

TABLE DES MATIERES

Remerciements	1
TABLE DES MATIERES	3
Liste des abréviations.....	5
Liste des tableaux, figures et clichés	6
Liste des courbes.....	7
Liste des graphiques.....	8
Liste des annexes	8
Introduction	9
1ère partie : Enjeu de l'étude et contexte rizicole malgache	11
1.1. Problématique rizicole : un enjeu économique et social	11
1.2. Contraintes et états des lieux de la production rizicole : cas particulier de la région du VAKINANKARATRA	12
1.2.1. Les contraintes de la production rizicole.....	12
1.2.2. Situation de la filière rizicole malgache : systèmes de culture et potentialités	14
1.3. Les alternatives pour relancer la production rizicole : politique de l'Etat et action de mise en œuvre.....	16
1.3.1. La politique rizicole de l'Etat : une stratégie de développement rapide et durable	16
1.3.2. Alternatives de mise en œuvre	17
1.4. Généralités de l'étude	21
1.4.1. La zone d'étude : La région du VAKINANKARATRA.....	21
1.4.2. Le cadre institutionnel et objectif de l'étude :	24
1.5. Conclusion partielle.....	25
2ème partie : Importance de l'azote dans la production rizicole et fertilisation du riz pluvial	27
2.1. Généralités sur le riz.....	27
2.2. Physiologie et besoins azotés du riz	27
2.3. Dynamique de l'azote du sol vers la plante.....	28
2.3.1. Les différentes formes d'azote du sol	28
2.3.2. Cycle de l'azote	31
2.3.3. Origines de l'azote du sol.....	32
2.4. Mécanisme d'assimilation de la plante	32
2.4.1. Les formes d'absorption de l'azote par le riz	32
2.4.2. L'absorption de l'azote par le riz	33
2.4.3. Devenir de l'azote dans la plante	36
2.4.4. Effet de l'azote sur le riz	38
2.5. La fertilisation du riz pluvial sur les tanety malgaches :	42
2.5.1. Besoins de production du riz pluvial.....	42
2.5.2. Caractéristiques et mise en valeur des Tanety.....	43
2.5.3. Principes économiques de la fertilisation.....	43
2.6. Les outils de diagnostic du statut azoté appliqués au riz.....	44
2.6.1. Les indices visuels basés sur la coloration des feuilles	44

2.6.2.	L'utilisation d'appareil de mesures de l'appréciation de l'état de verdissement des feuilles :.....	45
2.6.3.	Les indices relatifs issus d'essai comparatif au champ.....	45
2.6.4.	Les indices de nutrition azotée fondés sur la teneur en azote total des parties aériennes	46
2.6.5.	Le traçage de l'azote ^{15}N :	47
3ème partie : L'étude expérimentale		49
3.1.	Rappel de l'objectif	49
3.2.	Les sites d'expérimentation.....	49
3.2.1.	Caractéristiques générales	49
3.2.2.	Le site d'expérimentation du PCP SCRID.....	49
3.2.3.	Le site de TAFE	49
3.3.	Méthodologie d'approche.....	50
3.3.1.	Le dispositif expérimental :.....	50
3.3.2.	Le matériel végétal	53
3.3.3.	L'échantillonnage des plantes d'observation et des placettes de prélèvement	53
3.3.4.	Les différentes mesures de suivi et d'analyse	54
3.4.	Résultats et Interprétation.....	59
3.4.1.	Analyse du suivi de la croissance et du développement du riz	59
3.4.2.	Les indicateurs du statut azoté	67
3.4.3.	Analyse des composantes du rendement et de la production	73
3.5.	Conclusion partielle.....	80
4ème partie : Etude agro – économique des systèmes de culture expérimentaux.....		81
4.1.	Méthode de calcul et d'analyse	81
4.1.1.	Objectif.....	81
4.1.2.	Caractérisation des systèmes de culture	81
4.2.	Rentabilité comparée des différents systèmes.....	83
4.2.1.	Comptes caractéristiques des différents systèmes.....	83
4.2.2.	Synthèse des résultats	90
4.3.	Evaluation économique de la valorisation de la fertilisation des rizicultures pluviales sur les systèmes R3 et R4	90
4.3.1.	Initiation à l'analyse de la rentabilité et sensibilité de la production de la riziculture pluviale.....	90
4.3.2.	Besoin en main d'œuvre et niveau de fertilisation.....	96
4.3.3.	Rapport coût d'exploitation et production.....	96
4.4.	Conclusion partielle.....	100
Conclusion générale et perspectives		101
Bibliographie.....		103
Annexes		106

Liste des abréviations

Al₂O₃ :	Sesquioxydes d'aluminium
CIRAD :	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CIRAGRI :	CIRconscription de l'Agriculture
CO₂ :	Dioxyde de carbone
DSRP :	Documents de Stratégie de Réduction de la Pauvreté
E :	Longitude EST
FAO :	Food and Agricultural Organisation
Fe₂O₃ :	Sesquioxyde de fer
FOFIFA :	Foibem - pirenena momba ny Fikarohana ampiharina amin'ny Fampanandrosoana ny eny Ambanivohitra
INSTAT :	Institut National de STATistique
JAS :	Jours Après Semis
Hj :	Homme jour
K₂O :	Potasse
Kcl :	Chlorure de potassium
LAB :	Labour
LAI :	Leaf Area Index
MO :	Main d'Œuvre
Moy :	Moyenne
MS :	Matière sèche
N :	Azote
Nb :	Nombre
N₂ :	Azote atmosphérique
N₂O :	Azote nitreux
NO :	Protoxyde d'azote
NO₂⁻ :	Nitrite
NH₄⁺ :	Ion ammonium
NO₃⁻ :	Nitrate
O₂ :	Oxygène
ONG :	Organisme Non Gouvernementale
PCP SCRID :	Pôle de Compétence en Partenariat Systèmes de Culture et Riziculture Durable
P₂O₅ :	Anhydride phosphorique
PIB :	Produit Intérieur Brut
PMG :	Poids de Mille grains
S :	Latitude Sud
SCV :	Système de Culture sous Couverture Végétale
SF :	Surface Foliaire
SPAD :	Soil and Plant Analyse Development
SRI :	Système de Riziculture Intensive
TAFA :	TAny sy Fampanandrosoana

Liste des tableaux, figures et clichés

Tableau 1 : Rapport évolution démographique et production rizicole.....	11
Tableau 2 : Pluviométrie et température moyenne de la région.....	22
Tableau 3 : Les différentes formes de l'azote dans la plante.....	37
Tableau 4 : Niveau critique de l'azote dans les plantes de riz.....	38
Tableau 5 : Exportation minérale du riz pluvial suivant les parties effectivement ramassées.	42
Tableau 6 : Effets du système de culture et de la fumure sur les valeurs SPAD.....	67
Tableau 7 : Effet de la fumure et du système sur les composantes du rendement du riz F161 sur le dispositif principal.....	73
Tableau 8 : Effet de la fumure et du système sur les composantes du rendement du riz F159 sur le dispositif secondaire.....	73
Tableau 9 : Effet de la fumure et du système sur les composantes du rendement du riz F154 sur le dispositif secondaire.....	74
Tableau 10 : Tallage moyen des plantes sur le dispositif principal.....	74
Tableau 11 : Tallage moyen des plantes de riz F159 sur le dispositif secondaire.....	75
Tableau 12 : Tallage moyen du riz F154 sur le dispositif secondaire.....	75
Tableau 13 : Caractéristiques générales des systèmes de cultures.....	82
Tableau 14: Besoins en main d'œuvre sur la première rotation : Riz pluvial en culture principale.....	84
Tableau 15: Besoins intrants sur la première rotation : Riz pluvial en culture principale.....	85
Tableau 16: Besoins en main d'œuvre sur la deuxième rotation : maïs et soja en cultures principales.....	86
Tableau 17: Besoins en intrants sur la deuxième rotation : Maïs et soja en cultures principales et Résultat des systèmes.....	87
Tableau 18 : Calcul de rentabilité de la riziculture sur les différents systèmes en fonction du niveau de fumure.....	92
Figure 1 : Schéma du cycle de l'azote.....	31
Figure 2 : Flux de l'azote au sein de la plante.....	36
Cliché 1 : Tanety de vaine pâture ferme d'Andranomanelatra :	43
Cliché 2 : Matrice PCP, Andranomanelatra (assolement riz pluvial et maïs + soja).....	50
Cliché 3 : Assolement riz – maïs + soja en SCV, Matrice TAFa.....	51

Liste des courbes

Courbe 1 :	Effets de la nutrition azotée sur la réponse de la photosynthèse	39
Courbe 2:	Détermination de la teneur critique en azote d'un peuplement cultivé.....	47
Courbe 3:	Evolution de la hauteur moyenne des plantes selon les systèmes.....	59
Courbe 4 :	Evolution de la hauteur moyenne des plantes selon le niveau de fumure....	59
Courbe 5:	Accumulation de la biomasse selon les systèmes du F161.....	60
Courbe 6:	Accumulation de la biomasse selon le niveau de fumure du F161.....	60
Courbe 7:	Evolution du tallage selon le niveau de fumure du F161.....	64
Courbe 8:	Evolution du tallage selon les systèmes du F161.....	64
Courbe 9:	Evolution de la valeur du LAI selon le niveau de fumure.....	65
Courbe 10:	Evolution de la valeur du LAI selon les systèmes.....	65
Courbe 11:	Evolution de la valeur SPAD selon les systèmes du F161.....	68
Courbe 12:	Evolution de la valeur SPAD selon la fumure du F16.....	68
Courbe 13:	Evolution de la valeur SPAD sur F154 par fumure.....	69
Courbe 14:	Evolution de la valeur SPAD sur F 159 par fumure	69
Courbe 15:	Evolution de la valeur SPAD sur F 159 selon les systèmes	70
Courbe 16:	Evolution de la valeur SPAD sur F 154 selon les systèmes	70
Courbe 17:	Evolution du taux de sénescence du F 161 selon les systèmes.....	71
Courbe 18:	Evolution du taux de sénescence du F 161 selon la fumure	71
Courbe 19:	Evolution du taux de sénescence du F 154 par système	71
Courbe 20:	Evolution du taux de sénescence F 159 par système	71
Courbe 21:	Evolution du taux de sénescence du F 154 par fumure	72
Courbe 22:	Evolution du taux de sénescence du F 159 par fumure.....	72
Courbe 23:	Seuil de rentabilité (exprimé en rendement additionnel minimum) de la riziculture en fonction du prix du Paddy.....	93
Courbe 24:	Seuil de rentabilité (exprimé en rendement additionnel minimum) de la riziculture en fonction de l'augmentation du prix des intrants.....	94
Courbe 25:	Seuil de rentabilité (exprimé en rendement additionnel minimum) de la riziculture en fonction de la diminution du prix des intrants.....	95
Courbe 26:	Tendance d'évolution du besoin en main d'œuvre selon les niveaux de fumure.....	96

Liste des graphiques

Graphique 1 :	Répartition de la biomasse aérienne par système du riz F 161 à la récolte.....	61
Graphique 2 :	Répartition de la biomasse aérienne par système du riz F 154 à la récolte.....	62
Graphique 3 :	Répartition de la biomasse aérienne par système du riz F 159 à la récolte.....	62
Graphique 4 :	Répartition de la biomasse aérienne du riz F161 par fumure à la récolte	62
Graphique 5 :	Répartition de la biomasse aérienne du riz F 154 par fumure à la récolte	63
Graphique 6 :	Répartition de la biomasse aérienne du riz F 159 par fumure à la récolte.....	63
Graphique 7 :	Histogramme du phyllochrone moyen par système et par fumure du F 161	66
Graphique 8 :	Histogramme du phyllochrone moyen du F 154	67
Graphique 9 :	Histogramme du phyllochrone moyen du F 159	67
Graphique 10 :	Rapport production et charges d'exploitation selon le niveau de fumure du R3SCV	97
Graphique 11 :	Rapport production et charges d'exploitation selon le niveau de fumure du R4SCV	98
Graphique 12 :	Rapport production et charges d'exploitation selon le niveau de fumure du R4 LAB	99

Liste des annexes

Annexe 1: Part des différents secteurs économiques dans le PIB de Madagascar.....	106
Annexe 2: Quantité et Qualité des terres disponibles à Madagascar	106
Annexe 3: Importance de la riziculture dans le Vakinankaratra	106
Annexe 4: Propos de politique agricole PADR 2003.....	107
Annexe 5: Courbe ombrothermique de GAUSSEN de la région: 2003-2004	108
Annexe 6: Systématique et variétés du riz	109
Annexe 7: Elaboration des composantes du rendement.....	110
Annexe 8: Caractéristiques des Tanety	111
Annexe 9: Plan de la matrice du PCP SCRID.....	112
Annexe 10: Plan du dispositif secondaire TAFE.....	113
Annexe 11: Liste et prix des intrants.....	114

Introduction

Avec 560 millions de tonnes, la production rizicole mondiale tient la troisième place de production céréalière après le blé et le maïs. Il constitue à Madagascar la première production vivrière avec une production de 2 665 000 tonnes pour l'année 2003 ; et est de ce fait l'alimentation de base des malgaches avec une consommation par habitant de 110Kg par an. La riziculture occupe près de 70 % de la production agricole du pays. Or, on constate que, la production de riz n'augmente que de 1,2 % par an depuis les années 80 ; et que son rendement n'a jamais dépassé le seuil de 2,1 tonnes à l'hectare (DSRP mars 2003). Le pays reste donc dépendant de l'extérieur pour subvenir aux besoins réels de sa population.

Ces raisons suscitent un intérêt particulier pour le riz dans les recherches effectuées à Madagascar en matière d'agriculture. L'obtention d'une production suffisante pour la population et excédentaire pour relancer l'économie malgache demeure jusqu'à aujourd'hui la priorité en matière de politique agricole. Plusieurs alternatives peuvent s'offrir à cela notamment l'extension de la riziculture sur les TANETY. Ces derniers présentent pourtant des contraintes écologiques et agronomiques qui amènent à considérer leur mise en valeur en système de culture sous couverture végétale : le semis direct. Le perfectionnement de ce système pour son intégration dans le complexe rizicole malgache constitue l'objectif majeur des recherches effectuées au sein du PCP SCRID, auxquelles contribue la présente étude portant sur le diagnostic du statut azoté d'un peuplement de riz pluvial.

Déterminer des outils efficaces et fiables pour caractériser le comportement d'un peuplement végétal en fonction de son niveau de nutrition, est nécessaire pour pouvoir améliorer un système. L'azote constitue en effet un facteur important par ses effets direct et indirect dans la production du riz ; la maîtrise des modalités de fertilisation azotée à appliquer sur le riz pluvial en SCV est donc une composante plus que limitant pour optimiser la productivité du système et faciliter sa diffusion au niveau des milieux ruraux malgaches. L'approche scientifique des recherches amène alors à étudier l'effet des SCV sur la valorisation de la fumure azotée en fonction du comportement d'un peuplement de riz pluvial à différents niveaux d'apport d'azote. Une comparaison de l'effet sur le long terme est aussi étudiée. Des dispositifs expérimentaux de suivi sont ainsi installés sur la matrice du PCP

SCRID et sur le site vitrine de l'ONG TAFE à Andranomanelatra dans la région du Vakinankaratra.

La caractérisation des outils de diagnostic du statut azoté du riz pluvial repose sur la culture et la conduite de la fertilisation. Le travail suivant va présenter les relations et les différents aspects agronomiques et économiques de ces deux points essentiels en 4 parties distinctes :

Une première partie détaillant le problème général de la riziculture et son contexte actuel. L'état des lieux de la filière rizicole malgache expliquera l'intérêt et les propos de l'étude.

Une deuxième partie qui expliquera l'importance de la nutrition azotée du riz. De la dynamique de l'azote jusqu'à son devenir dans la plante, on pourra déduire la fertilisation du riz pluvial sur les Tanety et les différents outils de diagnostic pour une conduite optimale de celle-ci.

Une troisième partie consacrée à l'étude expérimentale, la méthodologie de travail y sera détaillée. L'interprétation des résultats permettra de juger les indicateurs testés avec l'objectif d'obtenir des outils de diagnostic fiables et efficaces du statut azoté du riz pluvial.

Avant de présenter les perspectives que l'étude pourra apporter, une dernière et quatrième partie traitera l'aspect agro économique des systèmes expérimentaux pour avoir une certaine évaluation de leur possibilité d'intégration dans les systèmes paysans.

**1^{ERE} PARTIE : ENJEU DE L'ETUDE ET
CONTEXTE RIZICOLE MALGACHE**

1ère partie : Enjeu de l'étude et contexte rizicole malgache

1.1. Problématique rizicole : un enjeu économique et social

Le rapport Afrique de la FAO pour l'année 2004 classe Madagascar parmi les pays en situation d'urgence alimentaire. En effet, depuis 1965 les disponibilités alimentaires du pays n'ont cessé de se dégrader, l'insécurité alimentaire frappe plus de 67 % des malgaches soit 59 % des ménages. Le problème crucial auquel le pays est confronté est celui de l'insuffisance de la production rizicole.

D'après le tableau ci-dessous l'évolution de la production rizicole ne couvre pas le besoin moyen de la population estimé à environ 125Kg/Habitant/an (le minimum pour assurer les besoins énergétiques), alors que la croissance démographique connaît une évolution exponentielle de 2.8 %.

Tableau 1 : Rapport évolution démographique et production rizicole

Année	1998	1999	2000	2001	2002
Production rizicole (T)	2447210	257000	248470	2666465	2603965
Effectif population	14112820.5	14535359	14970551.3	15417500	15880410.3

Source : INSTAT 2004

La riziculture tient une place indéniable dans l'économie malgache, la valeur ajoutée économique générée par la filière contribue à hauteur de 12 % au PIB en terme courant et de 43 % de la valeur ajoutée du secteur agricole (estimé à 27 % du PIB global). Mais le recours à l'importation pour subvenir au besoin de la nation et stabiliser les prix alourdit le déclin de l'économie nationale et entraîne un déficit permanent de la balance de paiement.

La sécurisation alimentaire passe aussi par une augmentation des revenus. La faible monétarisation actuelle des paysans ne leur permet pas de se procurer les matériels et les intrants agricoles nécessaires à une intensification de la production.

Les stratégies de réduction de moitié de la pauvreté en 10 ans et de croissance économique du gouvernement actuel estimé à 6.3 % du PIB sous entendent pourtant une croissance de 4 % du secteur primaire avec une croissance de la productivité de travail investi de 2.7 % (BOCKEL, 2003).

La mise en œuvre de ces objectifs implique obligatoirement un développement du milieu rural et une relance de la filière riz. Cette dernière demande des innovations dans les techniques culturales pour permettre à la riziculture d'améliorer la productivité des ressources (intensification) et de surmonter la sensibilité de celles-ci à la dégradation, notamment le capital sol, amenant à rationaliser les systèmes de culture sur Tanety (extension et gestion agrobiologique du système).

Cette importance de la riziculture dans le quotidien national lui attribue depuis un intérêt particulier. La recherche des voies pour améliorer sa situation nécessite pourtant une maîtrise de la situation actuelle. Un aperçu sur l'état de la filière nous introduira donc à l'objectif de la présente étude et le choix de la région d'intervention.

1.2. *Contraintes et états des lieux de la production rizicole : cas particulier de la région du VAKINANKARATRA*

1.2.1. Les contraintes de la production rizicole

Madagascar, avec un potentiel de ressources naturelles élevées, se heurte à plusieurs obstacles qui maintiennent sa production vivrière en dessous des besoins de sa population. Les principales contraintes peuvent être physique, technique, économique et surtout foncière.

1.2.1.1. *Des conditions environnementales : limite à toute action d'intensification et d'extension*

Les contraintes physiques sont essentiellement liées aux conditions environnementales. En effet la faible élasticité des superficies cultivées, notamment la saturation des bas fonds, maintient une production stationnaire voire en régression. Les rizières sont surexploitées et présentent fréquemment des problèmes de toxicité ferrique (RAZAFIMAHATRATRA, 2003).

Les variations annuelles de la production peuvent aussi être dues aux aléas climatiques qui ravagent les rizières et entraînent des dégâts considérables sur les infrastructures.

Les types de sol dominant dans les différentes régions de Madagascar sont des sols ferrallitiques acides et de faible fertilité, ils deviennent limitant à la production quand leur mise en valeur nécessite l'apport d'amendement et de fumure coûteux. De plus la dégradation de l'environnement par des exploitations irrationnelles de nos ressources accentue l'effet de la dégradation des sols.

1.2.1.2. *Des systèmes de riziculture peu productifs*

On est confronté à une difficile progression du rendement moyen de la riziculture par suite :

- Des contraintes d'approvisionnement en intrants liés essentiellement au mauvais état du réseau routier et le manque de liquidité des paysans.
- Du non maîtrise par les paysans des techniques culturales améliorées avec l'absence des moyens mis à leur disponibilité. Leur technique reste donc traditionnelle et archaïque donnant une production qui laisse à désirer.
- Du faible diffusion des variétés sélectionnées dont le potentiel ne peut s'exprimer pleinement sans fumure adéquate.

1.2.1.3. *Faible rentabilité des investissements économiques dans la riziculture*

Les contraintes économiques peuvent s'exprimer par une faible rentabilisation des investissements nécessaires pour augmenter la productivité rizicole. Dans les conditions d'exploitations paysannes, le coût élevé des engrais ne peut pas être rentabilisé. L'intensification demeure peu efficace.

De plus la difficulté de commercialisation à bon prix des surplus agricoles, par manque de marché organisé, freine toute possibilité de développement des systèmes d'exploitation.

La difficulté d'accès au crédit limite aussi dans un sens toute action pour l'augmentation de la production vivrière. L'insuffisance de crédit ne permet pas d'entretenir convenablement les infrastructures et de réaliser des investissements d'extension et d'intensification pour relancer vigoureusement la production.

1.2.1.4. *L'insécurité foncière : limite des actions d'extensification*

Les contraintes foncières limitent l'extension des surfaces pour augmenter la production agricole. En effet la faible exploitation des surfaces arables à Madagascar influe énormément sur son niveau de production si on reconnaît que sur 33 millions d'hectares de surfaces cultivables seulement 3 millions sont exploitées dont un million seulement sont consacrés à la riziculture. Le problème d'immatriculation foncière en est surtout l'origine (Midi Madagascar N°6052).

1.2.2. Situation de la filière rizicole malgache : systèmes de culture et potentialités

Avec une superficie de 1 212 650 Ha, la riziculture constitue l'activité principale agricole malgache. Le rendement moyen est de 1.5 à 2 tonnes à l'hectare, mais on peut rencontrer une production maximale de 18 T environ avec des techniques bien minutieuses. Dans la région du Vakinankaratra, la riziculture occupe 27 % de la superficie totale cultivée avec une production de 13 815 T (INSTAT 2001).

