
b) l'humification ou évolution des matières organiques dans le sol.....	38
3.1.3.3. Les conditions de réussite de la décomposition de la matière organique	39
3.2. L'azote	41
3.2.1. Les différentes sources d'azote.....	41
3.2.1.1 L'azote atmosphérique.....	41
3.2.1.2. La fixation biologique.....	41
3.2.1.3. Les engrais minéraux	41
3.2.2. Les différentes formes d'azote.....	42
3.2.2.1. Les réserves d'azote organique.....	42
3.2.2.2. L'azote minéral assimilable	42

3.2.2.3. L'azote moléculaire	43
3.2.3. Le cycle de l'azote	43
3.2.3.1. La protéolyse	43
3.2.3.2. L'ammonification	43
3.2.3.3. La nitrification	44
a) nitrosation	44
b) nitratisation	44
3.2.3.4. La dénitrification	44

DEUXIEME PARTIE

CHAPITRE PREMIER : JUSTIFICATION DU THEME45

1.1. Cadre de l'étude	45
1.1.1. Contexte général de l'étude	45
1.1.1.1. CIRAD	45
1.1.1.2. FOFIFA.....	45
1.1.2. Problématique	47
1.1.3. Objectif de l'étude	47
1.1.4. Hypothèse et résultat attendu	47
1.2. Présentation générale de la zone d'étude	48
1.2.1. Localisation, hydrologie, relief.....	48
1.2.1.1. Localisation.....	48
1.2.1.2. L'hydrologie	49
1.2.1.3. Le relief.....	49
1.2.2. Les unités climatiques.....	52
1.2.2.1. La température	53
1.2.2.2. La pluviométrie.....	53
1.2.2.3. Le vent	53
1.2.3. Les unités géologique et pédologique, la végétation	54
1.2.3.1. Les unités géologiques	54
1.2.3.2. Les unités pédologiques.....	54
1.2.3.3. Les végétations et activités économiques prépondérantes.....	55

CHAPITRE II LES MATERIELS56

2.1. Le dispositif expérimental de l'URP SCRiD : la matrice.....	56
2.2. Les matériels végétaux.....	60

CHAPITRE III LES METHODES	61
3.1. Détermination de la teneur en azote	61
3.1.1. Avec le SPAD	61
3.1.1.1. Principes.....	61
3.1.1.2. Mode opératoire.....	61
3.1.2. Avec la LCC	61
3.1.2.1. Son utilité.....	61
3.1.2.2. Principe	62
3.1.2.3. Méthode	62
3.2. Détermination du rendement	62
3.2.1. Principe	62
3.2.2. Méthodes.....	62
3.3. Mesure des biomasses autres que le riz	65
3.3.1. Mesure des biomasses résidus sur les parcelles en rotation avec le riz	65
3.3.1.1. Sur les parcelles de maïs	65
3.3.1.2. Sur les parcelles en rotation avec le riz autres que le maïs : Avoine - Haricot, Haricot - Eleusine, Vesce, Haricot – Vesce.....	66
3.3.2. Mesure des biomasses des plantes de couverture sur les nouveaux systèmes de riz	67

TROISIEME PARTIE

CHAPITRE PREMIER : LES RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	68
1.1. Evaluation des systèmes par rapport à la nutrition azotée : Comparaison des évolutions des valeurs SPAD sur les systèmes étudiés.....	68
1.2. Evaluation des systèmes par rapport au rendement	70
1.2.1. Anciens systèmes.....	70
1.2.1.1. Comparaison des rendements entre systèmes étudiés.....	70
1.2.1.2. Analyses des composantes du rendement.....	72
1.2.2. Nouveaux systèmes.....	77
2.2.2.1. Comparaison des rendements du riz entre les nouveaux systèmes étudiés .	77
2.2.2.2. Evaluation des composantes du rendement	80
2.3 Evaluation des systèmes par rapport à la production de biomasse	81
2.3.1. Evaluation sur le riz anciens systèmes.....	81
2.3.2. Evaluation sur les nouveaux systèmes.....	83
2.3.2.1. Les biomasses pailles de riz.....	83

2.3.2.2. Sur les plantes de couverture	84
2.3.2. Evaluation des systèmes par rapport à la production de biomasse produite par les parcelles en rotation avec le riz	86
2.3.2.1. Sur tous les anciens systèmes	86
2.3.2.2. Sur le nouveau système de maïs	88
2.3.2.3. Les biomasses résidus sur le maïs ancien système	89
CHAPITRE II DISCUSSIONS SUR L'ÉVALUATION DE SYSTEMES	91
2.2. Par rapport à la nutrition azotée	91
2.2.1. Sur les anciens systèmes	91
2.2.2. Sur les nouveaux systèmes	91
2.2. Par rapport aux modes de gestion du sol	92
2.2.1. Sur les anciens systèmes	92
2.2.2. Sur les nouveaux systèmes	92
2.3. Par rapport aux précédents culturaux.....	93
2.4. Par rapport à l'évaluation de composantes du rendement	93
CONCLUSION	94

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

Annexe I : Les matériels et équipements utilisés

Annexe II : Les itinéraires techniques culturaux du riz

Annexe III : Evolution des valeurs SPAD en Jours Après Semis (JAS) sur les systèmes R4 et R3

Annexe IV : Evolution des valeurs SPAD en JAS sur le système T

Annexe V : Les composantes du rendement, les rendements et les biomasses produites sur les anciens systèmes de riz

Annexe VI : Les composantes du rendement, les rendements et les biomasses produites sur les nouveaux systèmes de riz

Annexe VII : Les biomasses des plantes de couverture en association avec le riz le riz

Annexe VIII : Les biomasses des plantes en rotation avec le riz

ABSTRACT

INTRODUCTION

Le riz fait partie des trois céréales les plus cultivées au monde après le blé et le maïs. Il constitue l'aliment de base de plus de la moitié de l'humanité, dont Madagascar. Dans notre Ile, de nombreux foyers malgaches pratiquent la riziculture, en majorité pour l'autoconsommation, et une infime partie pour la vente. La filière riz tient une grande place dans l'économie nationale. L'étude FAO/UPDR révèle en 2000 qu'elle constitue la part la plus importante des revenus des ménages ruraux et des zones productrices ; 12% du PIB (Produit Intérieur Brut) ; 8,2% de la valeur ajoutée ; 3,7% en 2000 et 7,7% en 2003 de l'importation totale même si la production était toujours croissante entre ces dates.

Il est cultivé du niveau de la mer jusqu'à plus de 1800m d'altitude. Par conséquent, plusieurs types de cultures existent selon le milieu.

Toutefois, les riziculteurs rencontrent toujours des problèmes entraînant à la stagnation, voire la réduction de la production. Ces problèmes sont multiples et occasionnent des pertes pour le producteur chaque année.

Face à la croissance démographique et à l'insuffisance du riz sur le marché local, notre pays doit en importer pour satisfaire les besoins des consommateurs, et il doit donc trouver des solutions pour pouvoir accroître la production. La mise en valeur des *Tanety* est une issue pour sortir de cette impasse. Malheureusement, ces terrains ne sont pas tous fertiles, la plupart sont pauvres.

Le SCV (Semis Direct sous Couverture Végétale), un nouveau système qui préserve à la fois l'environnement et la fertilité du sol, permet de mettre en valeur ces terrains. L'URP/SCRiD (Unité de Recherche en Partenariat/ Systèmes de Culture et Rizicultures Durables) a mis en place un dispositif expérimental à Andranomanelatra pour mener des recherches sur le développement de ce nouveau système sur le riz pluvial.

Notre étude fait partie de ces recherches et se focalise sur l'évaluation des différents systèmes de culture du riz pluvial. L'appréciation de ces systèmes se fait par l'analyse des résultats des différentes mesures effectuées sur la teneur en azote de la culture durant le cycle, la comparaison des rendements à la récolte et la comparaison des biomasses pailles produites par le riz et les parcelles en rotation à la récolte et à la fin de la saison froide.

Le présent mémoire intitulé : « Evaluation des systèmes de culture du riz pluvial : comparaison des fertilisations, des modes de gestion du sol et des précédents cultureux » comportera trois grandes parties :

- Première partie : les caractéristiques de la filière rizicole à Madagascar ainsi qu'une élaboration des composantes du rendement du riz ; généralités sur les systèmes de culture et les fertilisations azotées;
- Deuxième partie : la présentation de la zone d'étude, les matériels et méthodes adoptés pour la réalisation de l'étude ;
- Troisième partie : la présentation des résultats, des interprétations et discussion.

Chapitre premier : LE RIZ

1.1. La filière riz à Madagascar

1.1.1. Place du riz dans l'économie de Madagascar

Dans le monde, le riz sert de nourriture de base à presque la moitié de la population du globe, dont Madagascar.

Dans notre île, la culture est pratiquée dans toutes les régions existantes à l'exception de l'extrême Sud qui est trop sec. Par conséquent, différents types de systèmes de culture existent. Pour un même système de culture, les rendements peuvent varier d'une région à l'autre. En général, le rendement de paddy (grain de riz non décortiqué) tourne autour de 2 t/ha à Madagascar. Dans les régions productrices dont les infrastructures sont importantes (Alaotra, Marovoay, Itasy), les rendements peuvent atteindre 2,5-3 t/ha, et c'est la riziculture aquatique qui présente les plus forts rendements. En SRI (Système de Riziculture Intensive), sur les Hauts Plateaux le rendement arrive jusqu'à 5,7 t/ha contre 4,7 t/ha au Lac Alaotra. (MEFB - DGE, 2004)

1.1.1.1. Place du riz face au PIB et à l'importation

L'étude de la FAO/ UPDR en novembre 2000 révèle que la production de riz contribue à hauteur de 12% au PIB en termes courants et de 43% au PIB agricole. De ce fait, le développement du secteur agricole est en relation directe avec la production rizicole. Les riziculteurs constituent 85,2% de la valeur ajoutée de la filière créée par les opérateurs économiques, face à 4,2% pour les transformateurs et 10,5% pour les commerçants. Toutefois, la riziculture malgache n'arrive pas à satisfaire les besoins nationaux.

De 1990 à 2005, le taux de croissance moyen annuel de la production de paddy (grain de riz non décortiqué) était de 1,2% tandis que celui de la population était estimé à quelque 2,8%. Ainsi, la production moyenne de riz par tête n'était plus que de 111 kg en 2003, alors qu'elle était encore à 133 kg en 1990 (MEFB - DGE, 2004).

Même si la production annuelle est toujours croissante, l'offre n'arrive malheureusement pas à satisfaire la demande des consommateurs. Le stock au début de la saison est insuffisant.

Pour combler l'insuffisance de l'offre, Madagascar doit importer du riz. L'importation du riz est passée de 3,7% en 2000 à 7,7% en 2003 des importations totales. Toutefois le

« Vary Gasy » occupe une place importante sur le marché local malgré une quantité non négligeable de riz importé. De plus, les Malgaches sont attirés par les variétés locales.

Les deux tableaux suivants montrent, d'une part, les principaux producteurs mondiaux de riz, d'autre part, la disponibilité en riz à Madagascar qui équivaut à la somme de la production et du volume de l'importation.

Tableau 1 : Les principaux producteurs de riz en 1998 (millions de tonnes)

Production mondiale	561,1
Chine	193,0
Inde	122,2
Indonésie	46,3
Bangladesh	28,3
Viêt Nam	27,6
Thaïlande	23,2
Myanmar (Birmanie)	16,6
Japon	12,5

Source : Encyclopédie Microsoft Encarta, 2005.

Tableau 2 : Disponibilité en riz à Madagascar de 1997 à 2003 (tonnes)

Année	Production de Paddy	Equivalent en riz blanc	Importation
1997	2.558.000	1.688.280	57.800
1998	2.447.000	1.615.020	43.500
1999	2.570.300	1.696.398	115.400
2000	2.480.500	1.637.130	207.700
2001	2.662.400	1.757.184	330.300
2002	2.604.000	1.718.640	170.500
2003	2.800.000	1.840.080	283.800

Source : MEFB - DGE, 2004

Paddy = grain de riz non décortiqué

1.1.1.2. Place du riz dans les activités agricoles et les emplois créés par la filière riz

Les superficies occupées par la riziculture constituent plus de la moitié des surfaces cultivées. Pour la production, les paysans pauvres préfèrent pratiquer les cultures vivrières que les cultures de rente, diversifient leur culture pour éviter tout risque de la monoculture, et consacrent leurs produits en partie ou en totalité à l'autoconsommation.

La pratique traditionnelle de la riziculture exige beaucoup de main d'œuvre dès la préparation du lit de semis jusqu'au battage-vannage du riz.

La filière est également génératrice d'emplois et distributrice de revenus en amont à travers la commercialisation des intrants et de l'équipement par matériel et dans les services d'appui au milieu rural. (MEFB - DGE, 2004)

1.1.1.3. Place du riz dans le budget des ménages

Les activités agricoles, et plus particulièrement la riziculture constituent la part la plus importante de revenus des ménages ruraux et des zones productrices (sauf pour le Sud où les revenus proviennent d'autres cultures ou de l'élevage, et pour la partie orientale de l'Ile où les cultures de rente constituent la première source de revenu).

Le budget alimentation (tous produits confondus) représente entre 34% (Antananarivo) et 61% (Toliara) des dépenses selon les agglomérations. La structure des dépenses en PPN (Produits de Première Nécessité) pour l'ensemble des ménages est de 59,5% pour le milieu rural et 40,1% pour le milieu urbain. En milieu rural, 10-15% des dépenses totales servent aux dépenses agricoles (main d'œuvre, location de terres, frais de culture, et autres) (MEFB - DGE 2004)

1.1.2. Les atouts de la filière rizicole malgache

1.1.2.1. Situations agro-écologiques favorables

Madagascar présente une forte variabilité climatique, les Hauts-Plateaux sont caractérisés par un climat presque identique à celui des pays tempérés, car on peut y rencontrer une large gamme de végétaux qui résistent au froid, tandis que le climat des côtes ressemble à celui des pays tropicaux. Ce type de climat offre des conditions agro-écologiques favorables à plusieurs types de riziculture :

- la riziculture sur *Tavy* après défrichage et mise à feu du terrain ;
- la riziculture irriguée après élévation de digues ou diguettes autour de la parcelle. Des canaux de drainage et d'irrigation sont nécessaires pour la maîtrise de l'eau ;
- la riziculture pluviale souvent pratiquée sur les terrains accidentés. L'approvisionnement en eau dépend uniquement de la pluie naturelle.

De plus, le riz pousse depuis le niveau de la mer jusqu'à plus de 1600m.

De ce fait, Madagascar possède six grandes zones de riziculture :

- la Côte Est de 0-500m d'altitude, à climat chaud et très humide, zone de cultures pluviales sur brûlis ;
- le Lac Alaotra dans le Moyen Est de 700-800m d'altitude, cuvette constituant le premier grenier à riz de Madagascar ;
- le Nord Ouest de 0-500m à climat tropical chaud et semi- humide, zone de cultures irriguées sur décrue après retrait des eaux, et du riz pluvial sur nappe ;
- le Sud Ouest et l'Ouest de 0-500m d'altitude à climat semi-aride, où la double riziculture est pratiquée dans les plaines irriguées ;
- le Moyen Ouest de 900-1000m d'altitude, zone des cultures pluviales sur collines ;
- les Hautes Terres de 1000-2000m d'altitude, à climat tropical d'altitude, zone des cultures irriguée et pluviale.

1.1.2.2. Un niveau de consommation élevée

Face à ces différentes zones écologiques, la production locale n'arrive pas à satisfaire la demande locale ; même si il y a importation du riz, les débouchés seront sûrs à bon prix s'il n'y a pas d'intermédiaire.

1.1.3. Les contraintes de la filière riz

Trois principaux points sont à signaler : les contraintes physiques, les contraintes techniques et les contraintes économiques.

1.1.3.1. Les contraintes physiques

Elles sont dues :

- à l'enclavement des zones rizicoles car les pistes rurales sont peu nombreuses ou mal entretenues

- à une météorologie défavorable vu le passage annuel des cyclones tropicaux qui provoquent d'une part, des vents violents pouvant faire verser toute la culture, d'autre part, des pluies incessantes qui inondent les rizières
- à la détérioration de l'environnement naturel et à la baisse de la fertilité du sol à cause de la pratique du *Tavy*, de l'érosion sur *Tanety* et de la réduction de la jachère.

1.1.3.2. Les contraintes techniques

Elles concernent la mauvaise maîtrise de l'eau. Les systèmes de drainage et d'irrigation sont mal construits. En outre, on constate une faible utilisation des techniques améliorées parce qu'une large proportion de paysans pratiquent encore le système traditionnel, vu les exigences techniques des systèmes améliorées (sarclage répété par exemple) et la nécessité d'utiliser des intrants agricoles (semences améliorées, produits phytosanitaires, fumure minérale) qui ne sont pas à leur portée. Par ailleurs, selon l'enquête faite par le FAO/UPDR en 1999 (**tableau 3**) le niveau d'équipement des paysans est limité.

Tableau 3 : Niveau d'équipement des riziculteurs

Type de matériel	%
Tracteur avec accessoires	0,2
Motoculteur avec accessoires	0,1
Herse à bœuf	28,8
Charrette	26,4
Charrue à bœuf	33,0
Pulvérisateur	3,5
Houe rotative/ sarcleuse	14,4
Angady/ pelle/ pioche	97,3
Faucille/ coupe coupe	92,0

Source : Enquête FAO/ UPDR 99 in MEFB - DGE, 2004

La culture attelée est la plus adaptée à Madagascar à cause des reliefs variés (terrains en pente) et des faibles superficies exploitées.

1.1.3.3. Les contraintes économiques

Elles sont dues à l'insuffisance et à la cherté de crédit car l'accès à un crédit rural est très difficile, le taux d'intérêt est élevé. Nous soulignons également une insécurité financière due à la complexité de la procédure d'acquisition des terres, le coût élevé de procuration des titres, l'éloignement du service des douanes et la lourdeur du traitement des dossiers. Enfin, les marchés ruraux sont déficients, ce sont les opérateurs économiques (collecteurs) qui tirent un grand profit lors de l'achat des produits agricoles car ils agissent comme des acheteurs en position de monopole, fixant le prix à leur convenance.

1.2. Biologie et physiologie du riz

Le riz appartient :

Règne	: Végétal
Embranchement	: Spermaphytes
Sous embranchement	: Angiospermes
Classe	: Monocotylédones
Famille	: Poaceae
Genre	: <i>Oryza</i>
Espèces	: <i>Oryza glaberrima</i> et <i>Oryza sativa</i>

Deux espèces sont cultivées. L'une d'origine africaine, *Oryza glaberrima* est cantonnée presque uniquement en Afrique de l'Ouest ; l'autre d'origine asiatique, *Oryza sativa* est présente aujourd'hui sur les cinq continents. Les deux espèces sont diploïdes ($2n= 24$) et autogames.

1.2.1. Les phases de développement du riz

Le développement du riz se fait en trois phases successives.

1.2.1.1. La phase végétative

Elle comprend deux étapes :

a) La germination :

C'est le passage de la vie ralentie à la vie active. Elle a lieu 4 jours environ après le semis. Après la germination, les différents organes constituant le plant de riz vont se former successivement.

b) Le tallage

C'est la phase pendant laquelle le riz émet des tiges secondaires et tertiaires, ou talles. Elle se situe 3-5 semaines après le début de la germination avec l'émergence de la quatrième feuille jusqu'à l'initiation paniculaire. L'ensemble des talles se trouvant sur un pied de riz forme une touffe.

La durée de la phase végétative du riz varie selon les variétés.

1.2.1.2. La phase reproductive

Elle commence au début de la formation de la panicule et se termine à la floraison. Elle comprend aussi deux étapes :

a) La montaison

Elle se caractérise par le renflement de la partie supérieure de la tige formant un « ventre » et l'émergence de la feuille paniculaire et de l'inflorescence.

b) La floraison

Elle se manifeste par l'ouverture des glumelles durant 2h au maximum et l'apparition des étamines à l'extérieur.

La phase reproductive dure normalement environ 35 jours.

1.2.1.3. La phase de maturation

C'est le développement de l'ovaire en graine qui prend progressivement sa dimension définitive. L'état de maturité se définit par l'état de dureté du grain aux différents étages de la panicule. Cette phase dure environ 30 jours (25 jours pour les variétés précoces).

Les phases critiques du riz sont d'une part **le tallage** : si les conditions ne sont pas suffisantes (sarclage, apport d'engrais azotés), on risque d'avoir peu de talles qui seront les porteurs de panicules ; d'autre part **l'épiaison- floraison** qui nécessite une pluie suffisante et une absence de vent pour que la fécondation se déroule normalement sinon la proportion du nombre de grains vides sera élevée.

Dans la majorité des cas, le cycle végétatif du riz pluvial varie de 120-180 jours. La figure suivante montre les trois phases de croissance du riz pluvial avec leur durée respective.

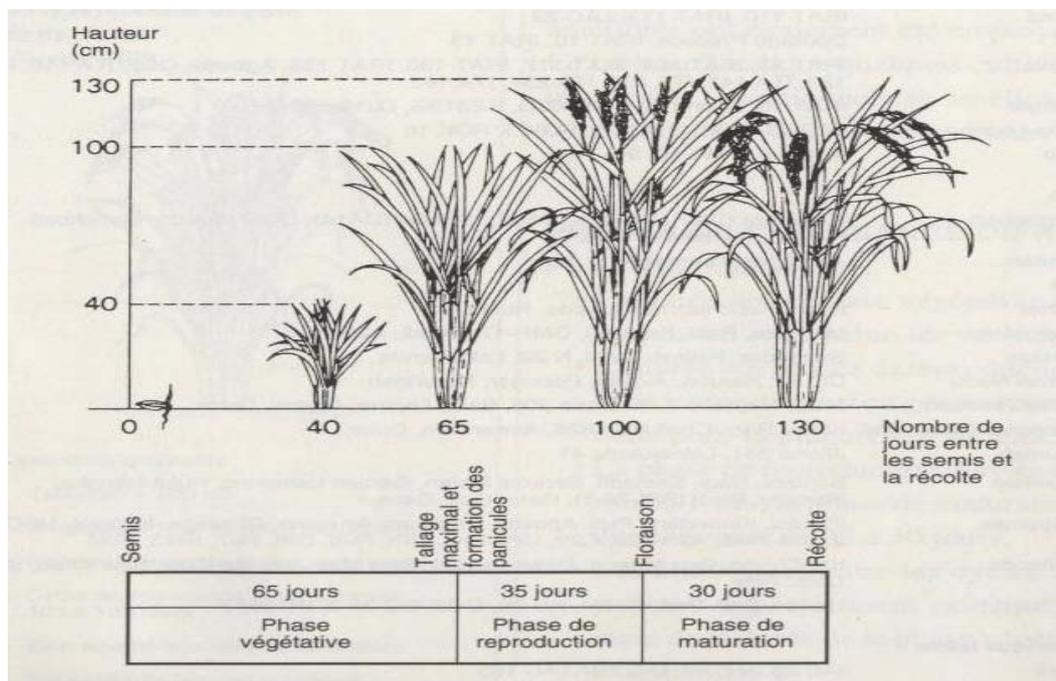


Figure 1 : Les phases de croissance d'un plant de riz pluvial

Source : Hari K. Pande, 1997

1.2.2. Ecologie du riz pluvial

1.2.2.1. Besoin en latitude, altitude, lumière et température

Le riz est cultivé depuis le 40° Sud, en Argentine jusqu'à 53° Nord en Chine. La plus haute altitude de culture se situe au Népal à plus de 3000m. (CIRAD - GRET, 2002). A Madagascar, le riz pousse depuis le niveau de la mer jusqu'à 1800m d'altitude. Toutefois, la riziculture d'altitude nécessite des variétés résistantes au froid.

Le riz est une plante exigeante en lumière. Dans les régions à trop forte insolation, la croissance des tiges et le rendement sont néanmoins contrariés. De plus, l'échaudage (phénomène commun à toutes les céréales souffrant de la sécheresse au moment de la fécondation, il se caractérise par la stérilité des épillets) peut être favorisé. (P. HUBERT, 1970). De même, une faible luminosité (temps souvent nuageux) donne une végétation grêle.

Les besoins en température sont résumés dans le tableau 4 ci-après :

Tableau 4 : Températures de l'air nécessaires à la culture du riz (°C)

Etapas de développement	Température de l'air		
	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

1.2.2.2. Besoin en eau

Le riz a besoin de 160-300mm d'eau par mois, soit 1000-1800mm durant son cycle végétatif. La phase d'initiation paniculaire est une période critique.

Toutefois, il existe une interdépendance entre le besoin en eau et la nature du sol : par exemple pour un sol argilo-limoneux, une pluviométrie de 800-1000mm suffit pour pratiquer la riziculture pluviale.

1.2.2.3. Besoin en sol

Le riz exige un sol riche, meuble, perméable, limoneux ou limono-argileux. Le pH optimum se situe entre 6-7. Parmi les céréales, le riz supporte le mieux l'excès d'humidité, par contre il est très sensible à une longue période sèche.

L'objet de cette étude est d'évaluer les systèmes de culture du riz pluvial. Entrons plus particulièrement en détail dans ce domaine.

1.2.3. Elaboration des composantes du rendement

1.2.3.1. Les composantes du rendement

L'élaboration des composantes du rendement du riz se fait au cours des trois phases durant son cycle.

La décomposition du rendement en composantes est très enrichissante sur les parcelles expérimentales où une mesure précise des facteurs et des conditions de croissance est possible sur des périodes plus courtes et bien définies. (RENE, 2006)

Le rendement du riz est calculé par le poids de grains produits par unité de surface. Une formule plus détaillée est proposée en y introduisant les différentes composantes de rendement du riz :

$$\text{RENDEMENT} = \text{Nombre pieds/m}^2 \times \text{Nombre panicules/pieds} \times \text{Nombre épillets/panicule} \times \% \text{ grains pleins} \times \text{poids de mille grains} \times 10^{-5}$$

L'étude des composantes du rendement permet de comprendre quelles composantes sont à l'origine d'une limitation du rendement. En effet, une composante se met en place à un moment précis du cycle (plus ou moins étendu dans le temps), cela permet d'identifier à quel moment les facteurs ou les conditions limitants sont apparues. Autrement dit, chacune de ces composantes est déterminée à une période bien définie du cycle et constitue donc un témoin des conditions et des facteurs de croissance durant cette période.

La valeur d'une composante du rendement peut donc servir d'indicateur des conditions du milieu durant sa formation ; connaissant les conditions souhaitées, il est possible de déterminer les interventions à opérer pour les optimiser et de hiérarchiser les actions les plus déterminantes. (**Michel VILAIN, 1997**)

1.2.3.2. L'élaboration du rendement suivant le cycle du riz

a) La phase végétative

Cette phase s'étale de la germination jusqu'à l'initiation paniculaire durant laquelle s'effectuent le développement et la croissance des organes végétatifs. Les composantes du rendement s'élaborant pendant cette phase sont le **nombre de pieds/ m²** et le **nombre de panicules/ m²**. Même si les panicules ne sont pas visibles à la fin de cette phase, le nombre de talles fertiles porteuses de panicules est bien déterminé.

a₁) 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. Les réserves qui jusque là assuraient le métabolisme résiduel de l'embryon vont être activement métabolisées pour assurer la croissance de la plantule. (**Jean-Patrick LAFON, Catherine THARAUD- PRAYER et al, 1998**). 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, téguments perméables à l'eau et à l'oxygène, à une température optimum de 30-35°C, dans un milieu aéré et humide, dans une bonne structure et à la profondeur idéale.

- La levée

Elle correspond au pourcentage de plante qui a germé par rapport aux nombres de grains semés. L'avenir de la plantation dépend en grande partie de la réussite de la levée. Plusieurs facteurs peuvent empêcher cette levée à savoir des obstacles mécaniques formés par des terres compactes et de croûtes de battance, de mauvaises conditions d'humidité du sol (capacité de rétention en eau faible), des obstacles photosynthétiques causés par les mauvaises herbes, des semis profonds : chez le riz, le coléoptile se développe en général avant la racine, le pourcentage de levée décroît au delà de la profondeur seuil.

Tableau 5 : Pourcentage de levée en fonction de la profondeur de semis

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

Source: J.P DOBELMANN, 1976

a₂) Le tallage : détermination du nombre de panicules/m²

Les talles sont des pousses qui, après le développement de la tige principale sortent du collet des racines d'une plante. Le tallage commence avec l'émergence de la quatrième feuille (3-4 semaines après le début de la germination) et s'arrête progressivement au moment de la floraison.

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.

Les talles rattrapent vite en hauteur la tige principale mais toutes ne donneront pas une inflorescence. A la fin du tallage, certaines talles vont donner des panicules (une panicule par talle fertile), d'autres vont dégénérer et mourir ensuite : ce sont des talles stériles qui sont toujours jeunes ou rabougries, et n'ont pas atteint leur plein développement. Elles peuvent servir de litière pour la culture suivante.

L'absorption minérale atteint son maximum durant le tallage et une limitation d'un des éléments peut provoquer une discontinuité ou bien un arrêt définitif du tallage.

b) La phase reproductive

Elle commence avec l'initiation paniculaire et se termine à la fécondation.

Cette phase se subdivise en deux périodes :

- la période de formation de la jeune panicule durant laquelle se différencient les épillets
- la période de formation des cellules reproductrices (ovules, grain de pollen) où un certain nombre d'épillets dégénère.

Par conséquent, deux composantes du rendement s'élaborent pendant cette phase : **le nombre d'épillets/ panicule et le pourcentage des grains pleins.**

c) La phase de maturation (RENE, 2006)

Le poids moyen d'un grain (PG) est une caractéristique variétale dépendant de deux variables qui sont la taille de l'enveloppe représentant le poids maximum que peuvent atteindre les grains et le remplissage des grains. En pratique, **le poids de mille grains (PMG)** est calculé avant de déduire le PG.

c₁) Détermination de la taille de l'enveloppe

Elle se situe entre 10 et 20 jours avant l'épiaison et semble correspondre au stade critique de la division réductionnelle de la méiose, des températures trop fortes ou trop faibles, un faible rayonnement ou bien un stress hydrique (le besoin étant de 5 à 6 mm d'eau par jour de l'épiaison jusqu'au stade de grain laiteux) entraînent une réduction sensible de la taille des enveloppes.

c₂) Remplissage des grains

Le degré de remplissage des grains dépend de deux éléments : le nombre de grain à remplir (puits) et le niveau possible d'alimentation de ces grains (source). Cette alimentation provient encore de deux sources : la source photosynthétique fournissant de la matière carbonée au

grain moyennant les trois dernières feuilles qui doivent avoir un port érigé de manière à capter le maximum de rayonnement, et la translocation d'éléments azotés et phosphorés de la tige et des feuilles vers les grains avant la maturation sachant que 90% de l'azote et 80% du phosphore sont absorbés avant l'épiaison.

La **figure 2** résume les phases de croissance du riz et les composantes du rendement correspondantes.

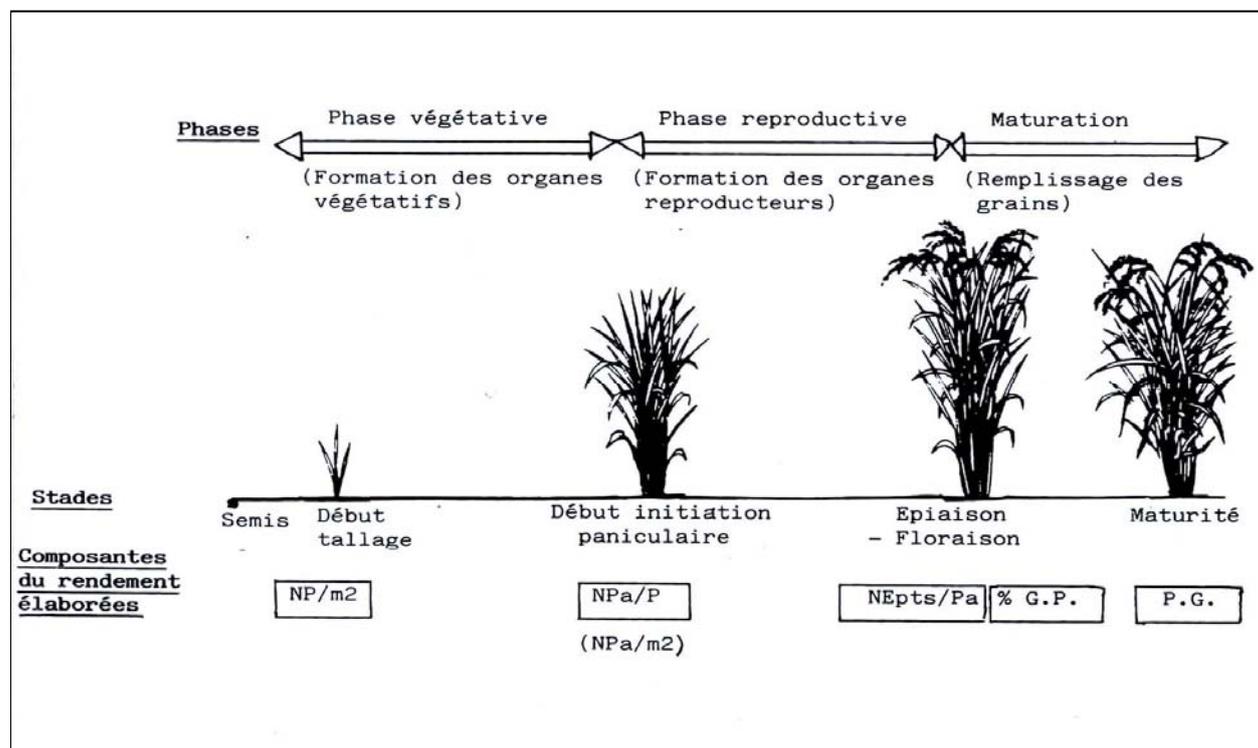


Figure 2 : Les différentes phases du cycle du riz et la formation des composantes du rendement du riz

Source : Moreau D., 1987 in RAMANANDRAIVONONA Jeannick Aimé, 2005

Où

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

% G.P. = pourcentage de grains pleins

P.G. = poids d'un grain

1.3. Le riz pluvial à Madagascar

1.3.1. Place du riz pluvial dans la riziculture malgache

1.3.1.1. Historique du riz pluvial (Hari K. Pande (FAO), 1997)

A Madagascar, le riz constitue un élément fondamental de la politique nationale d'autosuffisance alimentaire. La production est essentiellement assurée par la culture de riz inondé, surtout dans les plaines et les bas-fonds, à altitudes variables. Cette riziculture pour laquelle l'apport d'eau est contrôlé par un système d'irrigation, se rencontre jusqu'à 2000m d'altitude.

En 1980, la culture du riz pluvial n'était pas envisageable au-delà de 1200m d'altitude, où elle offrait moins d'1t de paddy (grain de riz) par ha. Depuis cette date, pressés par les besoins alimentaires et la difficulté croissante d'augmenter les surfaces en riziculture inondée car les plaines et les bas-fonds utilisables pour les rizières inondés sont totalement cultivés, les surfaces disponibles se situant sur les collines d'altitude élevée qui les bordent, les agriculteurs tentent aussi de développer le riz pluvial.

Les services de la recherche du CIRAD et du FOFIFA sont intervenus dans ce domaine dès 1983, pour élargir les possibilités de culture du riz pluvial d'altitude.

En 1993, de nouvelles variétés de riz pluvial, associées à des systèmes de culture adaptés, produisent jusqu'à 6t à 1500m d'altitude. Ces résultats ouvrent de larges perspectives pour les zones tropicales d'altitude et les régions subtropicales où les basses températures freinent la production rizicole. Les Hautes Terres de Madagascar constituent un laboratoire privilégié pour la recherche appliquée, elles forment une palette de climats et de sols représentatifs de ceux rencontrés dans le monde tropical.

1.3.1.2. Mise en valeur des *Tanety* par la riziculture pluviale

Face à la croissance démographique et à l'insuffisance de la production rizicole pour la consommation locale, une technique visant à augmenter les superficies exploitées, et par conséquent accroître la production s'avère nécessaire. La mise en valeur des *Tanety* par le riz pluvial est une solution pour le développement de la filière riz.

De plus, 5% des terres sont cultivées, Madagascar dispose encore de 63% de terres cultivables dont les 2/3 sont des terres ferrallitiques sous forme de *Tanety* à relief plus ou moins accidenté (RABEZANDRINA, 2000). La riziculture pluviale offre la possibilité d'exploiter ces terrains. En outre, son adoption ne nécessite pas des aménagements coûteux

par rapport à la riziculture aquatique. Ainsi, le riz pluvial présente encore d'autres avantages à savoir :

- la disponibilité des variétés améliorées proposées par la recherche ;
- la précocité des récoltes ;
- un bon rendement à l'usinage (rapport grain/ paddy environ 68%);
- un meilleur avantage pour la cuisson (le riz pluvial a la faculté d'augmenter en volume).

Le **tableau 6** met en évidence les superficies occupées par la riziculture pluviale seulement dans la région du Vakinankaratra.

Tableau 6: 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, Août 2006

1.3.1.3. Le PRA (Projet Rizicole d'Altitude)

Une collaboration entre le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) et le FOFIFA a été mise en place afin de développer la riziculture pluviale d'altitude à Madagascar dans le cadre du programme de riz pluvial d'altitude (PRA). Ce projet financé par l'Union Européenne, a démarré en 1983 avec l'appui de la Communauté Economique Européenne (Union Européenne actuellement).

Ses activités ont commencé dans la région du Vakinankaratra, plus particulièrement à Antsirabe et ses alentours, à Ambatolampy et Antanifotsy. Ces deux dernières ont été encadrées par FIFAMANOR. Le projet avait pour principal objectif de proposer à la vulgarisation des variétés performantes de riz pluvial et de riz irrigué face aux contraintes propres aux Hautes Terres. Ses activités touchent les domaines suivants : la sélection de

nouvelles variétés performantes effectuées par FOFIFA, les essais multiloceaux pour la confirmation des variétés nouvellement découvertes (tests variétaux préliminaires suivis des tests comparatifs des variétés), les Tests en Milieux Paysans (TMT) pour démontrer les avantages qu'offrent ces nouvelles variétés, la production de semences si celles-ci sont acceptées par les paysans, enfin la vulgarisation dans d'autres régions concernées.

En milieu paysan, en plus de la diffusion des nouvelles variétés, des techniques modernes sont également proposées par démonstration (traitement des semences, mode de semis approprié, emploi de fumure minérale, sarclage répété).

L'expansion de ces pratiques a beaucoup progressé, le nombre d'exploitants de riziculture pluviale était estimé à plus de 10.000 au début de l'année 2000.

Beaucoup de variétés ont été diffusées à savoir : FOFIFA 133, 134, 151, 152, 153, 154, variétés à fort tallage et à haute fertilité (>70% de grains pleins). Le rendement de ces variétés dépasse 3 t/ha. Elles sont issues du croisement entre les variétés de riz pluvial et de riz aquatique d'altitude.

1.3.2. Particularités techniques du riz pluvial

1.3.2.1. Le cycle cultural

C'est la durée s'écoulant de la levée à la maturité. Le calendrier cultural de la riziculture irriguée est différent de celui de la riziculture pluviale (voir **tableau 7**), car cette dernière commence un peu plus tôt. Ainsi, le semis commence au mois d'octobre au début de saisons de pluie alors que le repiquage en culture irriguée se fait en novembre. C'est pourquoi les paysans optent pour la riziculture irriguée si la pluie arrive tardivement. La récolte du riz pluvial se fait vers le mois d'avril.

Tableau 7 : Calendrier cultural du riz pluvial et du riz irrigué sur les Hautes Terres :

	Juil	Août	Sept	oct	Nov	Déc	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin
riz pluvial			labour	semis	sarclage			récolte				
riz irrigué				labour	repiquage				récolte			

Source : Cécile Guyou, 2003 in RAMANANDRAIVONONA Jeannick , 2005

1.3.2.2. Les exigences recherchées par la riziculture pluviale

a) Les semences utilisées

La pratique de la riziculture pluviale exige des semences certifiées qui doivent être renouvelées, alors que les producteurs n'ont pas la possibilité de le faire, ainsi, le renouvellement des semences et l'achat des variétés adéquates au milieu sont des freins à l'extension de la riziculture pluviale.

De plus, les variétés utilisées doivent être résistantes aux aléas climatiques (irrégularité des pluies, seules sources d'eau ; sécheresse) mais on peut également recourir à des techniques modernes comme le SCV (Semis Direct sous Couverture Végétale cf 2.1.2.).

Enfin, l'utilisation des variétés sensibles aux maladies est à proscrire, la pyriculariose étant la maladie la plus redoutable.

b) La maîtrise des mauvaises herbes

Elle semble poser un grand problème à la riziculture pluviale car elle ne bénéficie pas des moyens de lutte efficace comme le repiquage et l'immersion en culture irriguée. Les paysans sont obligés de faire des sarclages répétitifs ou des traitements chimiques. Ces derniers ne sont pratiqués que par un petit nombre de paysans. Par exemple, dans le Moyen Ouest où l'invasion du Striga (mauvaise herbe très redoutable) est très sérieuse, la méthode de lutte est l'utilisation de systèmes SCV et/ou la rotation avec une Légumineuse. Le SCV est aussi un moyen de lutte très efficace contre d'autres mauvaises herbes.

c) La nature du sol

La culture pluviale exige un sol meuble à forte macroporosité pour favoriser un développement racinaire puissant qui peut assurer son alimentation (eau, éléments nutritifs) dans tout le profil cultural, facilement accessible, même en profondeur. En effet, l'obtention des hautes productivités est assurée si les autres conditions sont réunies.

Chapitre II : Les systèmes de culture

Par définition, le système de culture est une combinaison dans l'espace et dans le temps de cultures sur une parcelle et leur gestion.

Il comprend tous les éléments requis pour la production d'un ensemble d'espèces, et intègre les rapports de ceux-ci avec l'environnement. Ces éléments incluent les facteurs physiques et biologiques, la technologie, le travail et la gestion. (**Hari K. Pande, 1997**).

Deux éléments de ce système de culture sont étudiés ici.

2.1. Les modes de gestion du sol

2.1.1. Le labour

Le travail du sol complète les actions du climat, des micro-organismes et des racines des plantes. Il est donc plus ou moins important en fonction du type de sol et de son environnement. (**CIRAD – GRET, 2002**)

La pratique des labours doit correspondre à des techniques bien adaptées à la saison et au sol.

Généralement, il y a trois saisons de labour :

- les labours d'été et d'automne qui ont pour but de défricher et de préparer les semis ;
- les labours d'hiver pour la protection contre la battance et l'exposition au gel, l'assainissement, l'incorporation organique. Ils sont réalisés soit :
 - après une récolte tardive,
 - comme préparation de culture précoce,
- les labours de printemps pour le réchauffement du sol et la préparation du semis.

Dans la région du Vakinankaratra, ce sont les labours de printemps qui sont les plus pratiqués.

2.1.1.1. Les avantages du labour

a) Les effets du labour sur le sol

- Le labour peut améliorer les propriétés physiques du sol

D'une part, le labour peut améliorer la structure du sol en fissurant les mottes compactes et en l'assainissant par la destruction de bon nombre de larves parasites (insectes terricoles). De plus, le labour détruit les mauvaises herbes, il mélange la terre fine et les mottes lorsque celles-ci sont mal réparties.

D'autre part, il régularise l'humidité du sol en favorisant l'écoulement et l'infiltration. Ensuite, il peut ralentir le ruissellement superficiel en retenant l'eau de pluie lorsqu'il ouvre

un sol compact et sec. En outre, il limite l'évaporation (binage). Enfin, il provoque la remontée capillaire de l'eau des couches inférieures (roulage).

- Le labour peut améliorer les propriétés chimiques du sol :

Les éléments chimiques du sol sont issus de la roche-mère ou apportés par les amendements et les engrais. Le travail du sol rend plus efficaces ces éléments soit :

- en mélangeant dans une partie plus ou moins épaisse du profil les éléments insolubles ou retenus par le complexe absorbant du sol ;
- en remontant vers la surface au moment du labour une partie en cours de lessivage. Les racines et la faune profonde peuvent aussi effectuer cette action.
- en luttant contre l'abaissement du pH : l'oxygénation du sol entraîne la dégradation des acides organiques.

- le labour peut améliorer les propriétés biologiques du sol (**Dominique SOLTNER, 2005**)

La faune du sol et la microflore ont besoin pour agir :

- des matières organiques jeunes ;
- d'un milieu aéré, tempéré et modérément humide.

Le travail du sol peut favoriser leur activité :

- par incorporation de matière organique qu'il permet, surtout qu'elle reste superficielle ;
- par l'ameublissement qu'il assure, favorable aux échanges gazeux ;
- par l'écoulement de l'excès d'eau qu'il provoque.

En plus des actions positives du labour sur le sol, il occasionne aussi des effets positifs sur la plante.

b) Les effets du labour sur la plante

- Le travail du sol permet l'installation et la croissance des cultures :
 - condition d'une bonne germination : chaleur, aération, humidité ;
 - bonne pénétration des racines
- Le travail du sol participe à l'assainissement des cultures car :
 - il permet de lutter contre les mauvaises herbes ;
 - il permet de lutter contre certains parasites et maladies.

2.1.1.2. Les inconvénients du labour

Les moyens mécaniques puissants entre les mains des agriculteurs leur font oublier que le travail du sol est surtout biologique (racine et faune du sol) et que leurs outils peuvent l'exposer à des dangers (fragilité des sols).

Les risques du labour peuvent être de plusieurs sortes :

- forte contribution à l'érosion des sols
- malgré les progrès des charrues et tracteurs qui rendent le labour confortable et rapide, les dépenses occasionnées sont élevées ;
- un labour profond entraîne un retournement en surface de terre infertile (plus pauvre en humus et de faible stabilité structurale), terre qui, par la suite, devient sensible à la battance ;
- le travail d'un sol humide favorise la constitution de zones tassées ou semelles, profondes ou superficielles, et la formation de mottes qui vont durcir en surface ;
- un travail du sol avec une vitesse trop rapide et brutale produira un excès de terre fine ;
- les matières organiques sont en général enfouies trop profondément et mal réparties dans le profil ;
- l'humus stable se dilue dans tout le profil, alors qu'on en a surtout besoin en surface pour protéger le sol contre la battance et l'érosion ;
- toutes les galeries de vers de terre profonds sont rompues alors que ces vers ont la fonction de remonter en surface les minéraux lessivés ;
- un travail du sol qui n'a que pour but d'incorporer des matières organiques, est inutile lorsque la structure du sol est bonne et que cette structure est maintenue stable par des façons culturales appropriées (rotation culturale, restitution organique restant en surface,...).

Malgré les différents avantages que nous procure le labour, il présente aussi bon nombre d'effets négatifs qui ont des conséquences non négligeables sur une exploitation agricole. C'est en partie pour limiter ces inconvénients autant que par recherche d'économie que des chercheurs ont mis au point une technique jugée plus économique et causant moins de dégâts sur l'état du sol : le SCV ou Semis Direct sous Couverture Végétale.

2.1.2. Le SCV

2.1.2.1. Historique du SCV

a) Dans le monde (AFD, nov 2006)

Les idées de base et la mise en pratique du semis direct ont émergé en dehors des zones tropicales, d'abord aux USA à partir des années 60, puis au Sud du Brésil (Sub-tropical), en Australie, en Argentine et au Canada à partir des années 70. Les pratiques agricoles jusqu'alors constituées par le labour, les pulvérisations répétées des sols et la pratique excessive de la monoculture ont entraîné des catastrophes écologiques de grande ampleur aux lourdes conséquences socio-économiques. Le cas le plus connu est celui de *Dust Bowl* (nuages de poussières recouvrant infrastructures, champs, ...) entre les années 20 et 40 dans les Grandes Plaines semi-arides américaines du fait d'une dégradation des sols et d'une érosion éolienne exacerbée. Ce véritable fléau national fut à l'origine de la remise en cause du labour vers les années 30 aux USA. Des phénomènes comparables ont eu lieu en Australie durant les années 50-60. En Amérique Latine, le Semis Direct a commencé à être adopté par quelques agriculteurs à partir des années 70 suite à des phénomènes importants d'érosion hydrique dans le Sud du Brésil (Etat du Panama) et en Argentine dans les Pampas Centrales. Cette prise de conscience, individuelle ou collective, des processus d'érosion des terres, a été le point de départ du Semis Direct dans ces différentes régions du monde.

Deux étapes clés ont permis l'apparition du labour « chimique » grâce à l'utilisation d'herbicides totaux non résiduels : le Paraquat en 1960 et le Glyphosate (Round-up) en 1978 aux USA. Ce dernier, passé dans le domaine public en 1970, a vu son prix chuter (de 40 à 4USD/ litre de 1980 à 2000), ce qui a largement contribué à l'extension du Semis Direct.

b) Le SCV à Madagascar

L'agriculture malagache est largement entre les mains des petits agriculteurs qui pratiquent le système de culture traditionnel (auto-provisionnement en semences, quantité restreinte de fumure minérale, entretiens culturaux minimes,...). La stagnation voire la diminution des rendements des zones irriguées conduit à la mise en culture des *Tanety* ; or les Hauts-Plateaux sont caractérisés par une forte pluviométrie en saison pluvieuse et une topographie accidentée. La mise en culture de ces *Tanety* non aménagés favorise l'érosion et le ruissellement, et engendre ainsi une dégradation des sols fragiles. La recherche d'autres techniques plus rentables s'avère nécessaire ; le SCV ou Semis Direct sous Couverture Végétale est une solution adaptée aux conditions agro-climatiques et socio-économiques de

Madagascar. C'est une nouvelle technique basée sur le non travail du sol avec couverture permanente du sol. Il peut contribuer à la protection de l'environnement et à l'amélioration de la fertilité du sol de manière à accroître la productivité agricole.

Les premières expériences sur le semis direct à Madagascar ont débuté en 1990 à la ferme expérimentale : « fermes mécanisées » de KOBAMA à Andranomanelatra dans la région du Vakinankaratra avec l'appui technique du CIRAD en la personne du chercheur agronome SEGUY Lucien du Brésil.

En 1994, quatre institutions (KOBAMA, FIFAMANOR, FOFIFA, CIRAD) créent l'ONG TAFAMA afin de poursuivre, en milieu paysan cette fois, la mise au point de systèmes de culture en semis direct sous couverture permanente du sol. **(P. RAKOTONDRALAMBO. ONG TAFAMA, sd).**

Les zones d'essais vont s'élargir progressivement **(L. Seguy, RAKOTONDRAMANANA et al, sd) :**

- au climat semi-aride du Sud Ouest : Tuléar à partir de 1995, puis Morondava en 1998 ;
- aux écologies de moyenne altitude avec longue saison sèche (Lac Alaotra et Moyen Ouest) ;
- au climat tropical humide du Sud-Est (Manakara et Mananjary) à partir de 1998.

En quelques années, et avec des moyens limités, une très large gamme de systèmes basés sur les techniques SCV a été mise au point, pour les diverses écologies de Madagascar.

Entre temps, les organismes participant aux recherches et diffusion du SCV se sont accrus formant ainsi le GSDM (Groupement Semis Direct à Madagascar) qui a pour but de coordonner les actions en matière d'agro-écologie et de promouvoir une offre technologique adaptée aux grandes écologies de l'Ile

Depuis janvier 2004, le Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche (MAEP) a délégué au GSDM la maîtrise d'œuvre du projet « Appui à la diffusion des techniques agro-écologiques à Madagascar. »

2.1.2.2. Les fondements du SCV

a) Fonctionnement du SCV

Le SCV s'inspire directement du fonctionnement d'un écosystème forestier (**figure 3**) naturellement stable, durable et basé sur une forte activité biologique. Au travail mécanique se substituent 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, nov 2006)

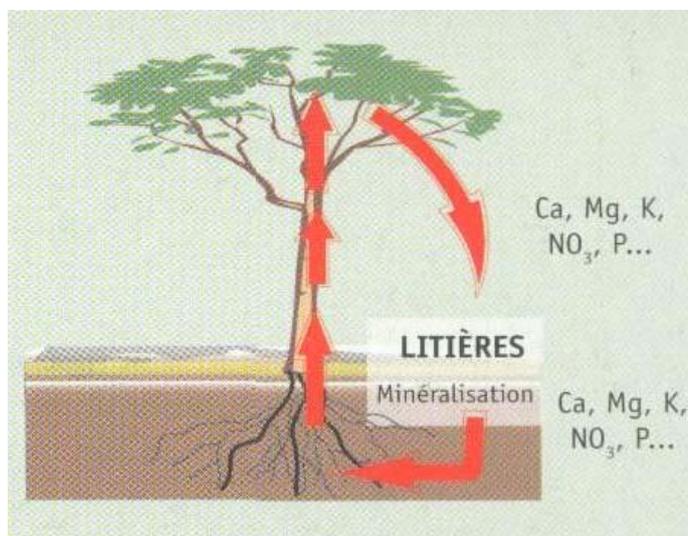


Figure 3: Fonctionnement d'un écosystème forestier

Source : AFD, novembre 2006

b) Les principes de base

- **le sol n'est jamais travaillé**, le remaniement mécanique du sol est limité à la seule implantation de semence. Le labour conventionnel est remplacé par « un labour biologique » du fait de la pénétration profonde dans le profil des racines des plantes de couverture. Par conséquent, les activités des divers organismes du sol ne sont pas interrompues et ils trouvent un environnement très favorable pour leur développement, et sont alors aptes à décomposer, incorporer, mélanger et distribuer les résidus de culture et de couverture à travers les galeries dans les différentes couches du sol.

- **Le sol est couvert d'une façon permanente par des végétaux morts** (résidus de la culture précédente) **ou vivants** (installation de plantes de couverture : culture intercalaire ou dérobée). Le développement de ces couvertures vives est contrôlé afin d'éviter la compétition avec la culture principale.

Les plantes de couverture sont choisies en fonction de leurs possibles utilisations (alimentation humaine ou animale), mais surtout de leur rôle pour mimer le fonctionnement de l'écosystème forestier : elles doivent permettre la production rapide de biomasse et

posséder un système racinaire pouvant atteindre les réserves en eau profondes du sol. (AFD, nov 2006)

Ces couvertures sont utilisées comme pompe biologique : systèmes racinaires puissants permettant de structurer le sol en surface et en profondeur, d'éviter sa compaction et de maintenir des conditions de porosité normale, de remonter et de recycler les éléments minéraux entraînés en profondeur.

- **Les rotations culturales.** En plus de leur rôle de « pompe biologique », la rotation de diverses espèces végétales permet de diversifier la flore et le faune du sol. En effet, leurs racines sécrètent différentes substances organiques qui attirent une diversité de bactéries et de champignons. Ces micro-organismes vont à leur tour jouer un rôle important dans la disponibilité des éléments nutritifs pour la plante. Les rotations culturales sont surtout importantes pour la lutte phytosanitaire « intégrée » dans la mesure où elles brisent les cycles des pathologies. La diversification des cultures permet également des productions (alimentation de l'homme et du bétail) et offre ainsi une meilleure stabilité économique. (AFD, nov 2006)

Dans la pratique du Semis Direct sous Couverture Végétale, des techniques de base sont à suivre.

c) Techniques de base

- **Plantation sur couverture morte.**

Le semis se fait dans les résidus de récolte, les produits de fauchage et les repousses d'adventices après ouverture d'un simple trou ou d'un sillon avec un semoir adapté. On peut faire le semis avec divers outils : bâton, canne planteuse, semoir à traction animale, roues semeuses.

- **Plantation en association avec une couverture vive** d'une espèce régénératrice de fertilité et de structure.

Deux cas se présentent :

- cas d'une plante pérenne (exemple du *Brachiaria*)

Les plantes de couverture sont installées avant la culture principale. Il faut alors avant le semis les traiter avec un herbicide de pré-semis (exemple : le Paraquat) qui ne détruit pas les organes souterrains de la culture mais qui sèche la partie aérienne pour réduire sa compétition avec la culture principale ou avec un rouleau à lames qui a le même effet de contrôle temporaire sur la couverture que l'herbicide.

- cas d'une plante annuelle (cas de cultures associées généralement)

Les plantes de couverture sont plantées après que la plante principale soit mise en place et bien développée. Après la récolte, les couvertures serviront d'alimentation animale ou de biomasse pour la prochaine culture.

2.1.2.3. Les avantages et inconvénients du SCV

a) Les avantages

La couverture du sol supprime l'exposition de celui-ci aux divers aléas climatiques (fortes températures, effets *splash* et croûte de battance) réduisant ainsi le ruissellement et l'érosion, ce qui donne une situation favorable à la conservation de l'eau.

Ensuite, l'enherbement est contrôlé, d'une part, par le phénomène d'**allélopathie** : compétition exercée entre les plants d'espèces différentes par l'intermédiaire de substances toxiques excrétées par les racines ou par les feuilles, qu'exercent quelques plantes de couverture (avoine par exemple) sur les adventices ; d'autre part, par l'effet *mulch* car les mauvaises herbes sont inhibées par l'ombrage.

En outre, une amélioration des propriétés physico-chimiques du sol est observée et se présente par une forte macroporosité et aération, une structure stable, un sol arable plus épais et une augmentation de l'infiltration. De plus, l'alimentation des plantes est améliorée : accroissement de la matière organique, aptitude à recycler les éléments rétrogradés et à mobiliser les éléments peu assimilables comme le phosphore sur les sols acides. Par ailleurs, sur la gestion de l'exploitation, on constate une moindre pénibilité, diminution et flexibilité du travail ; économie d'intrant ; stabilité de la production.

Vu les points positifs qu'offre le SCV, les paysans n'auront plus besoin de pratiquer le *Tavy* et de changer chaque année de parcelle à cultiver car la fertilité du sol s'améliore au fur et à mesure que le temps passe. Ainsi, le taux de déforestation est réduit. Enfin, les terrains abandonnés du fait de leur très faible fertilité naturelle sont remis en valeur.

Le Semis Direct sous Couverture Végétale permanente est le premier moyen crédible et vulgarisable d'aboutir à une agriculture biologique qui permettrait aux moins favorisés d'augmenter la valeur ajoutée de leurs produits en se plaçant sur cette niche économique mondiale. (L SEGUY, RAKOTONDRAMANANA et al, sd)

Même si le SCV présente beaucoup de points positifs du côté technique, environnemental et économique, il montre également des inconvénients qui peuvent être les sources du frein de son adoption chez les paysans.

b) Les inconvénients du SCV

En premier lieu, à cause de la suppression du travail du sol (labour, sarclage), l'utilisation des herbicides est presque obligatoire pour la maîtrise des adventices avant le semis et au cours de la culture alors que le prix des produits phytosanitaires sont chers et leur utilisation nécessite une bonne connaissance du produit à utiliser : mode d'emploi et manipulation.

Ensuite, la technique de semis direct sous couverture morte requiert un semoir spécial différent du semoir conventionnel, impliquant un coût élevé de la production.

En outre, un problème de propagation des insectes et de multiplication de maladies est rencontré à cause de la présence des résidus de récolte, favorisant l'humidité permanente du sol. Ces problèmes peuvent être contrôlés par la diversification des cultures.

Un problème majeur se pose aussi dans une exploitation pratiquant en même temps l'agriculture et l'élevage. Le sol doit être couvert par les résidus de récolte en permanence en SCV alors que le bétail se nourrit en grande partie de paille en saison sèche, ou bien des cultures fourragères (par exemple le ray-grass) qui peuvent être implantées en contre saison. Même sans pratiquer l'élevage, la vente des foins est une source de revenu important.

Il faut que les activités de l'agriculture et de l'élevage soient complémentaires, non compétitives, c'est-à-dire l'agriculture fournit du fourrage au bétail et l'élevage à son tour produit du fumier. Pour une meilleure diffusion du SCV en milieu paysan, des techniques appliquant une bonne intégration de l'agriculture et de l'élevage sont à envisager.

Enfin, il ne faut pas oublier la mentalité des paysans. En fait, ils adoptent ce qu'ils pensent leur fournir à court terme des produits pour leur survie, alors que les chercheurs visent à la durabilité des effets positifs qu'offre le SCV.

Le labour ainsi que le SCV présente ses propres avantages et inconvénients. Le choix appartient aux agriculteurs de pratiquer le système qu'ils veulent. En plus des effets qu'ils provoquent, qu'ils soient positifs ou négatifs, les précédents culturels jouent aussi un grand rôle dans la réussite ou non de la culture suivante.

2.2. Les précédents cultureux

2.2.1. La biomasse représentant les précédents cultureux

2.2.1.1. Définition

Un des facteurs qui peut occasionner la réussite ou non de la culture suivante est le type de précédent cultural tant en labour qu'en SCV. Pour ce dernier, après la récolte, la totalité (biomasse totale) ou une partie de la production (biomasses résidus des plantes) sont restituées au sol pour constituer une source de matières organiques pour la nutrition de la culture suivante. Selon le **Dictionnaire Universel Francophone de 1999**, la biomasse est l'ensemble des organismes vivant dans un biotope délimité. Pour le riz à la récolte par exemple, la biomasse constitue la masse totale de ses constituants : graines, pailles et racines.

La nature de la matière organique fournie par ces résidus dépend de la plante dont elle est issue et des conditions du milieu.

Quels sont les effets de ces précédents cultureux pour la culture suivante ?

2.2.1.2. Les effets des précédents

L'effet 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, l'ensemble étant soumis aux influences climatiques. (**Michel VILAIN, 1997**)

Comprendre un effet précédent, ce n'est pas établir une relation de type statistique entre le rendement d'une culture et le rendement de la culture qui l'a précédée. C'est analyser la modification des paramètres physique, chimique et biologique de la parcelle sous l'effet d'une culture (une espèce ou association d'espèces cultivées avec un itinéraire technique donné et dans les conditions climatiques d'une année donnée. (**CIRAD - GRET, 2002**)

Pour plus de compréhension, il faut établir la relation précédent/ suivant, donc la notion de « sensibilité du suivant » est à prendre en compte.

2.2.1.3. La sensibilité du suivant

La sensibilité du suivant se définit par la culture précédente sur un climat donné et compte tenu des techniques culturales appliquées sur le suivant. (**Michel VILAIN, 1997**)

Les effets des cultures sur un milieu peuvent être cumulatifs, dans le temps et dans l'espace. Il est donc souvent important de s'intéresser aux effets à moyen et long terme des

successions de culture et aux effets de ces successions sur un ensemble de parcelles concernées. **(CIRAD - GRET, 2002)**

Pour bien comprendre ces effets des précédents, les notions de façons culturales possibles et les descriptions des plantes susceptibles d'être un élément de ces précédents sont indispensables.

2.2.2. Les façons culturales

Les composantes de ces façons culturales sont groupées dans le tableau ci-après

Tableau 8 : Les façons culturales et leurs caractéristiques

Façons culturales	Définition	Avantages ou risques
Monoculture	Culture d'une seule espèce végétative à un moment donné.	Si le climat est favorable, l'exploitation est rentable mais en cas de sécheresse, les rendements peuvent être catastrophiques
Cultures associées	Culture simultanée de deux ou plusieurs espèces végétales dans un même champ, en lignes ou en bandes alternées. On parle de culture mixte quand il n'y a pas d'arrangement géométrique nettement observable.	Elle permet d'éviter une récolte entièrement mauvaise. Selon Hari K. Pande en 1997 , l'association du riz avec des Légumineuses ou avec l'éleusine cultivée a permis une hausse de rendement de grains, du rendement relatif à l'ha et de la rentabilité financière par rapport à la monoculture. Une association de Graminée/ Légumineuse permet une variation de résidus de récolte laissés au sol pour la culture suivante.
Assolement et rotation culturale	L'assolement est la répartition des cultures dans l'espace tandis que la rotation est la succession dans le temps.	Elles permettent de lutter contre les adventices, les insectes et les maladies ; d'utiliser le sol de façon plus complète par l'alternance de cultures à racines profondes et superficielles ; de favoriser une exportation équilibrée des éléments nutritifs du sol. Dans le cas d'une rotation avec une Légumineuse, l'apport d'azote est maintenu et la fertilité du sol augmente. Ces avantages occasionnent une augmentation du rendement.
Culture en dérobée ou en relais	Culture successive de deux ou plusieurs espèces. La deuxième culture est plantée avant la récolte de l'espèce précédente lorsque cette dernière a atteint son stade reproductif. Parfois, une troisième culture peut être installée.	Occupation du sol pendant toute l'année, donc une variation de récoltes obtenues. La production de biomasse totale est élevée.

Source : Auteur, 2007

NB : La quantité de résidus de récolte restitués au sol dépend de la culture source. Quelques espèces produisent peu de résidus alors que d'autres en fournissent beaucoup qui

peuvent couvrir la parcelle toute entière et constituent une couverture morte pour la culture suivante. En général, les Graminées procurent plus de biomasse que les Légumineuses, toutefois, ces dernières offrent une quantité d'azote importante pour les cultures qui les succèdent.

2.2.3. Caractéristiques des Légumineuses et des Graminées

2.2.3.1. Caractéristiques communes des Légumineuses

Les Légumineuses sont un groupe de plantes à fleurs (Angiospermes), dicotylédones, dont le fruit est une gousse, comptant environ 18.000 espèces de répartition mondiale. La caractéristique commune de cette famille est la présence de nodosités : renflement des radicelles des légumineuses, dû à la présence de bactéries qui transforment l'azote atmosphérique en azote organique assimilable pour la plante.

Souvent, on plante les Légumineuses pour le renouvellement des réserves en azote du sol.

2.2.3.2. Caractéristiques communes des Graminées

Les Graminées présentent une structure végétative de base assez uniforme. En effet, elles présentent les caractéristiques suivantes :

- racines principales généralement fibreuses, racines secondaires ou racines adventives provenant des nœuds des tiges et constituant des racines de soutien ;
- tiges généralement creuses appelées chaumes ;
- feuilles composées de deux parties, d'une part, la gaine qui part d'un nœud et entoure la tige jusqu'à un niveau du limbe, d'autre part, le limbe long, étroit et composé de nervures parallèles qui sont longues et étroites ;
- présence de ligule : appendice à la jonction de la gaine et du limbe.

2.2.3.3. Caractéristiques de quelques espèces sur la production de biomasse

(Voir page suivante)

Tableau 9 : Caractéristiques de quelques espèces

Cultures	Caractéristiques botaniques	Production de biomasse
Haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Le haricot est une plante annuelle, grimpante ou buissonnante, cultivée pour ses graines et ses gousses vertes comestibles. La tige est herbacée, en général volubile.	Ces deux plantes produisent peu de résidus pour la culture suivante dont la plupart (tiges) sont des produits ligneux qui se dégradent difficilement. Ils ont toutefois l'avantage de céder un stock d'azote dans le sol, et les feuilles se dégradent très vite.
Soja (<i>Glycine max</i>)	Plante duveteuse, dressée, mesurant 60cm à 1m de haut, aux grandes feuilles à trois folioles, à petites fleurs blanches ou mauves et à gousses contenant 1-4 graines. Elle est cultivée pour ses graines oléagineuses.	
Vesce (<i>Vicia sativa</i>)	Plante annuelle, assez grande, grimpante, aux feuilles pennées à nombreuses folioles qui sont terminées par une vrille simple et ramifiée. Celle d'origine d'Europe porte des fleurs pourpres et rosées, fleurs en grappes sur de courts pédoncules qui se présentent par paire ou sont solitaires. La gousse ressemble à celle du haricot.	Elle est cultivée comme fourrage, mais aussi comme engrais vert avant la culture de céréales. Elle est une source d'azote de grande importance.
Maïs (<i>Zea mays</i>)	Plante herbacée annuelle, la tige est érigée mais pleine, à tallage faible ou nul, à feuilles alternes, racines séminales, plante monoïque à inflorescences séparées. Il est d'assez grande taille, sa hauteur est très variable de 60cm à 6m, la taille moyenne est de 2,50m.	Les résidus de récolte produits par le maïs sont d'une grande quantité, suffisants pour couvrir la parcelle. Les feuilles se dégradent facilement alors que la minéralisation des cannes se fait lentement et ne sera utilisée que vers la 3 ^{ème} ou 4 ^{ème} culture.
Avoine (<i>Avena strigosa</i>) diploïdes	Plante annuelle à inflorescence constituée de panicule dont chaque épillet contient 2 ou 3 fleurs fertiles qui par autofécondation donnent 2 ou 3 grains entourés de deux glumelles non adhérentes.	L'avoine encore verte est souvent employée pour faire du foin, de l'ensilage tandis que la paille séchée constitue une excellente litière pour le bétail. C'est une culture de rotation importante dans les exploitations pratiquant l'élevage et l'agriculture. L'avoine coupée et laissée au sol constitue aussi une bonne source de couverture morte.

Source : auteur, 2007

Chapitre III La fertilisation azotée du riz pluvial

La fertilisation azotée du riz pluvial peut provenir de deux sources : la décomposition de la matière organique et les engrais azotés.

3.1. La matière organique

3.1.1. Les types de matières organiques

Les matières organiques du sol peuvent être réunies en quatre groupes de substances :
(Dominique SOLTNER, 2005)

1- les végétaux et animaux vivant dans le sol et sur le sol représentent plusieurs tonnes par hectare, qui influent directement sur les propriétés du sol ;

2- les débris végétaux et animaux organisés ou « matières organiques fraîches », qui retournent au sol, et ont sensiblement la même composition que les tissus vivants dont ils proviennent (des substances hydrocarbonées : sucres solubles, amidon, cellulose, lignine, matières grasses, résines... ; des matières azotées surtout sous forme de protéines ; des minéraux associés aux substances précédentes : sel et ions calcium, magnésium, potassium, sodium...).

Sitôt leur arrivée au sol, ces substances sont attaquées par des animaux (mollusques, vers, insectes, acariens, protozoaires...) et par des végétaux (moisissures, bactéries...) qui leur font parcourir toute une série de décompositions successives ;

3- les produits transitoires, qui sont les maillons de cette chaîne de transformation partant des matières organiques fraîches à très grosse molécule, à des substances minérales simples à petites molécules : du gaz carbonique et de l'eau ; des matières minérales : nitrates, phosphates, carbonates, sulfates... de potassium, de calcium, de magnésium, de sodium...

4- l'humus, substance nouvelle et complexe, véritablement construite à partir de certaines matières organiques « transitoires » et de certaines matières minérales.

3.1.2 .Les sources de matières organiques

3.1.2.1. Les résidus de récolte

Les résidus culturaux sont constitués par une partie ou la totalité du système racinaire (restitution obligatoire) et une fraction des organes aériens laissés après la récolte (restitutions obligatoires).