1.2.2.1. *Les différents systèmes de riziculture de la région du Vakinankaratra :*

Le riz pluvial, le riz irrigué et le riz de Tavy sont en principe les catégories de système de production les plus pratiquées par les riziculteurs de Madagascar. Selon les techniques culturales, la riziculture du Vakinankaratra distingue 4 types :

Sur les bas fonds et les plaines :

- Le riz irrigué et repiqué
- Le riz irrigué en semis direct
- Le riz irrigué en système de riziculture intensif SRI

Sur les Tanety :

- Le riz pluvial

La riziculture des bas fonds et des plaines

Riziculture irriguée, elle constitue l'aménagement de 2/5 des surfaces cultivables à Madagascar et 82 % des surfaces rizicoles du Vakinankaratra. Deux saisons de culture peuvent s'y installer : le « vary aloha » et le « vary vakiambiaty ».

Le riz irrigué sans repiquage demande une bonne maîtrise des mauvaises herbes, elle est très adoptée dans la région du Lac Alaotra et des plaines alluviales de l'Ouest malgache reconnues comme grenier à riz du pays.

La riziculture de submersion avec repiquage permet de mieux lutter contre les adventices et elle est sujette à de nombreuses innovations. En conditions favorables, avec une meilleure maîtrise des pratiques culturales, le riz présente une forte productivité.

Le système intensif SRI est une méthode de culture qui a recours à un ensemble de techniques peu conventionnelles telles que : le semis à sec, la transplantation de jeunes plants à moins de 20 jours à raison d'un plant par trou, désherbage fréquent et contrôle du niveau de l'eau afin d'aérer les racines pendant la période de croissance du plant.

La riziculture des bas fonds présente des limites en ce sens que les sols deviennent de plus en plus rares et les techniques appliquées engagent plus de main d'œuvre et deviennent de plus en plus pointues.

La riziculture sur Tanety : le riz pluvial

Les possibilités de la riziculture pluviale sont essentiellement conditionnées par l'importance de la répartition et de la quantité de la précipitation au cours de la saison de culture. A Madagascar, les régions localisant moins de 1000 mm de pluie avec une moyenne journalière inférieure à 5 mm n'ont pas vocation à la riziculture strictement pluviale (DOBELMANN, 1976). Sur les tanety il est nécessaire de faire coïncider l'évolution agricole de la plante avec la saison de pluie, et d'utiliser des variétés précoces et résistantes à des courtes périodes de sécheresse.

Le riz pluvial représente 18 % de la superficie rizicole du Vakinankaratra et est prometteur dans la zone où le problème de superficie ne se pose pas encore.

1.2.2.2. Les potentialités rizicoles malgaches

Une grande biodiversité et une espace sous-exploité constituent jusqu'à aujourd'hui des ressources potentielles pour le développement à Madagascar. En matière de riziculture, des variétés améliorées et productives de riz attendent leur diffusion. La disponibilité des moyens nécessaires pour l'extension de la culture permettra d'exploiter les 340 000 Km² de superficies en prairies et vaines pâtures.

Des variétés de riz améliorées et productives :

Le FOFIFA recense actuellement plus de 5000 variétés de riz en périmètre cultivé ou à l'état sauvage ; une centaine d'entre elles constituent les variétés cultivées régulièrement par les paysans malgaches. Les actions de recherche en matière d'amélioration variétale se porte sur la recherche de variété à haute productivité et capable de résister au froid notamment pour la riziculture pluviale d'altitude mais aussi la résistance aux maladies (la pyriculariose, brunissure des gaines). La diffusion de ces variétés améliorées restent donc la tâche à accomplir pour valoriser cette biodiversité.

De grande surface cultivable disponible : les Tanety

La superficie agricole totale malgache s'estime à environ 62.78 % de la superficie du pays, avec une mise en valeur de 4.86 %. Dans la région du Vakinankaratra, les surfaces cultivées sont estimées à 57.28 % des superficies exploitables, et 27 % des tanety sont encore disponibles. Avec des superficies cultivables si étendues, Madagascar dispose

d'un grand potentiel pour améliorer sa production et atteindre l'autosuffisance alimentaire, par l'exploitation sur les tanety des systèmes de cultures pluviales telle la riziculture pluviale sous couverture végétale.

L'action combinée des limites environnementales et l'absence de moyens technique et matériel pour une production rizicole suffisante ne permettent donc pas une exploitation des potentialités abondantes du pays. Des solutions devraient alors être envisagées pour permettre la diffusion des techniques améliorées et les différents résultats de recherches agricoles. L'adoption d'une politique agricole adéquate pour la relance de la riziculture s'accompagnera de ce fait d'une gestion rationnelle de nos ressources.

1.3. Les alternatives pour relancer la production rizicole : politique de l'Etat et action de mise en œuvre

1.3.1. La politique rizicole de l'Etat : une stratégie de développement rapide et durable

Toute stratégie pour un développement rapide et durable s'envisage impérativement avec une politique adéquate de relance du secteur agricole. Et pour atteindre l'autosuffisance alimentaire, la priorité est attribuée à la filière rizicole. Plusieurs politiques rizicoles ont été élaborées par les différents régimes successifs mais aucune n'a vraiment abouti ; on peut cependant retenir les points suivants :

- Mise en œuvre de techniques culturales intensives pour accroître la productivité de la terre, un élargissement du réseau de vulgarisation et d'information sera donc nécessaire
- Utilisation optimale et gestion durable des ressources et des infrastructures : le développement de techniques agroécologiques de production en milieu fragile permet une plus grande souplesse de l'expansion des surfaces employées pour la culture pluviale
- Promotion de l'équipement des producteurs : accès aux intrants et la mécanisation : l'allègement voire même l'exonération des taxes sur les intrants et matériels agricoles contribuent dans ce sens.

Les idées maîtresses de la politique rizicole actuelle de l'Etat s'intègrent en effet aux différents programmes de soutien au développement rural.

1.3.2. Alternatives de mise en œuvre

Plusieurs solutions peuvent être considérées pour assurer l'accroissement de la productivité agricole à Madagascar.

1.3.2.1. *Sécurisation foncière et sédentarisation de la culture de défriche*

Une opération d'immatriculation foncière peut contribuer à pousser les exploitants à valoriser leur terre et à la préserver. En effet l'insécurité foncière empêche les cultivateurs d'investir dans leur exploitation (intensification) et ne les pousse pas à adopter des techniques plus adaptées à une exploitation durable de leur ressource. Cela peut aussi limiter les systèmes culturaux sur brûlis car les terrains seront attribués à des propriétaires précis. Les domaines de l'Etat ne pourront plus être exploités selon le bon vouloir des riverains.

1.3.2.2. *Mécanisation pour une extension*

Le niveau de mécanisation de l'agriculture à Madagascar reste médiocre. Les outils de production se limite à l'angady et à différents petits matériels manuels (fauche, faucille...). Une amélioration du niveau de mécanisation des exploitations malgaches peut ainsi pallier au blocage de l'extension des surfaces cultivables car c'est l'absence de mécanisation qui est la cause de la petite taille des surfaces rizicoles (RABEZANDRINA, 1995).

1.3.2.3. *L'intensification par l'emploi des intrants chimiques*

Une intensification par l'emploi d'intrants chimiques peut être envisagée dans la voie du développement de la production vivrière à Madagascar. Les travaux culturaux sont de plus en plus importants d'autant plus que la surface cultivée est grande. Une extension sera donc plus productive si la peine investie est moindre. L'emploi des différents produits phytosanitaires tels que les herbicides contribue à cet effet. Les mauvaises herbes constituent un des premiers facteurs limitant des rizicultures pluviale et irriguée ; de plus leur maîtrise est impérative quand on veut investir dans l'emploi d'engrais chimiques plus efficaces pour augmenter la production.

Une action de vulgarisation auprès des paysans sur l'emploi de ces produits est nécessaire pour leur permettre de mieux contribuer à la voie de développement rapide que l'Etat prône en ce moment. Il faudrait cependant préconiser un emploi rationnel pour prévoir les effets néfastes que ces produits peuvent avoir sur l'environnement.

Pour une gestion plus durable des exploitations, des techniques de cultures qui peuvent marier production végétative et protection des ressources demeurent alors l'alternative la plus

appréciée et à développer pour atteindre une production suffisante et régulière dans le temps. Ce qui amène à considérer le système de culture en semis direct sous couverture végétale (SCV) ou le zéro - labour

1.3.2.4. *Le SCV : un système d'exploitation rationnelle des ressources*

Le SCV est considéré comme une gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture (RAUNET, 1997)) car il ne s'agit pas d'un itinéraire technique mais d'un système de production complet. C'est une technologie d'agriculture, à la fois protectrice et productrice, accompagnée d'avantages économiques et sociaux tangibles pour la population rurale.

Principe

L'observation des écosystèmes forestiers a amené à formuler son principe. En effet sous la forêt, la matière organique morte forme une litière protectrice du sol et se minéralise continuellement. Ce qui correspond à une libération des éléments minéraux recyclés de suite par les parties vivantes. Ce système bouclé est parfaitement stable et biologiquement actif ; sa reproduction en milieu cultivé implique une couverture permanente du sol sans qu'il soit travaillé et que les plantes utilisées pour fournir la biomasse soient capables de remobiliser la plupart des éléments lixiviés.

La pratique sera de couvrir le sol par un mulch durant la période de culture et par une couverture vive le reste du temps. Le semis des cultures se fait en poquets manuellement ou avec un semoir adapté et seul l'emplacement du semis est travaillé.

Avantages

La gestion du sol et des cultures par le semis direct offre des avantages considérables :

- Contrôle total de l'érosion avec une suppression des pertes de terre et en eau par ruissellement
- Diminution sous mulch de l'évaporation et de l'amplitude thermique du sol
- Contrôle des adventices (effet d'ombrage et d'allélopathie)
- Augmentation de la vie biologique et du taux de matière organique dans l'horizon superficiel du sol ; cela a un effet important quant à la disponibilité des éléments nutritifs pour la culture (amélioration de la fertilité)
- Remobilisation des éléments lixiviés lors du cycle cultural et de l'apport d'azote par les légumineuses de couvertures.

- Restructuration du sol en surface et en profondeur en saison de pluie et en saison sèche par les systèmes racinaires des plantes de couvertures.

Tout cela contribue à réduire les effets de la dégradation mécanique du sol, les apports d'intrants et les besoins de main d'œuvre. Une amélioration de la stabilité agronomique et économique du système de culture vis-à-vis des conditions climatiques et économiques est donc obtenue.

Inconvénients

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

- La mise en place d'une structure compacte du sol qui dépend du type de sol
- L'utilisation accrue de pesticides durant les premières périodes de son installation voire dans la pratique du système. La présence de résidus en surface favorise l'infestation phytopathogène et le niveau de pression des mauvaises herbes y est important.
- La culture sous couverture végétale ne reflète pas toujours l'image d'une agriculture de grande envergure pour une exploitation plus que vivrière. La nécessité de l'incorporation dans le système d'une culture pour la production de biomasse diminue sa productivité par rapport au temps d'occupation de l'espace et demeure un frein à sa diffusion quand le sol cultivable est de moins en moins suffisant.

Effets du SCV sur l'évolution de la disponibilité des éléments minéraux dans le sol

L'existence en surface d'une couverture permanente correspond à une présence de matières organiques dont la minéralisation améliore le bilan d'éléments minéraux du sol. Le système de culture en semis direct peut favoriser le recyclage des éléments minéraux et leur concentration dans les horizons exploités par les racines. Deux causes peuvent expliquer cela :

- L'activation de la vie biologique du sol
- La remobilisation des éléments minéraux du sol par les plantes de couvertures qui constitueront elles même les matières organiques à restituer au sol

a) L'activation de la vie biologique du sol

La création par les plantes de couvertures des conditions de température et d'humidité favorable aux microorganismes favorise leur prolifération et leur activité de minéralisation.

Cette dernière correspond à une décomposition de la matière organique fraîche provoquant la libération d'éléments minéraux directement assimilables par les plantes. Il faudrait pourtant considérer que l'activation de l'activité biologique augmente la consommation en Azote des microorganismes qui peut provoquer dans certains cas des carences en Azote temporaire appelé « faim d'azote ». Une correction du rapport C/N des résidus à restituer peut remédier à cela. En effet un rapport C/N supérieur à 30 ne permet pas une libération active de l'azote, alors qu'un rapport inférieur à 20 donne une libération efficace et précoce. Cet effet influe sur la vitesse de décomposition de la matière organique, sur la disponibilité des éléments minéraux.

b) L'action des plantes de couvertures

Le choix des plantes de couvertures dépend de la souplesse de leur cycle ; leur vitesse de développement, la quantité de biomasse qu'elles peuvent produire, leur capacité à fixer l'azote et leur profondeur d'enracinement pour leur rôle de pompe biologique. Certaines espèces sont capables d'assurer le recyclage profond des éléments minéraux par leur système racinaire profond qui permet une surface maximale d'interception des éléments minéraux. Et d'autres, telles les légumineuses, par la fixation symbiotique de l'azote, deviennent une source complémentaire d'azote au sol. La restitution des résidus de ces plantes constitue un apport in situ de ces éléments sous une forme plus efficace pour la culture commerciale. Elles induisent un bilan positif d'éléments minéraux du sol après leur dégradation. La synchronisation des apports permis par les plantes de couverture et les besoins de la culture principale est alors importante.

Il résulte de ces différents mécanismes que les SCV permettent une bonne gestion de la fertilité du sol qui est une des conditions de la durabilité du système.

La synthèse de la situation rizicole au niveau national et régional du pays, conclut que l'objectif d'une amélioration de la productivité pour l'autosuffisance alimentaire est réalisable si les agriculteurs adoptent les techniques adéquates et peuvent étendre leur exploitation. L'installation de telle entreprise dans une région si rurale et très productive peut très bien refléter la situation des milieux ruraux malgaches. Une compréhension de ces systèmes et de leur installation s'avère nécessaire pour permettre leur maîtrise et leur large diffusion. Cette raison conduit à porter un intérêt précis pour notre étude et la région du Vakinankaratra.

1.4. Généralités de l'étude

1.4.1. La zone d'étude : La région du VAKINANKARATRA

Capitale rurale de Madagascar, la région du Vakinankaratra concentre en son sein l'ensemble d'une production agricole la plus variée et une population paysanne à plus de 77.2 %.

1.4.1.1. Le milieu physique

Situation géographique

La région est située sur les Hautes Terres centrales de Madagascar et se trouve à :

- 19° 12' et 20° 16' de latitude Sud et
- 45° 52' et 47° 52' de longitude Est.

Elle est limitée au Nord par la grande rivière de l'Onive, à l'Est par le bassin des hauts plateaux du centre de la côte Est, à l'Ouest par les abords des grandes plaines vallonnées et au Sud par les cours de la Mania et de la Manandona.

Les altitudes sont comprises entre 400m à 2400m et le relief distingue 5 zones :

- les régions montagneuses de l'Ankaratra
- les vastes surfaces planes surmontées d'un certain nombre de massifs et de chaînes du Nord Ouest
- les massifs d'altitudes du Sud Ouest
- les hautes terres de l'Est et
- les zones topographiquement abaissées autour d'Antsirabe et dans la zone limite du Nord Est.

Le climat

Les conditions climatiques demeurent le premier facteur à considérer dans un système de culture pluvial. Sur les Hautes Terres, telle la région d'Antsirabe, on a qu'une seule saison de pluie ; elle correspond à la saison chaude. Le climat, de type tropical, marque une forte hétérogénéité interannuelle mais l'année se caractérise en général par 2 saisons bien individualisées :

- une saison pluvieuse et moyennement chaude de Octobre à Avril
- une saison sèche et relativement fraîche de Mai à Septembre

Tableau 2 : Pluviométrie et température moyenne de la région

Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Pluie (mm)	66	154	382.5	202	195.5	111.5	80.0	25.5	9.5	4	7	14.5
T moyenne (°C)	27.2	25.4	25.1	25	24.2	23.6	24.5	16.9	13.1	12.3	13.5	15.2
T min (°C)	9.1	12.2	14	14.9	14.1	13.9	5.6	10.8	5.9	5.6	5.6	7.8

Source : Station météorologique CIMEL, Andranomanelatra (2003-2004)

Pédologie de la région

Les sols rencontrés dans la région de Vakinankaratra sont représentatifs des sols des différentes régions de Madagascar. Les sols ferrallitiques dominent à 65 % et se développent soit sur socle cristallin soit sur substrats flavio-lacustres. Ce sont des sols acides pauvres en matières organiques désaturés et déficients en Phosphore.

Ceux qui se développent sur socle cristallin sont les plus pauvres et les plus exposés à des feux de brousse fréquents et à une érosion intense. Ils présentent un horizon compacté à faible profondeur qui limite l'enracinement et l'alimentation des plantes.

Les sols d'origine volcaniques se rencontrent dans les zones surpeuplées, ils sont plus riches mais surexploités. Ce sont des andosols de couleur noire et très riches en matières organiques.

La grande diversité pédologique dans la région du Vakinankaratra peut se répartir en cinq classes :

- Les sols ferrallitiques caractérisés par une individualisation des sesquioxydes Al_2O_3 et Fe_2O_3 avec le Kaolinite comme type d'argile.
- Les sols ferrugineux tropicaux sur les roches acides avec affleurement rocheux caractérisés par l'individualisation des hydroxydes et oxydes de fer.
- Les sols ferrallitiques humifères : ils correspondent aux argiles très épaisses surmontées d'un horizon d'accumulation de débris végétaux.
- Les sols alluvionnaires et les sols hydromorphes qui diffèrent en plusieurs sous-classes en fonction de leur ancienneté et de la roche mère.
- Les sols squelettiques qui ont une valeur agricole faible et couvrent pourtant une surface importante.

L'exploitation des potentialités de ces sols devrait être accompagnée en permanence des mesures de conservation et de restauration du sol. La mise au point de procédés destinés à freiner le rythme de l'érosion et le développement des pratiques culturales non érosives, ainsi que les amendements et la fertilisation, doivent donc intervenir massivement.

1.4.1.2. *Le milieu humain*

Dans l'ensemble, la densité de la population du Vakinankaratra est de 77.53 Habitants/Km², avec une inégale répartition spatiale : l'effectif de la population en milieu rural est plus important qu'en milieu urbain. La pression démographique y est élevée car la région d'Antsirabe est environ trois fois plus peuplée que la moyenne malgache.

Les conditions agroclimatiques et humaines de la région permettent ainsi une vaste gamme de culture et sa morphologie caractérise une potentialité considérable de surfaces exploitables.

1.4.1.3. *Le milieu économique*

L'activité agricole

a) L'agriculture largement dominée par la riziculture

L'exploitation agricole du Vakinankaratra se caractérise par une très grande diversité des cultures, mais toujours à base de riz de submersion.

Les cultures pluviales viennent en complément du riz des bas fonds, apportant un complément vivrier ou une petite rente. Menées d'Octobre à Mai, les principales cultures pluviales sont: maïs, haricot, patate douce, pomme de terre, soja ; et depuis 10 ans, encore marginale en terme de surface, le riz pluvial. Les cultures de contre saison sont possibles sur les parcelles de rizières : blé, avoine, maraîchage, mais pas de second riz du fait des températures froides d'Avril – Mai à Septembre. Dans les zones de moins de 1000 m on a également du manioc, de l'arachide, quelques *Vigna* et du voandzou (*Voandzeia subterranea*). Le maïs domine cependant les paysages avec le haricot et la pomme de terre (FOFIFA-CIRAGRI, 1996).

b) L'élevage : une source de revenu non négligeable

L'élevage de vache laitière constitue une activité très rémunératrice dans la région. L'élevage des zébus comme source de travail existe aussi mais moins importante que la production laitière.

L'élevage porcin demeure une source de revenu complémentaire et la pratique la plus fréquente est l'élevage d'engraissement.

L'activité industrielle

La région du Vakinankaratra est le deuxième pôle industriel de Madagascar mais ces unités industrielles ne fonctionnent qu'à 50 - 60 % de leur capacité de production. Cette opportunité permet de développer le secteur primaire pour approvisionner ces industries qui sont essentiellement des industries agroalimentaires (TIKO, SOCOLAIT, STAR...).

La diversité des potentiels de la région lui a toujours attribuée une priorité dans les actions de développement. Elle illustre bien l'importance de l'augmentation de la production agricole dans le développement économique du pays.

1.4.2. Le cadre institutionnel et objectif de l'étude :

1.4.2.1. Contexte général

La présente étude contribue à l'élaboration de nouvelles techniques culturales pour une gestion rationnelle et durable des ressources naturelles. Le constat de la situation agricole actuelle est que l'augmentation de la pression foncière en terres inondées conduit au développement d'une riziculture pluviale sur les collines en adoptant le système de culture en semis direct sur couverture végétale. Une compréhension de ce système et de son fonctionnement s'avère alors nécessaire pour permettre sa diffusion en milieu paysan.

1.4.2.2. Contexte institutionnel : Le PCP SCRID

Le Pole de Compétence en Partenariat «Systèmes de Culture et Rizicultures Durables », le PCP SCRID, a été créé pour répondre à ce besoin. C'est une entité regroupant des chercheurs de 3 institutions nationales et internationales à savoir :

- Le FOFIFA,
- L'Université d'Antananarivo
- Le CIRAD

Ces 3 institutions mettent en concours leur compétence pour entreprendre des recherches portant essentiellement sur la mise en point d'une agriculture durable à travers une approche systémique et pluridisciplinaire. Les recherches sont axées sur trois points :

- Analyse de la transformation du milieu par les systèmes en SCV (restauration de la fertilité, pression parasitaire.)
- Contribution à la diversification des solutions techniques et à l'optimisation du riz pluvial en SCV

- Contribution à l'intégration des innovations riz pluvial sous SCV aux systèmes paysans et à la filière rizicole malgache.

L'ONG TAFA, forte expérience de plusieurs années sur le SCV, s'occupe de la division diffusion des résultats de recherches en milieu paysan.

Le volet diversification des solutions techniques et optimisation du riz pluvial nécessite une accumulation de connaissances sur le fonctionnement du système cultivé et l'obtention d'outils de diagnostic pour caractériser les performances de production et d'influence (positif ou négatif) sur l'écosystème. La mise au point d'outils de diagnostic pour la gestion du système de culture de riz pluvial est donc nécessaire pour déterminer les effets des SCV, et optimiser la fertilisation azotée.

1.4.2.3. *Objectif de l'étude*

Mettre au point les techniques culturales efficaces et économiquement rentables du SCV pour faciliter sa diffusion mais surtout pour sa contribution à l'augmentation de la production agricole vivrière de Madagascar, tel est l'objectif de tous travaux touchant ce nouveau système de gestion du sol. L'étude permettra donc de déterminer sur quel type de système le riz pluvial valorise le mieux la fertilisation tout en considérant les besoins en fourrage de l'agriculture intégrée (culture vivrière + élevage). Mais pour aboutir à ces résultats il faut l'expérimenter sur différents systèmes d'où la nécessité d'outils fiables et efficaces pour caractériser le comportement du riz tout au long de son cycle.

L'objectif de la présente étude se résumera donc en trois points :

- Définir des outils de diagnostic du niveau de nutrition azotée du riz pluvial
- Déterminer sur quel modèle de système de mise en valeur du sol il se développe le mieux
- Estimer sur quel système la productivité est la plus appréciée

1.5. *Conclusion partielle*

La priorité à Madagascar demeure depuis ces dernières décennies l'autosuffisance alimentaire. L'amélioration de la productivité rizicole est une condition impérative pour relever ce défi. Les potentialités du pays peuvent ainsi assurer la faisabilité de cet objectif avec l'intégration d'un système de riziculture durable dans nos systèmes de production. La présente étude contribue à accumuler des connaissances pour la maîtrise de ce système afin d'augmenter son efficacité, notamment l'optimisation de la fertilisation, et de faciliter sa diffusion. La compréhension du fonctionnement du système de culture sous couverture

végétale est donc nécessaire. De plus la conduite d'une fertilisation repose sur la compréhension de la nutrition azotée du peuplement cultivé et l'établissement d'outil de diagnostic de son statut azoté. Ces deux points nous amènent à porter un intérêt particulier sur la nutrition du riz et la fertilisation du riz pluvial sur les Tanety.

**2^{EME} PARTIE : IMPORTANCE DE
L'AZOTE DANS LA PRODUCTION
RIZICOLE ET FERTILISATION DU RIZ
PLUVIAL**

2ème partie : Importance de l'azote dans la production rizicole et fertilisation du riz pluvial

2.1. Généralités sur le riz

Le riz cultivé appartient à la famille des Graminées du genre *Oryza* et présente une grande diversité de forme. Selon les variétés il peut être de culture aquatique ou de culture sèche.

C'est une herbacée annuelle avec un cycle moyen de 80 à 250 jours. A Madagascar le riz est cultivé partout même dans des altitudes supérieures à 2000m. En culture sèche, il nécessite un sol riche et meuble avec une bonne capacité au champ et un pH maximum de 6 à 7.

2.2. Physiologie et besoins azotés du riz

Le cycle du riz peut être classiquement divisé en trois phases :

- La phase végétative : du semis au début de la formation des organes reproducteurs
- La phase reproductive qui correspond à l'épiaison et la floraison
- La phase de maturation qui correspond au stade de remplissage des grains.

A la phase végétative, les besoins azotés pour la germination sont assurés par les réserves nutritives du grain ; par contre, à la levée jusqu'au fin tallage, le plant est dépendant de son milieu. La disponibilité en azote devient alors limitant pour un bon développement végétatif.

A la phase productive les besoins seront évalués en fonction de la matière végétative produite. Plus le riz présente un tallage important plus il a besoin d'azote pour subvenir à l'élaboration de ses organes producteurs.

A la maturation, les besoins sont faibles voire nuls car le remplissage des grains dépend de la capacité d'accumulation des réserves azotées de la plante durant sa phase végétative.

Les stades critiques suivants peuvent être définis dans l'approvisionnement en azote du riz au cours de sa croissance :

- A la levée
- Au moment du tallage maximum
- A la formation des panicules

- A l'épiaison

2.3. Dynamique de l'azote du sol vers la plante

Les besoins d'une culture peuvent être définis comme un ensemble de conditions qui permettent d'atteindre le potentiel de la variété utilisée. Dans le cas de l'azote, ces conditions sont déterminées par trois facteurs principaux :

- Facteur qualité : la présence de plusieurs formes d'azote dans le sol (azote assimilable) rend moins négligeable sa considération dans la nutrition azotée.
- Facteur cinétique : la grande mobilité de l'azote dans le sol et à l'intérieur de la plante contraint à définir la dynamique d'absorption de l'azote par la plante. La connaissance de cet aspect dynamique permet de préciser les stades critiques de la croissance du végétal.
- Facteur quantité : désignée généralement comme étant les besoins globaux de la plante nécessaires à la production d'une unité de produit final. On estime que 16 à 24 Kg d'azote sont nécessaires pour produire une tonne de paddy.

2.3.1. Les différentes formes d'azote du sol

Dans le sol, l'azote se présente à 95 % sous forme organique et à 5 % sous forme minérale.

2.3.1.1. L'azote organique du sol

Il s'incorpore à la fraction organique du sol et constitue une réserve azotée appréciable qui par libération lente et progressive met à la disposition de la plante l'azote minéral. Le sol renferme une proportion importante d'azote organique facilement biodégradable tel que :

- 34 à 50 % de protéines
- 3 à 10 % d'acides aminés
- 5 à 10 % d'aminosucres

Le taux annuel de minéralisation est 1.5 à 2 % en climat tempéré mais il est beaucoup plus important en milieu tropical.

2.3.1.2. L'azote minéral du sol

L'azote minéral du sol peut être de l'azote ammoniacal et ou de l'azote nitrique, provenant essentiellement de la décomposition de la matière organique du sol.

L'azote ammoniacal

On l'obtient de l'ammonification de l'azote organique : l'ensemble de deux processus biochimiques assurés par la microflore du sol :

- L'aminisation ou la formation de l'azote amine



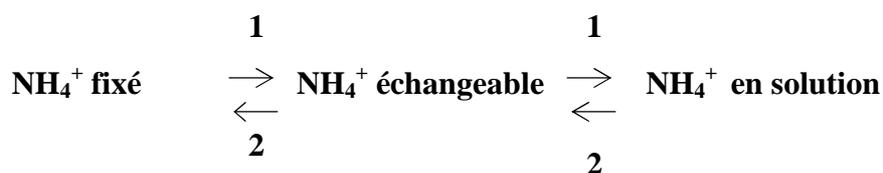
- L'ammonification ou la formation de l'azote ammoniacal



L'ammonium peut se trouver sous différents états dans le sol :

- Etat échangeable
- Etat dissout
- Etat lié

Ces formes ammoniacales présentent une réaction d'équilibre dans le sol



1 : évolution vers la forme assimilable

2 : rétrogradation

Le devenir de l'azote ammoniacal est multiple :

- Immobilisé par la microflore du sol
- Oxydé en nitrite puis en nitrate
- Complexé sous forme très stable par la matière organique du sol
- Retenu par les minéraux argileux du sol : retenu par la fraction argileuse
- Perdu par volatilisation sous forme de gaz ammoniac ou par lessivage

D'une manière générale, la quantité d'azote ammoniacal libéré dans le sol est fonction de la quantité d'azote organique à métaboliser et des substances carbonées c'est-à-dire du rapport C/N de la matière organique minéralisée.

L'azote nitrique

Il résulte de l'oxydation de l'azote ammoniacal par les micro-organismes nitrificateurs lorsque les conditions écologiques leurs sont favorables. C'est la forme de l'azote absorbée par la plupart des plantes.

Selon la nature des micro-organismes, deux sortes de nitrification peuvent être distinguées :

- La nitrification hétérotrophe, d'importance secondaire, est due à des micro-organismes qui sont incapables d'utiliser la réaction d'oxydation de l'azote comme seule source d'énergie pour leur synthèse cellulaire.
- La nitrification autotrophe, qui revêt une grande importance agronomique, est le fait de micro-organismes tirant toute leur énergie de cette oxydation.

Dans le sol plusieurs facteurs peuvent influencer l'activité des bactéries nitrifiantes, la quantité des nitrates produits, et par conséquent l'utilisation de l'azote par les plantes :

- La teneur du sol en azote ammoniacal : un excès d'azote ammoniacal consécutif par exemple à un apport massif d'engrais ammoniacaux peut inhiber soit les deux chaînons de la nitrification, soit seulement la nitrification avec accumulation de nitrites dans le sol.
- Le PH de 5.5 – 10.0 correspond à une minéralisation azotée optimale
- La composition de l'atmosphère du sol : processus aérobie mais moins exigeant en O₂, c'est la teneur en CO₂ qui peut devenir un facteur limitant de la nitrification
- L'humidité du sol : en raison de son caractère aérobie, la nitrification souffre d'une très forte humidité qui réduit les échanges gazeux.

Contrairement aux ions NH₄⁺ qui peuvent être retenus ou fixés par le complexe absorbant, l'ion nitrique NO₃⁻ se caractérise par sa grande mobilité dans le sol. Le devenir des nitrates est donc multiple. Etant soluble dans l'eau, il peut être :

- Entraîné en profondeur par lessivage ou subir le phénomène de la dénitrification.
- Absorbé par les végétaux
- Immobilisé par les microorganismes lorsqu'ils disposent d'une source énergétique importante (C/N élevé)

L'évolution de l'azote du sol est régie par deux principaux processus biologiques :

- la minéralisation ou la transformation de l'azote organique en azote minéral ;
- et la réorganisation ou la transformation de l'azote minéral en azote organique

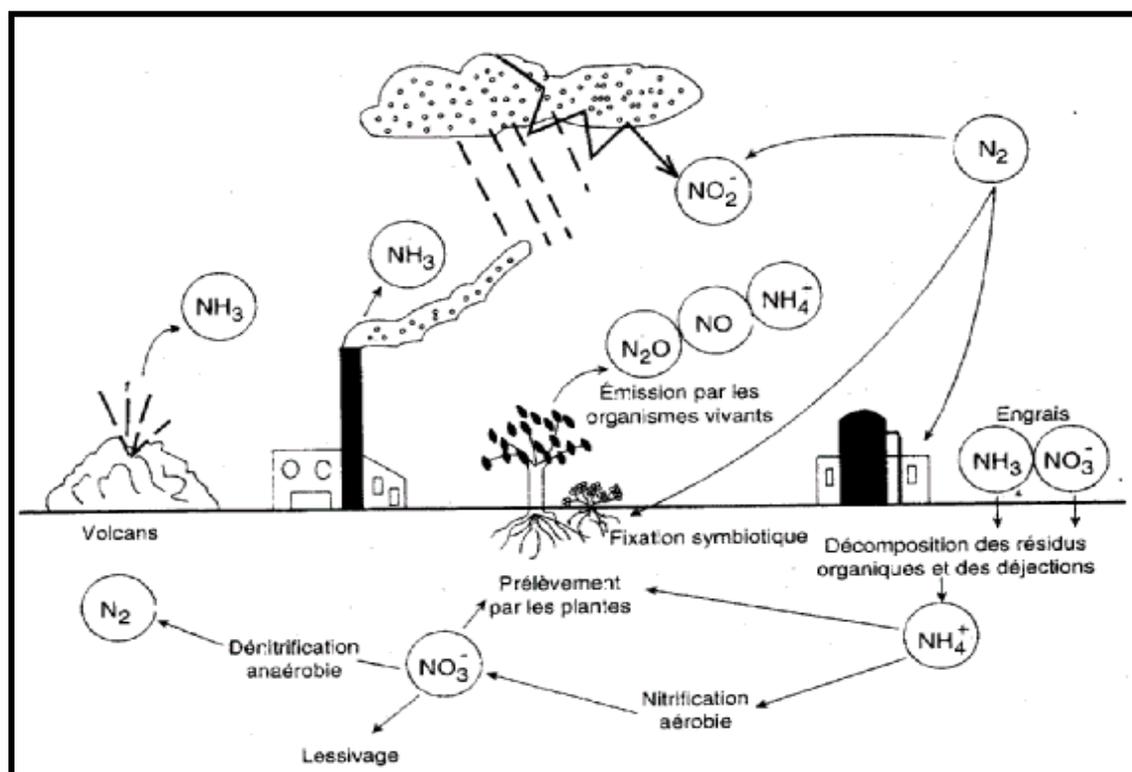
La dynamique de l'azote dans le sol et l'effet de SCV sur la disponibilité de l'azote se caractérisent par l'alternance des processus de minéralisation et de réorganisation. Elle est très complexe car elle repose sur l'activité des colonies microbiennes.

En condition normale (population microbienne en présence d'un support énergétique favorable), les deux processus, peuvent être assez rapide (2 à 3 mois). Dans le sol, ils se développent simultanément de sorte qu'un effet net de différence entre les deux processus est observé. Lorsque la minéralisation l'emporte sur la réorganisation, il y a accumulation d'azote minéral dans le sol ; on dit qu'il y a une minéralisation nette. Sur le plan agronomique, c'est la minéralisation nette qui est importante puisque l'approvisionnement en azote de la plante se fait en général à partir de l'azote minéral disponible du sol.

2.3.2. Cycle de l'azote

D'une forme à l'autre l'apport d'azote et sa transformation définissent un cycle où une combinaison complexe de mécanismes biologiques, physiques et chimiques permet à tout atome d'azote de passer d'une forme moléculaire à une autre et revenir à sa forme de départ (STEVENSON 1992). D'après le schéma suivant une faible partie de l'azote atmosphérique est entraînée au sol par les précipitations, et l'azote assimilé par les organismes vivants est restitué au sol après décomposition de la matière organique végétale et animale.

Figure 1 : Schéma du cycle de l'azote



Source : M. GAUDRY 1997

2.3.3. Origines de l'azote du sol

L'azote a plusieurs provenances définissant chacune l'importance de la forme d'azote contenue dans le sol.

2.3.1.1. *Origine atmosphérique*

L'azote atmosphérique (78 % en volume) représente la principale source d'azote de la planète. On peut trouver dans l'atmosphère de l'azote ammoniacal (NH_3) et des oxydes d'azote (N_2O , NO_2 , NO). Le NO_3^- est surtout le produit de l'oxydation du N_2 par l' O_2 ou par l'ozone sous l'effet des éclairs et des radiations.

2.3.1.2. *Origine organique*

L'azote incorporé dans la matière organique dérive de l'azote atmosphérique par les différents processus de biosynthèse. La restitution des matières végétales et autres résidus organiques constitue donc une source d'azote pour le sol telle le mulching et l'amendement organique.

2.3.1.3. *La fertilisation :*

La fertilisation constitue une source d'azote important pour le sol. En effet selon qu'elle soit minérale ou organique son objectif demeure la couverture des besoins nutritifs pour la production végétale. Elle évite l'épuisement des ressources du sol et contribue à sa restructuration physique, chimique et biologique.

2.4. *Mécanisme d'assimilation de la plante*

L'assimilation se décompose en deux phases successives :

- La réduction du NO_3^- en NH_4^+
- Le passage de l'azote minéral en azote organique

2.4.1. Les formes d'absorption de l'azote par le riz

L'azote disponible pour la plante se trouve dans le sol sous forme minérale. L'absorption du nitrate et de l'ammonium par les racines est la principale voie d'entrée de l'azote dans les chaînes alimentaires.

2.4.1.1. *Assimilation de l'azote nitrique*

L'absorption au niveau des racines concerne généralement l'azote sous forme nitrique. Le nitrate est réduit en nitrite et est rapidement converti en ammonium dans les racines et ou les feuilles pour entrer dans les voies de synthèse des substances azotées.

2.4.1.2. *Assimilation de l'azote ammoniacale*

L'absorption ammoniacale est plus importante dans les sols acides. L'ammonium, quelles que soient ses origines, est assimilé pour donner des acides aminés précurseurs des protéines au niveau des racines. Il est à remarquer que l'absorption de l'ion ammonium peut entraîner une acidification du milieu et des perturbations de la physiologie de la plante (syndrome ammoniacal)

2.4.2. L'absorption de l'azote par le riz

Le riz est une plante nitricole mais il peut très bien s'adapter aux conditions de la nutrition ammoniacale. En effet le jeune plant de riz assimile mieux l'azote ammoniacal, celui-ci entraîne une nette amélioration de la croissance végétative ; le tallage est plus important ainsi que le nombre de panicules par pied.

La plante adulte par contre donne une meilleure réponse à l'azote nitrique car il augmente le nombre de grains par panicule et le poids moyen de 1000 grains.

Le rendement sera donc beaucoup plus important si le riz est approvisionné en azote ammoniacal pendant la période végétative jusqu'à l'initiation florale, puis en azote nitrique pendant la seconde partie de sa croissance.

L'absorption azotée reste par contre limitée par différents facteurs qui régissent leur disponibilité.

2.4.2.1. *Facteurs influençant la nutrition azotée de la plante*

La dynamique et la limite de l'absorption azotée d'une plante sont soumises à des facteurs biotiques propres à l'espèce végétale et des facteurs abiotiques qui dictent la disponibilité des éléments nutritifs et les besoins de la plante.

Facteurs biotiques

Ils concernent les caractéristiques de la variété et de la culture

a) Le stade végétatif

Au cours de son cycle le riz absorbe de façon continue de l'azote. En général cette absorption suit la croissance de la plante et évolue d'une façon dynamique selon le stade phénologique :

- De la levée au début tallage: la quantité absorbée représente moins de 10 % du total
- Du tallage au début de l'allongement des entrenœuds : la fraction prélevée au sol est évaluée entre 40 - 50 %
- Du plein tallage à la montaison : l'absorption est très intense avec 80 - 90 % de la quantité totale d'azote contenue dans la plante.
- A la maturation : elle est presque nulle.

b) Le potentiel variétal

Quelles que soient la quantité et la qualité d'azote absorbé, les variétés cultivées se comportent différemment pour subvenir à leur besoin azoté.

Les variétés à fort tallage présente une absorption plus élevée au début de la végétation.

Les variétés à haut rendement peuvent accumuler et absorber une grande quantité d'azote tout au long de sa croissance. Pour une biomasse donnée, quelque soit la quantité d'azote apportée au peuplement, la teneur en azote totale peut atteindre 160 % de la teneur critique (Justes et al. 1994) (c'est la teneur en N minimale à la quelle la production de matière sèche maximale est observée, cette teneur permet de discriminer les peuplements où l'azote limite la croissance et où l'azote n'est pas limitant).

Selon aussi la longueur du cycle, l'absorption de l'azote est différente. Pour une variété tardive les besoins azotés sont beaucoup plus importants et l'absorption s'étale même après l'apparition de l'inflorescence.

Les variétés qui réagissent bien à un apport d'azote présentent les caractéristiques suivantes :

- Tiges épaisses et rigides
- Feuilles érigées et inertes de largeur moyenne
- Rapport grain /paille = 1.1
- Taux de photosynthèse élevé
- Activité racinaire intense

c) La conduite culturale

La densité de culture et l'infestation des mauvaises herbes influent sur la qualité et la quantité d'absorption azotée du plant. En effet la nutrition minérale dépend de la possibilité de rencontres entre les racines et les substances à absorber. Une concurrence entre les systèmes racinaires des plantes s'installe et diminue de ce fait la capacité d'absorption des racines et les quantités d'éléments disponibles à assimiler.

Une bonne conduite culturale compatible avec le type de sol joue donc un rôle important dans la nutrition du riz. L'apport de fumure azotée est une technique qui exerce une influence sur les réserves du sol et sur la dynamique de l'absorption de la plante.

Facteurs abiotiques :

Les facteurs abiotiques sont les conditions du milieu de développement de la plante à savoir les conditions climatiques et pédologiques.

a) Température

On peut définir une température optimum pour une absorption maximale d'azote. L'existence d'une étroite relation entre la température et le développement de chaque organe et les exigences physiologiques du riz peut expliquer cela. De plus la température joue un rôle non négligeable sur l'activité microbologique pour la minéralisation de l'azote du sol. La température contribue ainsi à la disponibilité de cet élément donc à une amélioration de la nutrition de la plante.

b) La lumière

L'intensité de la radiation solaire induit à la plante une importante absorption azotée. En effet la quantité d'énergie lumineuse perçue par la plante conditionne son activité photosynthétique donc ses besoins en matières plastiques et particulièrement l'azote. La période critique des besoins de la plante en radiations solaires se situe à la phase d'initiation paniculaire jusqu' au dixième jour avant la maturation.

c) Le flux hydrique

Le régime hydrique favorise la disponibilité et la mobilité de certains éléments du sol. L'excès d'eau asphyxie les racines et ne permettent pas une bonne nutrition azotée, de plus cela favorise les pertes d'éléments par lessivage. Une faible capacité de rétention du sol limite la libération des éléments minéraux dans la solution du sol et l'activité des micro-organismes décomposeurs.

d) L'offre du sol

La productivité des variétés cultivées est fonction de la fertilité du sol car l'importance de la quantité d'azote absorbée par la plante varie avec la quantité disponible dans le sol. Cette dernière dépend pourtant de la vitesse de minéralisation de l'azote organique. La fertilité du sol se définit donc par ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. En effet dans des conditions de structure et de porosité favorable au développement des systèmes racinaires et d'une activité microbiologique normale, les réserves en matières organiques du sol constituent les sources d'éléments nutritifs et le bon développement des racines assurent l'absorption optimale pour la croissance de la plante.

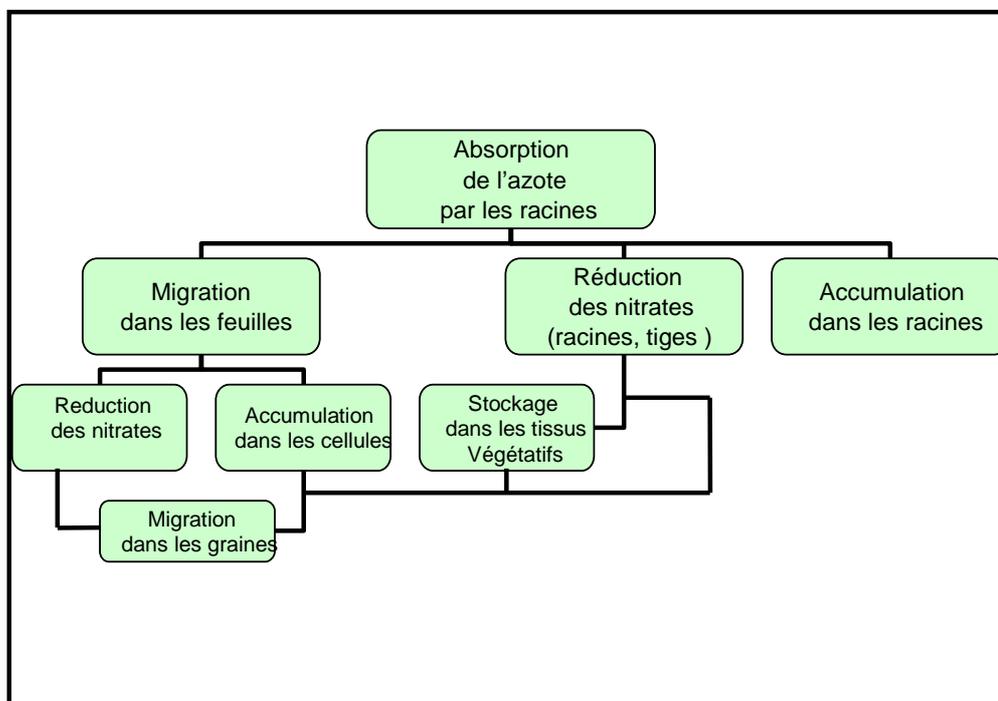
2.4.3. Devenir de l'azote dans la plante

L'azote est un élément primordial dans la constitution de la plante et il limite généralement la productivité des peuplements cultivés.