Michel VILAIN en 1999 annonce qu'apprécier l'importance des résidus est difficile, particulièrement pour les parties souterraines qui comprennent les racines proprement dites et les exsudats radiculaires en cours de végétation dont la quantité est mal connue. Cependant **Roger DOUCET** en 1997 affirme qu'il est possible d'estimer les apports d'humus stable par les résidus de récolte ; par un bilan de matière organique dans un loam argileux soumis à une rotation typique de trois ans composé de maïs- céréale- luzerne, le maïs retourne au sol au moins 5100 kg de matières organiques par ha, soit à un rendement de 20%, un total de 1020 kg d'humus stable.

Il existe de grandes différences entre les résidus culturaux des espèces végétales, la répartition parties aériennes/ parties souterraines et la conduite culturale. (**Michel VILAIN, 1997**)

3.1.2.2. Le fumier de ferme

Le fumier est un engrais biologique de première importance renfermant tous les éléments nutritifs nécessaires aux plantes (cf tableau 10). Ainsi l'appelle-t-on engrais complet. Malgré la production toujours croissante d'engrais minéraux, le fumier reste aujourd'hui encore la source essentielle d'azote, de phosphore et de potassium par la qualité d'éléments nutritifs qu'il renferme.

Tableau 10 : Composition des engrais de ferme : cas du fumier des bovins

FUMIER	MS	MO	C/N	pH	Eléments principaux (kg/t)					
					N total	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Vaches laitières	%	%								
- Stabulation libre	25	18	14,0	7,8	5,5	0,5	3,5	8,0	5,0	1,9
- Stabulation entravée	21	-	-	-	4,7	-	3,1	4,4	-	-
Bovin à viande	24	15	-	7,3	3,9	-	3,7	4,0	2,5	1,5

Source : Michel Vilain, 1997

MS = matière sèche, MO = matière organique

Le fumier de ferme est une source de matière organique. Les matières organiques les plus labiles se minéralisent pour donner de l'azote minéral assimilable.

Les déjections des animaux (urines et bouses) en enrichissant les litières en azote abaissent le C/N et améliorent les conditions d'humification. Au cours de l'évolution du fumier, la cellulose et une partie des hémicelluloses et des pentosanes (composés en C₅) disparaissent. Du fait de la perte de poids de l'ensemble, les proportions relatives de lignine et de matières minérales s'accroissent ; la teneur en azote organique croît du fait des synthèses microbiennes. Des pertes se produisent. (Michel VILAIN, 1997)

Tableau 11 : Evolution des constituants organiques du fumier

(% de MS d'après Roemer et Schaffer)

Constituants	0j	39j	96j	157j	290j
Cellulose	27,5	23,2	16	7	6
Hémicelluloses et pentosanes	23,5	22,8	154,7	13,4	12,9
Lignine	14,2	16,6	17,9	20,5	28,4
Matières azotées organiques	6,8	7	14,8	18,6	16,4
Minéraux	9,1	13,6	20,9	22,2	19,3

Source : Michel Vilain, 1997

% : pourcentage, j= jours

3.1.3. La décomposition de la matière organique

La transformation des composés organiques comporte à la fois des réactions biologiques impliquant les microfaunes et les microorganismes et des réactions physico-chimiques.

3.1.3.1. Schéma de la décomposition de la matière organique (voir page suivante)

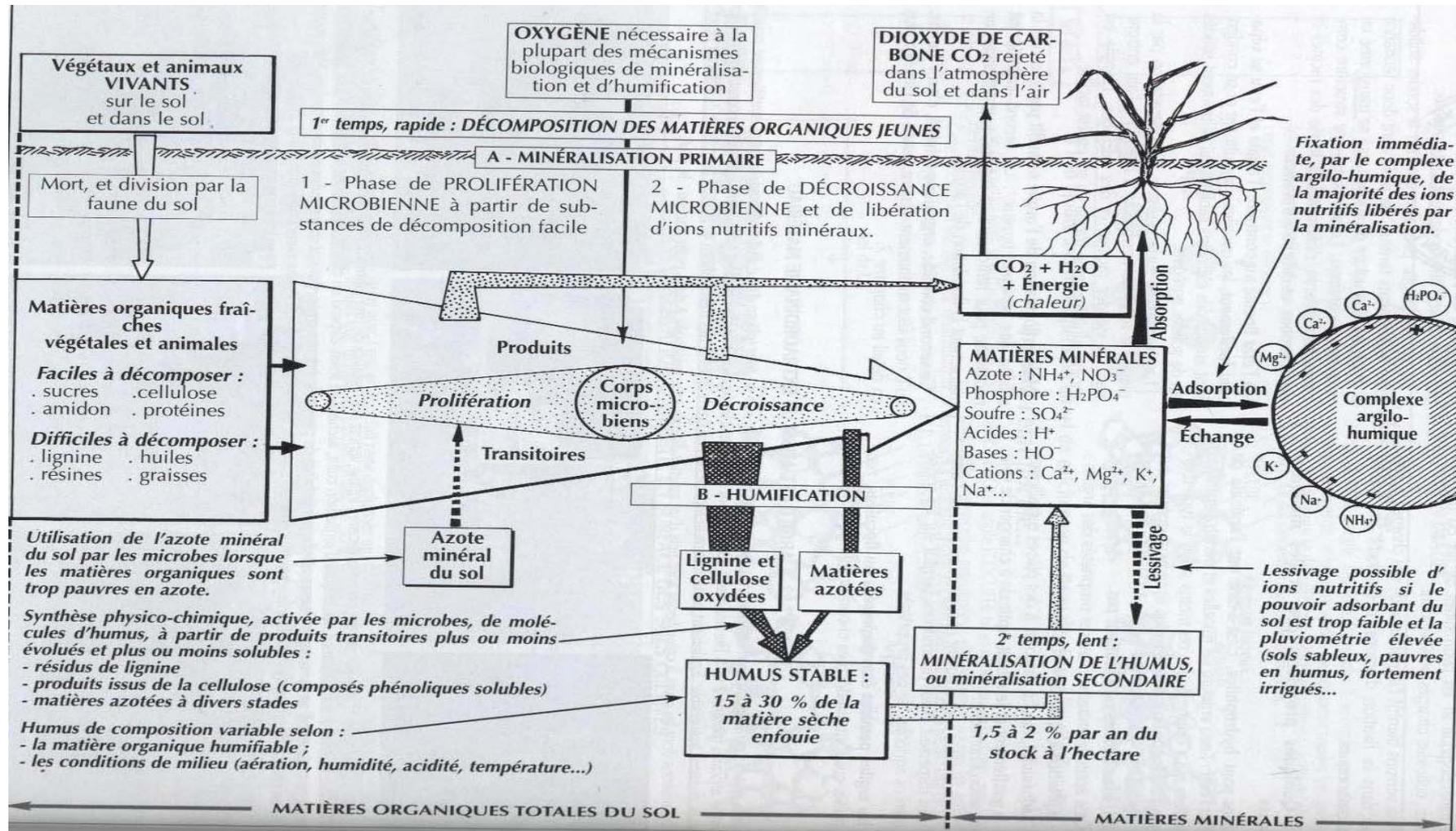


Schéma 1 : Schéma général de l'évolution des matières organiques dans le sol

Source : Dominique SOLTNER, 2005

3.1.3.2. Les étapes de la décomposition de la matière organique

La transformation de la matière organique se fait en deux étapes : (**Dominique SOLTNER, 2005**)

a) La décomposition des matières organiques jeunes ou minéralisation primaire qui comprend deux phases.

- D'abord une **phase de prolifération microbienne** à partir des substances facilement décomposées, le nombre de microbes s'élèvent rapidement tandis que sont libérés en abondance les résidus de digestion des matières organiques (le CO_2 , l' H_2O , et de l'énergie sous forme de chaleur). Au cas où les matières sont pauvres en azote pour la multiplication, celle-ci utilisera l'azote minéral du sol (ce qui pourra entraîner une compétition avec la culture pour l'accès à l'azote, on parle alors de problème d'insuffisance d'azote).
- Puis une **phase de décroissance microbienne** et de libération de substances nutritives organiques et minérales issues à la fois de matières organiques décomposées et de la mort des corps microbiens. Ces substances utilisables pour la plante (les matières minérales : NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , ...) sont immédiatement fixées par les forces de liaison de l'argile et l'humus qui servent à la synthèse de l'humus. Une partie de ces substances peut être aussi lessivée au cours de cette décomposition. On peut trouver aussi des produits transitoires: des sucres, des acides organiques, de la cellulose réduite, des matières azotées, de la lignine libérée par la décomposition rapide de la cellulose. Ces produits transitoires constituent la fraction jeune des matières organiques du sol appelée parfois **humus jeune**.

b) L'humification ou évolution des matières organiques dans le sol

Les composés humiques sont aussi synthétisés au cours de l'humification qui commence aussitôt après la phase de prolifération microbienne, et se poursuit à mesure que décroît le nombre de microbes lors de la phase de décroissance microbienne. Les matières premières de la synthèse de l'humus sont : les résidus de lignine plus ou moins transformés par oxydation ; les matières azotées (protéines, les acides aminés, ...) ; des éléments minéraux qui se lient aux molécules de constituant humique.

Le terme d'humus stable n'est qu'à demi exact. Ces nouvelles substances bien que résistantes aux attaques microbiennes sont lentement minéralisées par les micro-organismes à raison de

1,5 à 2% du stock du sol par an. C'est le deuxième temps de révolution des matières organiques du sol : minéralisation lente de l'humus stable ou minéralisation secondaire aboutissant à des substances minérales (NH_4^+ , Ca^{2+} , ...).

NB: Ainsi apparaissent les différences entre la matière organique et l'humus. Les matières organiques du sol sont l'ensemble des substances carbonées provenant des débris végétaux, des déjections et de cadavres d'animaux, microscopiques et supérieures tandis que l'humus n'est qu'une fraction colloïdale de la matière organique obtenue par synthèse microbienne et physico-chimique de la matière végétale.

3.1.3.3. Les conditions de réussite de la décomposition de la matière organique

Trois paramètres méritent d'être considérés dans le processus de décomposition de la matière organique.

En premier lieu, le climat tient une place prépondérante. D'une part, la haute température favorise la décomposition de la matière organique. En effet la décomposition des litières est proportionnelle à la température. D'autre part, une humidité moyenne est favorable à sa décomposition. Par conséquent, une alternance des saisons contrastées, d'humidité et de sécheresse accélère la décomposition de la matière organique peu évoluée, un milieu très sec rend difficile l'humification et un excès d'humidité du sol, faute de drainage, favorise la formation des humus hydromorphes. Sur la vitesse de minéralisation, ces alternances saisonnières d'humectation et de dessiccation accélèrent la minéralisation des matières organiques fraîches et des fractions les plus fermentescibles de l'humus ; en même temps elles provoquent une humification de l'humus. La figure suivante montre que la minéralisation est élevée en saison des pluies. Par contre, elle est moindre en saison sèche.

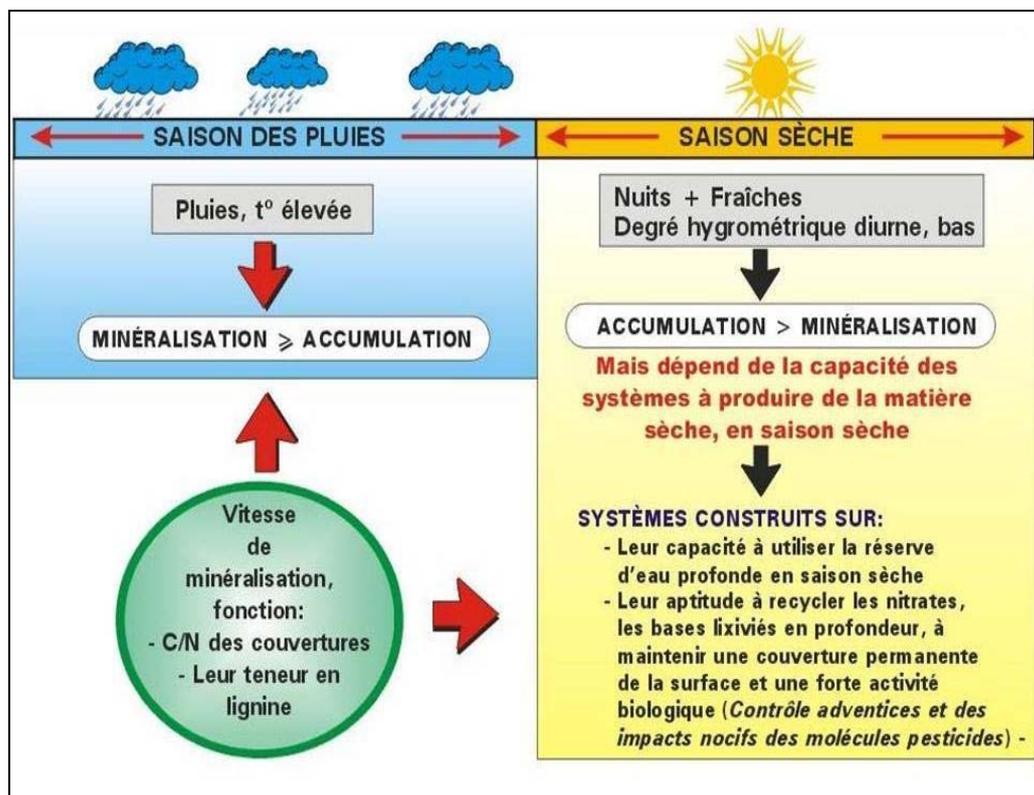


Figure 4 : Dynamique de minéralisation – Accumulation du carbone dans les sols tropicaux par les techniques du Semis Direct sur couverture végétale permanente

Source : L. Seguy, S.Bouzinac et al, 1998

En deuxième lieu, le milieu joue un rôle important. L'activité microbienne source de décomposition des matières organiques, d'humification et de minéralisation de l'humus, est en relation directe avec le type de sol. En effet, cette activité est plus grande dans un milieu neutre ou peu acide, donc les matières organiques disparaissent vite ; alors qu'elle est moindre et les matières organiques s'accumulent dans un milieu acide.

En troisième lieu, il existe une grande influence de la végétation sur le type d'humification. Il est à remarquer d'abord que le type de végétal poussant sur un milieu est caractéristique du type de sol c'est-à-dire que sur un sol acide, il ne peut y pousser que des végétaux résistants à l'acidité et vice versa. Sur l'humification, il existe alors des espèces améliorantes qui donnent des résidus végétaux riches en azote (C/N bas) et en substances hydrosolubles, et des espèces acidifiantes donnant des résidus pauvres en azote et en substances solubles.

3.2. L'azote

L'azote de masse atomique $m = 14,0067\text{g}$ est un élément chimique indispensable pour la plante, il fait partie des éléments majeurs pour la nutrition des végétaux.

C'est un constituant des protéines végétales et en contribuant à la production de la chlorophylle, l'azote est le stimulant principal de la croissance des végétaux. (**Camille CEDRA, 1997**)

3.2.1. Les différentes sources d'azote

3.2.1.1 L'azote atmosphérique

L'azote moléculaire (NO_2) avec les gaz d'échappement produits par les véhicules à moteur sont rejetés dans l'air. Ces gaz suivent deux voies : d'une part, ils sont oxydés en nitrates et ramenés au sol par la pluie, d'autre part, ils persistent longtemps dans l'air dans les conditions météorologiques favorables : fort ensoleillement et absence de vent. L'azote atmosphérique ne fournit qu'une faible quantité d'azote (de l'ordre de 20 kg/ha/an)

3.2.1.2. La fixation biologique

La fixation biologique d'azote est le fait des bactéries, d'algues bleues et de certains champignons. La majeure partie fait intervenir des formes symbiotiques telles que les bactéries du genre *Rhizobium* qui forment des nodules dans les racines des Légumineuses. (**Robert Barbault, 2000**). Le *Rhizobium* fournit à la plante plus de 90% de l'azote qu'elle fixe.

Les bactéries du sol produisent une quantité de l'ordre de $10\text{-}40\text{ kg d'azote/ha/an}$. Dans le cas des Légumineuses, les bactéries symbiotiques qui leur sont associées peuvent produire jusqu'à 500 kg/ha/an . (**Cédric THOMASSIN, 1992**)

3.2.1.3. Les engrais minéraux

Les engrais minéraux (de synthèse) sont les engrais issus de la transformation industrielle. On peut citer à titre d'exemple l'urée et le NPK.

L'urée est obtenue par synthèse de l'ammoniac et du CO_2 . Il se présente sous forme de petites perles et contient environ 46% d'azote ammoniacal. L'urée telle quelle n'est pas assimilée par la plante, il faut qu'elle soit hydrolysée préalablement par les micro-organismes et il faut qu'elle passe à l'état ammoniacal.

Le NPK est un engrais complexe composé d'une proportion variable d'azote, de phosphore et de potassium. Souvent, il se présente sous la proportion de 11-22-16 c'est-à-dire 11% d'azote, 22% de phosphore, 16% de potassium.

Il y a une concurrence entre la plante et la biomasse microbienne pour l'absorption d'azote ammoniacal, or l'azote ammoniacal est plus facilement réorganisé dans le sol, de sorte que l'azote nitrique reste disponible pour la plante. En règle générale, les sols cultivés sont l'objet d'apports réguliers d'engrais azotés. La question d'évaluation quantitative de ces apports se pose, or elle doit être faite à la plus juste valeur pour éviter tout danger de pollution des nappes phréatiques par les nitrates. **(Philippe Duchaufour, 1997)**

3.2.2. Les différentes formes d'azote

3.2.2.1. Les réserves d'azote organique

La réserve d'azote est toujours sous la forme organique (sauf l'ion NH_4^+), soit au sein de la matière organique fraîche, soit sous la forme de composés humiques, soit enfin sous forme de biomasse morte. On peut diviser ces réserves d'azote organique en trois classes selon le temps moyen de résidence : **(Philippe Duchaufour, 1997)**

- réserves à minéralisation rapide

Le temps moyen de résidence (TMR) est inférieur ou égal à 1an ; la matière organique fraîche est sous la forme de « particules libres » à faible C/N (15-25 pour les engrais verts et les Légumineuses).

- réserves à minéralisation progressive

Le temps moyen de résidence est de 25 ans environ : amino-sucres, composés labiles intégrés au sein des macro-agrégats, des chaînes peptidiques d'acide humique.

- réserves à minéralisation lente ou très lente

TMR de plusieurs centaines d'années : composés azotés inclus dans les fractions condensées des acides humiques, amides, composés azotés hétérocycles. Ces formes de faible utilité pour la nutrition des plantes, sont les plus souvent intégrées au sein des micro-agrégats.

3.2.2.2. L'azote minéral assimilable

Il provient de la minéralisation biologique des formes organiques les plus labiles. Après la mort des plantes, l'azote organique stocké dans les nodosités du système racinaire des Légumineuses est restitué au sol en se transformant peu à peu en azote minéral

directement assimilable pour la plante, soit cationique NH_4^+ sous forme échangeable, soit anionique sous forme soluble NO_3^-

3.2.2.3. L'azote moléculaire

Les bactéries de la dénitrification font retourner l'azote des nitrates à l'état gazeux dans l'atmosphère mais leur rôle est peu important.

3.2.3. Le cycle de l'azote

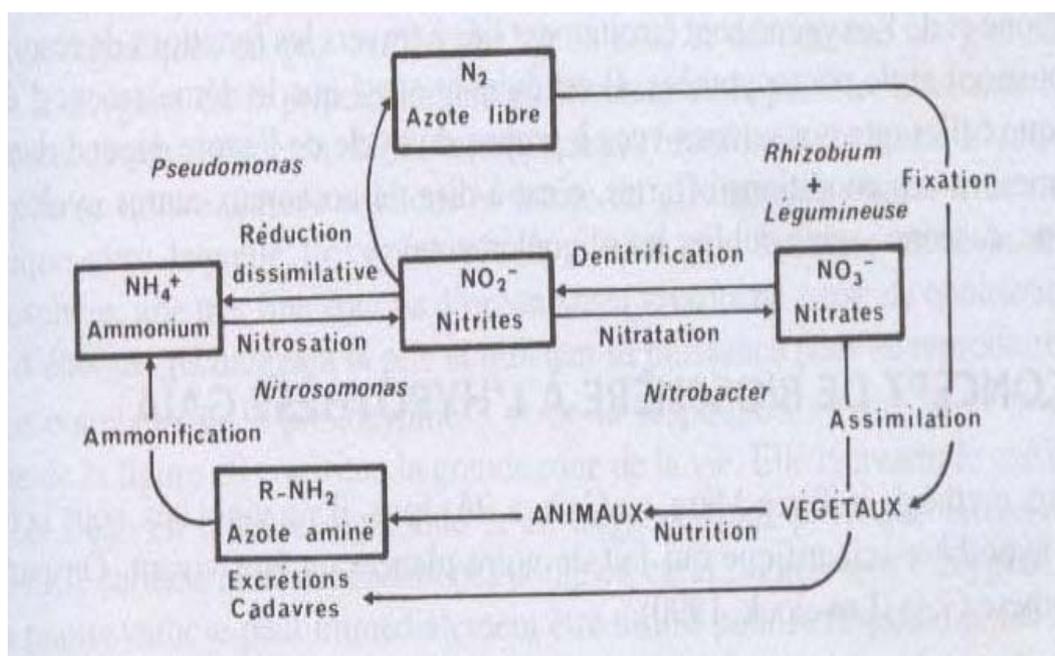


Schéma 2: Voies et mécanisme fondamentaux du cycle d'azote impliquant les êtres vivants

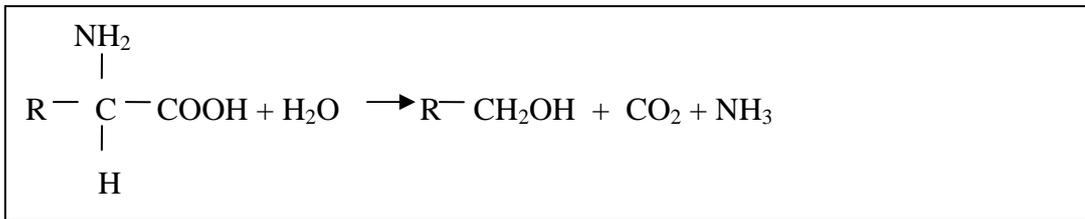
Source : Robert Barbault, 2000

A partir de ce cycle, la minéralisation de l'azote se fait par étape :

3.2.3.1. La protéolyse : La minéralisation de l'azote organique dans la matière organique commence par la décomposition de cette dernière par les micro-organismes vivants du sol. Les produits de cette première transformation subissent un processus au cours duquel les protéines sont transformées en acides aminés, c'est la protéolyse. (Philippe Duchaufour, 2001)

3.2.3.2. L'ammonification : La dégradation des substances organiques azotées du sol jusqu'à l'ammonium s'appelle ammonification. C'est un processus dominant (voie

exclusive dans les cas les plus défavorables dans les milieux acides et mal aérés. La réaction se fait comme suit :



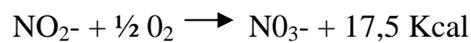
3.2.3.3. La nitrification : elle consiste en la conversion de l'ammonium en nitrate, en passant par la formation intermédiaire du nitrite.

Les deux étapes de la transformation sont illustrées par les réactions suivantes :

a) nitrosation : les bactéries nitriques comme *Nitrosomonas* vont transformer l'ammonium en nitrite suivant la réaction :



b) nitratation : les bactéries nitriques comme *Nitrobacter* transforment ensuite les nitrites en nitrates suivant la réaction :



3.2.3.4. La dénitrification :

Cette transformation est la conversion en milieu anaérobie de l'azote nitrique (NO_3) et éventuellement nitreux (NO_2) en gaz azotés N_2O (protoxyde d'azote) et N_2 (azote libre), ce qui boucle le cycle. L'équation générale de la transformation est la suivante :



Chapitre premier : Justification du thème

1.1. Cadre de l'étude

1.1.1. Contexte général de l'étude

Nous avons effectué nos travaux de recherche sur les champs d'expérimentation de l'Unité de Recherche en Partenariat « Systèmes de Culture et Rizicultures Durables » (URP SCRiD), associant le CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) le FOFIFA (Foibem-pirenena momba ny fikarohana ampiharina ho Fampanandrosoana ny tontolo Ambanivohitra), et l'Université d'Antananarivo.

1.1.1.1. CIRAD

C'est un organisme scientifique spécialisé en agriculture des régions tropicales et subtropicales. Sous la forme d'un établissement public, il est né en 1984 de la fusion d'instituts de recherche en sciences agronomiques, vétérinaires, forestières et agroalimentaires des régions chaudes. Sa mission est de contribuer au développement de ces régions par des recherches, des réalisations expérimentales, la formation, l'information scientifique et technique. Il travaille dans ses propres centres de recherche, au sein de structures nationales de recherche agronomique des pays partenaires, ou en appui à des opérations de développement. (LOUIS- JEAN, 1998)

1.1.1.2. FOFIFA

Le FOFIFA ou Centre National de Recherche Appliquée au Développement Rural est créé en 1974 après le départ des instituts français de recherche agronomique. Il est la principale institution de recherche agricole du Système de Recherche à Madagascar. C'est la seule entité à Madagascar à faire la recherche sur la création variétale pour le développement de la riziculture pluviale. Toutefois, il collabore avec d'autres organismes et ONG dans le but de compléter et diffuser les fruits de ses recherches. Il a pour mission de mettre en œuvre la politique nationale de recherche en matière de développement rural, de définir, d'orienter, promouvoir, coordonner et capitaliser toutes les activités de recherche sur la production végétale (riziculture, cultures d'exploitations,...), la foresterie, la production animale et la

pisciculture, l'hydraulique et le machinisme agricole, la technologie de conservation et de transformation des produits, les études socio-économiques et l'analyse des impacts.

Le PCP SCRiD (Pôle de Compétence en Partenariat) a été créé en fin 2001 de la volonté du FOFIFA et du CIRAD de renforcer leur coopération pour assurer l'accompagnement agronomique et économique de ces évolutions. L'Université d'Antananarivo y a été associée pour promouvoir à la fois une recherche de qualité répondant aux besoins du développement et la formation sous tous ses aspects. Devenu en 2004 URP (Unité de Recherche en Partenariat), sa structure consiste en 24 projets regroupés dans 8 idées de recherche réparties elles-mêmes dans les trois grandes thématiques suivantes :

- La détermination des mécanismes et des conditions de transformation du milieu biophysique par le système SCV ;
- L'optimisation de la riziculture pluviale en SCV par une diversification des solutions techniques
- l'analyse des conditions d'intégration des innovations du riz pluvial dans les systèmes de production paysans et dans la filière riz malgache. **(RAMAROFIDY Mamonjiniaina, 2006)**

L'URP SCRiD coopère avec beaucoup d'organismes partenaires ; en matière de Semis Direct, leur association constitue le GSDM ou Groupement Semis Direct de Madagascar composé de plusieurs institutions qui occupent leur rôle spécifique au niveau de ce groupement: **(ANDRIAMANANTENA Zolalaina, 2006)**

- Le FOFIFA : exécute le projet national de recherche agricole. Son équipe travaille à plusieurs niveaux dans la gestion agrobiologique des sols ;
- Le CIRAD : son rôle est axé sur la recherche ;
- L'ONG TAFANA (Tany sy Fampanandrosoana) : est chargé de la création des systèmes de culture, de la formation et de l'appui à la diffusion ;
- Le FIFAMANOR ou Centre de Développement et de Recherche Appliquée : participe à la diffusion des SCV à cause de l'intérêt potentiel qu'ils représentent pour l'élevage ;
- L'ANAE (Association Nationale d'Actions Environnementalistes) : gère les financements du Plan d'Action Environnementale attribués au GSDM.

1.1.2. Problématique

Un dispositif expérimental a été mis en place à la fin de l'année 2002, sur une surface totale de 3,2 ha par l'URP SCRiD. L'objectif était d'évaluer les performances, l'évolution dans le temps de différents systèmes de culture proposés par les opérateurs du développement, créateurs- diffuseurs du SCV (ONG TAFA). Les systèmes ont été choisis en fonction de leurs effets a priori contrastés sur les propriétés 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 génotype 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. Dans ce contexte, les différentes disciplines n'ont pas toujours travaillé sur les mêmes systèmes, et au bout de cinq années (quatre années en comparaison SCV/ labour, la première année toutes les parcelles ayant été labourées), il apparaît nécessaire de faire le bilan global des performances de tous les systèmes étudiés. De plus, sur propositions des partenaires de l'URP, de nouveaux systèmes ont été mis en place cette campagne, et seront également évalués sur de petites surfaces.

1.1.3. Objectif de l'étude

L'objectif est de juger la performance de systèmes de culture de riz pluvial dans un dispositif expérimental d'Andranomanelatra par :

- Comparaison de la nutrition azotée du riz au cours du cycle ;
- Comparaison des rendements en riz obtenus à récolte ;
- Comparaison de la production de biomasses pailles du riz à la récolte et des résidus des plantes en rotation avec le riz à la récolte et à la fin de la saison froide

1.1.4. Hypothèse et résultat attendu

En raison du développement récent de la riziculture pluviale d'altitude (création - diffusion, à la fin des années 80, de variétés améliorées d'altitude rendant la culture possible jusqu'à 1800 m), et des pertes de fertilité des sols occasionnées par les techniques conventionnelles de travail du sol, la productivité en riz pluvial reste faible, et, faute d'intrants et d'aménagements accessibles, les paysans ne disposent pas de solution adaptée et durable.

Beaucoup de facteurs doivent être pris en compte afin d'éviter les mauvaises surprises à la fin du cycle. Une partie de ces facteurs ont déjà été étudiée auparavant par d'autres chercheurs, ici on étudiera les facteurs suivants :

- **La nutrition azotée** : l'azote est un fertilisant de grande importance, le rendement est proportionnel à la dose d'engrais azotée apportée, nous voulons vérifier si des différences de rendement entre systèmes sont expliquées par des différences de nutrition azotée de la culture, ces différences étant dues à des restitutions différentes d'éléments minéraux (en relation avec les précédents culturaux) ;
- **Le mode de gestion du sol** : il a été supposé que les mauvais rendements obtenus en SCV étaient à relier à la trop faible production de biomasse par ces systèmes dans les conditions particulières des hauts plateaux, ne permettant pas au système de fonctionner à son équilibre, nous voulons vérifier cette hypothèse ;
- **Les précédents culturaux** : ils peuvent être de plusieurs familles ; nous supposons que le rendement varie selon le type de la culture précédente.

La finalité de cette recherche est de proposer selon les résultats obtenus le meilleur système de culture de riz pluvial à base de riz pluvial. Les effets touchent, d'une part, le centre de recherche lui-même car ces résultats peuvent exclure les systèmes ayant les rendements médiocres, ils peuvent aussi être une source d'idées pour un nouveau thème à traiter pour les années à venir; d'autre part, les autres centres de recherche qui font à la fois la recherche et la vulgarisation comme FIFAMANOR (Fiompiana Fambolena Malagasy Norveziana).

1.2. Présentation générale de la zone d'étude

1.2.1. Localisation, hydrologie, relief

1.2.1.1. Localisation

Notre zone d'étude se trouve dans la commune rurale d'Andranomanelatra (carte page 50) et fait partie des Hautes Terres malgaches. Elle est localisée dans la région du Vakinankaratra, District d'Antsirabe II (voir carte). Ce dernier s'étend sur 2769 km², possède

20 communes, 20 Arrondissements administratifs et 204 Fokontany. La commune rurale d'Andranomaneletra renferme elle-même 14 Fokontany.

Concernant les limites géographiques, elle est située à la longitude Est 47°06, à la latitude Sud 19°47 et à une altitude de 1628m. La commune est entourée au Nord par la commune d'Antsoatany, à l'Est par Ambohimiarivo, au Sud-Ouest par la ville d'Antsirabe. A l'Ouest par la commune rurale d'Ambano. La commune s'étend sur 164 km².

La Route Nationale 7 reliant la capitale à la partie Sud de l'île traverse Andranomaneletra, elle est située à 15km de la ville d'eau.

1.2.1.2. L'hydrologie

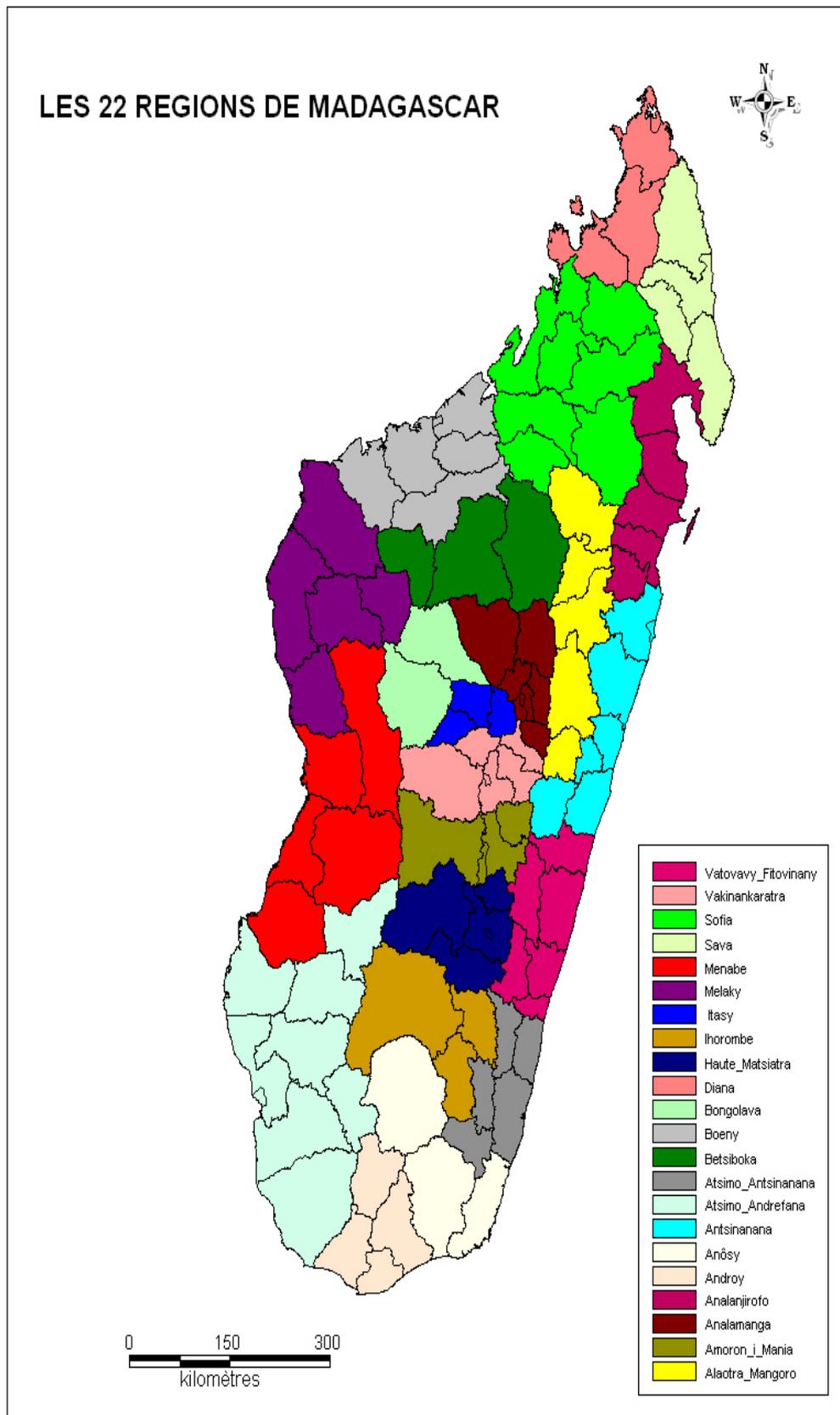
La Mahajilo et ses affluents (la Mania, la Kitsamby, la Sakay), le Bas Mangoro et son affluent (Onive) traversent la région du Vakinankaratra [UPDR, 2003], de même le fleuve de Manandona.