2.4.3.1. Différentes formes et teneur en éléments azotés dans la plante

Absorbé sous forme minéral au niveau des racines, le flux de l'azote dans la plante peut se schématiser comme suit :

Figure 2 : Flux de l'azote au sein de la plante



Source : Adapté de Justes, 1997

L'azote peut se présenter dans la plante sous différentes formes qui constituent leur forme de réserves et d'insertion dans l'organisme végétal.

Tableau 3 : Les différentes formes de l'azote dans la plante

Formes d'Azote		Part de la quantité d'azote totale dans la plante
Azote minéral	Nitrate, nitrite, ammonium	5 %
Azote organique	Acides aminés	5 %
	Protéines	80 %
	Acides nucléiques	10 %

Source : Adapté de MENGEL et al. 1987

2.4.3.2. *Accumulation de l'azote et notion de teneur critique*

La distribution des différentes formes d'azote dans la plante est relativement uniforme avec en général une diminution graduelle en fonction du stade végétatif du plant.

La forme minérale est un état transitoire en attendant la biosynthèse. Le nitrate peut ainsi s'accumuler dans les vacuoles. La forme protidique se trouve dans les chloroplastes des jeunes feuilles et les organes de réserves tels les grains qui accumulent les acides aminés et autres formes solubles de matières azotées.

Deux points importants sont à considérer dans l'appréciation de l'accumulation de l'azote chez le riz:

- A épiaison et au début montaison, l'accumulation azotée présente un niveau d'intensité à hauteur différente
- La teneur en azote dans la plante décroît en fonction de la biomasse produite, ce qui définit une teneur critique en azote de la croissance du riz.

La *teneur critique* en azote peut se définir comme la teneur minimale d'azote à la quelle la production maximale est observée. De ce fait elle détermine une limite entre la situation de nutrition azotée sub-optimale et une situation de nutrition supra optimale à l'égard de l'accumulation de biomasse (Gastal et Lemaire, 1997). L'observation de la diminution systématique de cette teneur avec l'augmentation de la biomasse conduit aussi à l'établissement d'une courbe de dilution de l'azote où la concentration azotée de la plante se dilue au fur et à mesure qu'elle continue sa croissance végétative.

Tableau 4 : Niveau critique de l'azote dans les plantes de riz

Stade de développement	Situation physiologique	Teneur critique en N en % de MS	Partie du végétal analysée
Tallage	Photosynthèse nulle	0.7	Feuille
	Niveau saturé à la photosynthèse	2.0	
	Tallage nul	2.0	
	Tallage maximal	4.0	
	déficience	2.5	
Montaison		2.5	Feuille
Maturation		1.2-1.8	Feuille
Récolte		0.9-1.0	Feuille
		0.5	Paille

Source : RANDRIANJATOVO, 1982

2.4.3.3. *Remobilisation de l'azote et notion de sénescence*

La remobilisation correspond à une redistribution des réserves d'azote de la plante vers les organes en croissance et les organes producteurs. Il intervient quand l'absorption est faible et se manifeste par un jaunissement progressif de l'ensemble des feuilles : c'est la sénescence. L'azote total contenu dans la plante ne varie donc plus tandis que la matière sèche continue de croître, et la proportion d'azote dans la plante diminue.

Au cours de la sénescence des feuilles, les réserves azotées organiques sont hydrolysées, transformées et mobilisées vers les organes en croissance (remobilisation des organes sources vers les organes puits). Ce processus conditionne chez la majorité des plantes cultivées l'expression du rendement en biomasse. Le remplissage des grains durant la maturation est aussi fort dépendant de ce phénomène.

2.4.4. **Effet de l'azote sur le riz**

Facteur limitant de la production, l'azote agit sur les différents mécanismes de croissance et de développement du riz à savoir : la photosynthèse, et les composantes du rendement.

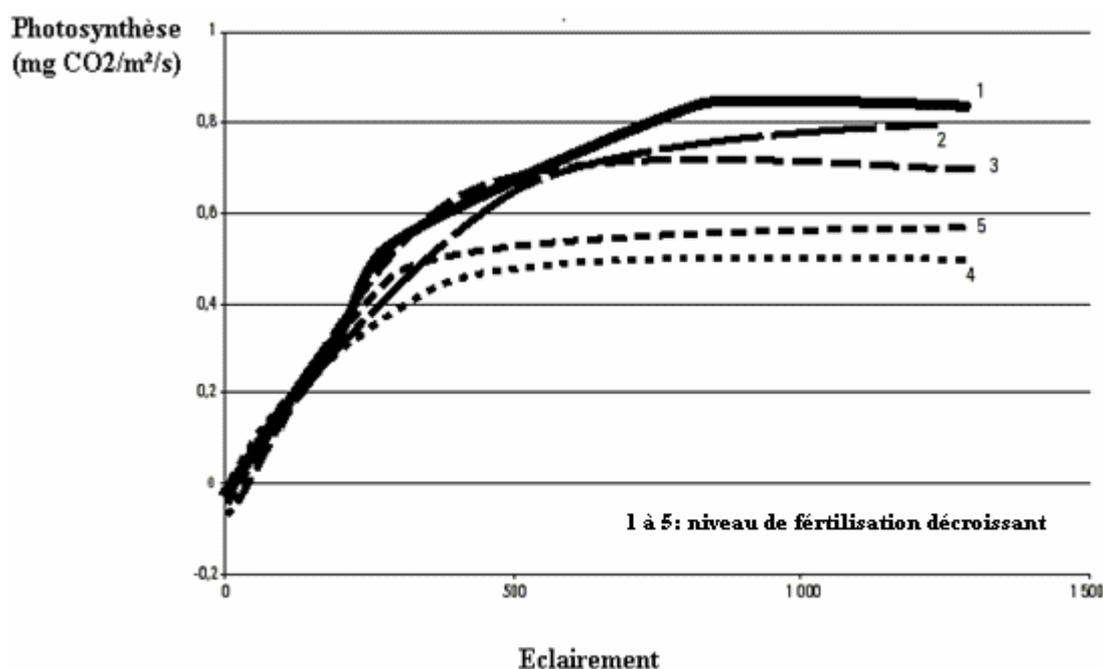
2.4.4.1. *Action sur la photosynthèse*

L'appréciation de la photosynthèse se fait par l'évaluation de la quantité de matière sèche produite par la plante. D'une manière générale l'activité photosynthétique est régie par 3 paramètres : la lumière, la morphologie de la feuille et la Surface foliaire effective. Il s'ensuit que pour chaque variété il existe une surface optimale à laquelle correspond une production maximale de matières sèches. Il se traduit par une augmentation des nombres de talles et des dimensions foliaires.

Le graphe ci-dessous illustre qu'à température fixée, le niveau de nutrition azotée de la feuille conditionne l'activité photosynthétique maximale, en réponse à l'éclairement (photosynthèse à rayonnement saturant). Un niveau supérieur de fertilisation définit une activité photosynthétique plus élevée à intensité d'éclairement égale.

L'allure croissante de la courbe montre l'aspect dynamique de l'activité photosynthétique au cours de la croissance de la plante.

Courbe 1 : Effets de la nutrition azotée sur la réponse de la photosynthèse (Gastal et al, 1997)



En comparant les différentes courbes selon les niveaux de fumure azotée, l'action de l'azote est très marquée sur la photosynthèse exprimée par la quantité de CO₂ accumulée c'est à dire la quantité de matières carbonées accumulées (biomasse produite).

Au cours du tallage, la biomasse synthétisée correspond à moins de 10 % de la matière sèche totale produite, elle passe à 25 % au début de la montaison par l'accroissement des feuilles et des tiges ; elle se trouve augmenter à 70 - 80 % du poids sec entre l'épiaison et la floraison. Cette intense activité de la plante en un temps relativement court entre les stades plein tallage et épiaison est d'une importance capitale car le rendement final en grains dépendra de cette période.

2.4.4.2. *Action sur les composantes du rendement*

Une autre façon de constater l'effet de l'azote sur le riz consiste à analyser son action sur le rendement, plus particulièrement sur ses composantes qui conditionnent la production.

Par définition, le rendement en grain peut s'établir selon la relation suivante :

Rendement (poids/unité de surface) = **Nombre de pied/unité de surface x Nombre de talles/pied x Nombre de panicules / talle x Nombre d'épillets par panicule x Pourcentage de grains pleins x Poids de 1000 grains**

Effet de l'azote sur le nombre de panicule et d'épillets

Le nombre de panicule dépend du nombre de talles. Pour une variété donnée, un apport croissant d'azote influe la qualité du tallage et assure l'augmentation des tiges porteuses de panicules.

Le nombre d'épillets représente le nombre potentiel en grains par panicule et il détermine le rendement final en grains. Ce nombre varie suivant les variétés et le statut nutritionnel du plant de riz. Il existe en effet une relation étroite entre le nombre d'épillets et la quantité d'azote absorbé pendant la période d'épiaison.

Effet de l'azote sur le pourcentage des grains pleins

L'effet de la nutrition azotée sur le pourcentage de grains pleins peut être mis en évidence en examinant cet effet sur le poids de grains et le pourcentage de grains stériles ou avortés. Lorsque la fertilisation passe de N à 4N, la proportion de grains stériles augmentent de 30 % (HUGUET, 1966). L'avortement peut être dû à une inhibition de la pollinisation ou à de mauvaises conditions de culture ou de milieu : condition anormale d'éclaircissement pendant la maturité, déficit de température, humidité excessive ou insuffisante entre l'épiaison et la floraison, vent violent,

Effet de l'azote sur le poids des grains

Le poids de 1000grains n'est pas directement influencé par le niveau azoté dans un sens. Toutefois l'excès ou le déficit d'azote tend à réduire ce poids : un apport croissant d'azote augmente le nombre d'épillets et contribue à la photosynthèse des glucides. Si le premier phénomène surpasse le second, il en résultera une baisse proportionnelle d'amidon et en conséquence une diminution du poids moyen de 1000grains.

L'action conjuguée de ces diverses composantes de la production se traduit finalement à l'appréciation de la récolte en fin de cycle. On constatera que l'augmentation du rendement est proportionnelle au niveau de fumure azotée appliquée.

2.4.4.3. *Action sur la qualité des récoltes.*

La qualité d'un produit est une notion vague dont la définition reste confuse selon la catégorie de personnes concernées. Pour les plantes alimentaires, la qualité est généralement attribuée à la valeur biologique, c'est-à-dire à sa valeur nutritionnelle définie par l'aptitude de la plante à couvrir les besoins de l'organisme humain.

Des études signalées par RAHERIMANDIMBY (1982) ont montré que parmi les céréales, les protéines du riz sont les plus nutritives ; elles sont relativement riches en lysine (3 à 4 %), acide aminé essentiel généralement limité dans les grains des céréales. Il a été prouvé également que la teneur en protéines est fortement influencée par les facteurs d'origine externe tels que l'environnement (Température, lumière, nature du sol, ...), les techniques culturales, et le type de fertilisation.

En considérant la fertilisation azotée comme étant le principal précurseur de la qualité que l'agriculteur peut manipuler, des modifications dans la valeur nutritive des protéines peuvent être obtenues en jouant sur le taux, la date et le mode d'épandage de l'engrais :

- Un apport modéré d'azote modifie peu la teneur en protéine du grain ;
- Une forte fumure (dose supérieure à 90 Kg de N /Ha) augmente les protéines brutes au détriment de la qualité. Un accroissement de la teneur en protéines est dû à l'augmentation de la fraction de glutéline (fraction protéinique formant 70 à 83 % de protéines de réserves du grain), ce qui diminue la qualité protidique du grain, étant donné que la glutéline est pauvre en lysine.
- Un apport précoce d'engrais azoté, pendant la phase végétative stimulera l'activité photosynthétique. On augmente donc la matière glucidique formée, c'est-à-dire le rendement sans modifier de façon appréciable la teneur en protéines du grain ;
- Un apport tardif (un peu avant ou après la floraison) n'accroît pas le poids des grains mais enrichit ce dernier en matières protidiques. Cet accroissement de la teneur en protéines des grains par la nutrition azotée tardive modifie la composition en acides aminés des protéines. Le taux de glutamine, tyrosine, arginine augmentent, celui de l'isoleucine varie moins tandis que les proportions des autres acides aminés diminuent passivement, et fortement dans le cas de la lysine.
- Le fractionnement rehausse la qualité de la protéine jusqu'à un optimum au dessus duquel la qualité baisse alors que la teneur en protéine brute continue à monter.

2.5. La fertilisation du riz pluvial sur les tanety malgaches :

La fertilisation est une pratique culturale importante qui consiste à corriger, améliorer et conserver la fertilité du sol. Cette fertilité se définit comme l'aptitude du sol à mettre à la disposition d'un peuplement végétal les conditions physiques, chimiques et biologiques nécessaires et favorables pour une production optimum et économiquement rentable.

Elle considère donc :

- L'objectif de production caractérisé par la culture : le riz pluvial
- Les caractéristiques du sol : les Tanety
- L'aspect économique de la production : rentabilité de la fertilisation.

2.5.1. Besoins de production du riz pluvial

En système pluvial, les besoins azotés restent le principal facteur limitant de la croissance et de la production. Le riz puise ses éléments nutritifs dans la solution du sol qui dépend du régime hydrique (pluviométrie) et de la porosité définissent une disponibilité variable pour la plante.

L'exportation du riz pluvial en fonctions des parties récoltées s'estime comme suit :

Tableau 5 : Exportation minérale du riz pluvial suivant les parties effectivement ramassées

Partie récoltée	Quantité produite (Kg /Ha)	Exportation (Kg/T de récolte)		
		N	P2O5	K2O
Grains seuls	1500	17.1	6.9	3.6
Parties aériennes	2000	34.3	10.3	37.8
Total	3500	51.4	17.2	41.4

Source : PIERI, Mémento de l'agronome, 2002

La fertilisation d'un système pluvial doit donc contribuer à l'amélioration de la structure physique et de la capacité de rétention en eau du sol. Les corrections de la capacité d'échange varient par contre suivant le type de sol cultivé (richesse).

2.5.2. Caractéristiques et mise en valeur des Tanety

Cliché 1 : Tanety de vaine pâture ferme d'Andranomanelatra :



Source : R. Michellon, 2003

Ce sont généralement des sols ferrallitiques acides et pauvres dont la plupart peuvent retrouver plus ou moins facilement une bonne fertilité après amélioration de leur propriété physico-chimique (RABEZANDRINA, 2000) essentiellement par un apport de matières organiques. L'amendement organique doit être accompagné d'un apport azoté pour éviter le problème de la faim d'azote. On préconise donc :

- 20 à 40T de fumier avec
- 30 à 60Kg /Ha de N.

Toutefois il a été prouvé qu'il est possible de cultiver les Tanety sans apport de matières organiques par l'utilisation d'une forte fumure minérale de fond mais le coût de celui-ci revient trop cher pour un système paysan. L'amélioration des sols ferrallitiques repose donc essentiellement sur la matière organique ; l'intégration du système sous couverture végétale ne peut être que bénéfique dans ce sens.

2.5.3. Principes économiques de la fertilisation

Le principe de la fertilisation, outre la conservation et la reproductivité du système, repose toujours sur une finalité de rentabilité économique.

En particulier la fumure azotée constitue un investissement non négligeable et elle pose de ce fait à l'agriculteur des problèmes délicats car :

- L'azote a une action très marquée sur la culture : un manque se traduit par une perte de rendement et un excès entraîne des accidents végétatifs et de perte de rendement ou de qualité.

- L'azote est très mobile dans le sol : sa forme minérale ne peut être stockée sur une longue période sans risque de lessivage ou d'immobilisation.

Il doit donc :

- Evaluer les doses à apporter et déterminer l'époque d'application
- Obtenir le maximum de profit de la fumure employée par un mode d'application adéquat, un fractionnement de l'apport mais surtout une bonne maîtrise des mauvaises herbes
- Prendre en considération l'étude économique de l'emploi des engrais non seulement pour déterminer l'optimum économique mais aussi relever les obstacles à son emploi

Une conduite efficiente de fertilisation du riz pluvial nécessite aussi bien pour l'agriculteur que les chercheurs des outils de diagnostic pertinents et spécifiques afin de déterminer le niveau de satisfaction de besoins azotés du peuplement, les dates d'application et le niveau de l'offre du sol.

2.6. Les outils de diagnostic du statut azoté appliqués au riz

2.6.1. Les indices visuels basés sur la coloration des feuilles

Le diagnostic visuel est une méthode simple de détermination des besoins nutritionnels de la plante. L'observation visuelle de la plante permet de déceler des carences azotées graves. Elles se manifestent par des symptômes visuels divers :

- Symptômes foliaires sur les feuilles âgées et les feuilles inférieures (apparition de teinte vert clair à jaune pâle sur les feuilles, suivie d'une nécrose évolutive vers un dessèchement et mort prématuré des feuilles les plus basses)
- Anomalies dans la croissance des parties végétatives (talles réduites, feuilles supérieures réduites et érigées, tiges minces)
- Anomalies dans la croissance générale (plante chétive, rabougrie, tendance à une maturation)

L'allure de croissance (hauteur et phyllochrone) peut aussi renseigner sur le niveau de satisfaction de ses besoins quand on considère l'azote comme le facteur limitant de la croissance végétative.

L'examen visuel permet à l'agriculteur une possibilité d'intervenir vite et d'effectuer la correction de la carence dans l'immédiat mais il est peu fiable de part sa subjectivité.

2.6.2. L'utilisation d'appareil de mesures de l'appréciation de l'état de verdissement des feuilles :

2.6.2.1. *La Charte de couleur des feuilles (Leaf color chart, Lcc)*

La note Lcc est attribuée en apposant derrière le limbe une carte présentant une gamme de six couleurs numérotées de 1 à 6 (ANON, 1998) et en retenant la couleur la plus proche de celle du limbe. C'est une mesure par réflectance qui prend en compte la perception globale de couleur produite par différents pigments du limbe à l'échelle de la carte.

2.6.2.2. *Le SPAD Chlorophyll meter*

La chlorophylle est un pigment présent dans la plante qui capte la lumière utilisée lors de la photosynthèse. La teneur en chlorophylle dans les plantes est en relation avec la teneur en azote de la plante.

Le SPAD (ou chlorophyll meter) est un outil de diagnostic simple, portable qui est utilisé pour estimer la teneur en chlorophylle in situ d'un végétal par mesure de la quantité de lumière transmise à travers la feuille (valeur SPAD, Soil Plant Analyse Development, développé par la société Minolta). Cette teneur peut être mise en relation avec le statut azoté de la plante. Des essais effectués sur le riz irrigué ont montré une relation entre les valeurs lues sur le Chlorophyll meter et la teneur en azote de la feuille telle que : une valeur SPAD de 35 correspond à une teneur en azote de 1.4 à 1.5 g / m² de surface foliaire.

Généralement, la mesure au SPAD augmente avec la teneur en azote apporté. La valeur SPAD peut être affectée par différents facteurs :

- La différence de radiation
- La densité de la plantation
- La variété
- Le statut des autres éléments nutritifs dans la plante
- Les différents stress biotiques ou abiotiques pouvant influencer la coloration de la feuille

2.6.3. Les indices relatifs issus d'essai comparatif au champ

La plante est le révélateur le plus pertinent de l'efficacité d'une fertilisation azotée. Le rendement relatif, issu d'essai comparatif au champ est un critère fréquemment utilisé. L'augmentation de rendement est liée à la disponibilité de l'azote pour les besoins de la plante. L'expérimentation directe au champ représente la meilleure méthode pour s'informer

de la fertilité d'un sol et des besoins de la plante en éléments nutritifs parce qu'elle tient compte à la fois du système sol - climat - engrais.

Selon l'orientation des essais, les méthodes expérimentales sont nombreuses. Les plus pratiquées sont :

- La méthode soustractive
- La méthode factorielle
- La méthode des courbes de réponse

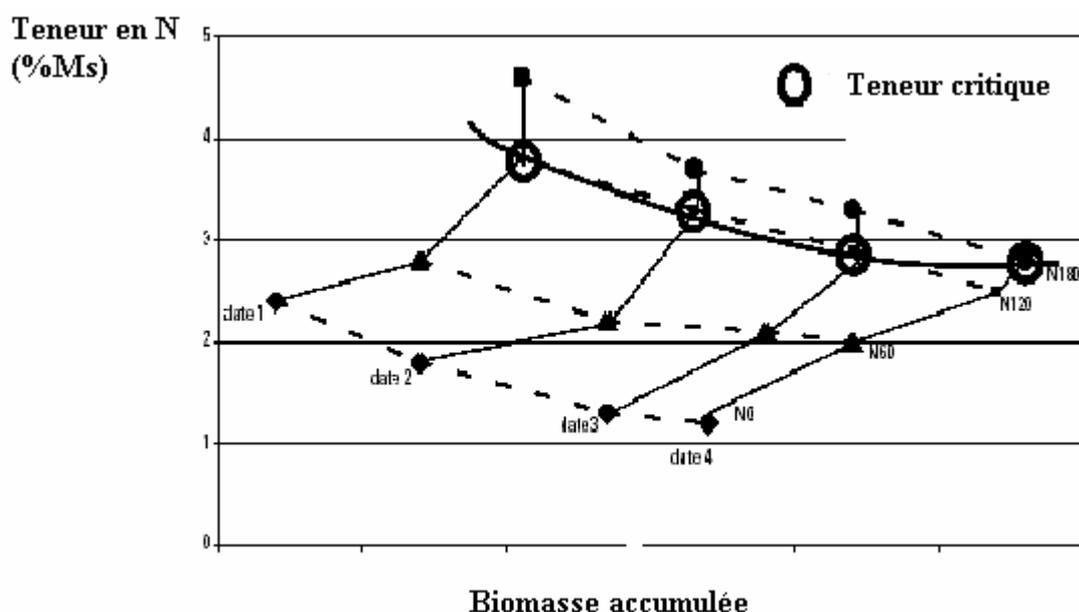
2.6.4. Les indices de nutrition azotée fondés sur la teneur en azote total des parties aériennes

Mesurer les teneurs en azote des plantes afin de détecter des carences azotées et de contrôler la fertilisation n'est efficace que si la partie à prélever est représentative du statut azoté de la plante. Il faut considérer que le principe de l'analyse minérale repose sur le fait que les fluctuations de l'alimentation minérale traduisent des teneurs variables en éléments minéraux du végétal.