1.2.1.3. Le relief

Le relief du Vakinankaratra se distingue par une altitude plus élevée comprenant plusieurs bassins aménagés : Ambohibary et Faratsiho.

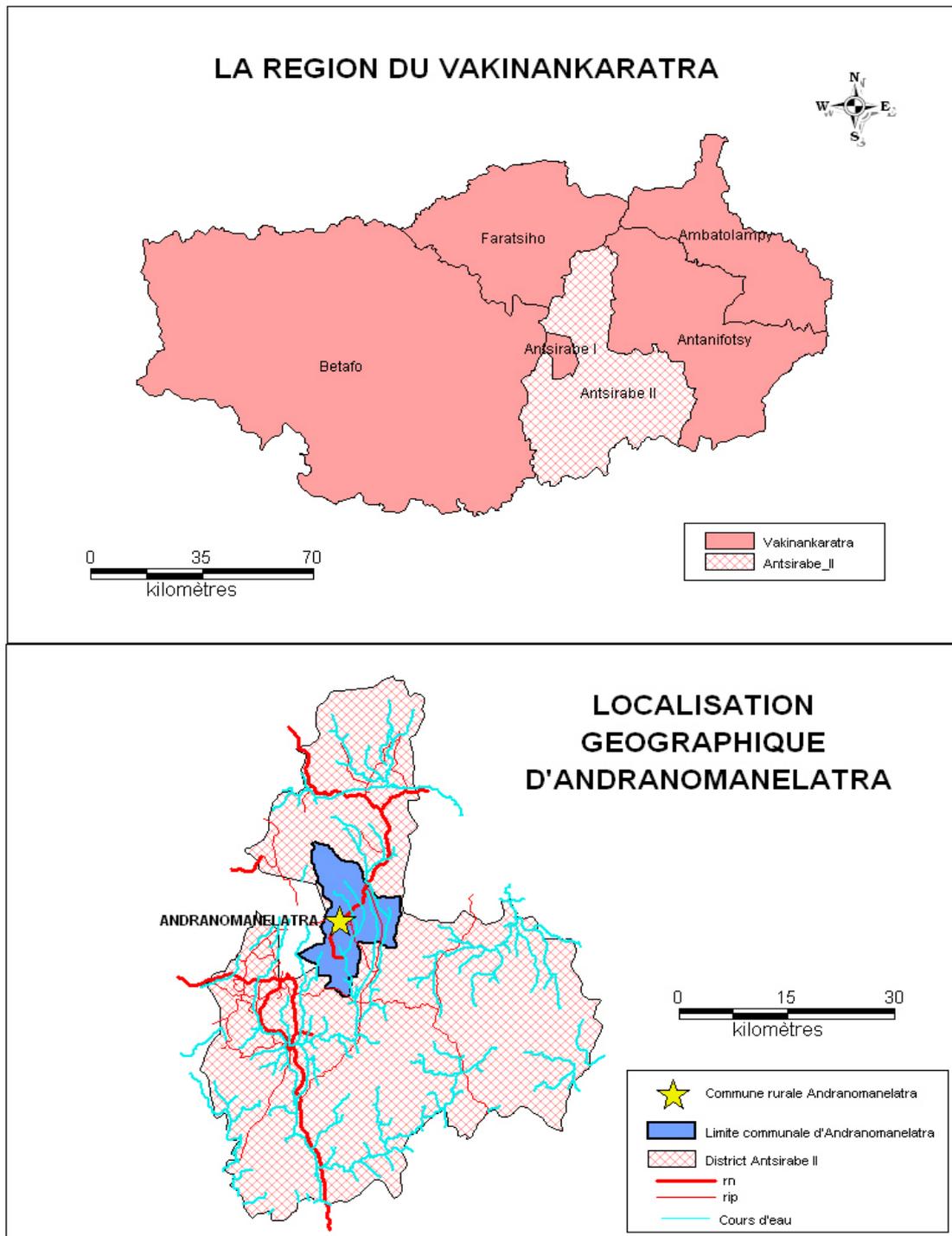
Cette région s'identifie aussi à trois ensembles naturels :

- le Centre est caractérisé par le massif volcanique de l'Ankaratra qui culmine à 2644m : le Tsiafajavona ;
- au Sud, la constitution de l'Ankaratra a provoqué dans la partie occidentale une série d'effondrements favorisant la formation de dépressions à fond alluvial et présentant de nombreux cratères et lacs. La zone méridionale, dominée par la chaîne de l'Ibity est constituée d'une succession de petites cuvettes au sol sableux, jonché de blocs de pierre et de quartzite de toute taille ;
- le moyen Ouest du Vakinankaratra est constitué par la pénéplaine de Mandoto-Ramaritina et où l'altitude s'abaisse à 1000m.



Carte 1 : Les 22 Régions de Madagascar

Source : BD 500, MapInfo



Carte 2 : Présentation de la Région du Vakinankaratra et localisation géographique d'Andranomanelatra

Source : BD 500, MapInfo

1.2.2. Les unités climatiques

Les éléments caractéristiques du climat de cette campagne 2006-2007 sont donnés par les courbes ombrothermiques de la station CIMEL d'Andranomanelatra.

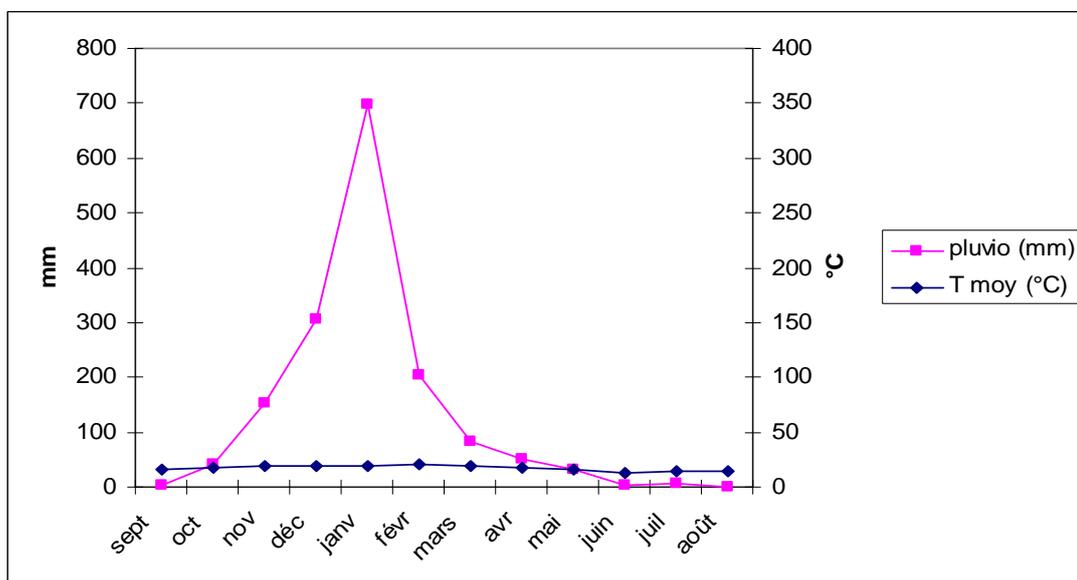


Figure 5 : Courbe ombrothermique d'Andranomanelatra, campagne 2006- 2007

Source : Station CIMEL Andranomanelatra

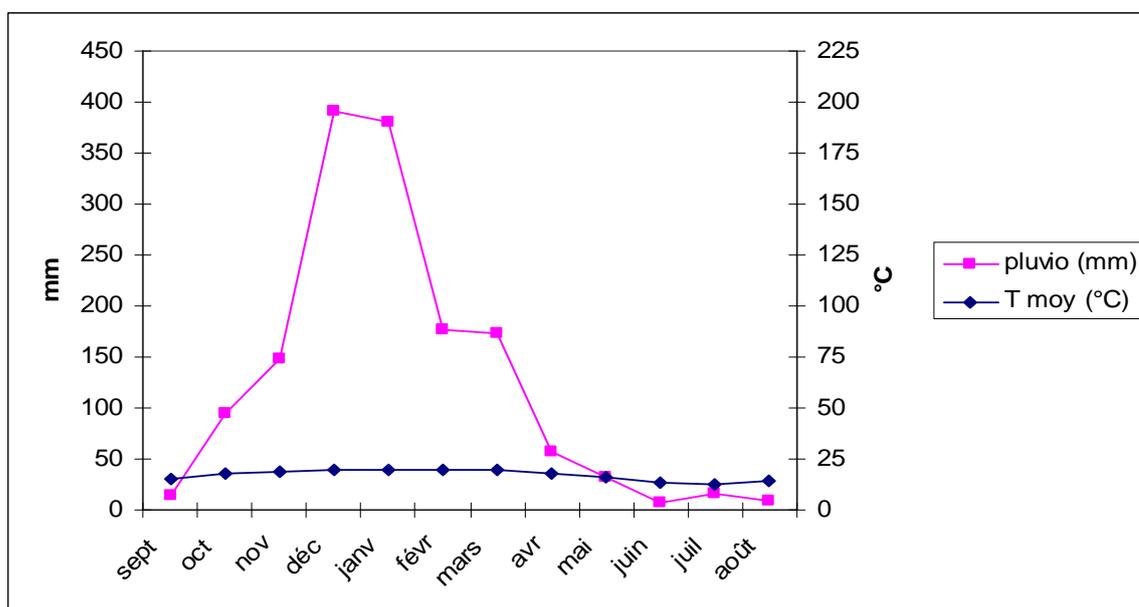


Figure 6 : Courbe ombrothermique d'Andranomanelatra, moyenne des 5 précédentes années

Source : Station CIMEL Andranomanelatra

Pluvio = pluviométrie

T moy = température moyenne

Ces deux courbes nous montrent que la pluviométrie de la campagne 2006-2007 est spéciale, un pic de 700mm est observé au mois de janvier mais la pluie est mal répartie.

1.2.2.1. La température

La région du Vakinankaratra comporte dans l'année deux saisons bien individualisées :

- une saison pluvieuse et moyennement chaude : de Novembre à Mars ;
- une saison fraîche et relativement sèche : de Mai à Septembre ;

Le climat de cette région est de type « tropical d'altitude » dans les zones à haute altitude de l'Est et du Centre (Ambatolampy, Faratsiho, Antsirabe I et II, Antanifotsy).

La température moyenne annuelle se situe aux environs de 17°C avec des maxima de 25°C (Octobre à Novembre) et des minima de 5°C (Juin) (**PDR, 2005**).

Durant cette campagne 2006-2007, la station météorologique d'Andranomanelatra montre les températures moyennes mensuelles suivantes:

- minimale : 5,5°C
- maximale : 26,4°C
- moyenne : 17,13°C

1.2.2.2. La pluviométrie

La pluviométrie, au point de vue quantité de précipitation annuelle, ne présente pas de grande différence sur les statistiques des 30 dernières années, c'est la répartition dans l'année qui comporte parfois des mois trop secs au début de la saison, ne permettant pas ainsi un bon démarrage de la campagne agricole, surtout pour les rizicultures de bas fonds. (**UPDR, 2003**). La pluviométrie moyenne annuelle est supérieure à 1300mm. (**PDR, 2005**)

1.2.2.3. Le vent

Les pénélaines 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, d'où la présence de très nombreux grains vides des panicules à la récolte se situant vers Mars- Avril. (**RANARISON Vololona, 2005**)

1.2.3. Les unités géologique et pédologique, la végétation

1.2.3.1. Les unités géologiques (UPDR, 2003)

La géologie de la région du Vakinankaratra est constituée de :

- Volcanisme néogène à quaternaire de l'Ankaratra ;
- Série schisto- quartzo- calcaire du Sud ;

Dont les formations suivantes :

- les massifs quartzites sont les roches sédimentaires (sable) ayant subi une métamorphisation ;
- les massifs granitiques, généralement dispersés sur la bordure occidentale du massif volcanique de l'Ankaratra dans l'Ouest et dans le Sud, le relief sur socle à sol ferrallitique squelettique ;
- les cuvettes lacustres sont dues à des activités volcaniques, des coulées de lave ayant obturé des vallées et engendrant ainsi des lacs.

1.2.3.2. Les unités pédologiques

Deux grandes catégories de sols peuvent être relevées : **(PDR, 2005)**

- les sols ferrallitiques humifères noirs ou « ando-sols » caractéristiques des régions situées au dessus de 2000m d'altitude et qui se distinguent par l'épaisseur de l'horizon supérieur humifère noir, limoneux, très poreux et gorgé d'eau ;
- les sols hydromorphes qui sont constitués par des sols de marais actuels ou des sols de marais anciens, modifiés par le drainage et les sols alluvionnaires, issus de bassins versants exclusivement basaltiques, les plus aptes à la riziculture.

Le sol du dispositif d'Andranomanelatra a été classé par Zebrowski et Ratsimbazafy (1979) comme un sol ferrallitique fortement désaturé, typique, rajeuni, humifère, sur matériaux volcaniques acides, et par Raunet (1981) comme un sol ferrallitique gibbistique, fortement désaturé, rouge ou ocre, sur alluvions volcano- lacustres. **(RAMAROFIDY, 2006)**. Les sols ferrallitiques fortement désaturés possèdent de faibles niveaux de matières organiques 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)**

1.2.3.3. Les végétations et activités économiques prépondérantes

La région du Vakinankaratra est caractérisée par une faible superficie couverte de forêt primaire. La dégradation est telle qu'il ne reste plus que quelques lambeaux de forêt dans la région. Dans les bas-fonds, on rencontre des marais à joncs et parfois à Viha, quelques vestiges de forêts galeries qui sont en voie de disparition. **(UPDR, 2005)**

10% de la surface cultivée dans la commune rurale d'Andranomanelatra est réservée au riz pluvial. Les fruits font la renommée de cette zone et se développent en une filière assez porteuse : pomme, poire, prune, kaki, raisin, pêche, et autres. **(PCD Andranomanelatra, 2003)**. Dans la région du Vakinankaratra, l'élevage de vaches laitières, la culture de pomme de terre ainsi que de la carotte font partie des sources de revenu les plus importantes pour les paysans.

Chapitre II Les matériels

2.1. Le dispositif expérimental de l'URP SCRiD : la matrice

Il date de 5 ans car il a été mis en place en fin 2002 avec une première année de labour pour homogénéiser le sol. Il couvre une surface totale de 32.000m². Le dispositif est divisé en quatre blocs : A, B, C, D (i.e quatre répétitions) contenant respectivement 18 parcelles de 45m de long et 10m de large subdivisées en petites parcelles de dimension variable selon les essais adoptés.

C'est un dispositif en Split- plot, les deux facteurs impliqués (le système de culture et la fertilisation) ne sont pas d'égale importance. L'effet principal est le système de culture (qui peut être en labour ou en SCV), celui-ci étant subdivisé en deux fertilisations.

Fu : un seul apport de fumier (au semis 5t/ha)

FM : Fertilisation Minérale recommandée, considérée comme la dose normale sur le riz pluvial, constituée de :

- 5t/ ha de fumier
- 500kg/ ha de dolomie pour corriger l'acidité du sol ferrallitique peu favorable aux plantes et permettre une plus grande libéralisation des éléments nutritifs du sol ainsi que l'activation de la microfaune
- 300kg/ha de NPK 11-22-16
- 100kg/ha d'urée (**en deux apports**)

Un traitement sans fumure noté **F0** sert de témoin pour mesurer le bilan en azote du sol sans apport de fertilisant, pour une étude spécifique, seulement sur deux systèmes R3 et R4.

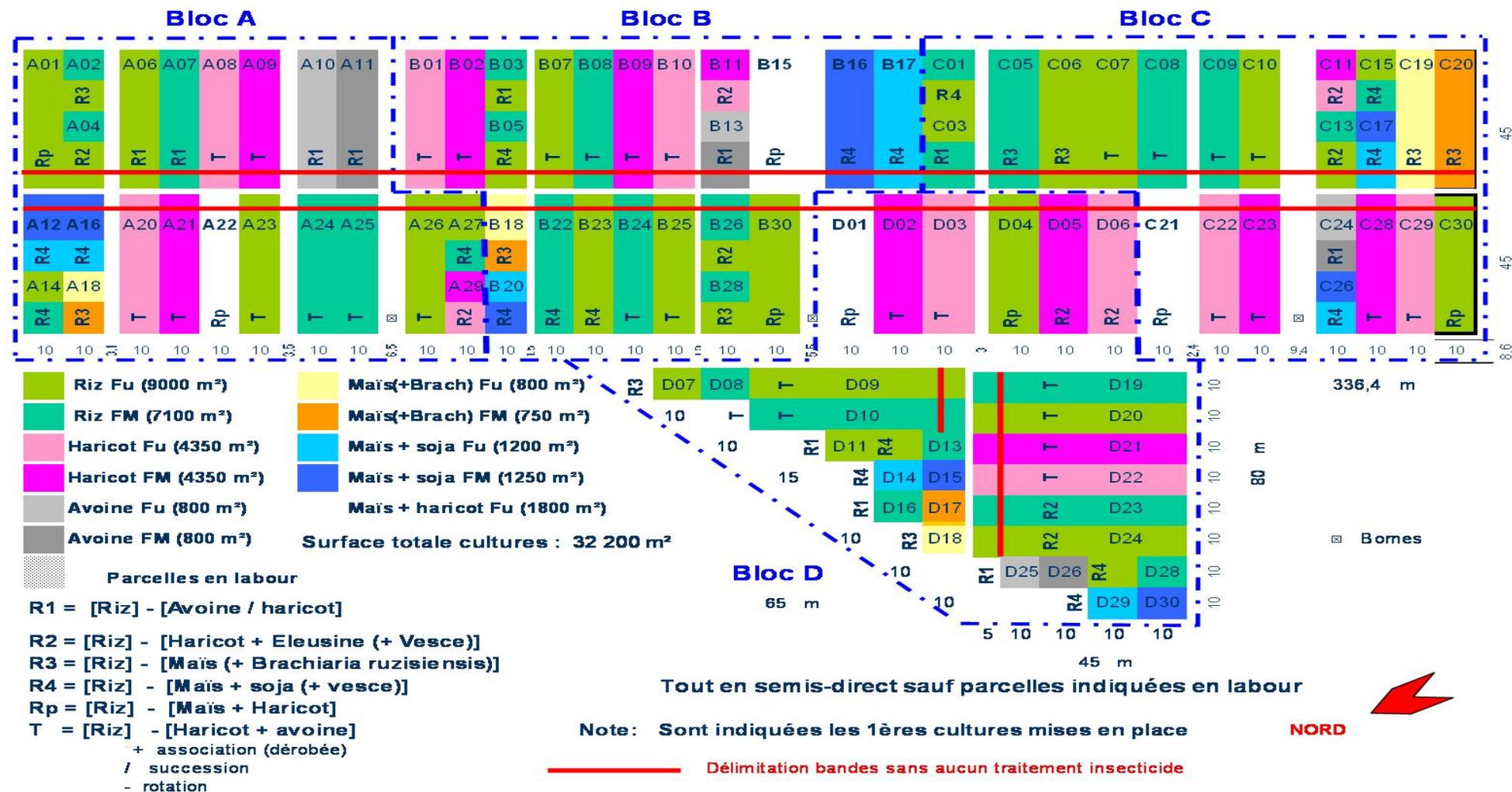
Les parcelles en FM sont de grandes parcelles de 100 m², celles en FU également, sauf pour les deux systèmes R3 et R4 où elles sont divisées en Fu et F0 et respectivement de 50 m².

Six systèmes de culture sont étudiés (tableau 12)

Deux modes de gestion du sol sont comparés sur cette matrice : le labour et le SCV (Semis direct sous Couverture Végétale) avec différents précédents cultureux.

ARO's plot s

DISPOSITIF PCP-URP SCRiD / (ARO'S) à ANDRANOMANELATRA Campagne 2006-2007



Carte 3 : Dispositif PCP- URP/SCRiD d'Andranomanelatra , Campagne 2006-2007

Tableau 12: Les différents systèmes de culture

Systèmes	Spéculations étudiées	Mode de gestion du sol	Niveau de fumure
R1	Riz <--> Avoine - Haricot	SCV	Fu et FM
R2	Riz <--> Haricot – Eleusine	SCV	Fu et FM
R3	Riz<--> Maïs/ <i>Brachiaria ruziziensis</i>	SCV	F0, Fu et FM
R4	Riz <--> Maïs/ Soja - Vesce	Labour/SCV	F0, Fu et FM
Rp	Riz<--> Maïs/ Haricot	Labour	Fu
T	Riz<--> Haricot - avoine	Labour/SCV	Fu et FM

Source : Auteur, 2007

<--> : rotation

/ : association

- : succession (dérobée)

Système R1 : Riz <--> Avoine- Haricot

Le riz est conduit en rotation avec l’avoine, ce dernier est sensé produire beaucoup de fourrages pour les animaux ou de couverture morte pour la culture suivante. Le haricot est considéré comme une culture de second cycle, semé en février. Ce système est conduit en SCV seulement, les niveaux de fumure utilisés sont Fu et FM.

Système R2 : Riz <--> Haricot- Eleusine

L’Eleusine précède le riz ; elle possède un avantage sur la vitesse de décomposition moyenne après dessiccation, une valeur fourragère excellente (pâturage) et une vitesse d’enracinement très rapide : 3,0-5,0cm/jour [L. Séguy, S. Bouzinac, 1998]. Le riz est succédé par le haricot, une Légumineuse qui est sensée récupérer l’azote exporté par le riz et en fournir à l’Eleusine. Dans ce système, le riz est cultivé sous SCV, comparé avec Fu et FM.

Système R3 (système à base de Graminée) : Riz <--> Maïs/ *Brachiaria ruziziensis*

L’association Maïs/Brachiaria précède le riz. Ces trois cultures sont toutes des Graminées ; dans un but lucratif, ce système n’est pas du tout rentable. Ce système est surtout pratiqué dans la recherche pour étudier l’état d’épuisement du sol. Le maïs est cultivé vu son importance dans l’alimentation tandis que le *Brachiaria* pour son aptitude à produire beaucoup de biomasse et à « labourer » le sol par ses racines profondes et ramifiées. C’est une plante difficile à détruire car elle possède des souches. Pour ce faire, après la coupe des

panicules (avant floraison), on procède à deux fauchages des plants ; ceux qui persistent encore sont traités localement avec de l'herbicide de pré-semis (Glyphader : 3l/ha, 2*1,5l en croisé).

Ce système n'est présent qu'en SCV seulement, la comparaison concerne les niveaux de fertilisation : sans fumure, fumure organique seulement et fertilisation minérale recommandée.

Système R4 (système à base de Légumineuse) : Riz <--> Maïs/ Soja - Vesce

L'association Maïs/soja (Graminées/ Légumineuses) est un cas pratique. Après la récolte de ces deux cultures, on installe encore une autre Légumineuse, la Vesce pour maximiser la fixation de l'azote atmosphérique. En plus de la comparaison des fertilisations comme en R3, les deux modes de gestion du sol sont aussi pris en considération (Labour, SCV)

Système Rp : Riz <--> Maïs/ Haricot

C'est le cas de la pratique paysanne, la rotation du riz avec maïs associé à l'Haricot est la plus couramment utilisée. La fumure organique est la seule étudiée.

Système T (Test variétal) : Riz <--> Haricot- avoine

L'avoine est conduite en dérobé et fauchée juste avant le labour. La culture du riz est comparée en simple et double ligne, en SCV et labour, avec des fumures organiques et minérales. Concernant les systèmes en double ligne, le riz est intercalé avec soit :

- S1 : Eleusine
- S2 : Stylosanthes guyanensis
- S3 : Cajanus
- S4 : Radis fourrager
- S5 : Vesce
- S6 : mélange (Cajanus+ eleusine+ radis+ vesce)

NB

Sur chaque bloc, par exemple pour le système R2 (Riz <--> Haricot- Eleusine), les deux rotations sont présentes en même temps sur des parcelles différentes, l'année suivante leur place est inter-changée. Il en est de même pour tous les autres systèmes.

2.2. Les matériels végétaux

Deux variétés de riz sont étudiées, leurs caractéristiques sont données par le tableau ci-dessous.

Tableau 13: Caractéristiques des variétés F154 et F161

Variétés	F154	F161
Parents	Issue du croisement des parents Latsibavy et F62 elle-même issue de IAC 25 et Daniela	Croisement entre IRAT 114 et F133
Caractéristiques variétales Hauteur moyenne Port de la plante Type de grain	75-90cm érigé long et fin	85cm Semi érigé Gros et poilu
Résistance	Résistante à la verse	Résistante à la pyriculariose Rustique, fertile Plus ou moins sensible à l'égrenage
Rendement (en essai) Moyen Maximum	3,3t/ha 5,7t/ha	2,8t/ha 6,6t/ha
Poids de 1000 graines	32,1g	30,3g

Source : Auteur, 2007

Des plantes de couverture ont été également étudiées sur les nouveaux systèmes de riz et de maïs afin de connaître leur biomasse.

Tableau 14 : Les plantes de couverture installées sur les nouveaux systèmes

Systèmes	Nouveaux systèmes de riz	Nouveaux systèmes de maïs
Plantes de couverture	Eleusine, <i>Stylosanthes guyanensis</i> , <i>Cajanus</i> , radis fourrager, vesce.	Soja, vesce, <i>Cajanus</i> , radis fourrager, éleusine, lupin, avoine, haricot, <i>Crotalaria spectabilis</i> , <i>Crotalaria grahamiana</i> .

Chapitre III Les méthodes

3.1. Détermination de la teneur en azote

L'azote est un élément nutritif de très grande importance, sa carence occasionne des troubles graves chez la plante et affectera le rendement. Il s'avère alors nécessaire de connaître l'azote prélevé par le riz au cours de son cycle. Cela permettra d'évaluer son taux et de faire des apports supplémentaires ou au contraire diminuer la dose à apporter pour éviter la pollution en nitrate de la nappe phréatique car ce dernier est facilement lessivable

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 ; et sur dix feuilles prises au hasard que ce soit dans les placettes de 1m² ou dans la parcelle toute entière. La première mesure se fait à partir du 30^{ème} jour après le semis et les mesures se terminent à la floraison. Les mesures se font toutes les semaines de préférence la matinée à l'ombre ou bien se munir d'un ombrage.

3.1.1. Avec le SPAD

3.1.1.1. Principes

Le SPAD (Soil Pant Analyses Development ou chlorophyll meter) est un outil de diagnostic simple, qui est utilisé pour estimer la teneur en chlorophylle *in situ* d'un végétal, en mesurant la quantité de lumière transmise à travers la feuille (valeur SPAD, développé par la société Minolta). Cette teneur peut être mise en relation avec le statut azoté de la plante. C'est un appareil portable utilisé au champ, facile d'emploi. (RAMANANDRAIVONONA Jeannick Aimé, 2005)

3.1.1.2. Mode opératoire

La mesure se fait en pinçant la dernière feuille ligulée du riz, la valeur SPAD est donnée instantanément. On fait trois mesures par feuille et on prend la moyenne.

3.1.2. Avec la LCC

3.1.2.1. Son utilité

Il existe une corrélation entre les valeurs SPAD et les valeurs de la LCC. Sa mesure est adoptée pour la vérification.

3.1.2.2. Principe

La valeur de l'azote est estimée à partir de couleur des feuilles du riz, l'appareil indique la valeur correspondante de l'azote contenu dans les feuilles.

3.1.2.3. Méthode

On compare la couleur du riz et celle indiquée sur l'appareil et on prend la valeur correspondante qui se rapproche le plus ou la valeur intermédiaire entre deux couleurs

3.2. Détermination du rendement

3.2.1. Principe

Le principe est de faire apparaître toutes les composantes de rendement du riz et de faire sortir sa formule de rendement.

3.2.2. Méthodes

Nous avons effectué notre étude dans une placette sur une surface de 1m².

1) Mise en place des carrés ou placettes de 1m² juste avant la récolte dans lesquelles on effectue les opérations qui suivent (le reste de la parcelle est récoltée normalement). Le nombre de placettes installées dépend de la surface de la parcelle :

- 3 pour les grandes parcelles : 175m² et 350m² ;
- 2 pour les petites : 50m² et 100m² ;
- 1 pour les nouveaux systèmes testés dans la parcelle T.

2) Comptage et arrachage des poquets présents.

3) Comptage du nombre de plants identifiés. On obtient ainsi le **nombre de plants/m²** par les formules suivantes :

Nbr plts/m ² = Nbr plts dans 1m ² /1 (simple ligne)
Nbr plts/m ² = Nbr plts dans 1m ² /1,1 (double ligne)

Nous comptons également le nombre de talles qui nous permettra de connaître le nombre de tallage fertile. Un échantillon de paille de 6 poquets est mis de côté, pesé frais (**PF Paille**) après la coupe de ses racines et mis dans un sac Paille, il est repesé après passage à l'étuve toujours pendant 72h à 60°C (**PS Paille**). Cet échantillon nous permettra de connaître le taux d'humidité des pailles qui équivaut à :

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

Le reste des pailles du carré est pesé frais après coupe des racines et remis à l'endroit du prélèvement.

4) Comptage des panicules sur la placette

Le nombre de **panicules/m²** est calculé par :

$$\text{Nbr pan/m}^2 = \text{Nbr pan dans } 1\text{m}^2/1 \text{ (simple ligne)}$$

$$\text{Nbr pan/m}^2 = \text{Nbr pan dans } 1\text{m}^2/1,1 \text{ (double ligne)}$$

En connaissant les nombres de panicules et de plants, on peut déduire le nombre de panicules par plant :

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

5) Prélèvement de 18 panicules sur chaque placette, prises au hasard, représentatives c'est-à-dire de toute taille en évitant celles attaquées par les oiseaux. Sur ces 18 panicules prélevées, nous comptons le nombre de grains pleins (**Nbr GP**) et vides (**Nbr GV**), ils sont pesés après séchage à l'étuve pendant 72h à 60°C (**PS GP, PS GV**).

A partir de ces données on peut obtenir les composantes suivantes :

- Le nombre d'épillets par panicules

$$\text{Nbr ép/pan} = \frac{\text{Nbr GP} + \text{Nbr GV}}{18}$$

- Le pourcentage de grains pleins

$$\% \text{ GP} = \frac{\text{Nbr GP}}{(\text{Nbr GP} + \text{Nbr GV})} * 100$$

- Le poids de 1000 grains

$$\text{PMG} = \frac{\text{PS GP}}{\text{Nbr GP}} * 1000$$

- Le nombre d'épillets par m²

$$\text{Nbr ép/m}^2 = \text{moyenne Nbr plts/m}^2 * \text{moyenne Nbr pan/plt} * \text{Nbr ép/pan}$$

- Le nombre de grains pleins par m²

$$\text{Nbr GP/m}^2 = \text{Nbr ép/m}^2 * \frac{\% \text{ GP}}{100}$$

6) Après égrenage de l'ensemble des panicules, les grains sont pesés frais (**PF Reste Pan**), et repesés après séchage à l'étuve pendant 72h à 60°C (**PS Reste Pan**), nous obtiendrons le **taux d'humidité des grains**.

Ce poids sec de grains est utilisé pour calculer le rendement placette.

Le rendement peut être calculé en multipliant les différentes composantes mesurées :

$$\text{Rdt} = \text{Nbr plt/m}^2 * \text{nbr pan/plt} * \text{Nbr ép/pan} * \% \text{ GP} * \text{Poids de mille grains} * 10^{-5}$$

3.3. Mesure des biomasses autres que le riz

3.3.1. Mesure des biomasses résidus sur les parcelles en rotation avec le riz

3.3.1.1. Sur les parcelles de maïs

Tableau 15 : Les systèmes étudiés sur les parcelles en Maïs

	Ancien	Nouveau
Systèmes étudiés	<p>Trois systèmes de culture de maïs sont étudiés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - association maïs+ <i>Brachiaria</i> (R3); - association maïs+ soja (R4); - association maïs+ haricot (Rp). 	<p>C'est un essai de systèmes proposés par Lucien Ségué à forte production de biomasse. Il comporte 9 parcelles avec chacune un système à base de maïs et de plantes de couvertures. Les 9 systèmes testés sont les suivants :</p> <p>S1 : Maïs + Soja + Vesce S2 : Maïs + <i>Cajanus</i> S3 : Maïs + Radis fourrager S4 : Maïs + Radis fourrager + Vesce + <i>Cajanus</i> + Eleusine S5 : Maïs + Lupin S6 : Maïs + Haricot + Vesce + Avoine S7 : Maïs + Haricot + Vesce + Avoine + Radis S8 : Maïs + Eleusine + <i>Crotalaria spectabilis</i> S9 : Maïs + Eleusine + <i>Crotalaria grahamiana</i></p>
	<p>a) Mesure après la récolte Après la récolte des épis de maïs (les graines de soja ainsi que du haricot sont récoltés bien avant), on procède :</p> <ul style="list-style-type: none"> - délimitation d'une aire de 2m² pour le lieu de prélèvement ; - comptage du nombre de pieds de maïs : sur un écartement de 1 x 0,5m, normalement il doit y avoir 4 poquets ou 8 pieds (semés avec 2 grains par poquet) ; - pesage séparément des cannes de maïs existantes et des résidus des 	<p>La récolte de biomasse totale de maïs (épis et canne) se fait en fin de campagne, après pesage des cannes, elles sont restituées au sol ; tandis que les pesées des biomasses des plantes de couverture sont faits en fin de saison froide, il en est de même pour les cannes de maïs. Sur chaque parcelle, la procédure se fait comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pesage de toutes les biomasses y compris celles des maïs ; - pour chaque spéculature, pesage

	<p>cultures associées (Poids Frais biomasse), après séchage à l'étuve pendant 72h à 60°C, on obtient leur poids sec. On peut déduire le taux d'humidité des biomasses.</p> <p>- remise en place de ces résidus dans les placettes de 2m². Ils sont conduits en condition naturelle c'est-à-dire exposés aux différents aléas climatiques (vent, pluie,...)</p> <p>b) Mesure à la fin de la saison froide Les pesées sont identiques à celles effectuées après la récolte.</p> <p>NB Les résultats montrent la quantité de couverture disponible pour la culture suivante et l'état de dégradation des résidus culturaux.</p>	<p>d'un échantillon afin de connaître le taux d'humidité (passage à l'étuve pendant 72h à 60°C et repesage)</p> <p>- remise en place des biomasses (échantillon et reste)</p>
--	---	--

3.3.1.2. Sur les parcelles en rotation avec le riz autres que le maïs : Avoine - Haricot, Haricot - Eleusine, Vesce, Haricot – Vesce.

Les prélèvements sont faits à la fin de la saison froide, juste avant le labour.

Tableau 16 : Les systèmes étudiés sur les parcelles en rotation autre que le maïs

Cultures étudiées	Avoine- Haricot	Haricot - Eleusine	Vesce	Haricot - Avoine
Systèmes étudiés	R1= Riz<--> Avoine- Haricot	R2= Riz<--> Haricot- Eleusine	R4=Riz<-->Maïs/ Soja -Vesce	T= Riz<--> Haricot - Avoine
Procédures	<p>Les procédures de prélèvements sont les mêmes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - coupe des plants au ras du sol avec un ciseau ; - pesage au frais de la biomasse totale et prise d'un échantillon; - pesage à sec après passage à l'étuve; - remise en place des pailles. 			

NB : Sur les parcelles **T** et **R1**, vu que les biomasses sont en grande quantité, nous avons délimité l'aire de prélèvement en 1m². Cette année, les plants d'avoine n'ont pas bien poussé,

les plants ayant poussé sont très hétérogènes, alors nous avons décidé de prendre 2 placettes de 1m² dans une parcelle et nous avons pris la moyenne pour qu'il y ait homogénéité des pailles d'avoine prélevées.

Les biomasses des restes (R2 et R4) sont prélevées sur toute la parcelle.

3.3.2. Mesure des biomasses des plantes de couverture sur les nouveaux systèmes de riz

Les prélèvements sont effectués sur les systèmes T (tests variétaux) tant en labour qu'en SCV sur la variété F154. Les parcelles comportent des doubles lignes de riz à 15cm, écartées de 40cm, entre les doubles lignes sont semées diverses plantes, selon les systèmes proposés :

S1: Riz + Eleusine

S2: Riz + *Stylosathes guyanensis*

S3: Riz + *Cajanus*

S4: Riz + Radis fourrager

S5: Riz + Vesce

S6: Riz + mélange (*Cajanus* + Eleusine + Radis fourrager + Vesce)

Les procédures de prélèvements sont semblables aux nouveaux systèmes de maïs (9 systèmes) c'est-à-dire pesage des biomasses, prise d'échantillon pour l'étuve et remise en place de toutes les biomasses.

Remarque

Pendant la récolte du riz, les mesures de biomasse totale (graine et paille) sont déjà faites, il est aussi nécessaire de refaire des prélèvements des pailles en fin de saison froide pour connaître la quantité disponible pour la culture suivante, faute de temps, ces mesures ne sont pas effectués. De plus les parcelles en riz de cette campagne seront cultivées avec des spéculations qui lui sont en rotation, alors elles ne concernent pas les précédents culturaux du riz.

Chapitre premier : Les résultats et interprétations

1.1. Evaluation des systèmes par rapport à la nutrition azotée :

Comparaison des évolutions des valeurs SPAD sur les systèmes étudiés

Le **tableau 17** montre les valeurs SPAD (Soil Plant Analyses Development) au cours du cycle, une analyse statistique sous logiciel SAS a été menée pour voir s'il y a ou non de différence significative entre les systèmes

Tableau 17 : Comparaison des valeurs SPAD en Jours Après Semis (JAS) par traitement en FM, de début tallage à floraison

Système FM	Valeurs SPAD 50 JAS	Valeurs SPAD 57 JAS	Valeurs SPAD 68 JAS	Valeurs SPAD 75 JAS	Valeurs SPAD 82 JAS	Valeurs SPAD 89 JAS	Valeurs SPAD 96 JAS	Valeurs SPAD 103 JAS	Valeurs SPAD 110 JAS	Valeurs SPAD 121 JAS
T LAB	39.3 a*	43.5 a	41.6 a	41.5 a	42.1 a	44.0 a	47.1 a	45.7 a	47.6 a	45.9 a
T SCV	38.1 a	41.8 ab	40.0 a	41.4 a	40.3 a	42.9 a	46.7 a	42.9 a	45.2 a	46.7 a
R4LAB	38.1 a	40.7 ab	39.6 a	39.6 a	41.5 a	42.5 a	45.1 a	43.6 a	45.2 a	44.3 a
R4SCV	34.1 b	38.8 b	39.1 a	38.0 a	40.0 a	41.2 a	46.0 a	45.6 a	45.5 a	46.9 a
R3SCV	33.9 b	38.1 b	35.5 b	36.7 a	38.2 a	42.9 a	44.7 a	45.4 a	43.8 a	46.2 a

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

T : Riz <--> haricot – avoine, R4 : Riz <--> Maïs + soja, R3 : Riz <--> Maïs + *Bracharia*, FM : fertilisation minérale

A partir de ce tableau, il existe des différences significatives sur les trois premières dates : à 50 JAS, les trois premiers systèmes présentent une différence significative sur les deux derniers, nous avons constaté également des différences en 57 JAS entre les trois premiers et les deux derniers même s'il n'y a pas un grand écart sur les valeurs SPAD ; en 68 JAS, seul le R3 SCV FM, le système ayant la plus faible valeur montre une différence significative avec les quatre autres systèmes. A partir de 75 JAS, il n'y a plus de différence entre les systèmes.

La figure 7 montre l'évolution des valeurs SPAD au cours du cycle en Jours Après Semis (JAS)

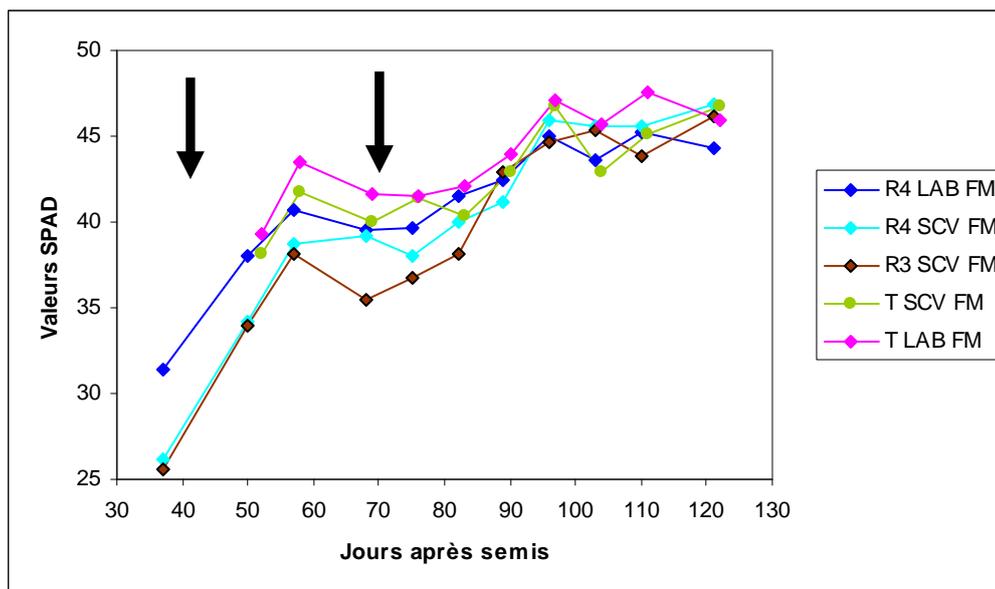


Figure 7: Evolution des valeurs SPAD par système en FM de début tallage à la floraison en jours après semis.

T : Riz <--> haricot – avoine, R4 : Riz <--> Maïs + soja, R3 : Riz <--> Maïs + *Bracharia*, FM : fertilisation minérale
 Les flèches indiquent les apports d'urée (50 kg/ha d'urée), à 40 et 72 jours après semis

De façon générale, les valeurs SPAD augmentent au cours du temps, cette augmentation est liée à l'épaississement des feuilles au fur à mesure de leur mise en place dans le couvert (mis en évidence par le suivi de la surface spécifique des feuilles (surface par unité de poids), données non montrées).

D'après les résultats obtenus et présentés par le **tableau 17** et la **figure 7**, le premier apport d'urée effectué au 40^{ème} Jours Après Semis (JAS) correspond au démarrage des jeunes plantes capables d'utiliser l'azote apporté au sol sous forme soluble et assimilable pour la plante. Nous avons constaté une augmentation rapide des valeurs SPAD entre 37 et 57 JAS avec les systèmes labourés qui ont des valeurs plus élevées que les systèmes SCV indépendamment des précédents culturaux.

Par ailleurs, nous avons observé une réduction des valeurs SPAD entre 58 et 70 JAS. Cette réduction traduit une carence en azote pour tous les systèmes, le système R3 SCV présente les plus faibles valeurs durant cette réduction, il a subi la carence en azote la plus forte. Cette phase correspond à la phase de croissance maximale du riz (tallage maximal). Cela coïnciderait au deuxième apport d'urée recommandé pour le riz pluvial.

Après le deuxième apport, la valeur SPAD commence à se rétablir, de 72 JAS jusqu' à la fin des mesures (120 JAS) où les valeurs sont à peu près les mêmes pour tous les systèmes.

Si nous comparons les systèmes entre eux, les valeurs SPAD les plus élevées sont observées sur le système T Labour FM tout au long du cycle sauf à la fin des mesures. Par contre, les systèmes R3 SCV FM et R4 SCV FM présentent les valeurs les plus faibles depuis le début des mesures : 37 Jours Après Semis (JAS) jusqu'à 90 JAS, les deux systèmes labourés (R4 LAB et T LAB) ayant des valeurs plus élevées. Ceci peut être expliqué par le fait que le développement racinaire est plus important en labour en début de cycle, par contre ce développement est plus profond en SCV en fin de cycle et leurs systèmes racinaires peuvent atteindre l'azote et les autres éléments nutritifs qui se trouvent en profondeur, contrairement en début de cycle. Ainsi, les systèmes SCV rattrapent les valeurs SPAD des systèmes labourés voire même les dépassent (R4 SCV, R3 SCV, T SCV). C'est peut être la cause de la méfiance de beaucoup d'agriculteurs sur le choix de la pratique du SCV.

1.2. Evaluation des systèmes par rapport au rendement

1.2.1. Anciens systèmes

1.2.1.1. Comparaison des rendements entre systèmes étudiés

A partir des résultats obtenus, nous présentons la figure du rendement pour toutes les modalités des systèmes testés sur le dispositif SCRiD en 2006-07. Les écarts types sont donnés sur les figures pour permettre de juger si il y a ou non différence entre les moyennes.

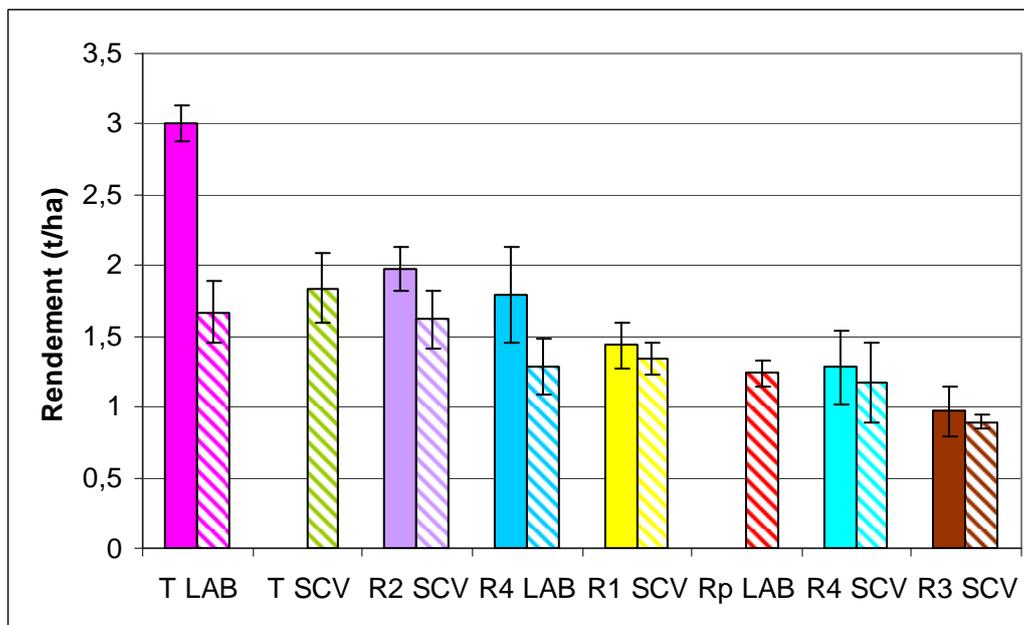


Figure 8 : Rendements (t/ha) obtenus par la variété F161 sur les systèmes T LAB, T SCV, R2 SCV, R4 LAB, R1 SCV, Rp LAB, R4 SCV, R3 SCV en fonction des fertilisations.

R1 = Riz <-> Avoine – Haricot, R2 = Riz <-> haricot – Eleusine, R3 = Riz <-> Maïs/*Brachiaria ruziziensis*
 R4 = Riz <-> Maïs/Soja, Rp = Maïs/Haricot, T = Riz <-> Haricot- Avoine
 Fumure Minérale= couleur pleine, Fumier seulement= couleur hachurée

Le meilleur rendement est obtenu par le système T LAB FM précédé du Haricot suivi de l'avoine en dérobée avec une valeur de 3,01 t/ha, le plus mauvais par R3 SCV Fu précédé de l'association Maïs/*Brachiaria* avec un rendement de 0,90 t/ha. Nous pouvons expliquer que la succession de deux Graminées (Maïs/*Brachiaria*) n'est pas conseillée car elle donne un rendement médiocre, ce qui n'est pas le cas pour une succession de Légumineuse et de Graminée avec laquelle le rendement est bon, grâce à l'utilisation de l'azote resté dans le sol après une culture de Légumineuse indépendamment du mode de gestion du sol (labour et SCV).

Nous constatons également que sur les systèmes T et R2 qui ont des rendements supérieurs, le riz est précédé par une culture de Légumineuse (Haricot) suivi de l'installation de Graminées (Avoine, Eleusine) en dérobée. Nous supposons que les Légumineuses donnent plus d'effets sur la culture en rotation si elles sont installées bien avant (il y a encore une culture en dérobée après son cycle), contrairement aux systèmes R4 et R1 où le riz est cultivée juste après les Légumineuses (Soja et Haricot).

Nous avons observé les meilleurs rendements en FM par rapport à Fu sur tous les systèmes indépendamment des modes de gestion du sol et des précédents cultureux.

Concernant les modes de gestion du sol, sur le système R4, le système labouré est meilleur que celui du SCV.

1.2.1.2. Analyses des composantes du rendement

Le tableau 18 présente les valeurs des composantes et le rendement obtenus par tous les modalités des systèmes testés sur le dispositif SCRiD en 2006-07. Une régression linéaire pas à pas faite avec le logiciel de statistique SAS a montré que l'ensemble des composantes unitaires expliquent que 81 % des variations du rendement sont expliqués par les variations de ses composantes et c'est le nombre de plants par m² qui explique le plus (51%) les variations :

	Corrélation avec le rendement	Total
Nombre de plants par m ²	R² = 0,5116	0,5116
Nombre d'épillets par panicule	R ² = 0,1465	0,6581
Nombre de panicules par plant	R ² = 0.0970	0,7551
PMG	R ² = 0.0361	0,7912
% GP	R ² = 0.0232	0,8144

PMG= poids de mille grains, % GP= pourcentage de grains pleins détermination, R²= coefficient de détermination sur le graphique

Tableau 18: Les différentes composantes du rendement sur tous les anciens systèmes de culture en fonction des modes de gestion du sol et des fertilisations (F161),

Système	Nombre plants / m ²	Nombre panicules / m ²	Nombre épillets / panicule	Nombre d'épillets / m ²	% GP	Nombre GP/m ²	PMG	Rendement
T LAB FM	138.4 a*	215.8 a	83.2 a	17 845 a	86.6 a	15 434 a	27.2 a	3.01 a
R2 SCV FM	118.1 abc	180.9 ab	76.2 a	13 783 abc	83.4 a	11 491 abc	25.2 a	1.98 b
R4 LAB FM	130.0 ab	200.8 a	73.1 ab	15 255 ab	82.1 a	12 552 ab	27.6 a	1.79 bc
R1 SCV FM	100.8 bc	139.5 b	74.1 ab	10 265 bc	84.0 a	8 621 bc	25.0 a	1.44 bc
R4 SCV FM	104.5 bc	143.6 b	71.0 ab	10 364 bc	80.4 a	8 448 bc	26.0 a	1.28 bc
R3 SCV FM	94.4 c	130.4 b	61.0 b	8 660 c	79.1 a	6 941 c	25.8 a	0.97 c
T SCV Fu	115.9 a	147.3 a	74.9 a	10 309 ab	89.7 a	8 944 ab	26.3 a	1.84 a
T LAB Fu	119.0 a	148.5 a	71.1 a	11 006 ab	87.0 a	9 878 a	22.5 a	1.67 ab
R2 SCV Fu	126.3 a	172.6 a	71.0 a	12 305 a	83.0 a	10 201 a	25.3 a	1.62 ab
R1 SCV Fu	122.8 a	158.6 a	59.0 a	9 383 ab	86.7 a	8 134 ab	27.9 a	1.34 ab
R4 LAB Fu	110.0 a	153.3 a	62.9 a	9 720 ab	79.9 a	7 656 ab	26.1 a	1.28 ab
Rp LAB Fu	107.4 a	138.8 a	66.6 a	9 395 ab	83.3 a	7 780 ab	25.4 a	1.24 ab
R4 SCV Fu	104.0 a	130.4 a	59.0 a	7 812 b	84.2 a	6 607 b	26.5 a	1.18 ab
R3 SCV Fu	100.1 a	132.2 a	57.2 a	7 649 b	81.2 a	6 200 b	25.3 a	0.90 b

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

R1 = Riz <-> Avoine – Haricot, R2 = Riz <-> haricot – Eleusine, R3 = Riz <-> Maïs/*Brachiaria ruziziensis*
R4 = Riz <-> Maïs/Soja, Rp = Maïs/Haricot, T = Riz <-> Haricot- Avoine

Remarque: Nous avons obtenu deux valeurs différentes du rendement à partir de deux formules:

- Le rendement est le poids de grains pleins produits par unité de surface (première formule)
- Le rendement composante = Nbr plt/m² x nbr pan/plt x Nbr ép/pan x % GP x Poids de mille grains x 10⁻⁵ (deuxième formule)

D'après notre observation, les valeurs du rendement issues de la première formule sont des valeurs réelles, par conséquent, nous avons utilisé ces valeurs pour la construction de toutes les figures sur les rendements et les biomasses. Par contre, dans la deuxième formule, les valeurs du rendement (rendement composante) sont surestimées. (Voir **annexe V et VI**)

En regroupant les composantes, c'est le nombre de grains produits par m² qui explique le mieux le rendement (**figure 9**).

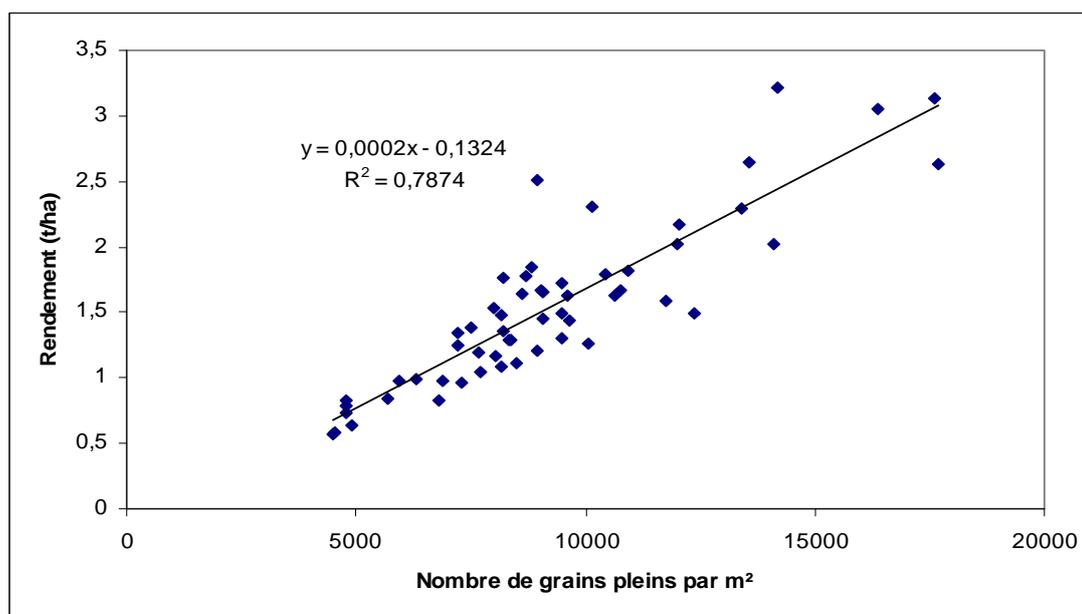


Figure 9 : Relation entre les moyennes de rendement et les moyennes du nombre de grains pleins par m²

La relation linéaire sur l'ensemble des données est: $Rdt = 0,0003 \text{ NbrGP} + 0,0329$ avec $R^2 = 0,848$.

Cela veut dire que environ 85 % des variations du rendement sont expliquées par les variations du nombre de grains pleins par m². Le meilleur rendement (3,01t/ha) est obtenu par

le deuxième nombre le plus élevé en GP/m² : 17.627 (le maximum de GP/m² est obtenu sur R4 LAB FM : 17.700 dans le bloc B)

Pour mieux comprendre le rendement obtenu, nous allons essayer de décomposer ce rendement en ses composantes suivant les périodes de croissance du riz, en mettant en relation les composantes formées successivement au cours du cycle afin de savoir les causes de sa baisse. Sur les figures sont différenciées les fertilisations pour faciliter la visualisation.

La figure 10 met en relation le nombre de grains pleins par m² et le PMG. La période du cycle concernée est la fécondation - maturité.

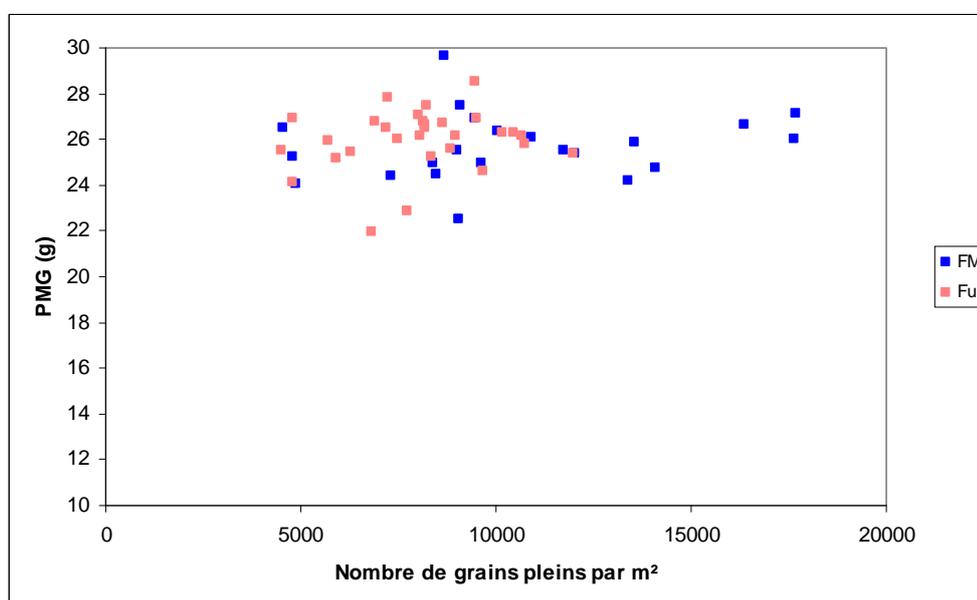


Figure 10: Relation entre le PMG et le nombre d'épillets par m²

La figure ne présente pas de relation linéaire, il n'y a donc pas d'effets sur les traitements. La valeur de PMG la plus basse est observée sur le système T SCV FU = 22,46 g

La **figure 11** met en relation le pourcentage de grains pleins et le nombre d'épillets par m². La période du cycle du riz concernée est **la fécondation**. Il n'y a pas d'effets sur les traitements.

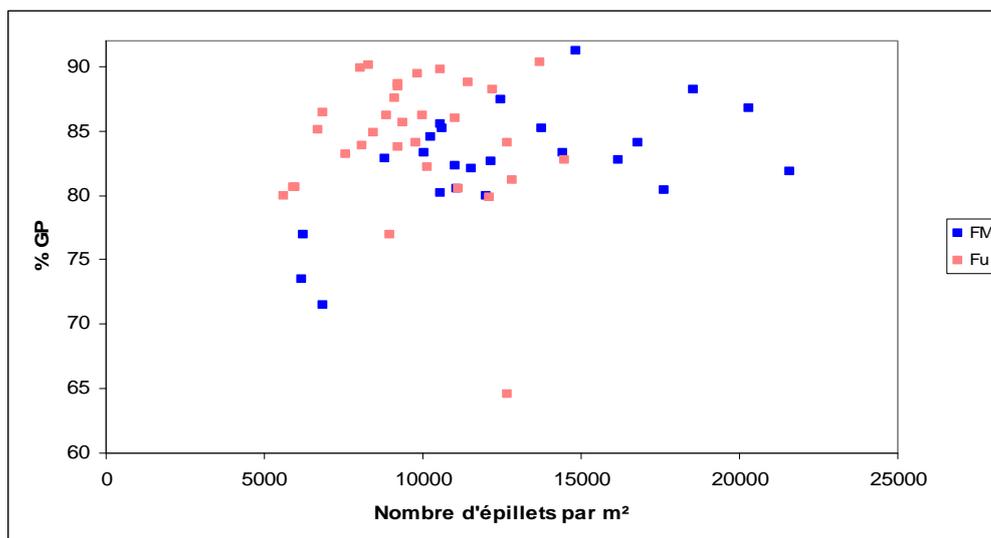


Figure 11 : Relation entre le % GP et le Nombre d'épillets par m²

Pour la période **épiaison – fécondation** (figure 12), en FM la relation linéaire entre les deux composantes formées est $\text{Nbr Ep} = 92.658 \text{ Nbr pan} - 2916,6$ avec $R^2 = 0,9087$, ce qui veut dire que 91% des variations du nombre d'épillets par m² sont expliquées par les variations du nombre de panicules par m².

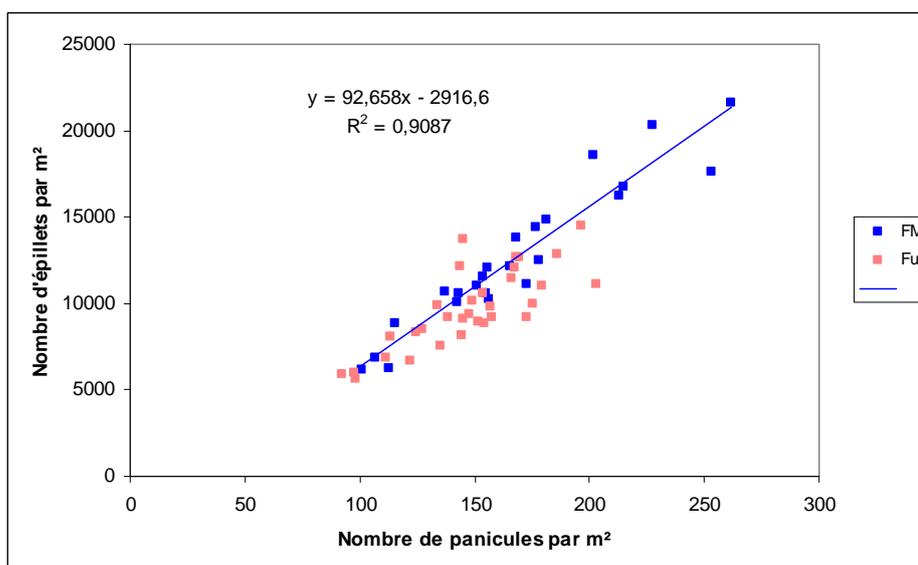


Figure 12 : Relation entre le Nombre d'épillets par m² et le nombre de panicules par m²

Sur cette droite, le nombre d'épillets produits par m² n'est limité que par le nombre de panicules produites par m². En Fu, beaucoup de valeurs sont inférieures à cette droite, cela indique que les plants ont subi une contrainte pendant cette phase qui est par hypothèse la nutrition azotée.

La **figure 13** met en relation le nombre de panicules par m² et le nombre de plants par m². La période concernée est la **levée – épiaison**.

En FM, on observe une relation linéaire entre ces deux composantes :

$$\text{Nbr pan} = 1,803 \text{ Nbr plt} - 37,692 \text{ avec } R^2 = 0,8454$$

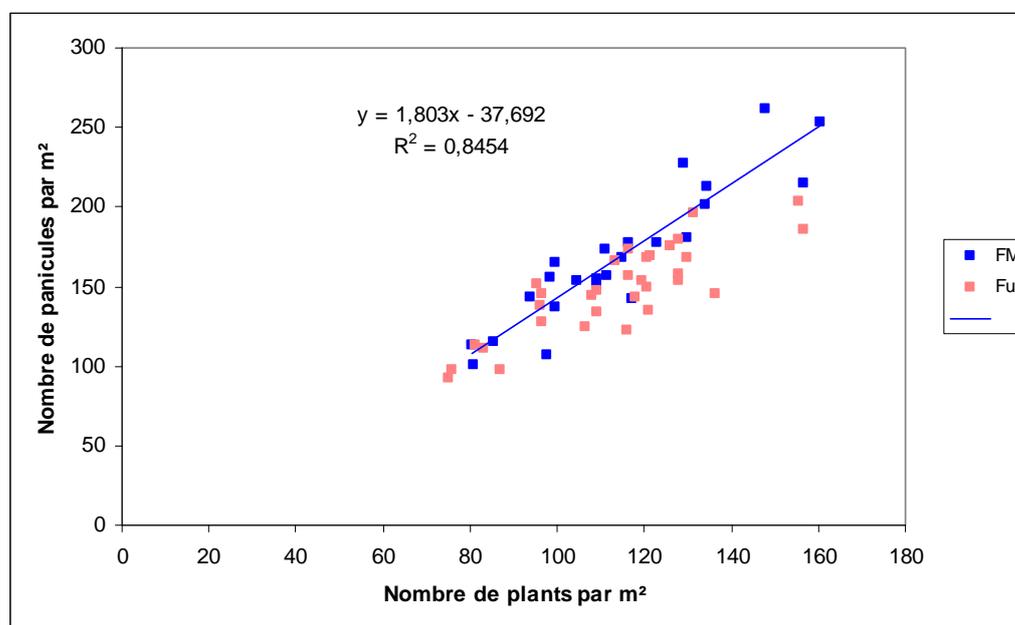


Figure 13 : Relation entre Nombre de panicules par m² et Nombre de plants par m²

Sur cette droite, le nombre de panicules produites par m² n'est limité que par le nombre de plants produits par m² (84% des variations). En Fu, beaucoup de valeurs sont inférieures à cette droite, cela indique les plants ont subi une contrainte, nous supposons par hypothèse la carence en azote entre les périodes de 58 à 68 JAS (cf figure 8 sur les valeurs SPAD).

Ces analyses indiquent que, particulièrement en FM, le nombre de grains produits est essentiellement limité par le nombre de plants par m². Les valeurs supérieures du rendement sont obtenues par les nombres de plants par m² les plus élevés.

La faible densité de plants par m² à la levée est due d'une part à la difficulté de mise en place du riz dans les plantes de couverture, cas du *Brachiaria* sur le système R3 SCV ; d'autre part à la plus forte contrainte des vers blancs durant cette campagne surtout en SCV. Le *Brachiaria* est efficace pour chercher les ressources du sol, particulièrement l'azote, la culture du riz à sa suite est difficile car il reste peu d'azote dans le profil. Nous avons effectivement observé un statut azoté déficitaire du riz sur ce système grâce au SPAD.

2.2.2. Nouveaux systèmes

2.2.2.1. Comparaison des rendements du riz entre les nouveaux systèmes étudiés

Le **figure 14** compare les rendements obtenus en simple et double lignes sur les systèmes T pour les 2 variétés F161 et F154.

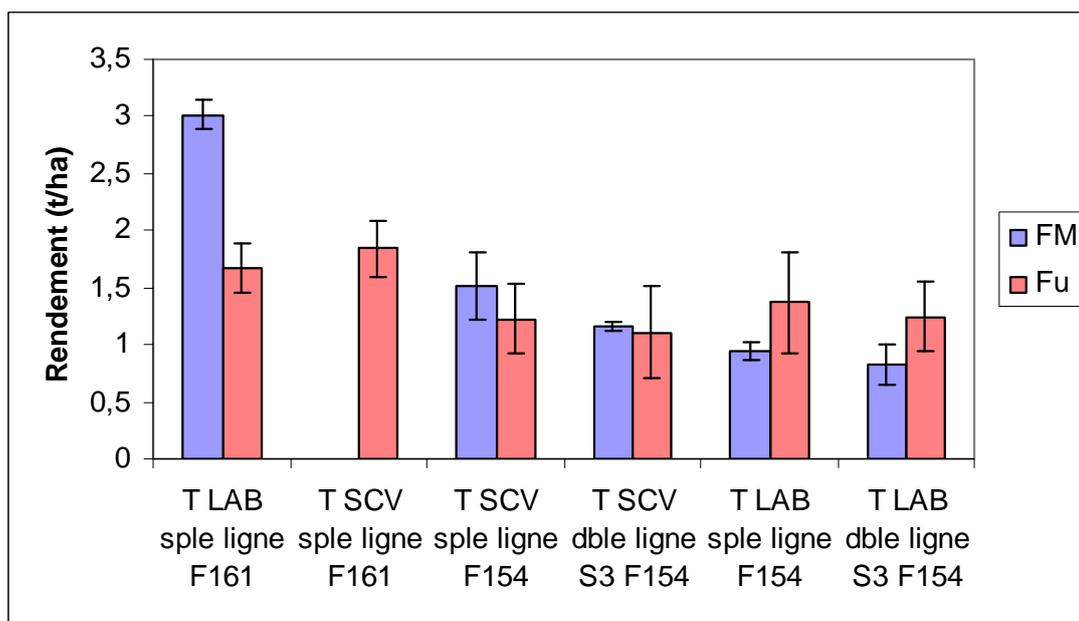


Figure 14: Comparaison des rendements obtenus en simple et double lignes pour les variétés F161 et F154 sur les systèmes T

T = Riz <-> Haricot – Avoine, S3 = *Cajanus*
 FM = Fumure Minérale, Fu = Fumier seulement

La variété F161 est meilleure que F154 tant en FM qu'en Fu.

Pour F154, il n'y a pas de différence significative de rendement entre simple et double ligne.

La figure ci-après nous montre le pourcentage de grains pleins sur les deux systèmes T LAB simple ligne et T SCV simple ligne pour les variétés F161 et F154. Elle nous indique que F161 a une valeur nettement supérieure à F154, par exemple sur T LAB simple ligne FM, le pourcentage de grains pleins de F161 est presque le double de celui de F154 (86,6% contre 43,5%). La différence de pourcentage de grains pleins entre les deux variétés est due à la sensibilité de F154 à la pyriculariose qui peut entraîner la formation d'une grande quantité de grains vides.