Le prélèvement d'azote par les cultures au cours de leur croissance a été mesuré et décrit par une relation appelée loi de dilution de l'azote. A partir du poids de la matière sèche aérienne et de sa teneur en azote, une courbe critique est établie, au delà de laquelle l'azote devient un facteur limitant de la croissance.

L'azote est considéré comme le facteur limitant le plus important avec l'eau, les besoins des plantes étant maximaux lors de la phase de croissance active. A l'échelle du peuplement, la concentration en azote des plantes décroît avec la biomasse accumulée, et est d'autant plus faible que la fertilisation est limitante. On définit alors à chaque instant la concentration critique comme la concentration minimale permettant la croissance optimale (ni carence azotée, ni consommation de luxe), puis l'indice de nutrition azotée (Nitrogen Nutrition Index) : le rapport de la concentration observée à la concentration critique. Cet indice permet de porter un diagnostic sur le niveau de satisfaction des besoins.

Courbe 2 : Détermination de la teneur critique en azote d'un peuplement cultivé:



Source : Gastal et Lemaire, 1997

A différents stades du plant on a une quantité de matière sèche accumulée qui correspond à une teneur en azote donnée. La courbe précédente montre que cette teneur diminue au fur et à mesure que la plante produit de la biomasse.

2.6.5. Le traçage de l'azote ^{15}N :

C'est une méthode basée sur l'analyse de la matière sèche aérienne et du dosage de la teneur azotée de la plante par méthode de dilution isotopique. En fournissant à la plante une alimentation azotée avec une proportion connue d'azote ^{15}N , on détermine par le dosage de cet élément isotopique la teneur totale d'azote que la plante a prélevé de la source radioactive. Cette méthode permet donc :

- d'estimer la capacité du sol à couvrir les besoins de la plante
- suivre le devenir de l'azote dans la plante et d'estimer ses besoins au cours du cycle
- estimer l'efficacité de l'engrais.

De nombreuses applications peuvent être obtenues de l'emploi de l' ^{15}N notamment en recherche génétique.

La nutrition en azote limite généralement la productivité des peuplements cultivés. La compréhension et la prévision des relations entre assimilation de l'azote et devenir de celui-ci dans la plante en relation avec les cinétiques d'absorption sont les bases essentielles de la maîtrise de la production. Ainsi comprendre les relations entre nutrition azotée et productivité du riz pluvial d'une part et élaborer des outils de diagnostic de son état azoté d'autre part permettent d'ajuster les apports d'éléments azotés au strict besoin de la culture selon les potentialités des tanety et les objectifs de production optimale.

**3^{EME} PARTIE : ETUDE
EXPERIMENTALE**

3ème partie : L'étude expérimentale

3.1. Rappel de l'objectif

L'expérimentation a pour objectif de tester différents indicateurs de la nutrition azotée du riz pluvial. Les essais consistent à comparer la croissance et le développement des cultures en fonction de différents niveaux de fumure et de système de culture (SCV – Labour, rotation et succession de graminées – légumineuses). Les indicateurs seront évalués sur la base de ces comparaisons.

3.2. Les sites d'expérimentation

3.2.1. Caractéristiques générales

Le travail a été effectué sur deux sites différents :

- La Matrice expérimentale du PCP comme dispositif principal
- Les parcelles de démonstration du TAFa en dispositif complémentaire.

Les sites sont situés à Andranomanelatra à 17 Km au Nord d'Antsirabe. Les conditions climatiques de la période d'étude peuvent se caractériser par une période particulièrement sèche de Mars à Septembre et une période favorable à l'installation de la culture pluviale d'Octobre à Mars. La température moyenne est de 20° C avec une pluviométrie moyenne mensuelle de 104,33 mm.

Le sol est de type ferralitique sur dépôt flaviolacustre avec une structure assez compacte en surface.

3.2.2. Le site d'expérimentation du PCP SCRID

Installé depuis 1999, le dispositif a été conçu pour une approche multidisciplinaire : Evaluation agronomique, sélection variétale, suivis en entomologie et phytopathologie.

Le site s'étend sur 3Ha environ. Le dispositif est constitué de 6 systèmes de culture avec deux modes de gestion du sol (Labour et semis direct) en répétition sur 4 subdivisions (A, B, C, D).

3.2.3. Le site de TAFa

Site vitrine de démonstration de l'efficacité du système de culture de l'ONG TAFa, il est fonctionnel depuis 1991. Le dispositif s'installe sur une topo séquence complète de

2.87Ha qui va des plateaux sommitaux jusqu'au bas fonds. Des systèmes de culture de rotation et d'association riz pluvial /légumineuses/ graminées de couvertures y sont essayés.

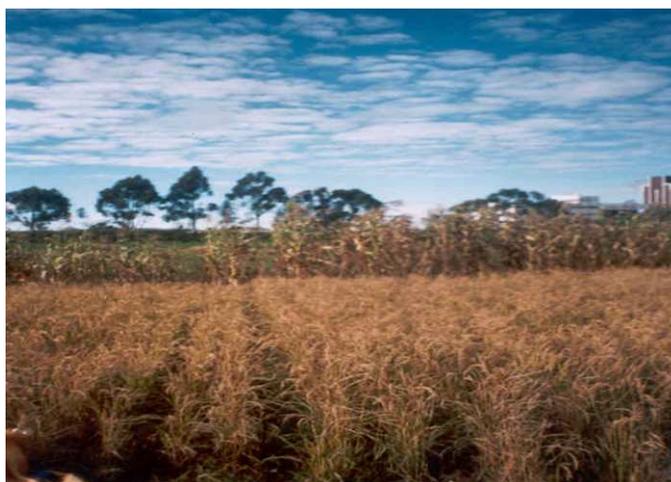
3.3. Méthodologie d'approche

Nous concentrons notre étude sur la fertilisation du riz pluvial et l'évaluation du système où il est le plus productif. Les deux différents sites sont estimés selon leur âge de fonctionnement pour nous permettre de vérifier l'effet SCV dans le temps notamment sur la valorisation de la fumure.

3.3.1. Le dispositif expérimental :

3.3.1.1. Dispositif principal : Matrice PCP :

Cliché 2 : Matrice PCP, Andranomanelatra (assolement riz pluvial et maïs + soja)



Source : Auteur, 2004

Sur les 6 systèmes de la matrice, deux ont été choisis pour l'étude :

- Système R3 (riz / maïs + *Brachiaria*) SCV : Le système définit comme culture principale le riz. L'association maïs/ *Brachiaria* sert à la recherche d'une efficacité du système. Le maïs est considéré comme une culture importante dans la région du Vakinankaratra et le *Brachiaria* est utilisé pour son potentiel à produire de la biomasse, mais surtout à « labourer » le sol avec ses racines. Cette culture offre au sol la macroporosité nécessaire au riz pluvial
- Système R4 (Riz - vesce / maïs + soja – vesce) SCV et Labour : Le riz pluvial reste la culture principale ; l'adoption du maïs est pour la même raison qu'en R3 mais son association avec la *Vesce* permet d'ajouter la production fourragère à la

production de biomasse. Le soja est utilisé, en tant que légumineuse, pour sa capacité à fixer de l'azote donc à d'enrichir le système.

Dans le souci de résultats statistiquement fiables le dispositif comprend 4 répétitions sur 2 niveaux de fumure :

- FU: constitué d'un apport seul de fumier à 5 T/Ha, c'est la pratique paysanne de la région d'étude.
- FM: constitué d'un apport de :
 - 5 T /Ha de fumier,
 - 500kg /Ha de dolomie,
 - 300Kg de NPK et 100Kg d'urée

L'apport de la dolomie a pour but de corriger l'acidité du sol et l'activation de l'activité microbienne du sol.

Le NPK et l'urée sont les sources d'éléments azotés avec un apport équivalent de 60 unités d'azote à l'hectare.

- Un traitement sans fumure noté FO servira de témoin pour évaluer les résultats sur les deux niveaux de fumure précédents.

Les parcelles en FM sont de grandes parcelles de 100m² et de 200m², celles en FU et en FO sont de 100m² et de 50m²

3.3.1.2. *Dispositif secondaire : Matrice TAFA :*

Cliché 3 : Assolement riz – maïs + soja en SCV, Matrice TAFA



Source : R. MICHELLON, 2004

Afin de préserver ce site de démonstration, on s'est limité à travailler sur deux systèmes et en deux répétitions à savoir :

- Le Système riz + vesce / maïs + soja + vesce en SCV : le riz en culture principale, l'association maïs /soja sert à la production de biomasse et à la productivité du système. Un choix particulier pour le maïs car il a un système racinaire profond permettant une mobilisation des éléments en profondeur. Le soja est retenu pour sa capacité à fixer de l'azote contribuant à l'amélioration de la fertilité du sol. La vesce en dérobée avec le riz sert de couverture et à la production de surplus de biomasse.
- Le Système riz / soja en Labour : ce système est conduit en labour et ne nécessite pas de production de biomasse importante. En effet sur les essais de TAFA, les systèmes labourés correspondent à l'agriculture conventionnelle où on ne fait aucune restitution de résidus et d'apport de couverture morte. La couverture vive quant à elle correspond à une simple succession de culture.

Les essais sont conduits sur 3 niveaux de fumure à savoir :

- FU : La fumure d'apport de fumier seul avec une dose de 5 T/Ha
- FM : La fumure correspondant à la fumure FM du dispositif principal (fumier 5 T/Ha, dolomie 500 Kg/Ha, NPK + urée 100 Kg/Ha vers 25 JAS). L'engrais composé utilisé ici est constitué de phosphate d'ammoniaque (20 % N, 45 % P₂O₅) à 150 Kg/Ha et de KCl à 80 Kg/Ha,
- F3 : ce niveau de fumure correspond à une fertilisation en excès afin de déterminer le potentiel productif du peuplement végétal s'il trouve à sa disponibilité les éléments nutritifs plus que nécessaire à sa croissance et à son développement. On a donc apporté du fumier de l'ordre de 5 T/Ha, de la dolomie pour 2000 Kg/Ha appliqué tous les 4 ans, du phosphate d'ammoniaque (20 % N, 45 % P₂O₅) à 300 Kg/Ha, et du KCl à 160 Kg/Ha. Un apport supplémentaire d'azote sous forme d'urée à 100 Kg/Ha a été aussi fait vers 25 jours après le semis

On a toujours retenu une parcelle sans fumure FO comme parcelle témoin pour chaque répétition.

La superficie des parcelles était à peu près la même à environ 25m².

3.3.2. Le matériel végétal

Le choix du matériel végétal a reposé sur des variétés à haute capacité productive et peu sensibles aux maladies, pour que le principal facteur limitant de la capacité productive soit la fertilisation : l'azote.

3.3.2.1. Les variétés

Trois variétés ont été retenues

- Le F154 renommée pour sa haute productivité : elle est installée sur les deux dispositifs
- Le F161 : bonne production elle est surtout intéressante par sa résistance à la pyriculariose. C'est une variété récente, on l'a uniquement adoptée sur le dispositif principal.
- Le F159 : voisine du F161 on ne l'a que sur le dispositif secondaire.

Ces variétés sont déjà vulgarisées auprès des paysans.

3.3.2.2. La culture

Le cycle cultural était du mois de Novembre au mois d'Avril. Avec une densité de semis de 60 à 70Kg/Ha soit 6 à 8 graines par poquet, l'écartement adopté est de 20cm sur la ligne. L'application de la fumure était localisée au semis sans enfouissement ; la deuxième application de la fumure minérale se faisait en surface. Des désherbages fréquents ont aussi été effectués

3.3.3. L'échantillonnage des plantes d'observation et des placettes de prélèvement

Sur les parcelles du dispositif principal et secondaire ont été repérées des placettes pour servir d'échantillon d'observation et de prélèvements pour les différentes mesures de l'étude, celles-ci sont constituées de 6 poquets consécutifs. A 20jours après semis, étaient déterminé les placettes : une disposition au hasard prédéfinie était reportée sur chaque parcelle.

Sur le dispositif principal de la matrice du PCP SCRID, une placette d'observation est définie respectivement sur chaque essai. Quatre autres placettes sont utilisées pour les prélèvements.

Sur la placette d'observation : 4 plantes sur les 6 poquets consécutifs ont été sélectionnées pour servir au suivi de la croissance de la plante.

Les 6 poquets des placettes de prélèvements seront utilisés en :

- P1 pour le prélèvement à 50JAS c'est à dire au début tallage
- P2 pour le prélèvement à 70JAS soit au stade plein tallage du riz
- P3 pour le prélèvement à 90JAS donc l'initiation paniculaire ou fin tallage et
- P4 pour le prélèvement à floraison quand la production végétative est à son maximum à environ 110JAS.

Sur le dispositif secondaire, chaque traitement porte deux placettes d'observation. Dans chaque placette, 3 plantes ont été sélectionnées pour servir aux observations in situ. Elles constitueront les placettes de récolte à la fin de la campagne. Il faut noter qu'aucun prélèvement n'a été effectué en cours de cycle sur le dispositif de TAFA.

Pour la récolte, les placettes de prélèvement étaient placées dans des parcelles de rendement. Ces dernières, déterminées aussi à 20 jours après semis, ont été choisies de sorte à éliminer les effets de bordure et éviter les différentes perturbations occasionnées par les travaux des autres chercheurs du pôle. Une placette de récolte est composée aussi de 6 poquets consécutifs.

L'échantillonnage se précisait donc par un report de la même disposition sur chaque traitement et se constituait de placette de 6 poquets consécutifs. A partir des placettes d'observations, 4 plantes ont servi à l'observation sur le dispositif principal et 3 plantes par placette sur le dispositif secondaire. Puis 4 placettes de prélèvements ont été prédéfinies pour les mesures destructives suivant un ordre chronologique précis.

3.3.4. Les différentes mesures de suivi et d'analyse

On peut classer les mesures en deux catégories :

- Les mesures effectuées durant la phase végétative de la levée à la floraison
- Les mesures effectuées durant la phase productive de la floraison à la récolte

3.3.4.1. Les mesures de la phase végétative

Quatre types de mesures sont faits durant la phase végétative:

- La mesure du phyllochrone par le comptage de l'apparition des feuilles pour évaluer la vitesse de croissance de la plante
- La mesure des valeurs SPAD pour avoir une appréciation sur la qualité de la nutrition azotée de la plante
- La mesure destructive par les prélèvements pour l'évaluation de la matière sèche produite et des teneurs en azote de la plante.
- La mesure de la surface foliaire

La mesure du phyllochrone

Le phyllochrone correspond au temps que la plante met pour émettre une nouvelle feuille ; il permet de mesurer la vigueur de croissance de la plante qui est fortement influencé par la satisfaction de ses besoins azotés. Pour l'estimer, on a suivi régulièrement 4 plantes ou 3 plantes de la placette d'observation (selon le dispositif). Le nombre de feuilles vertes était compté toutes les semaines. A chaque observation la dernière feuille complètement formée : ligulée, était marquée ; et la dernière émergée était notée par sa longueur par rapport à la feuille marquée. Une valeur, définie comme le stade de la plante par rapport au nombre de ses feuilles (la différence de deux valeurs entre deux passages d'observation d'une semaine à l'autre), donne le nombre de feuille que la plante émet pour une semaine soit 7 jours. Ces valeurs sont prélevées sur une fiche appelée « leaf mapping ». On y trouvera le nombre de feuilles émises le long du cycle de la plante jusqu'à la floraison où elle n'émettra plus de nouvelle feuille.

La mesure de la valeur SPAD

Le SPAD (ou chlorophyll meter) est un outil de diagnostic simple, qui est utilisé pour estimer la teneur en chlorophylle in situ d'un végétal. Facile d'emploi, les mesures sont réalisées de préférence pendant la matinée à l'ombre et s'effectue à 20JAS jusqu'à la première floraison. La mesure est réalisée une fois par semaine sur la placette d'observation avec une moyenne de 20 prises, et toujours sur la dernière feuille ligulée. Cette dernière feuille est la plus jeune et renseigne le mieux le niveau de satisfaction des besoins azotés de la plante.

Les mesures destructives

Elles correspondent à l'analyse de la matière sèche aérienne de la plante : biomasse et teneur en azote qu'on a estimé à partir des 6 poquets de placettes de prélèvements.

Avant chaque prélèvement, une mesure de la hauteur a été d'abord faite sur les 2 poquets médians de la placette pour apprécier la croissance du peuplement par leur taille. Une estimation du niveau de tallage par le comptage du nombre de talles est ensuite faite, étant donné que le nombre de talles émis est un critère fiable pour exprimer la productivité de la plante. Le nombre de panicules est aussi compté à la floraison pour avoir le rapport talles fertiles et talles stériles ainsi que la régression des talles jusqu'à la récolte.

Le prélèvement s'effectue à des dates précises des stades phénologiques de la plante pour avoir le niveau critique de la nutrition azotée et apprécier la capacité de production végétale de la plante à partir de la fertilisation faite. On sépare ainsi les limbes, les gaines et les tiges puis les panicules et on les sèche à l'étuve pendant 48heures à 60°C pour se

débarrasser de l'humidité. Le pesage séparé des différents organes végétatifs et des panicules permettra d'avoir les rapports de matières sèches. La valeur de l'ensemble va donner la matière sèche totale produite et accumulée par la plante. Après pesage, les échantillons prélevés sont envoyés au Laboratoire du FOFIFA pour l'analyse chimique.

La mesure de la surface foliaire

La surface foliaire exprime la surface de la feuille effective pour la production végétale : la photosynthèse. Ce qu'on a mesuré correspond à l'indice de surface foliaire ou le LAI qui donne une valeur de recouvrement du sol par la plante, sa vigueur à occuper l'espace. On a procédé avec deux types de méthodes :

- La méthode mesurée avec l'appareil LAI 2000
- La méthode calculée à partir des mesures de surfaces foliaires effectuées par l'appareil LI 3000.

a) La méthode mesurée

Effectuée avant chaque prélèvement, on a estimé le recouvrement du sol des placettes avant chaque prélèvement sur les répétitions. L'exigence stricte d'un temps couvert pour la manipulation de l'appareil n'a pas permis de réaliser les mesures sur les différents stades et toutes les répétitions. Le principe est de mesurer la différence entre la lumière incidente à la placette et celle qui traverse le couvert. Pour ce faire, on prend une valeur au dessus de la placette et en plaçant l'appareil en dessous des poquets on prend 8 valeurs sur 8 positions en interligne et sur ligne de culture pour une moyenne précise. Une valeur qui exprime la quantité de lumière absorbée par la plante, valeur du LAI, est ainsi obtenue.

b) La méthode calculée

La méthode se base sur l'établissement d'une relation entre la masse de matières sèches actives et de la surface foliaire mesurée avec l'appareil LI 3000. Pour ce faire, les mesures de surface foliaire se faisaient sur une seule répétition. Ainsi à chaque prélèvement, 5 plantes au hasard de 2 poquets de la placette de prélèvement sont choisies pour les mesures. On découpe les feuilles et on les fait passer sur un tapis roulant qui les amène vers une cellule optique pour mesurer la largeur et la longueur de chaque feuille. Une relation a été établie avec les valeurs mesurées et la quantité de matière sèche active (limbes); cette relation est ensuite rapportée sur les autres répétitions pour avoir la surface foliaire.

Par la formule :

$$LAI = \frac{SF}{\text{Surface du sol couverte}}$$

On a pu avoir les LAI de tous les essais

3.3.4.2. *Les mesures de la phase productive du riz*

Cette phase correspond à la période de la fécondation jusqu'à la maturité des grains: c'est à dire la récolte

On y effectuera 3 types de mesures :

- La mesure de la sénescence
- L'analyse des composantes du rendement
- Le rendement

La mesure de la sénescence

La sénescence correspond au phénomène de jaunissement des feuilles de la plante dû à une mobilisation de l'azote pour une redistribution vers les organes plus jeunes ou les organes producteurs. Elle se manifeste quand l'absorption de la plante est faible, ce qui arrive si l'offre du sol ne lui satisfait pas mais surtout quand elle n'absorbe plus durant la maturité. La manifestation précoce de la sénescence renseigne une faible disponibilité de l'azote pour la plante, et une forte sénescence à la maturité une faible accumulation d'azote au niveau des organes de réserves. La mesure de celle-ci est l'opération inverse de la mesure de la phyllochrone : on compte dans ce cas le nombre de feuille jaune sur le pied observé. On l'a effectuée une fois toutes les deux semaines et le relevé était toujours fait avec le « leaf mapping ». Un nombre élevé de feuilles sénescentes explique une forte remobilisation donc une faible accumulation azotée, peu suffisante pour la production des graines. On interprètera ainsi le taux de sénescence de la plante comme le nombre de feuilles sénescentes par rapport au nombre de feuilles produites.

L'analyse des composantes de rendement

L'évolution des composantes de rendement était suivie tout au long du cycle du riz.

a) Le tallage

Le nombre de pied était compté à la levée, puis vérifié au début tallage.

Le nombre de talles est comptabilisé à chaque prélèvement. On a pu ressortir le taux de régression des talles avec les talles fertiles à la récolte.

b) Le nombre de grains

Le nombre de talles fertiles correspond au nombre de panicules de la plante qui sera compté à la récolte. Le nombre de grains par panicule a été comptabilisé sur 20 panicules prises au hasard. Sur cet échantillon de grains, ont été déterminé :

- Le rapport grain vide /grain plein (les grains vides ont été définis par simple touché manuellement) c'est à dire le pourcentage de grains pleins et
- Le poids de 1000 grains (PMG).

c) Le rendement

Le rendement théorique de notre placette est donné par extrapolation à l'hectare du poids sec des grains totaux de la placette obtenu par pesage et multiplié du pourcentage de grains pleins. Le rendement exprime le mieux la valorisation finale de la fertilisation apportée du point de vu économique et agronomique.

3.4. Résultats et Interprétation

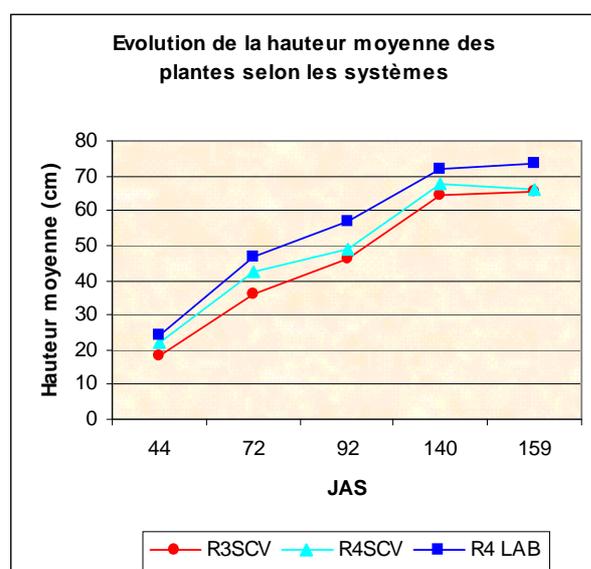
3.4.1. Analyse du suivi de la croissance et du développement du riz

La croissance végétative s'apprécie par la production de biomasse de la plante et son augmentation en taille notamment par l'évolution de la hauteur, du nombre de feuilles formées. Le développement correspond au passage de la plante d'un stade à un autre ; un bon développement s'exprime par une meilleure productivité.