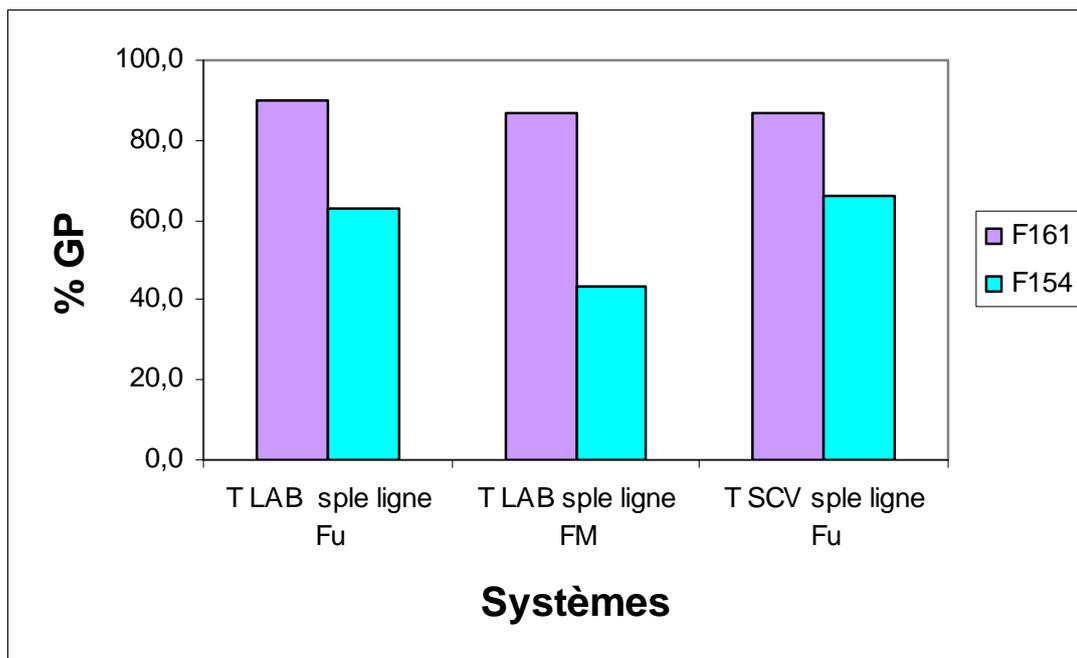


Figure 15 : Comparaison du pourcentage de GP entre les variétés F161 et F154

FM = Fumure Minérale recommandée, Fu = Fumier seulement
%GP = pourcentage de grain plein

Les **figures 16** et **17** présentent les rendements obtenus en doubles lignes sur les systèmes T pour la variété F154, le T SCV simple ligne est présenté pour faire la comparaison. Les rendements sont donnés par répétitions en raison de grandes différences observées entre blocs, dues à des difficultés de mise en place de certaines plantes d'association, comme le radis pour lequel nous avons dû faire un resemis sur certains blocs, ce qui a entraîné les différences entre les rendements obtenus sur ce système.

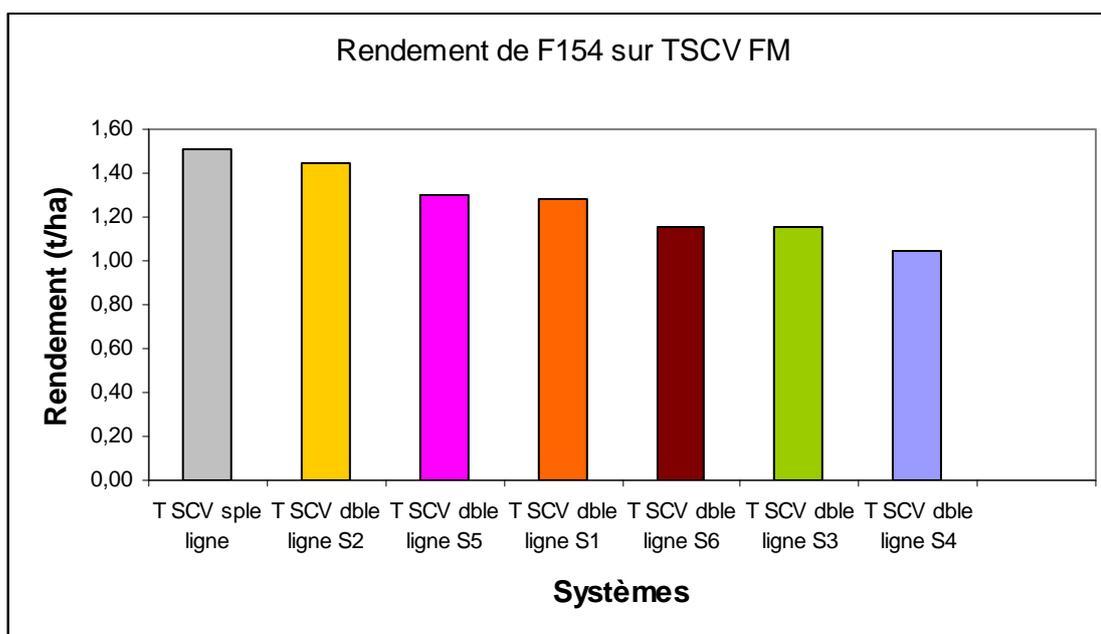


Figure 16 : Rendements moyens obtenus sur les systèmes en double ligne avec la variété F154 en Fertilisation Minérale

T = Riz <-> Haricot - Avoine

S1= Eleusine

S2= *Stylosanthes guyanensis*

S3= *Cajanus*

S4= Radis fourrager

S5= Vesce

S6= mélange (Cajanus+ Eleusine+ Radis+ Vesce)

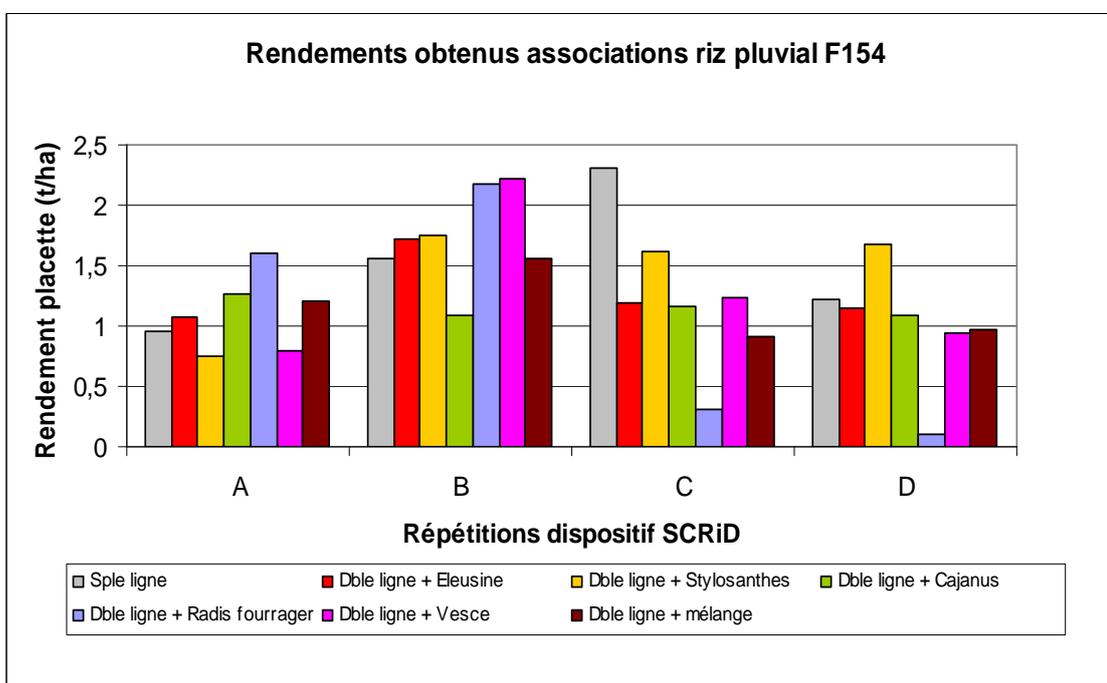


Figure 17 : Rendements obtenus sur les systèmes en double ligne avec F154 en FM représentés sur les 4 blocs.

A, B, C, D représentent les 4 blocs (4 répétitions)

Par **la figure 16**, en tendance, mais pas de façon significative, le T SCV simple ligne représente le meilleur rendement sur tous les systèmes. Sur les T SCV double ligne, le S2 (*Stylosanthes*) possède le meilleur rendement : 1,45t/ha, en deuxième place vient le S5 (Vesce) avec un rendement de 1,30t/ha, tandis que S4 en a le plus faible : 1,05t/ha. Nous avons remarqué également que si le riz est associé de façon précoce à des plantes envahissantes comme le radis fourrager S4, *Cajanus* S3, mélange S6 ; il ne se développe pas bien et son rendement est faible.

Si nous analysons par contre **la figure 17**, sur les blocs où le radis est semé une deuxième fois (Blocs A et B), le rendement du riz est élevé. Sur le bloc B, le rendement du riz atteint 2,18t/ha, deuxième place après le double ligne+ Vesce qui a un rendement de 2,21t/ha, les valeurs sont très proches. Le meilleur rendement sur tous les systèmes est encore constaté sur T SCV simple ligne FM au bloc C : 2,31t/ha.

2.2.2.2. Evaluation des composantes du rendement

En regroupant les composantes, c'est le nombre de grains pleins par m² qui explique le mieux le rendement.

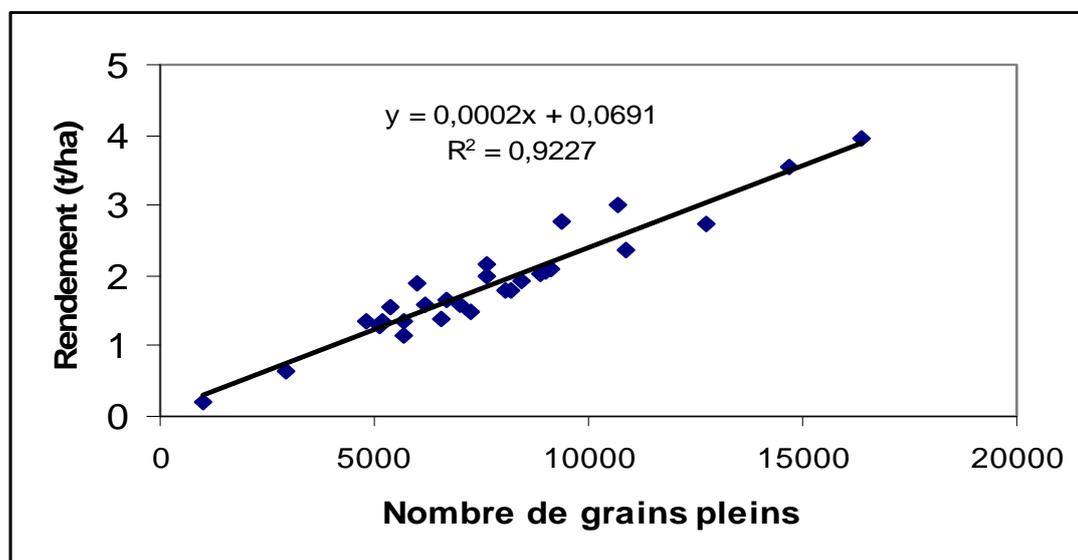


Figure 18 : Relation entre le rendement et le nombre de grains pleins

La relation linéaire sur l'ensemble des données est : $Rdt = 0,0002 \text{ NbrGP} + 0,0691$ avec $R^2 = 0,9227$, cela veut dire que environ 93% des variations du rendement sont en relation avec les variations du nombre de grains pleins par m². Le meilleur rendement (3,95t/ha) est

observé sur le système T SCV double ligne S4 sur le bloc B produisant le maximum de grains pleins par m² : 16.396.

Une régression linéaire pas à pas faite avec le logiciel de statistique SAS a montré que l'ensemble des composantes unitaires expliquait 74 % des variations du rendement et c'est le pourcentage de grains pleins qui explique le plus (55%) les variations.

	Corrélation avec le rendement	Total
% GP	R² = 0,5457	0,5457
Nombre de plants par m ²	R ² = 0,1222	0,6679
Nombre de panicules par plant	R ² = 0.0722	0,7402

L'analyse statistique ne donne pas de différence significative entre les systèmes testés

Tableau 19 : Les composantes du rendement sur les nouveaux systèmes (F154)

Système	Nbr plts/m ²	Nbr pan/plt	Nbr ep/pan	Nbr ep/m ²	% GP	Nbr GP/m ²	PMG	Rendement
T SCV sple ligne	132.0	2.03	71.25	18 580	55.32	10 174	23.04	1,51
T SCV dble ligne S2	99.1	2.08	61.39	12 269	57.27	7 091	27.82	1,45
T SCV dble ligne S5	84.5	2.30	66.36	12 705	60.04	7 756	25.38	1,30
T SCV dble ligne S1	92.1	2.07	68.49	13 098	55.85	7 153	23.05	1,28
T SCV dble ligne S6	123.9	1.71	64.04	13 531	52.96	7 118	24.38	1,16
T SCV dble ligne S3	106.1	1.86	67.31	12 604	57.49	7 193	24.22	1,15
T SCV dble ligne S4	101.1	1.92	69.56	14 347	45.08	7 804	22.27	1,05

T = Riz <-> Haricot - Avoine

S1= Eleusine

S2= Stylosanthes guyanensis

S3= *Cajanus*

S4= Radis fourrager

S5= Vesce

S6= mélange (Cajanus+ Eleusine+ Radis+ Vesce)

2.3 Evaluation des systèmes par rapport à la production de biomasse

2.3.1. Evaluation sur le riz anciens systèmes

Dans ce paragraphe, nous parlons de la biomasse paille produite.

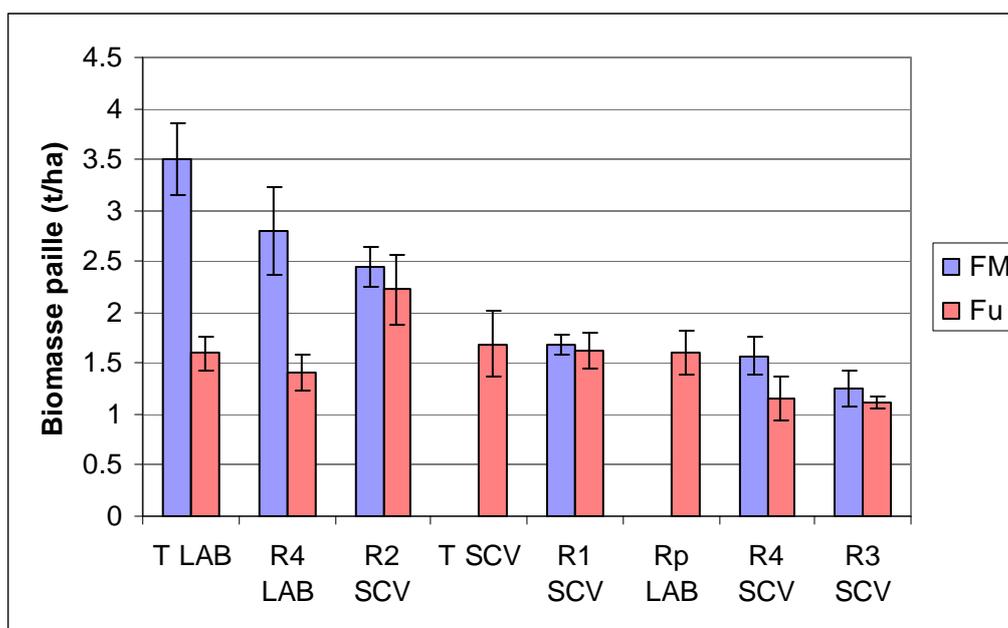


Figure 19 : Les biomasses pailles (t/ha) obtenues à la récolte par la variété F161 sur les systèmes T LAB, R4 LAB, R2 SCV, T SCV, R1 SCV, Rp LAB, R4 SCV, R3 SCV en FM et Fu

R1 = Riz <-> Avoine – Haricot, R2 = Riz <-> Haricot – Eleusine, R3 Riz <-> Maïs/ *Brachiaria ruziziensis*
 R4 = Riz <-> Maïs/Soja, Rp = Maïs/Haricot, T = Riz <-> Haricot- Avoine
 Fumure Minérale= couleur pleine, Fumier seulement= fumier seulement

D'après la figure 19, les biomasses pailles obtenues par la variété F161 sont les plus élevées sur les systèmes T LAB FM et R4 LAB FM qui ont aussi des rendements élevés. Sur tous les systèmes, la production de biomasse est proportionnelle au rendement, elle a une valeur plus élevée sur FM par rapport à Fu indépendamment du mode de gestion du sol (labour, SCV) et des précédents culturaux.

Pour les systèmes labourés en FM, les valeurs de la biomasse sont toutes élevées T LAB : 3.51 t/ha et R4 LAB : 2.80/ha. A part les systèmes labourés, le système R2 SCV présente des biomasses élevées et le R3 SCV les plus faibles. Nous pouvons dire qu'après des Légumineuses, les biomasses produites par le riz sont meilleures que celles fournies par les Graminées.

Le tableau 20 présente les valeurs de la biomasse paille sur tous les systèmes avec une analyse statistique faite sous logiciel SAS.

Tableau 20 : Les valeurs de la biomasse paille sur tous les systèmes en fonction des modes de gestion du sol et des fertilisations

Systèmes en FM	Biomasse paille (t/ha)	Systèmes en Fu	Biomasse paille (t/ha)
T LAB	3.51 a*	R2 SCV	2.22 a
R4 LAB	2.80 ab	T SCV	1.69 ab
R2 SCV	2.45 bc	R1 SCV	1.62 ab
R1 SCV	1.69 cd	Rp LAB	1.60 ab
R4 SCV	1.57 cd	T LAB	1.60 ab
R3 SCV	1.26 d	R4 LAB	1.40 ab
		R4 SCV	1.15 b
		R3 SCV	1.11 b

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

R1 = Riz <-> Avoine – Haricot, R2 = Riz <-> Haricot – Eleusine, R3 Riz <-> Maïs/ *Brachiaria ruziziensis*

R4 = Riz <-> Maïs/Soja, Rp = Maïs/Haricot, T = Riz <-> Haricot- Avoine

FM = Fumure Minérale recommandée, Fu = fumier seulement

2.3.2. Evaluation sur les nouveaux systèmes

2.3.2.1. Les biomasses pailles de riz

La **figure 20** montre la comparaison des biomasses pailles produites en simple et double ligne sur les deux variétés F161 et F154.

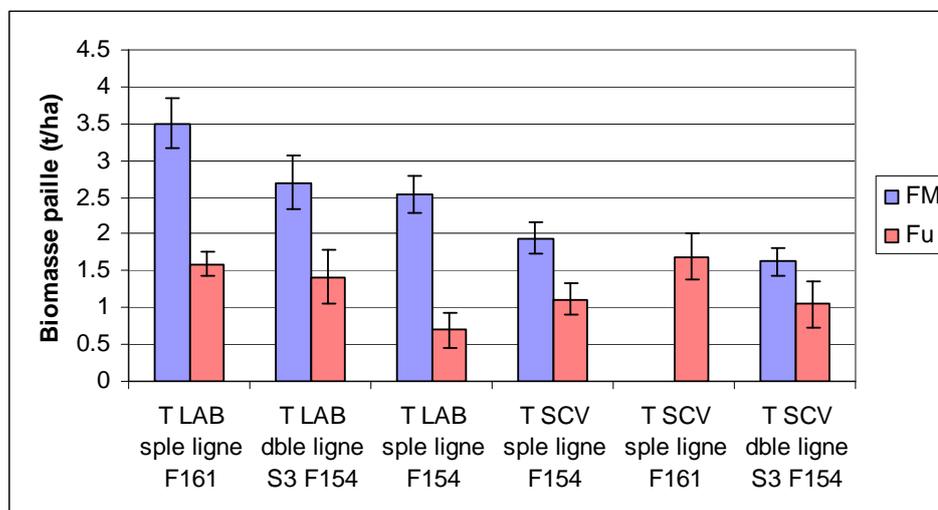


Figure 20 : Comparaison des biomasses paille obtenues en simple et double lignes pour les variétés F161 et F154 sur les systèmes T

T = Riz <-> Haricot – Avoine, S3 - *Cajanus*

FM = Fumure Minérale, Fu = Fumier seulement

C'est en labour que l'on observe les meilleures productions de biomasse paille sur les deux variétés (F161 et F154)

La figure 21 nous montre la biomasse produite sur les systèmes T seulement en double ligne sur la variété F154, T SCV simple ligne FM sert de témoin.

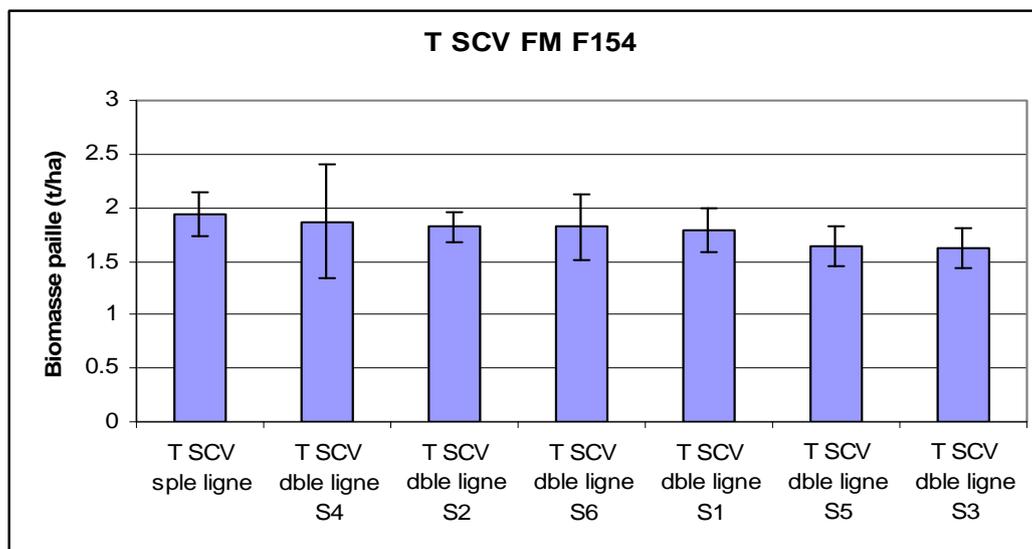


Figure 21 : Les biomasses paille obtenues sur les systèmes en double ligne avec F154 et FM

T = Riz <--> Haricot - Avoine

S1= Eleusine

S3= Cajanus

S5= Vesce

S2= Stylosanthes guyanensis

S4= Radis fourrager

S6= mélange (Cajanus+ Eleusine+ Radis+ Vesce)

FM = Fumure Minérale

D'après les résultats obtenus, la biomasse produite en simple ligne est meilleure par rapport aux autres systèmes en double ligne. Pour tous les systèmes en double ligne, la biomasse obtenue se trouve aux environs de 1,8 – 1,6 t/ha.

L'analyse statistique n'indique pas de différences significatives entre les systèmes (tu ne peux alors parler que de tendances)

2.3.2.2. Sur les plantes de couverture

Rappelons que les nouveaux systèmes de riz présentent des doubles lignes de riz à l'intérieur desquelles sont installées des plantes de couverture sur l'écartement de 40cm. Comme dans les systèmes en simple ligne, il n'existe pas de plantes de couverture; nous parlerons seulement des systèmes en double ligne.

La figure 22 montre la comparaison des biomasses produites sur le *Cajanus* seulement comme plante de couverture.

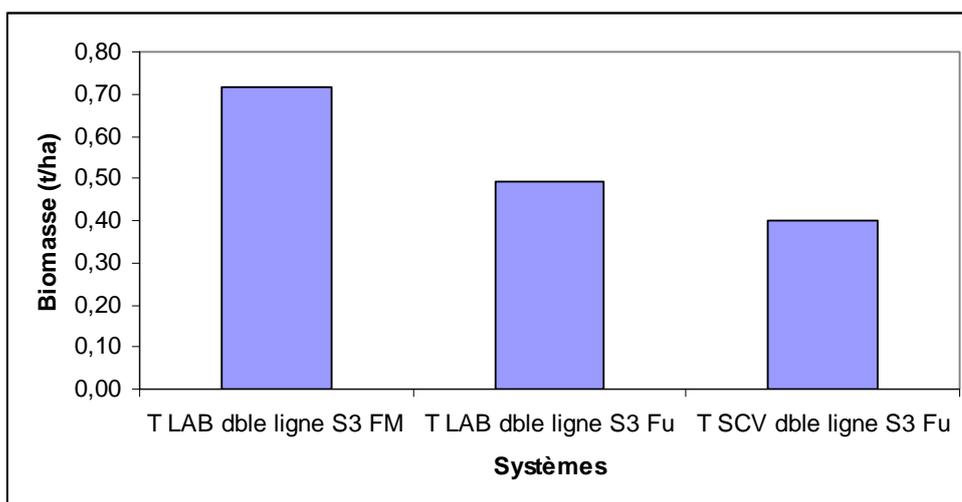


Figure 22 : Comparaison entre les systèmes des biomasses résidus sur le riz en double ligne (F154 sur SCV et Labour)

T = Riz <-> Haricot – Avoine, S3 = *Cajanus*
 FM = Fumure Minérale, Fu = Fumier seulement

Le *Cajanus* produit plus de biomasse en labour qu'en SCV. La biomasse fournie en FM est meilleure qu'en Fu,

La figure 23 présente la comparaison des biomasses produites par plusieurs plantes de couverture.

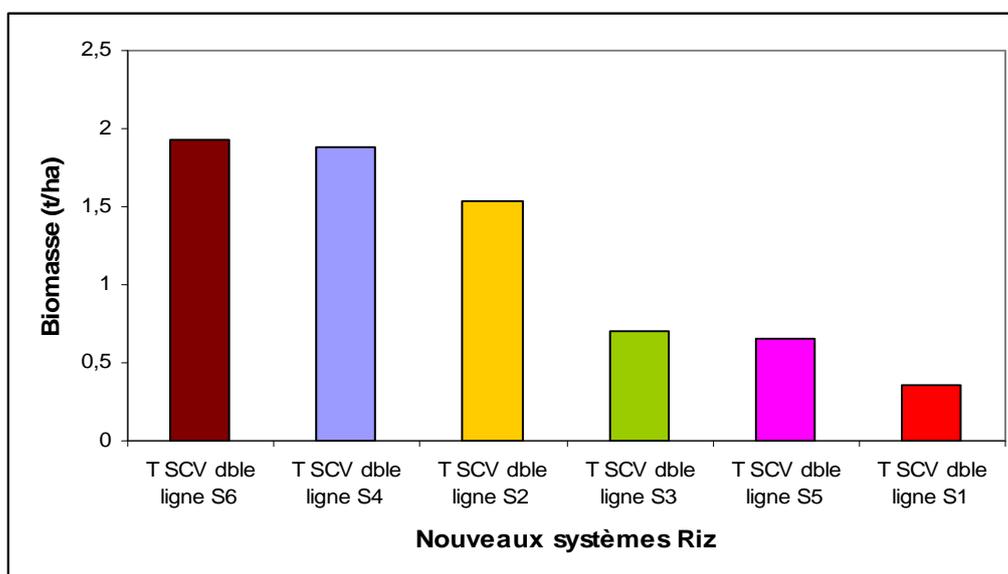


Figure 23: Comparaison entre les systèmes des biomasses résidus sur le riz en double ligne (F154 en FM)

S1= Eleusine S2= *Stylosanthes guyanensis* S3= *Cajanus*
 S4= Radis fourrager S5= Vesce S6= mélange (*Cajanus*+ Eleusine+ radis fourrager+ Vesce)

Sur les six systèmes, seulement les S6, S4 et S2 produisent une forte production de biomasse avec un maximum de 1,93t/ha sur S6, tandis que les trois restants en produisent une faible quantité avec un minimum de 0,36t/ha sur S1.

Ces nouveaux systèmes nous montrent lesquelles des plantes de couverture sont les meilleures pour avoir une forte biomasse source d'éléments nutritifs pour la culture suivante après sa décomposition et sa minéralisation, dans notre cas, c'est le mélange *Cajanus* + éléusine + radis fourrager + Vesce.

2.3.2. Evaluation des systèmes par rapport à la production de biomasse produite par les parcelles en rotation avec le riz

2.3.2.1. Sur tous les anciens systèmes

La figure 24 présente la comparaison de biomasse aérienne sur tous les systèmes en rotation avec le riz : R1 SCV, R2 SCV, R3 SCV, R4 SCV Labour et SCV, T Labour et SCV, Rp.

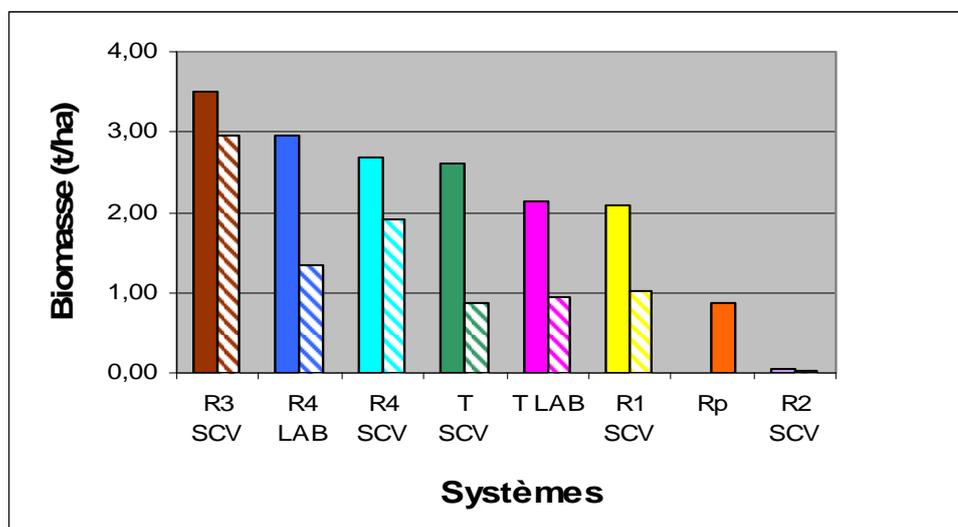


Figure 24 : Comparaison sur la biomasse aérienne produite (résidus) entre tous les systèmes en rotation après le riz en FM et Fu

R1 = Riz <-> Avoine – Haricot, R2 = Riz <-> Haricot – Eleusine, R3 Riz <-> Maïs/ *Brachiaria ruziziensis*
 R4 = Riz <-> Maïs/Soja, Rp = Maïs/Haricot, T = Riz <-> Haricot- Avoine
 Fumure Minérale = couleur pleine, Fumier seulement= couleur hachurée

Cette figure montre que sur tout l'ensemble du système, c'est le R3 SCV FM qui produit le plus de biomasse avec une valeur de 3,51t/ha et le R2 SCV Fu est la plus mauvaise : 0,02t/ha.

Les figures ci-dessus comparent les rendements du riz et les résidus de la biomasse aérienne produite sur les parcelles en rotation.

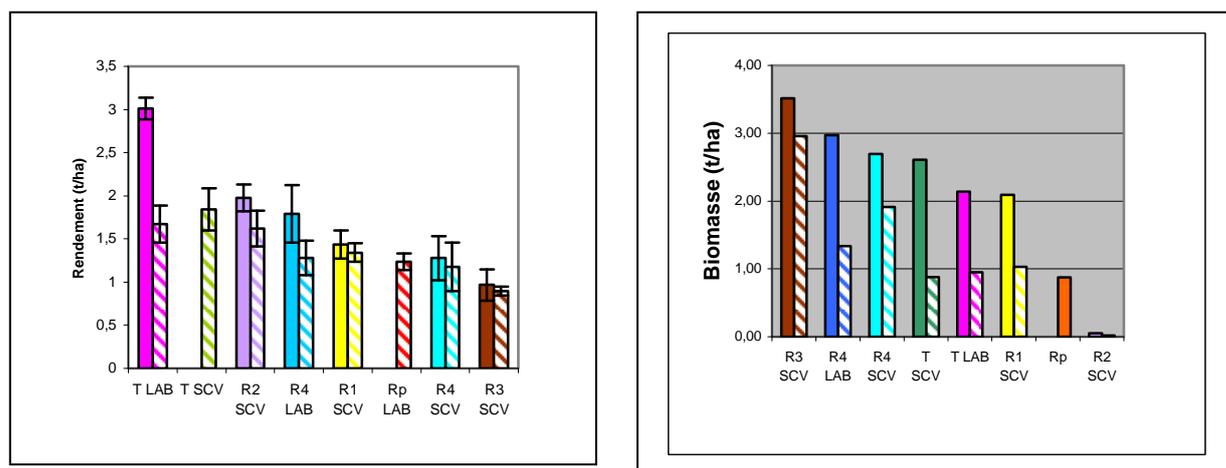


Figure 25 : Comparaison du rendement en riz et des biomasses produites sur les parcelles en rotation pour tous les systèmes

R1 = Riz <-> Avoine – Haricot, R2 = Riz <-> Haricot – Eleusine, R3 Riz <-> Maïs/ *Brachiaria ruziziensis*
 R4 = Riz <-> Maïs/Soja, Rp = Maïs/Haricot, T = Riz <-> Haricot- Avoine
 FM = Fumure Minérale, Fu = Fumier seulement

Concernant le rendement du riz, c'est le T Labour FM qui a le maximum de rendement. Ce système est précédé par une culture de haricot (Légumineuse) suivie de l'avoine (Graminée) en dérobé. L'intérêt de ce système est alors que l'installation du haricot est bénéfique pour compenser l'exportation en azote du riz. En plus l'avoine produit une quantité moyenne de biomasse : 2,61t/ha en FM. En deuxième rang vient le R2 SCV, alors qu'en production de biomasse sur les parcelles en rotation, ce système tient la dernière place. On signale que sur R2 SCV, le riz est en rotation avec le Haricot (Légumineuse) suivi de l'Eleusine (Graminée) en dérobée. Les systèmes T et R2 sont à peu près semblables :

- le riz est en rotation avec une Légumineuse suivie d'une culture de Graminée en dérobée ;
- les rendements du riz sont les meilleurs sur tous les systèmes ;

- la production de biomasse aérienne sur les parcelles en rotation est moyenne ou bien faible.

Nous constatons à travers cette comparaison que le système ayant le plus faible rendement en riz produit le maximum de biomasse sur les parcelles en rotation : R3 SCV. La quantité de biomasses produites n'influe donc pas sur le rendement du riz de la campagne suivante.

2.3.2.2. Sur le nouveau système de maïs

Nous rappelons aussi que les nouveaux systèmes de maïs comportent 9 parcelles avec chacune un système à base de Maïs et de plantes de couverture.

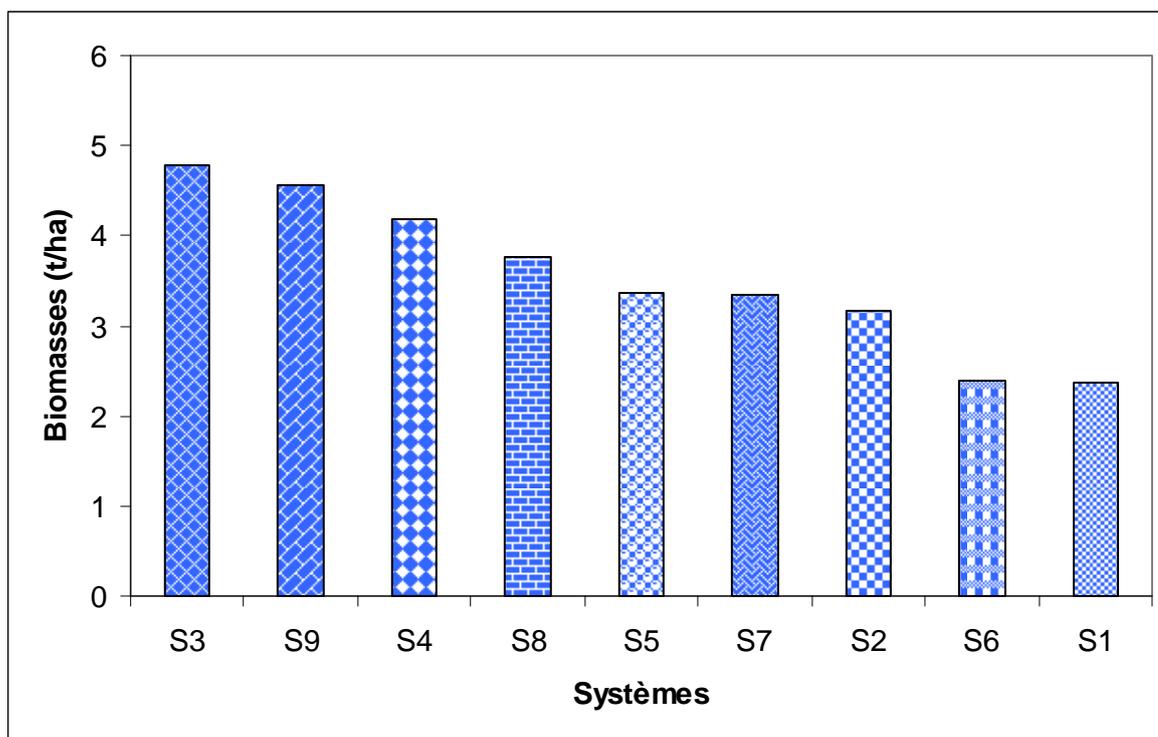


Figure 26 : Comparaison entre les systèmes des biomasses des résidus en rotation sur les nouveaux systèmes de maïs.