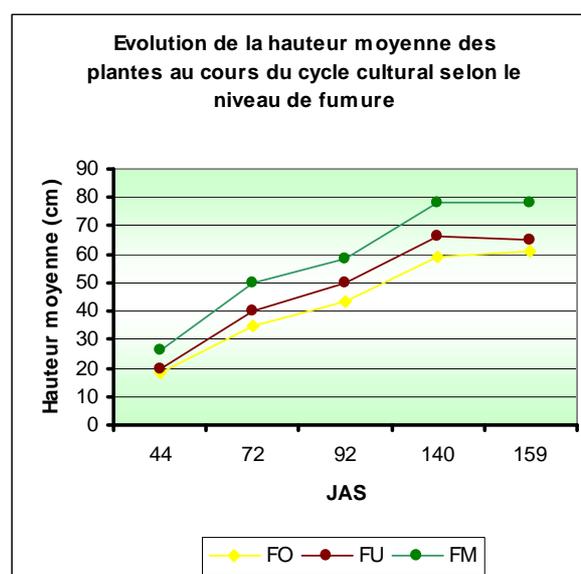
3.4.1.1. Evolution de la hauteur des plantes

La hauteur peut être une caractéristique typique de la variété. Elle est un indice visuel d'une bonne croissance de la plante. Son évolution au cours du cycle cultural sur les essais expérimentaux peut se schématiser comme suit :

Courbe 3: Evolution de la hauteur moyenne des plantes selon les systèmes



Courbe 4: Evolution de la hauteur moyenne des plantes selon le niveau de fumure



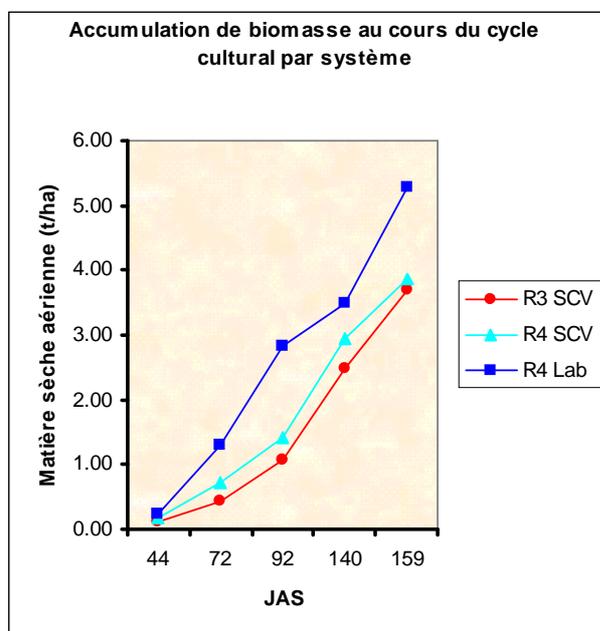
En fonction des systèmes, on observe que l'évolution de la hauteur est beaucoup plus importante sur le système en Labour que sur les deux systèmes sous couverture végétale. Le démarrage est meilleur sur le système R4 par rapport au R3 (mesures à 44 JAS). Cela est dû au *Brachiaria* mal maîtrisé sur le système R3 en début de cycle, et qui limite la croissance du riz en phase d'installation de la culture.

Selon le niveau de fumure par contre, on distingue un gain supérieur en hauteur des plantes en FM par rapport à celles en FU, et celles en FU par rapport à celles en FO. Le riz en FM atteint une hauteur maximale de près de 80cm et celles en FU et en FO n'atteignent pas les 70cm.

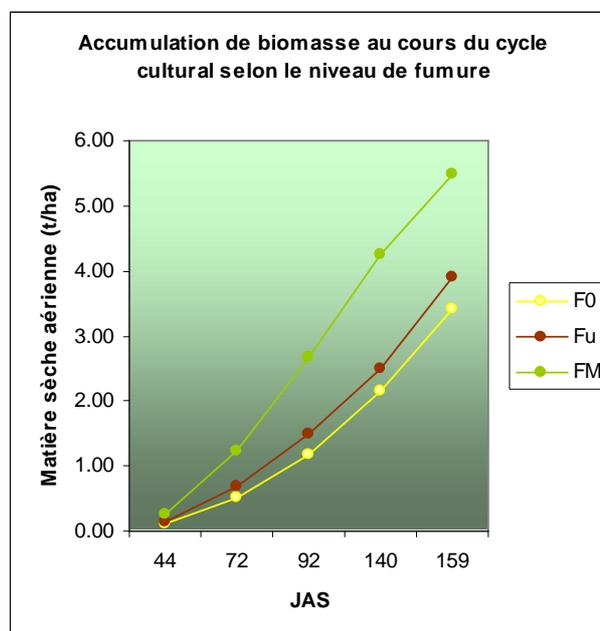
3.4.1.2. Matière sèche et répartition de biomasses

La production de matière sèche évolue selon les courbes suivantes au niveau des niveaux de fumure :

Courbe 5: Accumulation de la biomasse selon les systèmes du F161



Courbe 6: Accumulation de la biomasse selon le niveau de fumure du F161



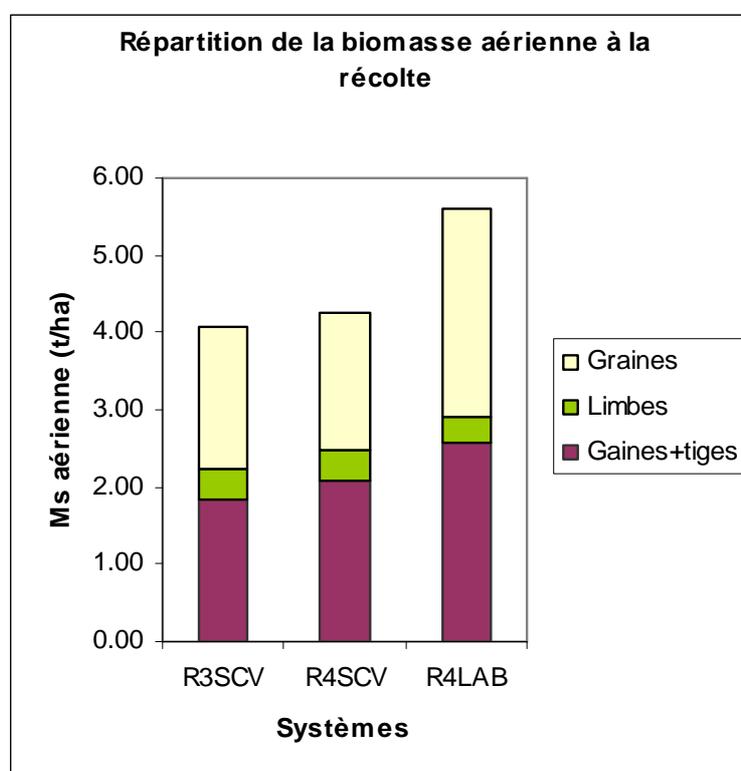
Une nette différence sur le traitement en FM par rapport au traitement FU et le témoin FO est remarquée. En effet, en FM la production végétative est plus importante tandis que pour le FU on n'a pas de différence significative avec celle produite sur le niveau sans fumure. Avec une production croissante de biomasse, la quantité produite diffère et sur un peuplement bien fourni en éléments fertilisant (FM), la matière sèche accumulée est beaucoup plus importante. Elle constitue dans ce cas un bon indicateur du niveau de satisfaction des besoins azotés de la plante.

Selon les systèmes, une distinction claire de l'efficacité du système R4 en Labour est obtenue. Par contre, les deux systèmes en SCV (R3, R4) permettent une assez semblable

capacité de production végétative au riz. Etant donné que les résultats sont pris sur la première année en SCV de la matrice, on ne pourra pas toujours considérer que ces valeurs expriment le mieux le potentiel d'un système en SCV. La production de biomasse du peuplement peut par contre ici être retenue comme un indicateur de l'efficacité du système sur le bon développement de la plantation.

Pour mieux apprécier la répartition de l'accumulation de la matière sèche aérienne durant le cycle du riz, l'analyse des histogrammes suivant révèle leur importance à la fin du cycle selon l'organe de la partie aérienne considérée.

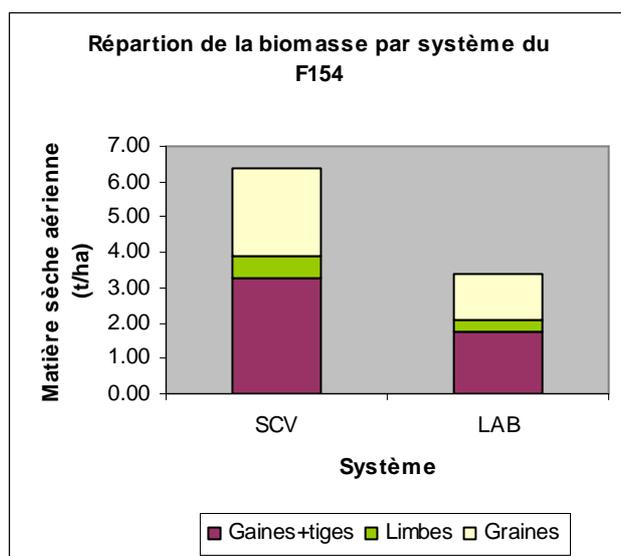
Graphique 1: Répartition de la biomasse aérienne par système du riz F161 à la récolte



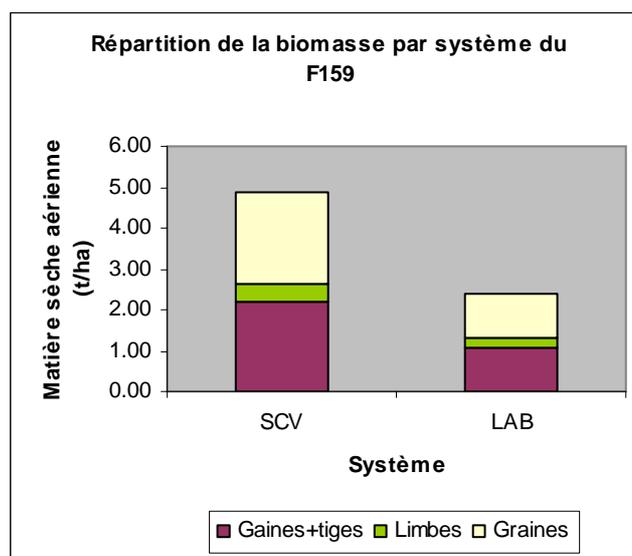
Sur le système en R4 LABOUR, la quantité est toujours importante que sur les deux systèmes en SCV. Le R4 reste meilleur dans la production de grains. On peut par contre remarquer que les systèmes en SCV présentent une plus ou moins quantité de matières photosynthétiques (limbes) identique et supérieure à celle du système en Labour. Cela peut s'expliquer par une grande mobilisation d'éléments azotés au niveau des feuilles sur le riz en labour. Une affectation plus importante est nécessaire pour subvenir au besoin de la production des grains obtenus

Sur le dispositif secondaire on peut apprécier une différence importante d'accumulation de biomasse des systèmes en SCV par rapport au système labouré. Cela est attribué à une meilleure offre du sol pour les besoins du riz au cours de son cycle. En labour par contre le sol est exploité durant plusieurs années, les besoins de la plante sont couverts seulement par l'apport d'éléments fertilisants.

Graphique 2: Répartition de la biomasse aérienne par système du riz F154 à la récolte

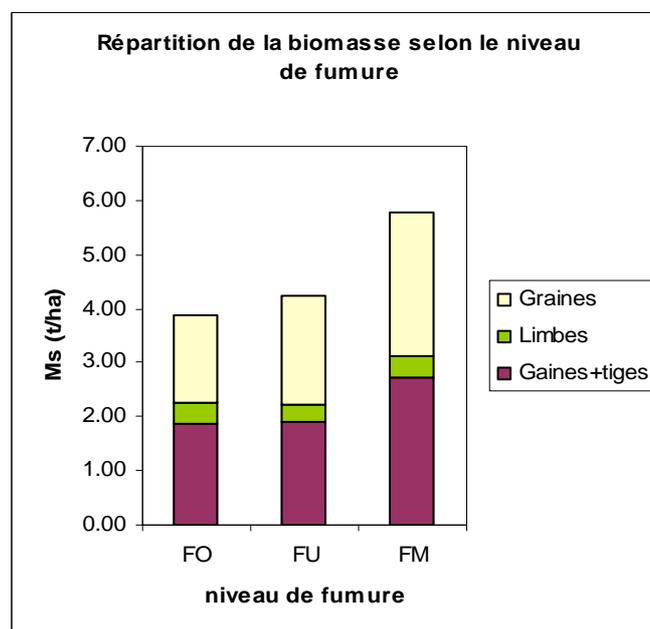


Graphique 3: Répartition de la biomasse aérienne par système du riz F159 à la récolte



On peut aussi lire sur les graphiques ci dessous l'importance de la quantité de biomasse quelque soit le système quand on est en FM.

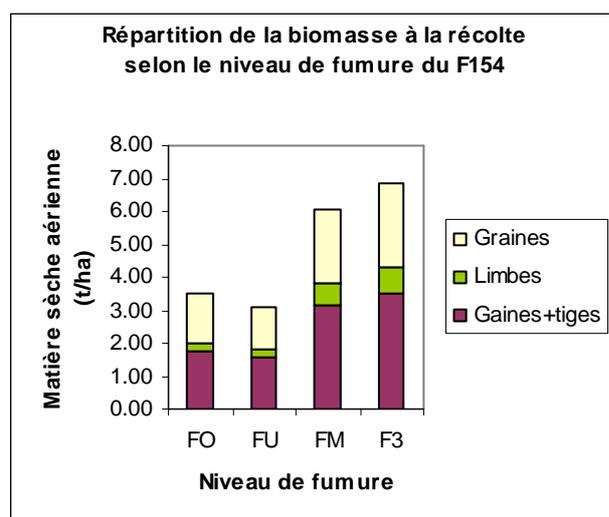
Graphique 4: Répartition de la biomasse aérienne du riz F161 à la récolte par fumure



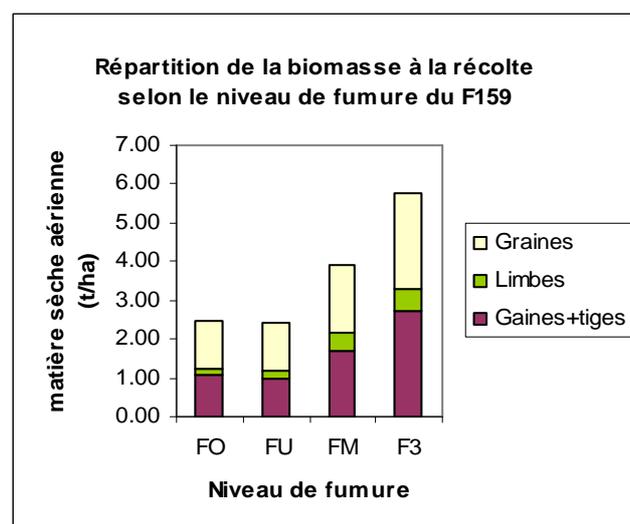
La quantité de biomasse accumulée est plus importante quand le niveau de fumure est élevé. La matière sèche des grains aussi se trouve influencer. Sur les parcelles en FO, on détermine la plus faible quantité de biomasse produite ; la quantité de feuilles vertes maintenues à la fin du cycle se trouve aussi être la plus faible. Cela s'explique par une plus grande mobilisation des éléments nutritifs des feuilles pour subvenir aux besoins de la production. La qualité de l'alimentation des plantes ne permet non plus une meilleure accumulation pour une production satisfaisante telle obtenue sur FM.

Les résultats obtenus sur le dispositif plus ancien de TAFE indiquent une répartition plus homogène entre les niveaux de fumure car les sols présentent une meilleure offre en éléments nutritifs surtout en SCV.

Graphique 5: Répartition de la biomasse aérienne du riz F154 par fumure à la récolte



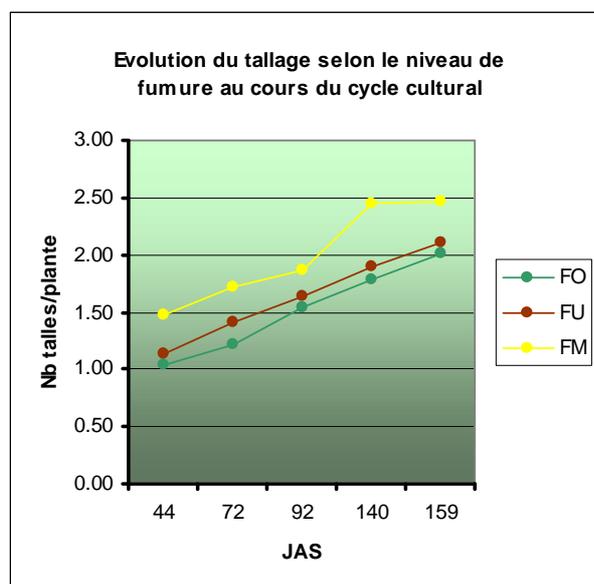
Graphique 6: Répartition de la biomasse aérienne du riz F159 par fumure à la récolte



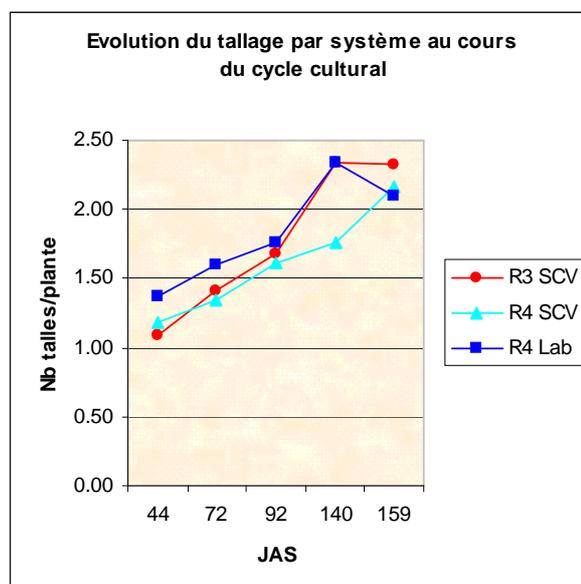
3.4.1.3. *Tallage*

Au cours du cycle du riz, l'émission d'un nombre important de talles indique un meilleur niveau de fumure surtout quand la densité le permet. D'après les deux courbes suivantes, le début tallage est à environ une quarantaine de jours après semis.

Courbe 7: Evolution du tallage selon le niveau de fumure du F161



Courbe 8: Evolution du tallage selon les systèmes du F161



En fonction du niveau de fumure on peut caractériser une meilleure allure d'émission de talles des parcelles fumées notamment le FM et le FU. Sur le témoin FO on a un faible tallage des plants jusqu'à 80 jours après semis. Une nette reprise se fait sentir après, due certainement à des processus de disponibilité de l'azote du sol. On a toujours le meilleur résultat sur les parcelles en FM.

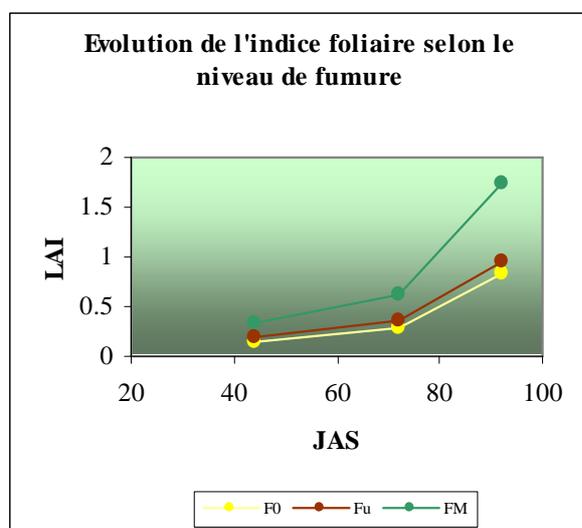
En général l'arrêt tallage se démarque quand la courbe prend une allure stationnaire. Le système R3SCV et le R4 SCV ont une influence positive assez identique sur le tallage. Le tallage en R4LAB est par contre peu performant. L'allure décroissante de la courbe en R4LAB à partir de 140 jours après semis reflète une hétérogénéité des plantes ; la placette de récolte aurait donc eu un niveau de tallage moins important que la parcelle entière.

Le nombre de talle émis par le riz sur les trois systèmes est en moyenne faible où le maximum n'atteint pas 2 talles /plante. On peut attribuer cela au potentiel variétal.

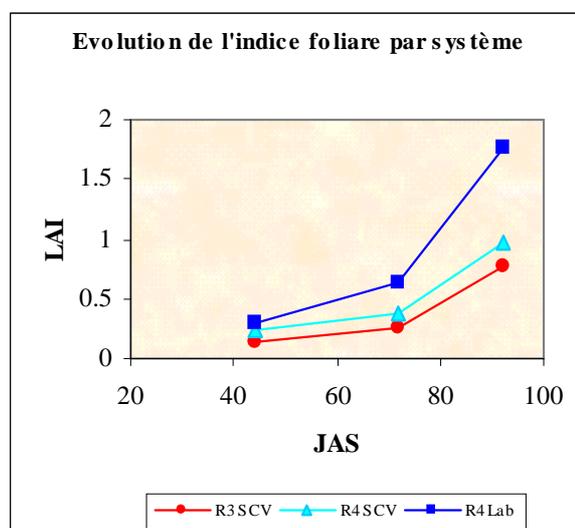
3.4.1.4. *Surface foliaire*

L'indice de la surface foliaire indique la capacité de couverture du sol par le peuplement. Les mesures faites ont permis d'établir les deux courbes suivantes :

Courbe 9: Evolution de la valeur du LAI selon le niveau de fumure



Courbe10: Evolution de la valeur du LAI selon les systèmes



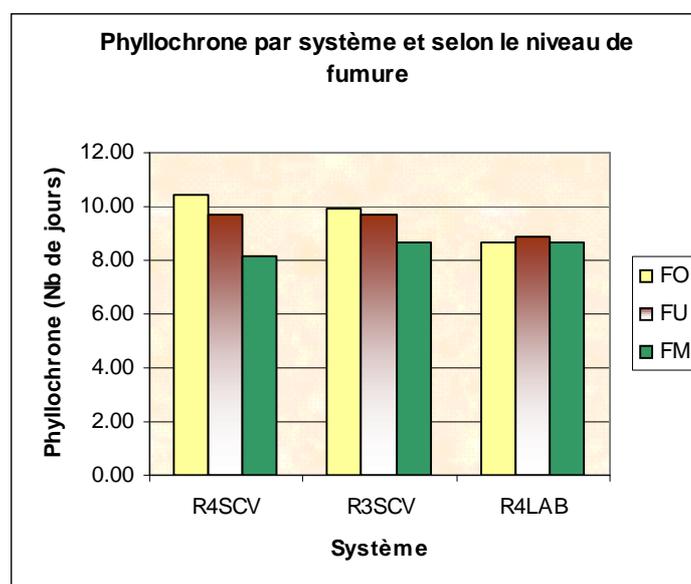
La courbe du LAI en fonction des systèmes permet d'établir une relation avec l'importance de biomasse produite sur ceux-ci et le taux de couverture foliaire des plantes. Une valeur de LAI élevée se rencontre sur le R4 labouré et sur les systèmes en SCV, la différence est peu significative. La courbe en fonction du niveau de fumure met toujours en exception les peuplements en FM et classe ensemble ceux en FU et en FO.