S1= Maïs+ Soja+ Vesce
S2= Maïs+ Cajanus
S3= Maïs+ radis

S4= Maïs+ Radis + Vesce+ *Cajanus*+ Eleusine
S5= Maïs + Lupin
S6= Maïs+ Haricot+ Vesce+ Avoine

S7= Maïs+ Haricot+ Vesce+ Avoine+ Radis
S8= Maïs+ Eleusine+ *Crotalaria spectabilis*
S9= Maïs+ Eleusine+ *Crotalaria grahamiana*

Sur les 9 systèmes étudiés, c'est le S3 (maïs+ radis) qui produit le plus de biomasse avec une valeur de 4,78t/ha, celui qui en fournit le moins est S1 (maïs+ soja+ vesce). En

général, les systèmes à dominance de Légumineuses produisent moins de biomasse mais plus d'azote pour la culture suivante après sa décomposition, ceux qui associent le radis sont meilleurs. La seule différence entre S8 et S9 est l'espèce de *Crotalaria* utilisée, toutefois il y a un écart de 0,8t/ha (4,56-3,76). Le but de ces nouveaux systèmes est de permettre une meilleure intégration de l'agriculture et de l'élevage, la question est de savoir lesquelles de ces cultures sont appréciées par le bétail. Et pour cela, il faudra choisir celles qui :

- ne nuisent pas au développement normal de la culture principale ;
- produisent beaucoup de biomasses pour la culture suivante ou pour l'alimentation du bétail.

Pour savoir le taux de dégradation des résidus, nous avons effectué des mesures sur les systèmes R3, R4 et Rp à la récolte et à la fin de la saison froide.

2.3.2.3. Les biomasses résidus sur le maïs ancien système

La figure ci-dessous présente lesquels des systèmes étudiés (R3, R4, Rp en fonction du mode de gestion du sol et des fertilisations) produisent beaucoup de résidus des biomasses à la récolte et la fin de la saison froide.

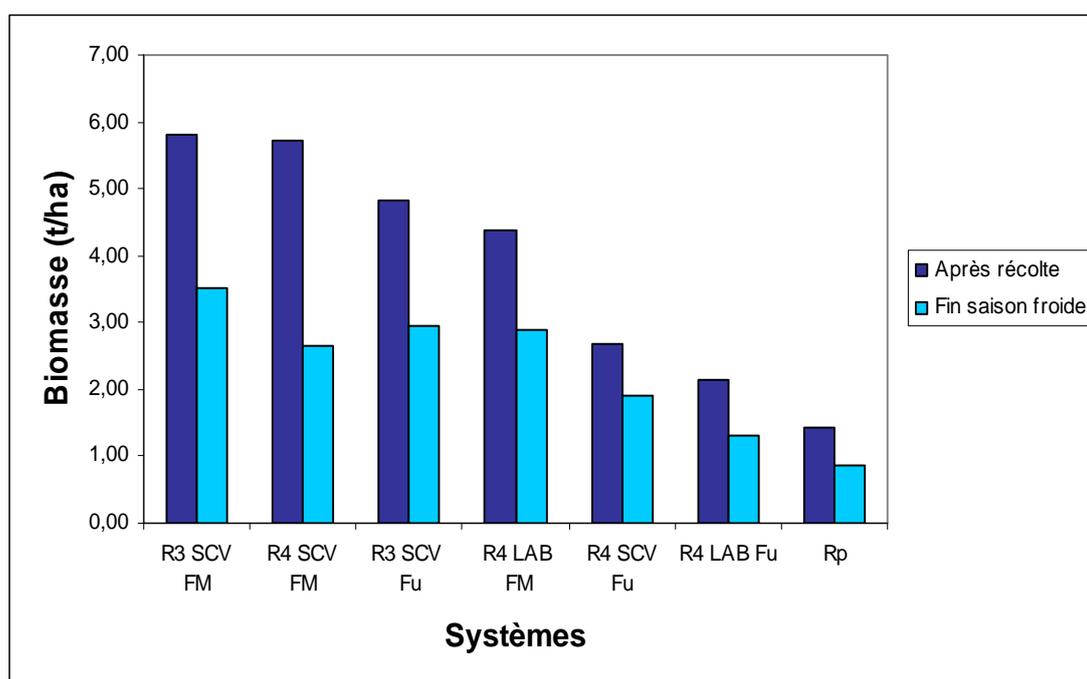


Figure 27 : Comparaison des biomasses résidus totales produites entre à la récolte et à la fin de la saison froide

R3 = Riz <-> Maïs/ *Brachiaria ruziziensis*, R4 = Riz <-> Maïs/ Soja, Rp = Maïs/ Haricot
FM = Fumure Minérale, Fu = Fumier seulement, BM = biomasse

Après la récolte, sur tous les systèmes, les systèmes SCV (R3 FM, R4 FM et R3 Fu) produisent beaucoup de biomasses avec un maximum de 5,80t/ha sur R3 SCV FM et 4,15t/ha sont constitués par des biomasses de *Brachiaria* (**tableau 21**) (qui est inversement proportionnel au rendement du riz sur ce système), et celui qui fournit le minimum est le Rp : 1,44t/ha, les résidus des biomasses de maïs et autres résidus associés sont faibles. Les trois premiers systèmes en SCV (R3 SCV FM, R4 SCV FM, R3 SCV Fu) fournissent le plus de biomasse, on peut dire qu'en SCV, il y a une forte production de biomasse contrairement aux systèmes labourés.

Après avoir fini les pesées à la récolte, nous avons remis ces biomasses sur les placettes correspondantes et nous avons effectué un deuxième pesage à **la fin de la saison froide** afin de connaître leur décomposition. C'est pour cette raison que nous avons pesé séparément les résidus des biomasses de maïs et les résidus des biomasses des plantes associés. Nous remarquons qu'il y a une perte de poids pour tous les résidus mais la quantité décomposée varie selon chaque système.

Tableau 21 : Les biomasses produites sur les systèmes R3, R4, Rp à la récolte et à la fin de la saison froide.

Systèmes	Biomasse résidus maïs				Biomasse autres résidus associés			
	A la récolte	A la fin de la saison froide	Quantité dégradée	Taux de Dégradation (%)	A la récolte	A la fin de la saison froide	Quantité dégradée	Taux de Dégradation (%)
R3 SCV FM	1,65 a	1,62 a	0,03	1,66	4,15 a	1,89 a	2,26	54,41
R4 SCV FM	1,53 a	1,30 b	0,23	15,17	3,99 a	1,34 a	2,65	66,42
R4 LAB FM	2,17 a	1,73 a	0,44	20,18	2,22 b	1,17 a	1,05	47,14
R3 SCV Fu	1,01 a	0,88 a	0,13	13,29	3,83 a	2,08 a	1,75	45,68
R4 SCV Fu	1,01 a	0,29 b	0,72	71,46	1,73 b	0,52 b	1,21	70,20
R4 LAB Fu	1,11 a	0,86 a	0,26	23,22	1,02 b	0,44 b	0,58	56,49
Rp	1,09 a	0,82 a	0,26	24,26	0,36 b	0,01 b	0,31	86,04

Nous voyons peu de perte de biomasse pour les résidus de maïs (gros débris qui possèdent un taux élevé de lignine) et une plus forte dégradation des autres résidus associés. Sur les résidus de maïs, le taux de dégradation se situe entre 13 – 24%, notons quand même des valeurs extrêmes : 1,66% et 71,46% ; nous supposons qu'il y avait une forte prolifération de micro-organismes sur les placettes ou bien sous l'action du vent les résidus peuvent être déplacés vers d'autres lieux ou vers les placettes elles-mêmes. Sur les résidus associés, nous

constatons que les vitesses de dégradation touchent le maximum sur Rp : 86, 04% (Haricot) même si ce système possède le minimum de biomasse, ensuite vient le R4 SCV FM avec 66,42%. Si nous comparons les systèmes en FM entre eux, c'est le R4 LAB FM qui a la vitesse la plus faible : 47,14%.

Chapitre II Discussions sur l'évaluation de systèmes

2.2. Par rapport à la nutrition azotée

2.2.1. Sur les anciens systèmes

L'azote est un facteur très important, et la gestion de ses apports est primordiale pour obtenir de bons rendements.

Selon les valeurs SPAD, nous avons constaté que tout au long du cycle c'est le T Labour qui a la valeur la plus élevée et R3 SCV la plus faible. L'ordre de décroissance des valeurs SPAD est confirmé dans la figure qui représente le rendement (figure 9). Il n'est donc pas obligatoire de faire des analyses chimiques de l'azote sur les plantes pour savoir s'il y a ou pas de carence en azote, ce qui sont toujours chères. L'utilisation du SPAD permet de suivre la teneur en azote dans la plante tout au long du cycle.

Nous avons vu également que les systèmes en FM ont un meilleur rendement que les systèmes en Fu. Le meilleur rendement est obtenu sur T Labour FM, sur ce système est obtenu le maximum de Nombre de plants/m², Nombre de panicules/m², Nombre d'épillets/panicule, Nombre d'épillets/m², Nombre de grains pleins/m². Le minimum de rendement est observé sur R3 SCV Fu et on observe les mêmes tendances que sur T Labour FM.

A partir des valeurs SPAD, nous pouvons prédire le rendement obtenu sur la matrice.

2.2.2. Sur les nouveaux systèmes

Sur la figure qui compare les rendements entre les systèmes S1, S2, S3, S4, S5, S6, la comparaison entre les fertilisations est impossible car ils sont conduits seulement en FM.

Par contre, sur la figure qui compare les systèmes en FM et Fu sur les variétés F161 et F154, d'une part sur F161, le rendement est meilleur en FM qu'en Fu, d'autre part sur F154 en TSCV nous avons obtenu des rendements élevés sur FM mais les écarts ne sont pas très nets par rapport à Fu, tandis que sur T LAB c'est l'inverse qui se produit. Ces observations

sont en lien avec les attaques de pyriculariose, en général plus fortes en FM que Fu et observées plus importantes en labour par rapport au SCV.

2.2. Par rapport aux modes de gestion du sol

2.2.1. Sur les anciens systèmes

Les rendements que nous avons obtenus sur tous les systèmes en FM sont classés par ordre décroissante : T LAB> T SCV> R2 SCV> R4 LAB> R1 SCV> Rp> R4 SCV> R3 SCV. Même si nous obtenons le meilleur rendement sur T LAB et le plus faible sur R3 SCV, cela ne veut pas dire que les systèmes labourés sont meilleurs que les systèmes en SCV. Nous pouvons dire par ailleurs que les meilleurs rendements tendent vers les systèmes labourés : cas de T et R4. Nous avons émis comme hypothèse que les systèmes en SCV ne fonctionnaient pas bien parce qu'ils ne produisaient pas assez de biomasse, cette hypothèse est rejetée. La production de biomasse est nécessaire pour protéger le sol, mais elle ne suffit pas à assurer un bon rendement. La présence d'une Légumineuse est importante pour apporter de l'azote. Le *Bracharia* présente un bon intérêt pour la décompaction du sol, mais dans ce dispositif cela n'apparaît pas important. En raison de l'altitude et de la présence d'une saison froide et sèche, la décomposition des résidus est supposée assez faible, nous pouvons penser qu'en labour, le reste des résidus étant incorporé au sol, leur dégradation est plus importante qu'en SVC.

2.2.2. Sur les nouveaux systèmes

Nous avons étudié seulement les systèmes T et la plupart des systèmes comparés sont conduits sous SCV. Toutefois, sur les systèmes comparés, on constate d'une part, que sur F161, T LAB est meilleur que T SCV et l'écart est très net ; d'autre part, sur F154 T SCV est plus productif que T LAB, en relation avec les attaques de pyriculariose, observées moins importantes en SCV qu'en labour. Sur ces systèmes, la recherche de la date propice du semis des plantes de couverture reste encore à étudier pour qu'il n'y ait pas de compétition entre les deux plantes (riz et plantes de couverture). Certaines plantes sont prometteuses comme le radis fourrager.

2.3. Par rapport aux précédents cultureaux.

L'évaluation concerne seulement les anciens systèmes car les nouveaux systèmes ne sont installés que lors de cette campagne 2006-07.

Le rendement du riz n'est pas proportionnel à la quantité de biomasse produite par les précédents cultureaux. La production de biomasse n'est donc pas le facteur limitant des systèmes. En général, nous obtenons un bon rendement du riz lorsqu'il est précédé par une culture de Légumineuse. Ce qui indique l'importance de l'azote dans le système, en relation avec le fonctionnement de la culture précédente : apport par une Légumineuse et épuisement par le *Brachiaria* ; le rapport C/N des résidus intervient également car il joue un grand rôle sur leur décomposition par les micro-organismes du sol.

2.4. Par rapport à l'évaluation de composantes du rendement

Sur les anciens systèmes de riz (simple ligne de riz), le rendement est surtout lié au nombre de plants par m², c'est-à-dire plus il y a plus de plants par m², plus le rendement est élevé. Nous avons constaté une relation linéaire entre nombre de plants par m² et nombre de panicules par m², entre nombre de panicules par m² et nombre d'épillets par m².

Sur les nouveaux systèmes de riz où les doubles lignes de riz sont intercalées par des plantes de couverture, les rendements ne sont pas significativement différents et la composante la plus importante est le pourcentage de grains pleins, en liaison avec l'utilisation de la variété F154, sensible à la pyriculariose.

CONCLUSION

L'évaluation des systèmes de culture du riz pluvial effectué sur le dispositif de l'URP/ SCRiD situé à Andranomanelatra nous a montré lequel des systèmes de culture donne le meilleur résultat. La comparaison sur les trois facteurs étudiés nous amène à conclure que :

Premièrement, l'utilisation du SPAD est nécessaire pour contrôler la nutrition azotée du riz pluvial afin de connaître si le taux d'azote dans la plante est suffisant ou bien il y a une carence. Il n'est plus indispensable de faire des analyses chimiques des plantes qui s'avèrent toujours très chères. Vu qu'il y avait une baisse des valeurs SPAD entre 58 à 68 JAS, nous suggérons de fractionner les doses d'azote en trois apports de 33kg/ha chacun (par exemple à 40, 58 et 72 JAS) pour éviter la carence en azote au moment où il y a croissance maximale de la plante ou bien d'avancer la date du deuxième apport. A partir du SPAD, nous pouvons pressentir les systèmes qui auront les bons et mauvais rendements. Il a été démontré que les meilleurs rendements du riz sont constatés sur le système ayant les valeurs SPAD les plus élevées tout au long du cycle : T LAB FM.

Deuxièmement, concernant le rendement :

- **Sur les anciens systèmes** : le meilleur rendement est obtenu sur T LAB FM : 3,01t/ha, précédé du haricot suivi de l'avoine en dérobée, le plus faible est constaté sur R3 SCV Fu : 0,90t/ha précédé de l'association maïs/*Brachiaria*. En faisant l'analyse des composantes du rendement ; nous avons mis en évidence que c'est la densité de plantes à la récolte qui est la composante la plus liée au rendement, en relation avec les attaques de vers blancs qui ont été plus importantes en SCV. Il y a également besoin d'améliorer la production sur R3 SCV (cas du *Brachiaria*), il faut alors adopter d'autres techniques d'implantation du riz pour avoir un nombre de plants élevés par m², et mettre plus d'azote au démarrage pour compenser les pertes dues au *Brachiaria*.
- **Sur les nouveaux systèmes** : le meilleur rendement est observé sur T SCV double ligne S2 (*Stylosantes*) : 1,45t/ha, tandis que le plus faible est obtenu sur T SCV double ligne S4 (radis) : 1,05t/ha. Le riz donne un meilleur rendement s'il est associé à des plantes non envahissantes ou bien associé maïs d'une façon tardive (radis). Pour qu'il n'y ait pas de compétition entre le riz et le radis, la recherche sur la date propice de son installation reste à faire.

Troisièmement, concernant la biomasse :

- **la biomasse paille de riz** est plus importante en labour (T et R4) et en R2 SCV, et comme sur les nouveaux systèmes elle tourne autour de 3t/ha.
- **la biomasse sur les parcelles en rotation** : le système qui a la plus haute valeur de biomasse est le R3 SCV FM : 3,51t/ha, alors que c'est sur ce système que le rendement du riz est médiocre. Le rendement du riz n'est donc pas en relation avec la quantité de biomasse qui lui est disponible avant la campagne, il dépend de la nature des résidus car les Légumineuses engendrent un bon rendement pour la culture suivante. Sur les nouveaux systèmes, nous ne pouvons pas encore faire d'analyse, seulement la biomasse est élevée sur les plantes envahissantes (radis), et est faible sur les systèmes à dominance de Légumineuses. Des recherches restent à faire pour voir si le rendement du riz de la prochaine campagne sera satisfaisant.

Nous avons constaté une grande différence de la valeur du rendement selon l'utilisation des deux formules (sans et avec les composantes du rendement), nous suggérons de changer de méthodes pour ne pas fausser les résultats, par exemple en prenant toutes les panicules issues de la placette de 1m², les classer par ordre : bonnes, moyennes et mauvaises panicules, prendre 6 panicules par classe afin d'avoir les 18 panicules, enfin compter et peser les grains pleins et grains vides pour chacune d'elles.

Notre étude n'est qu'une infime partie d'une unité de recherche sur le développement du riz pluvial à Madagascar. Néanmoins, nous espérons qu'elle a pu contribuer aux efforts de chacun sur la recherche du meilleur système de culture du riz pluvial à adopter pour avoir un rendement satisfaisant.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- AFD. Le Semis Direct su Couverture Végétale permanente : Une solution alternative aux systèmes de culture dans les pays du Sud. Novembre 2006. 64p
- 2- ANDRIAMAMPIRAY Fanomezantsoa. PCD Commune rurale Andranomanelatra. Mars 2003. 39p
- 3- ANDRIAMANANTENA Zolalaina. Biomasse racinaire des plantes sous différents systèmes de culture : labour et Semis Direct sous Couverture Végétale dans le Vakinankaratra. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur en agronomie. ESSA Antananarivo département Agriculture, 2006. 53p
- 4- Camille CEDRA. Les matériels de fertilisation et traitement des cultures : Technologies de l'agriculture. Collection FORMAGRI, volume 4/5 1^{ère} Edition. 1997. 343p
- 5- Cédric THOMASSIN. Economie des engrais et produits phytosanitaires en grande culture et perspectives d'évolution. Mémoires et thèses N°2. Avril 1992. 66p
- 6- CIRAD- FOFIFA. Riziculture pluviale d'altitude à Madagascar. 1993. 8p
- 7- CIRAD- GRET. Mémento de l'agronome. Editions du GRET, Editions du CIRAD, Ministère français des Affaires Etrangères. France décembre 2002. 1691p
- 8- Dominique SOLTNER. Les bases de la production végétale : Le sol et son amélioration (Tome I). 24^{ème} Edition. 2005. 472p
- 9- Encyclopédie Microsoft Encarta, 2005
- 10- FAO. Fertilizers and their use. FFHC Fertilizer Program. 1965. 54p
- 11- G. LE THOMAS. Employer du fumier pour toutes vos cultures. Edition ARMA ; Paris 8^{ème}, 1995. 22p
- 12- HARI K Pande. Systèmes améliorés de riziculture. Edition FAO. Rome, 1997. 121p
- 13- IBRAHIM Nahal. Principes d'agriculture durable. Edition ESTEM. 1998. 121p
- 14- J- P DOBELMAN. Riziculture pratique2 : Riz pluvial. Editions techniques vivantes. Presses Universitaires de France. Paris, 1976. 123p

- 15-** Jean Patrick LAFON, Catherine TARAUD- PRAYER et al. Biologie des plantes cultivées : Organisation- Physiologie de la nutrition. 2^{ème} édition Tome I, Lavoisier TEC & DOC. Londres, Paris, New York, 1996. 233p
- 16-** Jean Patrick LAFON, Catherine TARAUD- PRAYER et al. Biologie des plantes cultivées : Physiologie du développement, génétique et amélioration. 2^{ème} édition Tome II, Lavoisier TEC & DOC. Londres, Paris, New York, 1998. 149p
- 17-** L. Seguy, RAKOTONDRAMANANA et al. Le Semis Direct sur Couverture Végétale.sd Permanente : Enjeu et potentiel pour une agriculture durable à Madagascar. CIRAD/ GSDM.
- 18-** L. SEGUY, S. Bouzinac et al. Choix des plantes de couverture : Thèmes scientifiques, critères et méthodes. CIRAD CA- GEC, 1998.
- 19-** LOUIS- JEAN. Les publications du CIRAD : Catlogue 1998- 1999. CIRAD Editions. Montpellier, 1998. 126p
- 20-** MAEB. Revue d'Information Economique N°17 : LE RIZ A MADAGASCAR. Madagascar, juillet 2004. 19p
- 21-** MAEP. Recensement de l'agriculture, campagne 2004- 2005. Madagascar, Août 2006.
- 22-** MEFB, INSTAT, DGE, DES. Situation économique au 1^{er} janvier 2005.
- 23-** Michel VILAIN. La production végétale : Les composantes de la production, Volume 1. 3^{ème} édition : Agriculture d'aujourd'hui, Sciences, Techniques, Applications. Londres, Paris, New York, 1997.478p
- 24-** Michel VILAIN. La production végétale : La maîtrise technique de la production. 2^{ème} édition Volume 2 : Agriculture d'aujourd'hui, Sciences, Techniques, Application. Londres, Paris, New York, 1997.449p
- 25-** Michel VILAIN. Méthodes expérimentales en agronomie : Pratique et analyse. Technique et Documentation, 1999. 337p
- 26-** Olivier HUSSON et RAKOTONDRAMANANA. Mise au point, évaluation et diffusion des techniques agro- écologiques à Madadagascar. CIRAD, GSDM, Collection EDITECH. Madagascar, Octobre 2006.67p

- 27-** P. HUBERT. Recueil de fiches techniques d'agriculture spécial. Février 1968. sp
- 28-** P. RAKOTONDRALAMBO. Création, formation et appui à la diffusion pour des systèmes de culture en semis direct sur couverture permanente des sols dans différentes écologies de Madagascar. ONG TAFAsd
- 29-** PDR région du Vakinankaratra. Madagascar, mars 2005. 68p
- 30-** PHILIPPE Duchaufour Introduction à la Science du sol : sol, végétation, environnement. 6^{ème} édition de l'Abrégé de pédologie. Janvier 2001. 331p
- 31-** Professeur Y. DEMARLY. Les Légumineuses à graines. Madagascar, février 1998.
- 32-** RABEZANDRINA René. Manuel de pédologie Malagasy. Département Agriculture. ESSA, Antananarivo, 2000. 93p
- 33-** RAMANANDRAIVONONA Jeannick Aimé. Elaboration du rendement du riz pluvial : Relations entre composantes du rendement sous différents systèmes de culture et niveau de fertilisation azotée. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur en agronomie. ESSA Antananarivo, 2005. 93p
- 34-** RAMAROFIDY Mamonjiniaina Andriamijoro. Système 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. ASJA : Antsirabe, 2006. 93p
- 35-** RANARISON Vololona. 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. ASJA : Antsirabe, 2006. 87 pages
- 36-** RANDRIANJAFINORO Herimanda. Etude de la filière riz à Madagascar. Ministère de l'Etat à l'Agriculture et au développement rural. Ministère de la Recherche au développement- FOFIFA. Madagascar, septembre 1993. 75p
- 37-** René. Etude des interactions génotype 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 en agronomie. ESSA Antananarivo, 2006. 89p

- 38-** Robert BARBAULT. Ecologie générale : structure et fonctionnement de la biosphère. DUNOD 5^{ème} édition. Paris, 2000. 326 p
- 39-** Roger DAJOZ. Précis d'écologie. DUNOD 7^{ème} édition. Paris, 2000. 615p
- 40-** Roger DOUCET. Science agricole : climat, sol et productions végétales du Québec. 2^{ème} édition. Décembre 1997. 699p
- 41-** UPDR MAEP. Monographie de la région du Vakinankaratra. MAEP Madagascar, juin 2003. 107p

ANNEXES

Annexe I : Les matériels et équipements utilisés

Matériels et équipements	Utilisation
- SPAD (Soil Plant Analyses Development)	- Mesure de la teneur en azote
- LCC (Leaf Chart Color)	- Mesure de la teneur 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 5kg	- Pesage des panicules restantes et paille du riz
- 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
- Piquets	- Délimitation des placettes
- Sacs	- Contenir les restes panicules, paille, 18 panicules, échantillons des biomasses prélevées à la fin de la saison froide.
- Enveloppes	- Contenir les grains pleins et grains vides
- Bâche	- Dépôt des plants de riz arrachés.

Annexe II : Les itinéraires techniques cultureux du riz

1) Préparation du terrain : 02 octobre au 17 novembre 2006

- Labour à l'*angady*, émottage, nettoyage, nivellement.
- Affinage : 16 au 20 Octobre 2006 et juste avant le semis (à partir du 10 novembre 2006) : émottage, nettoyage, nivellement.
- Traitements des couvertures mortes (voir entretiens et traitements phytosanitaires)

2) Semis

- RIZ Essais variétaux sur parcelles T : 13 au 18 novembre 2006
- RIZ Essais Agronomiques (en multiplications) : 13 au 20 novembre 2006
- Nouveaux systèmes de riz à forte production de biomasse: 29 et 30 novembre 2006
 - ✓ Installation des plantes de couverture : 11 décembre 2006,
 - ✓ resemis de quelques plantes de couverture: 28 décembre 2006

Les écartements sont :

- Simple ligne LABOUR et SCV : 20 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.

3) Fertilisation:

- Pour la culture de riz parcelles Fu : seulement du fumier : 5 tonnes/ha au semis
- Pour la culture de riz parcelles FM : 5t/ha de fumier + 500kg/ha de dolomie + 300kg/ha de N-P-K 11 22 16 au moment du semis , 100kg d'urée fractionnées en deux apports de 50kg/ha à 30 JAS et 60-70 JAS

4) Entretiens et traitements phytosanitaires:

➤ INSECTICIDE/FONGICIDE :

- Traitement de semences :

Gaicho T45WS à 2,5g/kg pour Riz

- Traitement du sol en localisé :

Carbofuran 10 G à 6 kg/ha sur les parcelles variétales « sélection » au moment du semis et 5 G à 12 kg/ha sur toutes les parcelles de riz.

➤ HERBICIDE :

Avant et au moment du semis :

- après avoine et Brachiaria : Glyphader 1,5 à 3l/ha + Urée (traitement avec demi dose en deux passages et repassage si nécessaire selon le temps qu'il fait)
- après haricot, éleusine et soja : Glyphader 3l/ha + 2,4D 1,5l/ha + Urée
- au moment du semis : Stomp ou Alligator 400 EC 3 à 3,2 litres/ha (pendimethalin 500, groupe chimique : xylidine)

Au cours du cycle cultural :

- application d'un herbicide selectif du riz : SAMORY (Bensulfuron Methyl) 100 G WP 600g/ha dans parcelles en riz sous SCV
- trois sarclages manuels et à l'*angady* à 30 JAS sur les parcelles labourées et plusieurs passages d'enlèvement des grandes adventices sur les parcelles sous SCV (sauf sur les systèmes à forte production de biomasse : désherbage manuel deux fois).

Annexe III : Evolution des valeurs SPAD en Jours Après Semis (JAS) sur les systèmes R4 et R3

Dispositif nutrition azotée

Andranomanelatra - Matrice SCRiD - Campagne 2006-07

Relevé SPAD

Date : 22/12/2006 04/01/2007 11/01/2007 22/01/2007 29/01/2007 05/02/2007 12/02/2007 19/02/2007 26/02/2007 05/03/2007 16/03/2007
 JAS : 37 50 57 68 75 82 89 96 103 110 121

Parcelle	Bloc	Système	Gestion	Fumure	SPAD	SPAD	SPAD	SPAD							
A02	A	R3	SCV	FM	26,7	35,2	39,0	36,5	35,4	37,0	43,8	46,0	47,9	43,9	43,3
A03 b	A	R3	SCV	F0	25,6	33,2	34,8	33,7	35,0	35,9	38,1	39,0	37,7	36,6	39,5
A14b	A	R4	LAB	F0	23,2	30,8	33,5	33,1	30,8	32,2	34,3	32,6	35,9	35,0	40,3
A15	A	R4	LAB	FM	25,9	36,6	38,9	37,7	37,8	39,6	40,2	43,5	43,8	46,0	42,4
A27b	A	R4	SCV	F0	24,0	33,7	35,1	35,1	36,4	37,3	38,1	39,9	42,4	44,2	50,0
A28	A	R4	SCV	FM	26,1	36,0	42,7	41,9	38,6	41,6	43,0	46,6	46,6	48,3	46,5
B05	B	R4	LAB	FM	37	39,3	42,3	38,4	40,2	42,8	44,7	46,75	46,5	47,3	46
B06b	B	R4	LAB	F0	28	31,5	37,5	35,8	33,3	40	38,7	37,48	41,4	40	45,7
B22	B	R4	SCV	FM	23,8	32,1	35,6	38,5	36,8	38,6	44,9	45,6	42,9	49,7	51,2
B23 b	B	R4	SCV	F0	28,8	32,1	36,4	35,1	35,4	37,8	41	41,46	39,3	41,2	43,9
B28	B	R3	SCV	FM	25,2	35,1	39,7	34,9	36,2	38,9	44,2	43,23	43,7	46,6	50,1
B29b	B	R3	SCV	F0	27,5	33,2	34,4	32	35,8	37,6	41,7	40,59	37,3	40,8	41,7
C01	C	R4	SCV	FM	26,9	31,7	37,1	36,6	36,5	38	34,4	44,99	46,2	41,5	44,6
C02 b	C	R4	SCV	F0	25,4	29	34,5	30,1	33,1	33,6	44,3	39,03	37,5	38,5	42
C05	C	R3	SCV	FM	23,6	30,7	35,7	30,4	33,7	34,9	39,8	43,91	46,3	43,2	45,5
C06b	C	R3	SCV	F0	23,2	28,6	29,8	27,1	30,7	35,8	36,5	36,15	37,2	38,5	39,7
C15 b	C	R4	LAB	F0	25	26,8	30,8	29,1	33	36,6	34,5	38,7	38,8	41,1	39,6
C16	C	R4	LAB	FM	29,9	36,2	39,7	41,3	40,9	41,1	42,1	47,16	44,8	45,1	49,2
D07b	D	R3	SCV	F0	26,7	32,1	34,7	33,9	36	35,2	37,6	42,75	39,1	38,5	45,7
D08	D	R3	SCV	FM	26,9	34,6	38,1	40,1	41,5	42	43,8	45,58	43,7	41,6	45,9
D12b	D	R4	SCV	F0	26	28,4	34,8	35,8	36,3	39	38,1	39,32	40,2	41,1	44,9
D13	D	R4	SCV	FM	27,8	36,8	39,6	39,6	40,1	41,8	42,5	46,71	46,7	42,7	45,2
D27b	D	R4	LAB	F0	28,1	33,7	39,0	40,1	37	39,5	39,1	41,3	33,7	40,8	42,2
D28	D	R4	LAB	FM	32,9	40,1	42,0	41	39,5	42,7	43	42,79	39,2	42,6	39,5

R3 = Riz <-> Maïs/*Brachiaria ruziziensis*

R4 = Riz <-> Maïs/Soja, T = Riz <-> Haricot- Avoine

LAB= labour, SCV= Semis Direct sous Couverture Végétale

Annexe IV : Evolution des valeurs SPAD en JAS sur le système T

			Date :	05/01/07	11/01/07	22/01/07	29/01/07	05/02/07	12/02/07	19/02/07	26/02/07	05/03/07	16/03/07
			JAS :	52	58	69	76	83	90	97	104	111	122
Parcelle	Gestion	Fumure	Variété	SPAD									
A23	LAB	Fu	7	38,6	43,9	40,2	41,2	43,5	41,2	44,0	47,1	45,0	45,5
A24	LAB	FM	7	39,8	48,2	42,3	44,9	45,4	46,2	46,0	46,5	46,7	45,9
A25	SCV	FM	7	40,1	46,7	40,3	41,4	42,6	43,7	47,2	44,7	47,5	46,2
A26	SCV	Fu	7	38,3	43,8	39,9	41,6	41,0	42,3	45,3	44,3	44,9	43,9
B07	LAB	Fu	7	36,5	38,5	38,8	41,6	41,9	41,8	43,9	44,4	46,6	42,7
B08	LAB	FM	7	40,1	42,5	41,6	40,6	41,4	44,3	46,7	46,9	48,4	46,2
B24	SCV	FM	7	39,9	40,6	40,6	43,0	39,5	40,3	48,0	44,9	46,8	45,6
B25	SCV	Fu	7	36,2	38,1	39,0	37,9	38,9	40,1	45,6	42,0	44,6	43,3
C07	SCV	Fu	7	33,8	37,0	30,9	34,4	35,2	40,1	42,3	43,8	43,9	45,3
C08	SCV	FM	7	34,2	39,3	37,5	37,6	37,2	43,5	42,4	39,6	39,6	47,3
C09	LAB	FM	7	38,1	41,6	40,7	40,0	40,9	44,1	47,6	44,2	47,2	47,3
C10	LAB	Fu	7	35,6	38,8	36,7	39,2	40,5	40,8	43,3	42,3	48,0	48,3
D09	LAB	Fu	7	39,7	41,4	40,0	41,1	40,2	41,6	45,2	43,9	42,3	48,4
D10	LAB	FM	7	39,0	41,7	41,7	40,5	40,9	41,4	48,3	45,1	47,9	44,3
D19	SCV	FM	7	38,3	40,5	41,8	43,7	42,0	44,3	49,3	42,5	46,7	47,8
D20	SCV	Fu	7	35,7	39,8	40,4	42,4	41,9	44,6	47,7	43,1	48,9	48,7

Annexe V : Les composantes du rendement, les rendements et les biomasses produites sur les anciens systèmes de riz