L'évolution des valeurs d'une façon plus ou moins constante les premières périodes correspondent au moment où la plante présente un développement érigé et les feuilles produites ne gagnent pas encore en largeur.

3.4.1.5. *La vitesse d'apparition des feuilles*

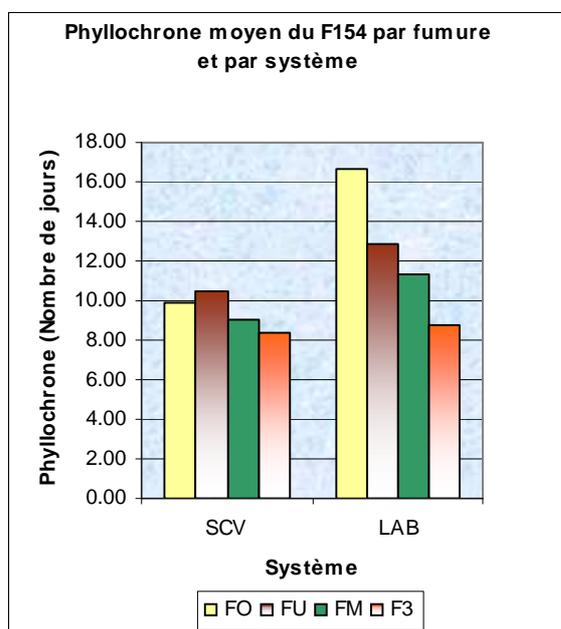
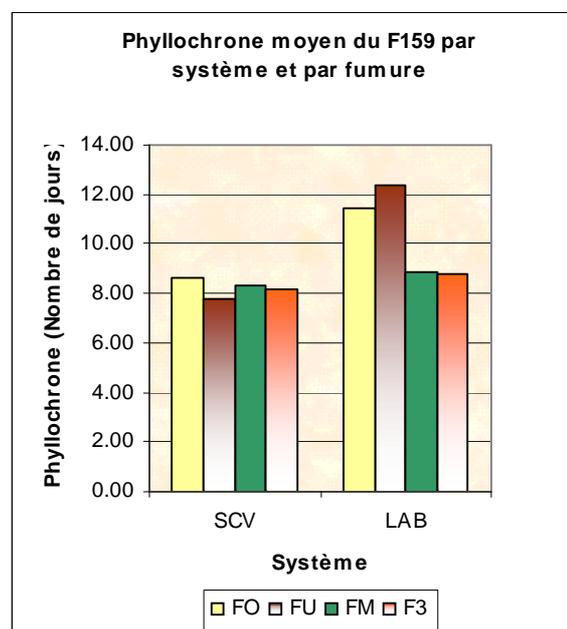
Elle exprime la vitesse de croissance des feuilles et la capacité de la plante à accumuler de la biomasse au cours de leur phase végétative prédéfinie. Le graphique ci-dessous nous permet de l'apprécier selon le niveau de fumure et du type de systèmes de gestion du sol.

Graphique 7: Histogramme du phyllochrone moyen par système et fumure du F161



L'interprétation de l'histogramme montre que les systèmes en SCV et sur niveau de fumure FU et FO présentent les plantes qui mettent plus de temps à émettre une feuille soit à environ une feuille tous les neuf - dix jours. Le riz en R4LAB met environ moins de neuf jours mais ne présente aucune différence significative qu'il soit en FM ou FU ou FO. C'est le meilleur système pour la vitesse d'émission des feuilles.

Sur des systèmes en couverture végétale, fonctionnels depuis plus de dix ans, on a une meilleure vitesse de croissance de la plante que sur les systèmes labourés plus ou moins épuisés au cours du temps. On peut illustrer cela par les deux graphiques suivantes où en SCV les peuplements cultivés présentent une vitesse de croissance peu différente. En système labouré, le riz F154 voit augmenter sa vitesse de croissance avec les niveaux de fumure. En fumure améliorée (FM et F3), le F159 met autant de temps à émettre une nouvelle feuille et distingue une différence nette avec les deux niveaux plus faibles.

Graphique 8: Histogramme du phyllochrone moyen du F154**Graphique 9: Histogramme du phyllochrone moyen du F159**

3.4.2. Les indicateurs du statut azoté

Les résultats suivant concernent le test d'évaluation des indicateurs retenus pour caractériser le statut azoté du riz pluvial. Sur le dispositif principal l'évaluation du système est à compéter avec les résultats du dispositif secondaire, cela pourrait mieux servir pour évaluer la pertinence de ces indicateurs.

3.4.2.1. Les valeurs SPAD

Sur le dispositif principal

Sur le tableau ci-dessous, entre systèmes et fumures, les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

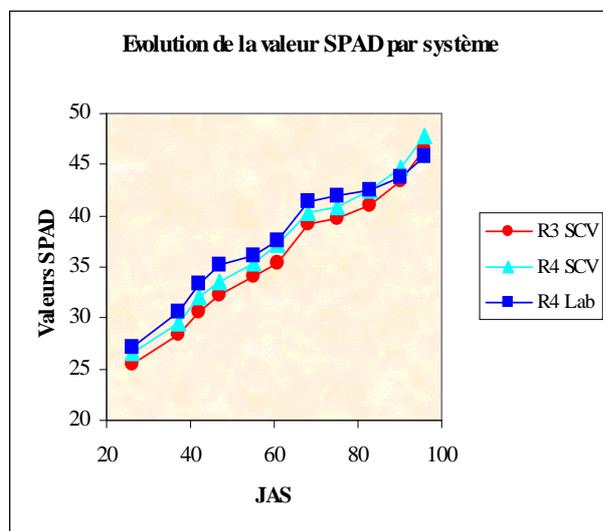
Tableau 6 : Effets du système de culture et de la fumure sur les valeurs SPAD

Systèmes Fumures	SPAD à 26 JAS	SPAD à 37 JAS	SPAD à 47 JAS	SPAD à 61 JAS	SPAD à 75 JAS	SPAD à 90 JAS
R4 Labour	27,2 a	30,6 a	35,1 a	37,5 a	42,0 a	43,8 a
R4 SCV	26,5 ab	29,5 ab	33,5 ab	37,2 a	40,9 ab	44,6 a
R3 SCV	25,5 b	28,5 b	32,3 b	35,4 b	39,8 b	43,4 a
FM	27,6 a	32,0 a	36,0 a	39,1 a	42,8 a	45,2 a
FU	25,9 b	28,9 b	33,1 b	35,6 b	40,2 b	43,5 b
F0	25,7 b	27,7 b	31,8 b	35,3 b	39,7 b	43,1 b

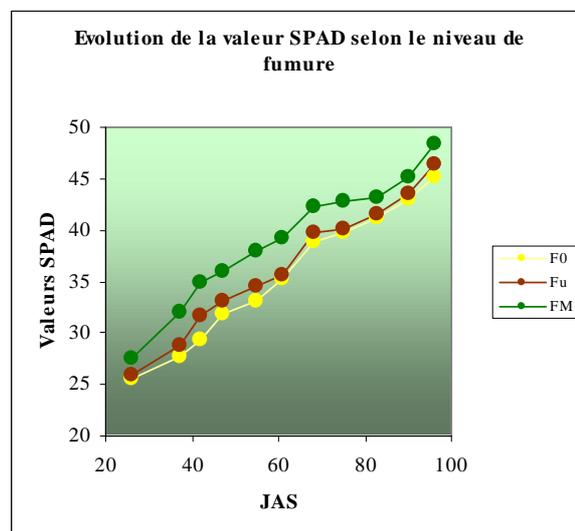
Les valeurs SPAD en FM sont les plus élevées, elles correspondent à une teneur suffisante en azote de la plante. Si on se réfère à ces valeurs : les peuplements en FU et FO, où les valeurs n'ont aucune différence significative, présentent des valeurs inférieures qui signifient un niveau de nutrition azotée plus faible. Les deux courbes d'évolution des valeurs SPAD suivantes nous montre que les valeurs connaissent toujours une évolution croissante

Selon le système considéré, par contre, les valeurs diffèrent peu mais présentent une même évolution croissante durant la phase végétative. Il peut être déduit que les systèmes présentent un certain équilibre sur la satisfaction des besoins azotés du riz pluvial. Les résultats de l'analyse de l'offre du sol sur ces systèmes pourraient expliquer cela.

Courbe11: Evolution de la valeur SPAD selon les systèmes du F161



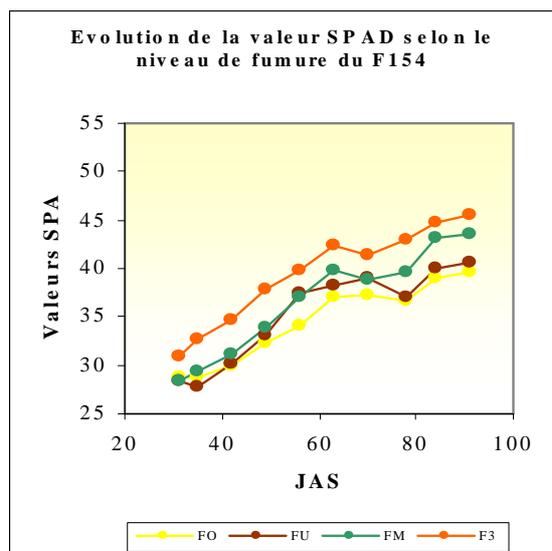
Courbe 12: Evolution de la valeur SPAD selon la fumure du F161



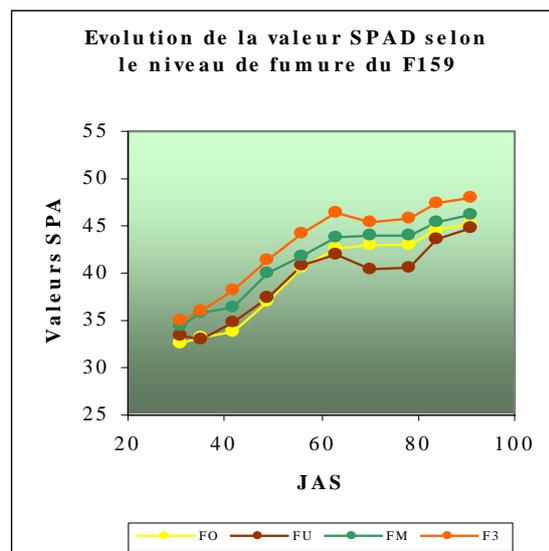
Sur le dispositif secondaire

Les données présentes portent sur deux nouvelles variétés, la différence et/ou la ressemblance avec celles obtenues sur le dispositif principal va nous aider à valider la spécificité et l'efficacité des indicateurs.

Courbe 13 : Evolution de la valeur SPAD sur F 154 par fumure



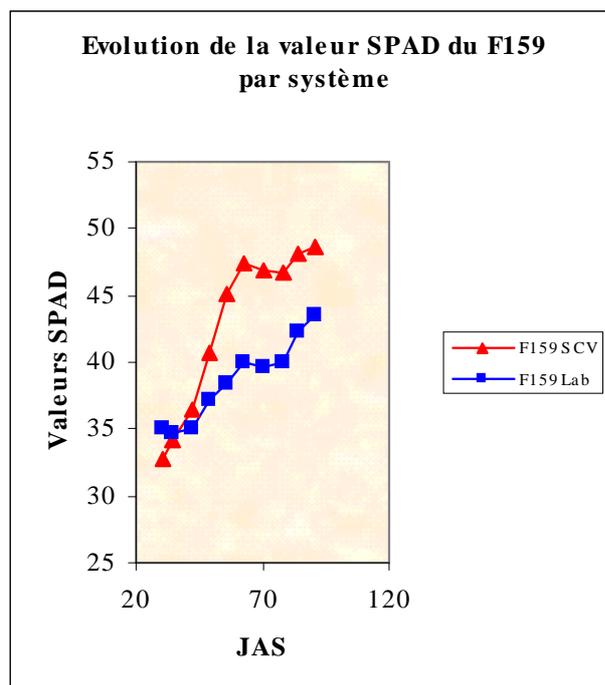
Courbe 14 : Evolution de la valeur SPAD sur F 159 par fumure



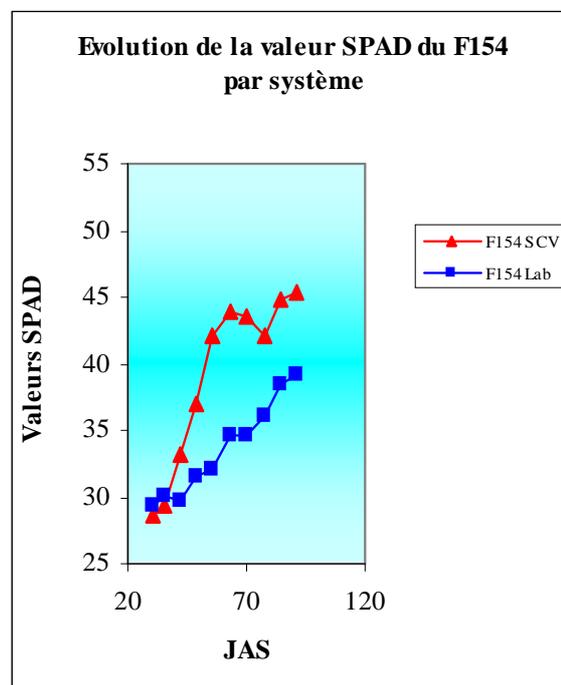
Sur ces courbes d'évolution des valeurs SPAD selon les niveaux de fumure, l'ordre croissant de l'apport définit des valeurs SPAD qui augmentent et qui diffèrent d'un niveau à un autre sauf pour le traitement en fumier seul FU et sans fumure FO. On note point de différence significative sur ces deux niveaux de fumure. Une meilleure valorisation de la fertilisation sur les systèmes par le riz et une production de la fertilité améliorée du système pour FO et FU peuvent expliquer cela. De plus la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol, sur SCV depuis une dizaine d'année, joue pour annuler l'effet attendu d'un traitement sans fumure.

Pour les deux variétés, les valeurs SPAD sont optimum sur les systèmes en SCV. Cela correspond à une meilleure nutrition azotée, une meilleure offre en azote pour le peuplement en SCV.

Courbe 15: Evolution de la valeur SPAD sur F159 selon les systèmes



Courbe 16: Evolution de la valeur SPAD sur F154 selon les systèmes



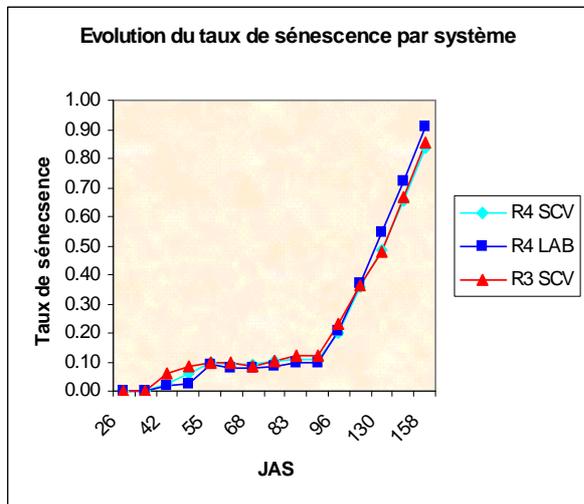
L'évolution des valeurs SPAD sur les deux variétés ici prouve que le SPAD peut être retenu comme un bon indicateur du statut azoté du riz pluvial et qu'une valeur SPAD élevée est obtenue sur des riz avec un niveau d'apport d'éléments fertilisants élevé.

3.4.2.2. *Le taux de sénescence des feuilles*

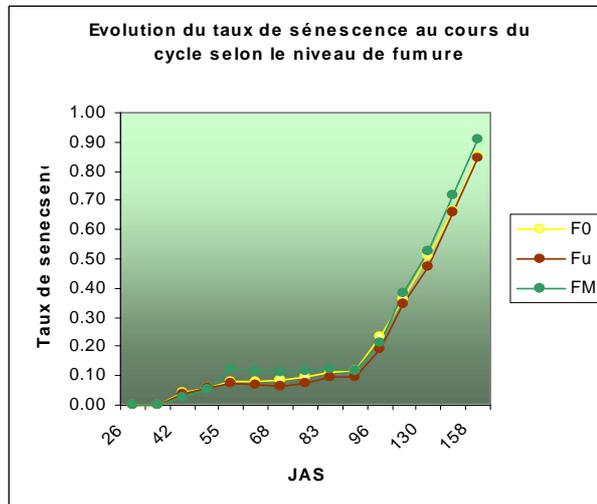
Sur le dispositif principal

Les deux courbes d'évolution du taux de sénescence expriment l'absence d'une différence significative sur l'apparition de la sénescence et sa vitesse au niveau des trois systèmes et selon le traitement de fertilisation. Le taux de sénescence est donc peu spécifique de la nutrition azotée de la plante, il peut être variable que selon les variétés.

Courbe 17: Evolution du taux de sénescence du F161 selon les systèmes



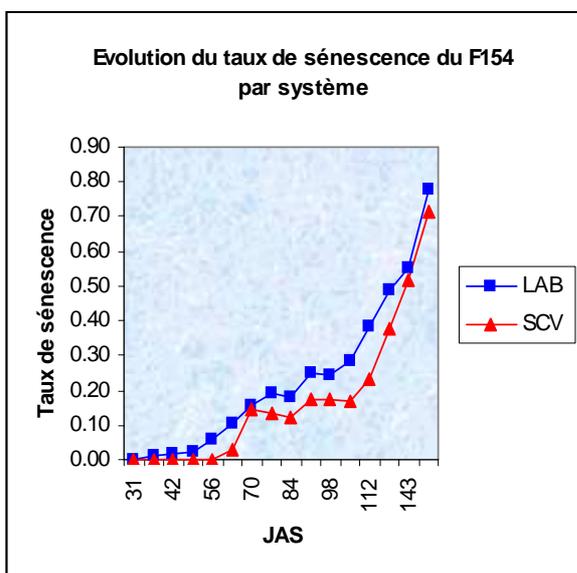
Courbe 18: Evolution du taux de sénescence du F161 selon la fumure



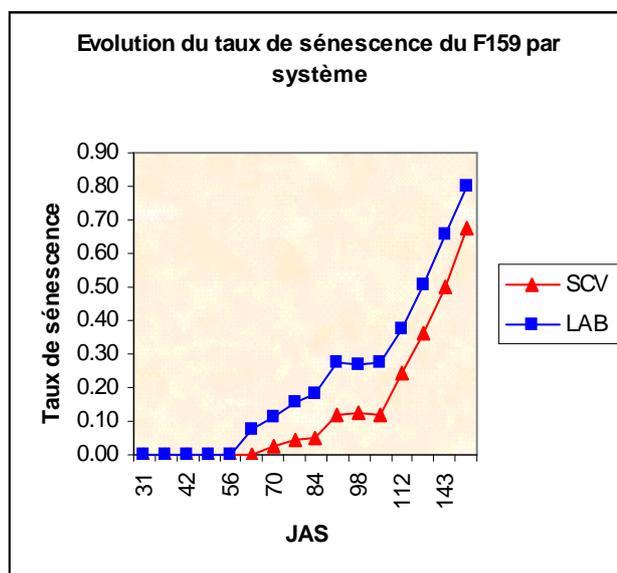
Sur le dispositif secondaire

La différence de la sénescence selon les variétés est exprimée par les deux courbes suivantes où les variétés F159 et F154 accumulent un taux de sénescence différent suivant le système de gestion du sol et le niveau de fumure.

Courbe 19: Evolution du taux de sénescence du F154 par système



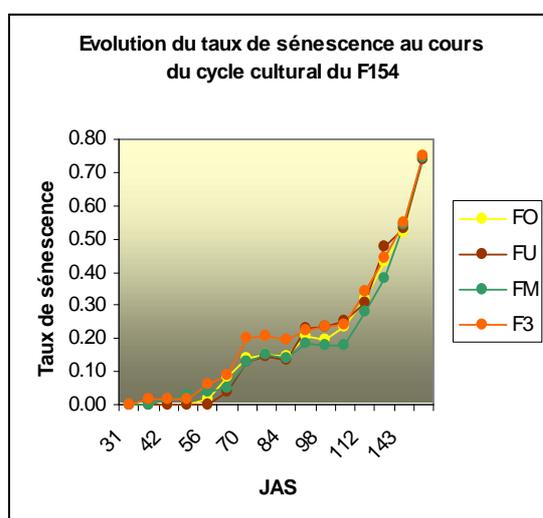
Courbe 20: Evolution du taux de sénescence du F159 par système



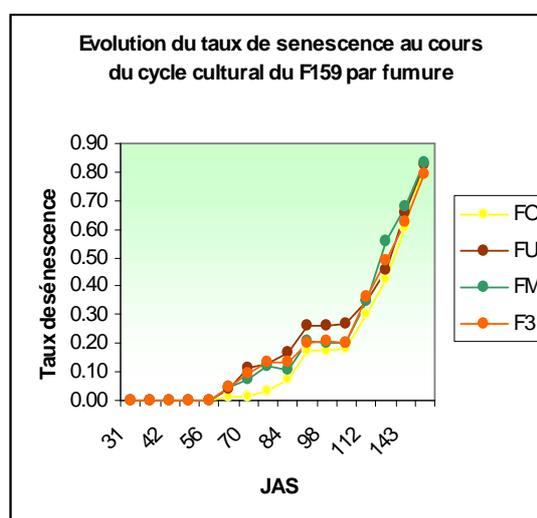
La sénescence est ici plus importante en labour. Sur les SCV, elle est beaucoup plus retardée et ne dépasse pas 70 % des feuilles produites par la plante à la fin du cycle. Une plus grande mobilisation des réserves foliaires s'observe alors en système labouré où l'offre du sol est faible par rapport au système sous couverture végétale. Cet effet reste le même sur les deux variétés.