Système	Ferti.	Variété	Bloc	Nbr plts/m²	Nbr pan/m²	Nbr pan/plt	Nbr ep/pan	Nbr ep/m²
T LAB	Fu	F161	A	119,5	153,5	1,29	68,61	10557,24
T LAB	FM	F161	A	129	227,5	1,76	89,28	20320,65
T LAB	Fu	F161	B	136,5	145	1,06	94,94	13714,43
T LAB	FM	F161	B	130	181	1,40	81,78	14852,99
T LAB	FM	F161	C	134	201,5	1,50	92,11	18574,86
T LAB	Fu	F161	C	106,5	124,5	1,17	66,94	8310,04
T LAB	Fu	F161	D	113,5	166	1,46	68,94	11443,48
T LAB	FM	F161	D	160,5	253	1,58	69,44	17632,99
T SCV	Fu	F161	A	155,5	203	1,31	54,67	11140,27
T SCV	Fu	F161	B	109	134	1,23	73,72	9865,80
T SCV	Fu	F161	C	81	113,5	1,40	71	8034,68
T SCV	Fu	F161	D	118	143,5	1,21	85,11	12193,24
R1 SCV	Fu	F161	A	128	157,33	1,23	58,56	9230,06
R1 SCV	FM	F161	A	109	150,67	1,38	73,28	11051,76
R1 SCV	FM	F161	B	99,5	137	1,37	77,83	10641,27
R1 SCV	Fu	F161	B	126	175,5	1,39	57,06	10019,67
R1 SCV	Fu	F161	C	128	154	1,22	56,94	8889,23
R1 SCV	FM	F161	C	109	155	1,43	67,83	10553,21
R1 SCV	Fu	F161	D	109	147,5	1,35	63,61	9394,60
R1 SCV	FM	F161	D	85,5	115,5	1,33	77,28	8815,46
R2 SCV	FM	F161	A	98,5	155,5	1,58	77,39	12032,12
R2 SCV	Fu	F161	A	96	138,5	1,45	66,11	9202,67
R2 SCV	FM	F161	B	116,5	177	1,52	81,5	14438,53
R2 SCV	Fu	F161	B	131,5	196,5	1,49	73,83	14498,08
R2 SCV	FM	F161	C	123	178	1,45	70,06	12471,85
R2 SCV	Fu	F161	C	156,5	186	1,19	69,28	12850,48
R2 SCV	FM	F161	D	134,3	213	1,59	75,83	16191,21
R2 SCV	Fu	F161	D	121,3	169,33	1,40	74,67	12670,61
R3 SCV	FM	F161	A	80,5	113	1,40	55,33	6228,82
R3 SCV	Fu	F161	A	95,5	151,5	1,58	59,17	8954,67
R3 SCV	FM	F161	B	117	142,5	1,24	69,33	10067,36
R3 SCV	Fu	F161	B	121	135	1,18	52,94	7564,55
R3 SCV	FM	F161	C	80,7	100,67	1,25	61,22	6189,26
R3 SCV	Fu	F161	C	76	97,67	1,29	60,67	5959,19
R3 SCV	Fu	F161	D	108	144,5	1,34	56,11	8116,55
R3 SCV	FM	F161	D	99,5	165,5	2,11	57,94	12153,35
R4 LAB	Fu	F161	A	116,5	173	1,54	51,33	9225,05
R4 LAB	FM	F161	A	104,5	153,5	1,47	75	11534,23
R4 LAB	FM	F161	B	148	261,5	1,77	82,28	21611,19
R4 LAB	Fu	F161	B	128	179,5	1,44	60,06	11046,41
R4 LAB	Fu	F161	C	75	92,5	1,22	64,89	5935,60
R4 LAB	FM	F161	C	111	173	1,57	63,44	11091,81
R4 LAB	Fu	F161	D	120,5	168	1,39	75,44	12674,40
R4 LAB	FM	F161	D	156,5	215	1,43	74,83	16784,28
R4 SCV	Fu	F161	A	96,5	145	1,51	62,94	9145,82
R4 SCV	FM	F161	A	111,5	156,5	1,40	65,78	10280,44
R4 SCV	FM	F161	B	115	168	1,47	81,28	13764,28
R4 SCV	Fu	F161	B	116,3	156,67	1,35	62,33	9787,54

R4 SCV	FM	F161	C	97,5	107	1,09	64,11	6835,60
R4 SCV	Fu	F161	C	87	98	1,14	56,67	5610,87
R4 SCV	Fu	F161	D	116	122	1,07	54,17	6704,68
R4 SCV	FM	F161	D	94	143	1,54	72,94	10577,20
Rp LAB	Fu	F161	A	83	111,33	1,40	59,11	6853,69
Rp LAB	Fu	F161	B	96,3	127,33	1,32	66,56	8477,84
Rp LAB	Fu	F161	C	129,6	167,67	1,29	72,28	12090,96
Rp LAB	Fu	F161	D	120,7	149	1,23	68,28	10158,06

Système	Ferti.	Variété	Bloc	% GP	Nbr GP/m²	PMG	Rendement	Rendement composantes	Biomasse totale
T LAB	Fu	F161	A	89,72	9471,60	28,55	1,49	2,70	3,25
T LAB	FM	F161	A	86,75	17627,24	26,05	3,14	4,59	6,47
T LAB	Fu	F161	B	90,35	12390,34	9,02	1,50	1,12	3,3
T LAB	FM	F161	B	91,24	13551,34	25,85	2,64	3,50	5,66
T LAB	FM	F161	C	88,18	16379,03	26,68	3,05	4,37	6,19
T LAB	Fu	F161	C	90,12	7489,38	26,00	1,38	1,95	2,47
T LAB	Fu	F161	D	88,80	10161,74	26,27	2,31	2,67	4,04
T LAB	FM	F161	D	80,4	14176,92	30,40	3,21	4,31	7,74
T SCV	Fu	F161	A	80,49	8966,56	26,16	2,50	2,35	5,02
T SCV	Fu	F161	B	89,45	8824,95	25,58	1,85	2,26	3,48
T SCV	Fu	F161	C	89,91	7223,67	27,81	1,35	2,01	2,32
T SCV	Fu	F161	D	88,25	10760,62	25,83	1,67	2,78	3,32
R1 SCV	Fu	F161	A	88,71	8187,95	26,49	1,36	2,17	2,74
R1 SCV	FM	F161	A	82,26	9091,10	27,50	1,66	2,50	3,44
R1 SCV	FM	F161	B	85,22	9069,06	22,52	1,45	2,04	3,06
R1 SCV	Fu	F161	B	86,17	8634,28	26,71	1,64	2,31	3,79
R1 SCV	Fu	F161	C	86,24	7666,42	32,23	1,19	2,47	2,63
R1 SCV	FM	F161	C	85,50	9023,38	25,50	1,67	2,30	3,58
R1 SCV	Fu	F161	D	85,68	8049,00	26,15	1,17	2,10	2,67
R1 SCV	FM	F161	D	82,82	7300,8	24,38	0,97	1,78	2,42
R2 SCV	FM	F161	A	79,97	9622,24	24,94	1,62	2,40	3,81
R2 SCV	Fu	F161	A	83,78	7710,13	22,84	1,05	1,76	2,30
R2 SCV	FM	F161	B	83,30	12027,19	25,38	2,16	3,05	4,68
R2 SCV	Fu	F161	B	82,77	11999,92	25,39	2,02	3,05	4,83
R2 SCV	FM	F161	C	87,47	10909,16	26,10	1,82	2,85	3,95
R2 SCV	Fu	F161	C	81,23	10439,08	26,27	1,79	2,74	4,11
R2 SCV	FM	F161	D	82,78	13403,71	24,23	2,29	3,25	5,26
R2 SCV	Fu	F161	D	84,08	10653,12	26,16	1,62	2,79	4,13
R3 SCV	FM	F161	A	76,91	4790,43	25,26	0,73	1,21	1,70
R3 SCV	Fu	F161	A	77,00	6894,67	26,79	0,98	1,85	2,23
R3 SCV	FM	F161	B	83,25	8381,40	24,94	1,30	2,09	2,73
R3 SCV	Fu	F161	B	83,21	6294,54	25,46	0,99	1,60	2,13
R3 SCV	FM	F161	C	73,50	4549,28	26,52	0,59	1,21	1,54
R3 SCV	Fu	F161	C	80,59	4802,28	26,94	0,78	1,29	1,74
R3 SCV	Fu	F161	D	83,86	6806,65	21,96	0,83	1,49	1,93
R3 SCV	FM	F161	D	82,65	10044,29	26,39	1,26	2,65	2,93
R4 LAB	Fu	F161	A	88,42	8156,78	26,77	1,08	2,18	2,41
R4 LAB	FM	F161	A	82,07	9466,61	26,94	1,30	2,55	3,11
R4 LAB	FM	F161	B	81,90	17700,45	27,12	2,63	4,80	6,54
R4 LAB	Fu	F161	B	85,94	9493,17	26,89	1,73	2,55	3,44
R4 LAB	Fu	F161	C	80,65	4787,10	24,14	0,83	1,16	1,77
R4 LAB	FM	F161	C	80,56	8935,60	31,42	1,21	2,81	3,81
R4 LAB	Fu	F161	D	64,58	8185,16	26,65	1,48	2,18	3,11
R4 LAB	FM	F161	D	84,04	14105,28	24,73	2,02	3,49	4,90

R4 SCV	Fu	F161	A	87,56	8007,64	27,07	1,54	2,17	3,06
R4 SCV	FM	F161	A	84,54	8691,49	29,68	1,78	2,58	3,79
R4 SCV	FM	F161	B	85,24	11732,1	25,53	1,59	3,00	3,28
R4 SCV	Fu	F161	B	84,05	8226,07	27,49	1,76	2,26	3,25
R4 SCV	FM	F161	C	71,49	4886,80	24,02	0,64	1,17	1,81
R4 SCV	Fu	F161	C	80	4488,70	25,50	0,57	1,14	1,22
R4 SCV	Fu	F161	D	85,13	5707,57	25,98	0,84	1,48	1,76
R4 SCV	FM	F161	D	80,20	8482,71	24,50	1,11	2,08	2,52
Rp LAB	Fu	F161	A	86,37	5919,68	25,19	0,97	1,49	2,01
Rp LAB	Fu	F161	B	84,89	7196,97	26,53	1,25	1,91	2,85
Rp LAB	Fu	F161	C	79,86	9656,04	24,62	1,44	2,38	3,50
Rp LAB	Fu	F161	D	82,18	8347,95	25,28	1,29	2,11	3,00

Annexe VI : Les composantes du rendement, les rendements et les biomasses produites sur les nouveaux systèmes de riz

Système	Ferti.	Variété	Bloc	Nbr plts/m²	Nbr pan/m²	Nbr pan/plt	Nbr ep/pan	Nbr ep/m²
T LAB sple ligne	Fu	F161	A	119,5	153,5	1,29	68,61	10557,24
T LAB sple ligne	Fu	F154	A	88	127	1,44	47,61	6046,61
T LAB dble ligne S3	Fu	F154	A	106,36	110	1,03	54,28	5970,56
T LAB sple ligne	FM	F161	A	129	227,5	1,76	89,28	20320,65
T LAB sple ligne	FM	F154	A	145	339	2,34	70,89	24031,33
T LAB dble ligne S3	FM	F154	A	124,54	243,64	1,96	70,33	17135,76
T LAB sple ligne	Fu	F161	B	136,5	145	1,058	94,94	13714,43
T LAB sple ligne	Fu	F154	B	124	167	1,35	59,55	9945,78
T LAB dble ligne S3	Fu	F154	B	90	235,45	2,62	68,83	16207,12
T LAB sple ligne	FM	F161	B	130	181	1,40	81,78	14853
T LAB sple ligne	FM	F154	B	165	299	1,81	70,33	21029,67
T LAB dble ligne S3	FM	F154	B	113,64	260,91	2,30	79,72	20800,25
T LAB sple ligne	FM	F161	C	134	201,5	1,50	92,11	18574,85
T LAB sple ligne	FM	F154	C	112	240	2,14	74,28	17826,67
T LAB dble ligne S3	FM	F154	C	96,36	232,73	2,42	56,56	13162,02
T LAB sple ligne	Fu	F161	C	106,5	124,5	1,17	66,94	8310,04
T LAB sple ligne	Fu	F154	C	83	138	1,66	73,61	10158,33
T LAB dble ligne S3	Fu	F154	C	72,73	114,55	1,58	58,33	6681,82
T LAB sple ligne	Fu	F161	D	113,5	166	1,46	68,94	11443,48
T LAB sple ligne	Fu	F154	D	89	312	3,51	80,17	25012
T LAB dble ligne S3	Fu	F154	D	101,82	170	1,70	64,33	10936,67
T LAB sple ligne	FM	F161	D	160,5	253	1,58	69,44	17632,99
T LAB sple ligne	FM	F154	D	182	331	1,82	95,5	31610,5
T LAB dble ligne S3	FM	F154	D	127,27	240	1,89	82,83	19880
T SCV sple ligne	Fu	F161	A	155,5	203	1,31	54,67	11140,27
T SCV sple ligne	Fu	F154	A	90	161	1,79	61	9821
T SCV dble ligne S3	Fu	F154	A	79,09	158,18	2	48,33	7645,45
T SCV sple ligne	Fu	F161	B	109	134	1,23	73,72	9865,80
T SCV sple ligne	Fu	F154	B	98	164	1,67	75,11	12318,22
T SCV dble ligne S3	Fu	F154	B	106,36	158,18	1,49	55,78	8823,03
T SCV sple ligne	Fu	F161	C	81	113,5	1,40	71	8034,68
T SCV sple ligne	Fu	F154	C	122	123	1,01	48,78	5999,67
T SCV dble ligne S3	Fu	F154	C	40,91	39,09	0,96	42,22	1650,51

T SCV sple ligne	Fu	F161	D	118	143,5	1,21	85,11	12193,24
T SCV sple ligne	Fu	F154	D	127	191	1,50	71,33	13624,67
T SCV dble ligne S3	Fu	F154	D	109,09	134,545	1,23	76,78	10330,10
T SCV sple ligne	FM	F154	A	134	323	2,41	53,89	17406,1111
T SCV dble ligne S1	FM	F154	A	76,36	194,55	2,55	59,56	11586,2626
T SCV dble ligne S2	FM	F154	A	80	220	2,75	52,44	11537,78
T SCV dble ligne S3	FM	F154	A	90,91	212,73	2,34	59,11	12574,55
T SCV dble ligne S4	FM	F154	A	121,82	276,36	2,27	66,39	18347,47
T SCV dble ligne S5	FM	F154	A	72,73	200,91	2,76	57,72	11596,92
T SCV dble ligne S6	FM	F154	A	150	225,45	1,50	64,5	14541,82
T SCV sple ligne	FM	F154	B	184	294	1,60	87,06	25594,33
T SCV dble ligne S1	FM	F154	B	109,09	215,45	1,98	75,72	16314,70
T SCV dble ligne S2	FM	F154	B	120,91	200,91	1,66	67,17	13494,39
T SCV dble ligne S3	FM	F154	B	159,09	230	1,45	65	14950
T SCV dble ligne S4	FM	F154	B	119,09	266,36	2,24	86,44	23025,66
T SCV dble ligne S5	FM	F154	B	105,46	230	2,18	65,67	15103,33
T SCV dble ligne S6	FM	F154	B	132,73	238,18	1,79	53,56	12755,96
T SCV sple ligne	FM	F154	C	119	278	2,34	68,17	18950,33
T SCV dble ligne S1	FM	F154	C	80,91	120,91	1,49	67,28	8134,49
T SCV dble ligne S2	FM	F154	C	98,18	182,73	1,86	69,17	12638,64
T SCV dble ligne S3	FM	F154	C	96,36	155,45	1,61	71,11	11054,55
T SCV dble ligne S4	FM	F154	C	70	119,09	1,70	65,72	7826,92
T SCV dble ligne S5	FM	F154	C	77,27	167,27	2,16	62,89	10519,60
T SCV dble ligne S6	FM	F154	C	101,82	164,55	1,61	57,5	9461,36
T SCV sple ligne	FM	F154	D	91	163	1,79	75,89	12369,89
T SCV dble ligne S1	FM	F154	D	101,82	229,09	2,25	71,39	16354,55
T SCV dble ligne S2	FM	F154	D	97,27	200,91	2,07	56,78	11407,17
T SCV dble ligne S3	FM	F154	D	78,18	160	2,05	74	11840
T SCV dble ligne S4	FM	F154	D	93,64	137,27	1,47	59,67	8190,61
T SCV dble ligne S5	FM	F154	D	82,73	171,82	2,08	79,17	13602,27
T SCV dble ligne S6	FM	F154	D	110,91	215,45	1,94	80,61	17368,03

Systeme	Ferti.	Variété	Bloc	% GP	Nbr GP/m²	PMG	Rendement composantes	Rendement	Biomasse totale
T LAB sple ligne	Fu	F161	A	89,717	9471,60	28,55	2,70	1,49	3,25
T LAB sple ligne	Fu	F154	A	63,83	3859,39	24,48	0,94	0,82	1,68
T LAB dble ligne S3	Fu	F154	A	63,05	3764,44	25,86	0,97	0,55	1,49
T LAB sple ligne	FM	F161	A	86,75	17627,24	26,05	4,59	3,14	6,47
T LAB sple ligne	FM	F154	A	43,26	10396	18,73	1,95	0,81	4,04
T LAB dble ligne S3	FM	F154	A	21,56	3695,15	22,64	0,84	0,65	3,47
T LAB sple ligne	Fu	F161	B	90,35	12390,34	9,02	1,12	1,50	3,30
T LAB sple ligne	Fu	F154	B	45,80	4555,39	23,26	1,06	0,96	2,10
T LAB dble ligne S3	Fu	F154	B	65,38	10595,45	26,70	2,83	1,94	4,34
T LAB sple ligne	FM	F161	B	91,24	13551,34	25,85	3,50	2,64	5,66
T LAB sple ligne	FM	F154	B	36,02	7574,67	21,16	1,60	0,98	3,51
T LAB dble ligne S3	FM	F154	B	46,70	9755,10	20,39	1,99	0,90	3,18
T LAB sple ligne	FM	F161	C	88,18	16379,03	26,68	4,37	3,05	6,19
T LAB sple ligne	FM	F154	C	30,67	5466,67	21,44	1,17	0,82	2,82
T LAB dble ligne S3	FM	F154	C	14,44	1900,61	21,09	0,40	0,47	2,49
T LAB sple ligne	Fu	F161	C	90,12	7489,38	26,00	1,95	1,38	2,47
T LAB sple ligne	Fu	F154	C	68,75	6984,33	25,75	1,80	1,01	1,79
T LAB dble ligne S3	Fu	F154	C	55,71	3722,73	54,65	2,03	0,94	1,71
T LAB sple ligne	Fu	F161	D	88,80	10161,74	26,27	2,67	2,31	4,04

T LAB sple ligne	Fu	F154	D	74,43	18616	25,10	4,67	2,70	2,70
T LAB dble ligne S3	Fu	F154	D	48,70	5326,67	26,17	1,39	1,55	3,11
T LAB sple ligne	FM	F161	D	80,4	14176,92	30,40	4,31	3,21	7,74
T LAB sple ligne	FM	F154	D	63,87	20191	21,23	4,29	1,16	3,58
T LAB dble ligne S3	FM	F154	D	35,88	7133,33	18,52	1,32	1,29	4,97
T SCV sple ligne	Fu	F161	A	80,49	8966,56	26,16	2,35	2,50	5,02
T SCV sple ligne	Fu	F154	A	55,10	5411,39	27,62	1,49	0,92	1,91
T SCV dble ligne S3	Fu	F154	A	65,06	4973,94	25,94	1,29	1,19	2,51
T SCV sple ligne	Fu	F161	B	89,45	8824,95	25,58	2,26	1,85	3,48
T SCV sple ligne	Fu	F154	B	67,16	8272,89	23,56	1,95	1,21	2,52
T SCV dble ligne S3	Fu	F154	B	59,56	5255,15	25,52	1,34	1,07	2,08
T SCV sple ligne	Fu	F161	C	89,91	7223,67	27,81	2,01	1,35	2,32
T SCV sple ligne	Fu	F154	C	61,96	3717,33	25,46	0,95	0,71	1,28
T SCV dble ligne S3	Fu	F154	C	64,08	1057,63	25,17	0,27	0,13	0,30
T SCV sple ligne	Fu	F161	D	88,25	10760,62	25,83	2,78	1,67	3,32
T SCV sple ligne	Fu	F154	D	79,28	10802,11	28,97	3,13	2,07	3,66
T SCV dble ligne S3	Fu	F154	D	77,57	8012,93	29,22	2,34	2,06	3,73
T SCV sple ligne	FM	F154	A	32,68	5688,39	20,22	1,15	0,95	3,00
T SCV dble ligne S1	FM	F154	A	56,44	6538,89	21,21	1,39	1,07	2,72
T SCV dble ligne S2	FM	F154	A	41,84	4827,78	28,13	1,36	0,75	2,24
T SCV dble ligne S3	FM	F154	A	45,21	5684,55	23,51	1,34	1,26	2,92
T SCV dble ligne S4	FM	F154	A	59,25	10870,30	21,61	2,35	1,60	4,05
T SCV dble ligne S5	FM	F154	A	44,08	5112,02	25,24	1,29	0,80	2,19
T SCV dble ligne S6	FM	F154	A	50,04	7277,17	20,55	1,50	1,20	3,45
T SCV sple ligne	FM	F154	B	49,78	12740	21,53	2,74	1,56	3,84
T SCV dble ligne S1	FM	F154	B	54,22	8845,61	22,94	2,03	1,72	3,86
T SCV dble ligne S2	FM	F154	B	60,46	8159,14	22,12	1,80	1,74	3,86
T SCV dble ligne S3	FM	F154	B	56,32	8420,56	22,82	1,92	1,09	3,09
T SCV dble ligne S4	FM	F154	B	71,21	16396,16	24,07	3,95	2,18	5,21
T SCV dble ligne S5	FM	F154	B	70,81	10695	27,99	2,99	2,22	4,28
T SCV dble ligne S6	FM	F154	B	52,59	6708,79	24,71	1,66	1,55	3,97
T SCV sple ligne	FM	F154	C	77,42	14672,22	24,16	3,54	2,31	4,41
T SCV dble ligne S1	FM	F154	C	63,42	5158,79	25,92	1,34	1,19	2,48
T SCV dble ligne S2	FM	F154	C	73,98	9349,55	29,69	2,78	1,62	3,30
T SCV dble ligne S3	FM	F154	C	69,06	7634,55	28,10	2,15	1,16	2,28
T SCV dble ligne S4	FM	F154	C	37,70	2950,81	21,52	0,64	0,31	1,02
T SCV dble ligne S5	FM	F154	C	59,10	6216,97	25,46	1,58	1,24	3,07
T SCV dble ligne S6	FM	F154	C	56,71	5366,01	29,17	1,57	0,91	2,03
T SCV sple ligne	FM	F154	D	61,42	7597,61	26,28	2,00	1,22	2,54
T SCV dble ligne S1	FM	F154	D	49,34	8069,09	22,16	1,79	1,14	3,25
T SCV dble ligne S2	FM	F154	D	52,85	6027,27	31,35	1,89	1,67	3,67
T SCV dble ligne S3	FM	F154	D	59,38	7031,11	22,47	1,58	1,09	2,82
T SCV dble ligne S4	FM	F154	D	12,20	999,04	21,91	0,22	0,10	1,41
T SCV dble ligne S5	FM	F154	D	66,18	9001,36	22,86	2,06	0,94	2,24
T SCV dble ligne S6	FM	F154	D	52,52	9120,91	23,12	2,11	0,97	2,45

**Annexe VII : Les biomasses des plantes de couverture en association
avec le riz le riz**

Système	Boc	Variété	Ferti	Rdt
T LAB dble ligne S3	A	F154	Fu	0,33
T LAB dble ligne S3	A	F154	FM	0,46
T LAB dble ligne S3	B	F154	Fu	0,27
T LAB dble ligne S3	B	F154	FM	0,50
T LAB dble ligne S3	C	F154	FM	0,47
T LAB dble ligne S3	C	F154	Fu	0,18
T LAB dble ligne S3	D	F154	Fu	1,19
T LAB dble ligne S3	D	F154	FM	1,44
T SCV dble ligne S3	A	F154	Fu	0,27
T SCV dble ligne S3	B	F154	Fu	0,43
T SCV dble ligne S3	C	F154	Fu	0,35
T SCV dble ligne S3	D	F154	Fu	0,55
T SCV dble ligne S1	A	F154	FM	0,18
T SCV dble ligne S2	A	F154	FM	1,86
T SCV dble ligne S3	A	F154	FM	0,95
T SCV dble ligne S4	A	F154	FM	1,81
T SCV dble ligne S5	A	F154	FM	1,16
T SCV dble ligne S6 Cajanus	A	F154	FM	2,00
T SCV dble ligne S6 Eleusine	A	F154	FM	
T SCV dble ligne S6 Radis	A	F154	FM	
T SCV dble ligne S6 Vesce	A	F154	FM	
T SCV dble ligne S1	B	F154	FM	0,21
T SCV dble ligne S2	B	F154	FM	0,90
T SCV dble ligne S3	B	F154	FM	0,38
T SCV dble ligne S4	B	F154	FM	1,06
T SCV dble ligne S5	B	F154	FM	0,16
T SCV dble ligne S6 Cajanus	B	F154	FM	1,43
T SCV dble ligne S6 Eleusine	B	F154	FM	
T SCV dble ligne S6 Radis	B	F154	FM	
T SCV dble ligne S6 Vesce	B	F154	FM	
T SCV dble ligne S1	C	F154	FM	0,34
T SCV dble ligne S2	C	F154	FM	1,09
T SCV dble ligne S3	C	F154	FM	0,49
T SCV dble ligne S4	C	F154	FM	2,63
T SCV dble ligne S5	C	F154	FM	0,00
T SCV dble ligne S6 Cajanus	C	F154	FM	1,45
T SCV dble ligne S6 Eleusine	C	F154	FM	
T SCV dble ligne S6 Radis	C	F154	FM	
T SCV dble ligne S6 Vesce	C	F154	FM	
T SCV dble ligne S1	D	F154	FM	0,70
T SCV dble ligne S2	D	F154	FM	2,28
T SCV dble ligne S3	D	F154	FM	1,01
T SCV dble ligne S4	D	F154	FM	2,01
T SCV dble ligne S5	D	F154	FM	1,28
T SCV dble ligne S6 Cajanus	D	F154	FM	2,83
T SCV dble ligne S6 Eleusine	D	F154	FM	
T SCV dble ligne S6 Radis	D	F154	FM	
T SCV dble ligne S6 Vesce	D	F154	FM	

Annexe VIII : Les biomasses des plantes en rotation avec le riz

➤ Anciens systèmes

Système	Bloc	Ferti	Biomasse à la fin de la saison froide (t/ha)	Biomasse à la récolte (t/ha)
R1 SCV	A	Fu	0,839	
R1 SCV	A	FM	2,353	
R1 SCV	B	Fu	0,203	
R1 SCV	B	FM	1,013	
R1 SCV	C	Fu	1,061	
R1 SCV	C	FM	2,297	
R1 SCV	D	Fu	2,017	
R1 SCV	D	FM	2,702	
R2 SCV	A	FM	0,012	
R2 SCV	A	Fu	0,051	
R2 SCV	B	FM	0,004	
R2 SCV	B	Fu	0,006	
R2 SCV	C	FM	0,094	
R2 SCV	C	Fu	0,005	
R2 SCV	D	FM	0,108	
R2 SCV	D	Fu	0,0117	
R4 SCV	A	FM	1,80	4,38
R4 SCV	A	Fu	0,21	2,97
R4 LAB	A	FM	2,86	3,95
R4 LAB	A	Fu	1,41	2,33
R3 SCV	A	Fu	2,04	3,12
R3 SCV	A	FM	3,07	3,71
Rp	A	Fu	0,72	0,92
R3 SCV	B	Fu	2,33	4,23
R3 SCV	B	FM	3,26	6,62
R4 LAB	B	Fu	0,76	2,05
R4 LAB	B	FM	2,80	3,91
Rp	B	Fu	0,74	1,65
R4 SCV	B	FM	3,05	7,31
R4 SCV	B	Fu	0,45	1,27
Rp	C	Fu	1,32	2,15
R4 SCV	C	FM	3,13	5,47
R4 SCV	C	Fu	1,01	3,87
R3 SCV	C	Fu	4,21	6,90
R3 SCV	C	FM	3,96	6,78
R4 LAB	C	FM	3,11	4,54
R4 LAB	C	Fu	1,62	2,12
Rp	D	Fu	0,55	1,06
R4 SCV	D	Fu	1,55	2,87
R4 SCV	D	FM	2,56	4,94
R3 SCV	D	FM	3,77	6,09
R3 SCV	D	Fu	3,24	5,11
R4 LAB	D	Fu	1,42	2,05
R4 LAB	D	FM	2,84	5,15
R4 SCV Vesce	A	FM	0,015	
R4 SCV Vesce	A	Fu	0	
R4 SCV Vesce	B	FM	0,029	

R4 SCV Vesce	B	Fu	0	
R4 SCV Vesce	C	FM	0,080	
R4 SCV Vesce	C	Fu	0,024	
R4 SCV Vesce	D	Fu	0,0003	
R4 SCV Vesce	D	FM	0,109	
R4 LAB Vesce	A	FM	0,132	
R4 LAB Vesce	A	Fu	0,058	
R4 LAB Vesce	B	Fu	0	
R4 LAB Vesce	B	FM	0	
R4 LAB Vesce	C	FM	0,079	
R4 LAB Vesce	C	Fu	0,037	
R4 LAB Vesce	D	Fu	0,055	
R4 LAB Vesce	D	FM	0,0558	
T LAB	A	Fu	1,76	
T LAB	A	FM	2,70	
T SCV	A	Fu	0,21	
T SCV	A	FM	2,28	
T SCV	B	Fu	0,39	
T SCV	B	FM	1,51	
T LAB	B	FM	1,60	
T LAB	B	Fu	0,19	
T LAB	C	Fu	1,15	
T LAB	C	FM	2,15	
TSCV	C	FM	3,81	
TSCV	C	Fu	1,80	
T LAB	D	FM	2,10	
T LAB	D	Fu	0,70	
T SCV	D	FM	2,85	
T SCV	D	Fu	1,13	

➤ Nouveaux systèmes de maïs

Système	Bloc	Ferti	Biomasse (t/ha)
S1 Maïs	A	FM	2,53
S1 Soja	A	FM	
S1 Vesce	A	FM	
S2 Maïs	A	FM	4,43
S2 Cajanus	A	FM	
S3 Maïs	A	FM	
S3 Radis fourrager	A	FM	4,32
S4 Maïs	A	FM	
S4 Radis fourrager	A	FM	
S4 Vesce	A	FM	
S4 Cajanus	A	FM	
S4 Eleusine	A	FM	6,92
S5 Maïs	A	FM	
S5 Lupin	A	FM	4,58
S6 Maïs	A	FM	
S6 Haricot	A	FM	
S6 Vesce	A	FM	
S6 Avoine	A	FM	2,46

S7 Maïs	A	FM	
S7 Haricot	A	FM	
S7 Vesce	A	FM	
S7 Avoine	A	FM	
S7 Radis fourrager	A	FM	2,30
S8 Maïs	A	FM	
S8 Eleusine	A	FM	
S8 Crotalaria	A	FM	3,02
S9 Maïs	A	FM	
S9 Eleusine spectabilis	A	FM	
S9 Crotalaria grahamiana	A	FM	4,05
S1 Maïs	B	FM	
S1 Soja	B	FM	
S1 Vesce	B	FM	1,84
S2 Maïs	B	FM	
S2 Cajanus	B	FM	2,24
S3 Maïs	B	FM	
S3 Radis fourrager	B	FM	5,03
S4 Maïs	B	FM	
S4 Radis fourrager	B	FM	
S4 Vesce	B	FM	
S4 Cajanus	B	FM	
S4 Eleusine	B	FM	2,44
S5 Maïs	B	FM	
S5 Lupin	B	FM	2,66
S6 Maïs	B	FM	
S6 Haricot	B	FM	
S6 Vesce	B	FM	
S6 Avoine	B	FM	1,753
S7 Maïs	B	FM	
S7 Haricot		FM	
S7 Vesce	B	FM	
S7 Avoine	B	FM	
S7 Radis fourrager	B	FM	2,97
S8 Maïs	B	FM	
S8 Eleusine	B	FM	
S8 Crotalaria	B	FM	3,54
S9 Maïs	B	FM	
S9 Eleusine spectabilis	B	FM	
S9 Crotalaria grahamiana	B	FM	5,70
S1 Maïs	C	FM	
S1 Soja	C	FM	
S1 Vesce	C	FM	3,002
S2 Maïs	C	FM	
S2 Cajanus	C	FM	3,08
S3 Maïs	C	FM	
S3 Radis fourrager	C	FM	5,37
S4 Maïs	C	FM	
S4 Radis fourrager	C	FM	
S4 Vesce	C	FM	4,10

S4 Cajanus	C	FM	
S4 Eleusine	C	FM	
S5 Maïs	C	FM	
S5 Lupin	C	FM	3,72
S6 Maïs	C	FM	
S6 Haricot	C	FM	
S6 Vesce	C	FM	
S6 Avoine	C	FM	2,45
S7 Maïs	C	FM	
S7 Haricot	C	FM	
S7 Vesce	C	FM	
S7 Avoine	C	FM	
S7 Radis fourrager	C	FM	4,30
S8 Maïs	C	FM	
S8 Eleusine	C	FM	
S8 Crotalaria	C	FM	4,76
S9 Maïs	C	FM	
S9 Eleusine spectabilis	C	FM	
S9 Crotalaria grahamiana	C	FM	3,87
S1 Maïs	D	FM	
S1 Soja	D	FM	
S1 Vesce	D	FM	2,11
S2 Maïs	D	FM	
S2 Cajanus	D	FM	2,94
S3 Maïs	D	FM	
S3 Radis fourrager	D	FM	4,41
S4 Maïs	D	FM	
S4 Radis fourrager	D	FM	
S4 Vesce	D	FM	
S4 Cajanus	D	FM	
S4 Eleusine	D	FM	3,26
S5 Maïs	D	FM	
S5 Lupin	D	FM	2,54
S6 Maïs	D	FM	
S6 Haricot	D	FM	
S6 Vesce	D	FM	
S6 Avoine	D	FM	2,88
S7 Maïs	D	FM	
S7 Haricot	D	FM	
S7 Vesce	D	FM	
S7 Avoine	D	FM	
S7 Radis fourrager	D	FM	3,81
S8 Maïs	D	FM	
S8 Eleusine	D	FM	
S8 Crotalaria	D	FM	3,746
S9 Maïs	D	FM	
S9 Eleusine spectabilis	D	FM	
S9 Crotalaria grahamiana	D	FM	4,64

ABSTRACT

Seeing that rice product is not sufficient in Madagascar, the extension of rice growing towards *Tanety* and the use of corresponding techniques with recommended fertilizers were adopted.

Our study is preceded on the experimental device of the URP/SCRiD located at Andranomanelatra. The step of rain rice systems' evaluation was made in three stages:

- Comparison of the rice nitrogen nutrition during the cycle;
- Comparison of the rice yields in the harvesting;
- Comparison of the rice straw in the harvesting and the waste of the plants in another parcel in rotation with rice in the harvesting and at the end of winter.

A working out of the components yield was carried out in order to know the limitative factors during the cycle.

The results showed that SPAD (Soil Plant Analyses Development) values of SCV systems are low compared with ploughed systems at the beginning of the cycle but they make up for lost time at the end of the measures. The system which has the highest SPAD value throughout the cycle has the highest yield: T LAB FM.

As for the yield, for the former system, the rice is more productive when it is preceded by Leguminous plants. The yield is higher in FM than Fu. The output is strongly associated to the density of seedlings. For the new system, the outputs are not significantly different. The output is in this case associated with the percentage of full grains, in relation to the use in these tests of pyriculariose sensitive variety: F 154

Finally, in the former system, when the yield is high, automatically the quantity of the straw is high but in the new system it is nearly similar in all the systems. The quantity of the waste of the plants that precedes the rice doesn't have an effect in the rice yield.

KEYS WORDS: rice, SPAD values, yield, waste of plants