En fonction du niveau de fumure par contre on ne peut pas déceler une différence entre l'évolution de la sénescence. Les dispositifs rencontrent certainement un niveau plus ou moins identique de couverture des besoins de la plante par la qualité de réserves du sol (en SCV) et d'épuisement du sol (en labour).

Courbe 21 : Evolution du taux de sénescence du F154 par fumure



Courbe 22 : Evolution du taux de sénescence du F159 par fumure



3.4.2.3. *Discussion sur la valeur des indicateurs :*

L'interprétation des précédents résultats permet de déduire que l'estimation de la production de biomasse exprime une plus grande appréciation de la croissance végétative d'un peuplement de riz pluvial. Le dispositif expérimental étant à sa première campagne en SCV, le système labouré demeure le meilleur système pour permettre au riz de bien exploiter son potentiel productif. De plus l'apport de la fumure minérale en FM est assez valorisé, il se distingue par une quantité de biomasse accumulée plus importante par rapport aux autres niveaux préconisés.

Les indicateurs retenus valeur SPAD et Taux de sénescence ne sont pas assez spécifiques quoiqu'on puisse toujours distinguer l'effet de la fumure minérale sur la vitesse

d'apparition et d'évolution de la sénescence. L'offre du sol reste à considérer pour évaluer la valorisation de la fertilisation par le peuplement. Les valeurs SPAD ont cependant données une expression bien nette de l'effet de la fumure FM sur ceux des deux niveaux FU et FO. Le SPAD peut être retenu comme un bon indicateur de faible niveau de nutrition azotée.

Les résultats obtenus jusqu'ici concerne la phase végétative du riz pluvial, ils seront à compléter avec les données de récolte pour évaluer le rendement des essais, l'expression de l'importance agronomique de l'étude : la production.

3.4.3. Analyse des composantes du rendement et de la production

L'élaboration des composantes du rendement au cours du développement du riz conditionne l'importance et la qualité de récolte obtenue à la fin du cycle. Les résultats suivant vont essayer de démontrer l'influence des systèmes de culture et du niveau de fumure du peuplement cultivé sur ces éléments et le rendement.

La récapitulation des résultats des composantes du rendement se présente comme suit :

Tableau 7 : Effet de la fumure et du système sur les composantes du rendement du riz F161 sur le dispositif principal

Systèmes Fumures	Nombre plantes/m ²	Nombre panicules/plantes	Nombres grains/panicules	% grains pleins	PMG	Rendement placette (T/Ha)
R4 Labour	103,1 a*	1,89 ab	81,6 a	76,9 a	27,9 a	2,71 a
R4 SCV	102,1 a	1,82 b	64,9 b	71,9 ab	28,5 a	1,78 b
R3 SCV	76,0 b	2,22 a	66,9 b	70,2 b	29,9 a	1,83 b
FM	90,3 a	2,27 a	81,4 a	74,7 a	29,0 a	2,72 a
FU	92,0 a	1,84 b	70,0 b	73,8 a	29,6 a	2,01 b
F0	99,0 a	1,82 b	62,0 b	70,5 a	27,7 a	1,61 b

Tableau 8 : Effet de la fumure et du système sur les composantes du rendement du riz F159 sur le dispositif secondaire

Systèmes	Fumure	Nombre panicules/plantes	Nombres grains/panicules	% grains pleins	PMG	Rendement placette (T/Ha)
SCV	FO	1.45	58.18a	81.74	28.67a	1.89a
	FU	1.47	60.88a	80.84	27.98a	1.83a
	FM	1.55	70.9b	82.91	27.29ac	2.5ab
	F3	1.62	81.73b	75.48	30.19a	2.77b
LAB	FO	0.49	34.78a	77.50	24.92b	0.57a
	FU	0.43	25.9a	76.56	24.89b	0.63a
	FM	0.78	54.53b	81.79	26.04bc	0.98a
	F3	1.36	70.7b	83.40	27.28b	2.22b

Tableau 9 : Effet de la fumure et du système sur les composantes du rendement du riz F154 sur le dispositif secondaire

Systèmes	Fumure	Nombre panicules/plantes	Nombres grains/panicules	% grains pleins	PMG	Rendement placette (T/Ha)
SCV	FO	2.63	78.83	60.86	26.95ac	2.19a
	FU	3.09	66.55	59.36	26.61a	1.98a
	FM	3.25	78.48	53.42	25.59a	2.7ab
	F3	3.45	90.48	51.54	26.36a	3.04b
LAB	FO	1.24	35.93	66.72	25.33bc	0.82a
	FU	1.26	23.13	60.13	23.3b	0.59a
	FM	2.6	66.6	61.42	21.9b	1.77b
	F3	2.32	74.53	60.42	22.64b	1.96b

Sur ces tableaux les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes. Les résultats du dispositif secondaire ont été analysés par simple comparaison des moyennes car le nombre de répétition des essais n'a pas permis l'établissement d'un traitement statistique. Les données du dispositif principal ont été analysées avec le logiciel SAS version 8 pour Windows (SAS Institute, Cary, NC, USA). Les analyses de variance ont été faites avec la procédure GLM (*General Linear Model*), avec pour traitement principal du split-plot, le système de culture, et en traitement secondaire la fumure.

3.4.3.1. *Le tallage des plantes : expression du nombre de pied productif à la récolte*

Les tableaux suivants présentent le nombre de talles moyen produits par la plante au cours du cycle sur les deux dispositifs.

Tableau 10 : Tallage moyen des plantes sur le dispositif principal

Fumure	R3SCV	R4SCV	R4LAB	Tallage moyen par fumure
FO	2.55	2.13	1.87	2.18
FU	2.36	2.09	1.89	2.11
FM	2.57	2.27	2.55	2.46
Tallage moyen par système	2.49	2.16	2.10	2.25

La variété (F161) utilisée pour les essais présente un niveau de tallage moyen.

L'analyse statistique des résultats ne révèle aucune différence significative entre le niveau de tallage du peuplement sur différents systèmes et sur différents niveaux de fumure. Cette composante est donc dépendante de la variété. L'effet des systèmes et l'effet des fumures ne se manifestent pas car le dispositif est à sa première campagne d'installation.

Sur le dispositif secondaire de TAFA on enregistre les résultats suivants :

Tableau 11 : Tallage moyen des plantes de riz F159 sur le dispositif secondaire

F159	SCV	LAB	Tallage moyen par fumure
FO	1.85	1.09	1.47
FU	2.22	1.15	1.68
FM	2.39	1.80	2.09
F3	2.65	2.53	2.59
Tallage moyen par système	2.27	1.64	1.95a

La variété F159 présente un tallage moyen de 1.95. Cette composante reste indépendante de la fumure et des systèmes.

Sur la variété F154 on ne remarque aussi aucune différence significative des valeurs selon le niveau de fumure et le type de gestion de sol.

Tableau 12 : Tallage moyen du riz F154 sur le dispositif secondaire

F154	SCV	LAB	Tallage moyen par fumure
FO	3.84	2.39	3.11
FU	4.76	2.26	3.51
FM	4.92	5.02	4.97
F3	4.89	4.61	4.75
Tallage moyen par système	4.60	3.57	4.08 b

Le tallage des deux variétés est significativement différent au seuil de 5 %. On peut déduire que le tallage est un critère spécifique de la variété.

3.4.3.2. *La fertilité des talles*

Les résultats à interpréter ci-dessous reflètent le nombre de talles portant des panicules sur la plante. Le nombre de panicules sur la plante traduit le nombre de talles fertiles de la plante.

Les valeurs sur le dispositif principal présentent une différence significative au seuil de 5 %, entre la fumure FM et les deux autres niveaux FO et FU. Le taux de fertilité moyen du peuplement diffère sur les deux systèmes en SCV mais ne considère pas un effet avec le système labouré. Une fertilisation améliorée favorise l'obtention d'un nombre de panicules plus élevé par plantes sur le riz.

L'analyse de celles sur le dispositif secondaire confirme ce constat.

La fertilité des talles sur F159 est de 56 %, elle ne diffère pas selon le système et le niveau de fumure.

Le taux de fertilité des talles de la variété F154 s'élève à 60 % environ ce qui présente aucune différence significative avec le résultat sur la variété F159.

La fertilité des talles n'a présenté aucune différence significative sur les différents systèmes et le niveau de fumure. Cette composante reste donc indépendante des variables analysées.

3.4.3.3. *Nombre de grains par panicules*

Le nombre de grains moyens par panicule détermine la quantité de grains produite par la plante.

Sur le dispositif principal le système R4 Labouré présente un nombre de grains par panicule élevé et se distingue significativement avec le nombre produit sur les deux systèmes en SCV. Le niveau de fumure influe aussi sur le nombre d'épillets par panicules. Avec un apport azoté plus important (FM), le riz produit plus d'épillets.

Les résultats obtenus sur le site de TAFA se présentent plus intéressants :

La lecture des précédents tableaux (*cf.* Tableau 8 et Tableau 9) indique une influence du système et du niveau de fumure sur le nombre moyen de grains par panicules.

En SCV les variétés présentent un nombre plus élevé d'épillets que sur système labouré. Elles ont plus de conditions favorables pour la synthèse des organes producteurs.

Selon le niveau de fumure, le nombre moyen d'épillets par panicules diffère selon que le peuplement se développe sur parcelle non fumée ou sur parcelle avec fumure minérale FM et F3. Ces deux derniers niveaux de fumure ne présentent, par contre, aucune influence significativement différente. L'effet de l'apport de fumier peut ne pas se présenter immédiatement ; le nombre de grains par panicules sur les parcelles en FU n'a pas de différence significative avec la valeur obtenue sur les parcelles en FO. Le riz en FO et en FU ne dépend donc que de l'offre du sol pour subvenir à ses besoins pour la synthèse des organes producteurs.

3.4.3.4. *Le pourcentage de grains pleins*

Ce variable influe beaucoup sur la quantité de récolte obtenue. Il dépend surtout de la capacité de réserves de la plante durant sa phase végétative qui s'apprécie avec le niveau de satisfaction de ses besoins nutritifs.

Les résultats obtenus sur les deux dispositifs montrent que le pourcentage de grains pleins diffère selon les variétés. On n'a pas constaté par contre l'influence des niveaux de

fumure. Sur le dispositif principal le système labouré permet à la plante une qualité plus meilleure de remplissage des grains par rapport au système en SCV.

Un pourcentage faible est obtenu sur les peuplements de riz sur parcelle en FO mais l'analyse statistique des résultats ne présente aucune différence significative entre les systèmes et les niveaux de fumure au seuil de 5 %.

Sur le dispositif secondaire : le pourcentage de grains pleins ne se trouve pas influencé par le type de gestion de sol et du niveau de l'apport de la fumure azoté. On a pourtant une différence de cette valeur moyenne sur les deux variétés F159 et F154.

3.4.3.5. *Poids moyen de mille grains*

Le poids moyen de 1000 grains est une composante plus qu'importante dans l'élaboration de rendement. Il conditionne la quantité de production finale.

Sur le dispositif principal, on ne note toujours aucune influence significative des systèmes et des niveaux de fumure sur ce dernier élément du rendement

Sur le dispositif secondaire on apprécie un effet significatif du système. Un effet de la fumure au sein du système est aussi constaté.

Sur F159 le PMG en SCV est significativement différent du PMG en système labouré. Le résultat en FM reste par contre nul où le PMG en SCV ne présente aucune différence avec le FM labouré. Les niveaux de fumure restent cependant sans effet significatif.

Sur F154, le PMG varie significativement avec les systèmes mais le niveau de fumure reste sans effet significatif. On n'a par contre aucune différence significative entre le PMG moyen obtenu sur les parcelles en FO qu'il soit en SCV ou en système labouré.

3.4.3.6. *Le rendement*

Le rendement est obtenu par la combinaison des précédentes variables. Il exprime l'objectif final de croissance et de développement de la plante durant son cycle. Toute action du riziculteur sur sa parcelle vise aussi à son amélioration quantitative et qualitative.

On obtient un rendement plus élevé sur le système R4LAB qui bénéficie de conditions plus favorables de sol en surface que sur les systèmes en SCV où le sol ne dispose pas encore d'une macroporosité suffisante pour une meilleure production du riz pluvial.

Selon le niveau de fumure les valeurs augmentent au fur et à mesure qu'on monte sur les niveaux de fumure, le riz a donc bénéficié des apports et exprime une réponse positive.

L'analyse statistique des résultats confirme ce fait, on note une différence significative entre les rendements obtenus sur FM par rapport à ceux sur FU. Le système

labouré présente une bonne performance productive. La première année de culture labourée demeure toujours productive contrairement à une première installation du SCV accompagnée généralement d'une baisse de rendement.

Sur le dispositif secondaire on peut cependant apprécier l'effet du système et du niveau de fumure. Une différence significative est donc obtenue sur le rendement en SCV et en système labouré. La production est aussi différente selon que le riz bénéficie d'une fertilisation minérale ou non.

Le rendement moyen obtenu sur la variété F159 indique une différence nette entre la production sur système en SCV et système labouré. On enregistre un meilleur résultat sur les systèmes en SCV.

Selon le niveau de la fertilisation, les peuplements sur parcelles en FM et F3 se distinguent des peuplements sur parcelles sans fumure et avec apport de fumier seul sur SCV. On a une meilleure réponse du riz à la fertilisation minérale. Les valeurs sur FO, FU ne sont pas par contre significativement différentes.

Sur Labour, le F159 ne présente une réponse positive à la fertilisation minérale qu'avec le niveau de fumure F3. En FM et F3 le rendement est significativement différent, on peut attribuer cela à une représentativité peu fiable de la placette de prélèvement à la récolte.

Le résultat de rendement moyen de la variété F154 distingue un effet du système qui est significativement différent avec une production plus élevée sur les systèmes en SCV.

La réponse aux différents niveaux de fumure est la même sur les deux systèmes. Les meilleurs résultats sont obtenus sur les parcelles en FM et F3. Ils sont aussi significativement différents avec les résultats obtenus sur les parcelles en FO et en FM.

3.4.3.7. *Synthèse des résultats d'analyse du rendement*

Le rendement moyen sur le dispositif principal est de 2.10 T/Ha. On n'a pas encore pu déceler d'effet significativement différent des systèmes sur l'élaboration de cette production. Le tallage moyen est de 2.25 avec un taux de fertilité 60 %, le nombre moyen de grain par panicule est de 71.14 avec un taux de remplissage à 73 %. Une meilleure réponse est toujours obtenue avec un niveau élevé d'apport azoté.

Sur le dispositif secondaire où le système SCV est fonctionnel depuis une dizaine d'années, le rendement obtenu est significativement différent par rapport au rendement obtenu sur le système Labouré. Une meilleure valorisation de la fumure est aussi constatée sur les peuplements bénéficiant d'apport minéral. Le rendement obtenu sur les parcelles en FM et F3 sont donc significativement différents de la production sur les parcelles en FO et FU.

Les composantes de rendement ne reflètent pas par contre cet effet. Le tallage n'est influencé que par le potentiel variétal du F159 et du F154 avec un taux de fertilité moyen de 56 % et 60 % respectivement. Le nombre moyen de grains par panicules varient significativement avec le système et le niveau de fumure (nul et fumier seul par rapport à la fertilisation minérale). On peut déduire que ce dernier constitue la composante de variation du rendement final avec le taux de remplissage des grains qui note une différence significative selon le type de gestion du sol. Le meilleur résultat étant toujours obtenu sur le système en SCV avec fumure minérale.

3.5. Conclusion partielle

L'optimisation de la fertilisation du riz pluvial sous système de couverture végétale nécessite la caractérisation du comportement du riz au cours de son cycle et l'établissement d'outil de diagnostic de son statut azoté. Des essais expérimentaux dans le cadre de la présente étude ont permis d'effectuer ces deux points. Le suivi de la croissance du peuplement de riz pluvial et l'analyse des composantes d'élaboration de rendement constituent la démarche adoptée. Le peuplement était installé sur deux dispositifs d'âge de fonctionnement différent et conduit avec deux types de gestion du sol : SCV et Labour et trois niveaux de fumure : FU, FM, F3.

Les indicateurs du statut azoté testés sont le chlorophyll meter durant la phase végétative et le taux de sénescence des feuilles après la floraison. Le SPAD se révèle comme un indicateur fiable mais le taux de sénescence demeure un critère variétal peu spécifique de la nutrition azotée. Au cours du cycle cultural, l'appréciation de la production de la biomasse aérienne est la plus expressive du niveau de nutrition azotée du riz.

Les résultats obtenus sur le dispositif récent de première campagne sont peu expressifs des effets que la fumure et le mode de gestion du sol pourraient avoir sur la croissance et la production du riz pluvial. Sur le dispositif plus âgé par contre l'effet du SCV est positivement significatif par rapport au système labouré. Le riz présente toujours une meilleure réponse à la fertilisation minérale.

**4^{EME} PARTIE : ETUDE AGRO -
ECONOMIQUE DES SYSTEMES DE
CULTURES EXPERIMENTAUX**

4ème partie : Etude agro – économique des systèmes de culture expérimentaux

L'évaluation des performances économiques des systèmes de culture permet de mieux expliquer leur fonctionnement et de tracer leur possibilité d'évolution.

4.1. Méthode de calcul et d'analyse

4.1.1. Objectif

Le but dans cette étude économique consiste à estimer la rentabilité des systèmes de culture qu'on a adoptés pour notre expérimentation. Leurs résultats seront ensuite comparés au résultat réel d'un système paysan. On pourra ainsi évaluer leur capacité à améliorer la productivité des systèmes paysans, ce qui est un critère important pour faciliter leur diffusion. La méthode utilisée sera l'analyse économique par le budget complet, avec comme indicateur de rentabilité l'élaboration des marges nettes (cf. Tableau)

On cherchera aussi à évaluer la capacité du riz pluvial, la culture pivot des systèmes étudiés, à valoriser différents niveaux de fertilisation. La méthode utilisée sera l'analyse marginale en budget partiel.

Les calculs de production brute et de la valeur ajoutée brute s'effectuent donc de système de culture par système de culture à partir de la caractérisation technique de ceux-ci. Il est à préciser que les données retenues pour le système paysan sont la combinaison de recoupement de données d'enquête faite auprès des paysans des alentours du site d'expérimentation.

4.1.2. Caractérisation des systèmes de culture

Un système de culture se définit comme un ensemble de modalités techniques mises en œuvre sur une parcelle cultivée. Il est caractérisé ainsi par :

- La nature des cultures, des associations de culture et de leur ordre de succession
- Les itinéraires techniques appliqués
- La production

4.1.2.1. *Nature des cultures adoptées*

Selon les dispositifs d'expérimentation 5 systèmes de cultures sont à considérer :

Tableau 13 : Caractéristiques générales des systèmes de cultures

	Système paysan	Dispositif PCP			Dispositif Tafa	
Systèmes de culture	Système en labour	R4 SCV	R3 SCV	R4 LAB	Système en SCV	Système en Labour
Cultures de première saison	Riz	Riz -vesce	Riz	Riz -vesce vesce	Riz - vesce	Riz
Cultures de deuxième saison	Maïs + soja	Maïs + Soja - vesce	Maïs + <i>Brachiaria</i>	Maïs+soja - vesce	maïs+soja	Soja

- : culture en dérobée

+ : culture en association

SCV : gestion du sol en système de semis direct

Lab. : gestion du sol en labour

Le système paysan est un système de rotation riz / maïs + soja. Ce système est retenu pour une approche comparative plus évidente entre les systèmes.

4.1.2.2. *Les itinéraires techniques*

L'itinéraire technique correspond à une suite logique et ordonnée d'opérations culturales appliquées à une culture ou une association de culture. Il détermine les besoins en main d'œuvre et en intrants du système cultural.

Sur les systèmes en SCV, l'emploi d'intrants chimiques tel les herbicides sont en complémentaires du sarclage manuel. Le soja bénéficie aussi de deux passages de traitement d'insecticide.

La conduite en labour sur le dispositif de Tafa correspond à la conduite conventionnelle. En effet on ne fait aucun apport de résidus de récolte. Cette conduite est plus proche de l'itinéraire technique du système paysan. Le labour sur R4 par contre inclut la restitution des résidus des précédents culturaux.

Le calendrier cultural est commun à tous les systèmes et s'étend du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril. La vesce sur R4 constitue la couverture permanente du système jusqu'à la prochaine campagne.

La pointe de travail se situe à la période d'installation des cultures et à la récolte.

4.2. Rentabilité comparée des différents systèmes

4.2.1. Comptes caractéristiques des différents systèmes

4.2.1.1. *Evaluation des marges*

L'évaluation du produit brut s'effectue à partir des rendements moyens obtenus pour les cultures. On considèrera seulement comme charges d'exploitation la main d'œuvre et les consommations intermédiaires (semences et intrants).

Pour un système donné le produit brut moyen se calcule par la somme des produits moyens, obtenus pour chaque culture et association pratiquées dans la rotation, divisée par le nombre d'années de la rotation.

4.2.1.2. *L'estimation des prix*

Les prix connaissent en général de grandes variations au cours de l'année entre la période de récolte où ils sont relativement bas et la période de soudure où les prix flambent. Le prix retenu pour l'étude sera le prix d'acquisition de TAFE des semences pour l'année 2002 – 2003. Et pour les intrants on a pris les prix en fin de la précédente campagne (Juillet 2003).

4.2.1.3. *Les résultats économiques*

Les quatre tableaux suivant récapitulent le compte de résultat des cinq systèmes à évaluer. Il sera à remarquer que sur le système de culture paysan le coût de main d'œuvre n'est pas comptabilisé. En effet ce système paysan est considéré comme une exploitation de subsistance où on ne cherche pas à dégager un surplus source de revenu mais une production pour l'autoconsommation. De plus la faible superficie moyenne (0.43ha) de riziculture pluviale de la région d'étude donne une importance peu considérable des travaux investis dans l'exploitation paysanne. Les charges intermédiaires de production demeurent donc les charges à considérer

Tableau 14: Besoins en main d'œuvre sur la première rotation : Riz pluvial en culture principale

Besoin en MO		1 ^{ère} rotation	R3 SCV	R4 SCV	R4 Lab.	Tafa SCV	Tafa Lab.	Paysan
Préparation du sol	Labour	Nombre / Ha	0	0	55	0	50	50
		Coût (Fmg/Ha)	0	0	330000	0	300000	0
	Herbicideage	Nombre / Ha	11	11	0	10	0	0
		Coût (Fmg/Ha)	66000	66000	0	60000	0	0
Semis + épandage de fumure		Nombre / Ha	65	61	64	41	22.5	25
		Coût (Fmg/Ha)	390000	366000	384000	246000	135000	0
Semis plante de couverture		Nombre / Ha	0	20	24.07	20	0	0
		Coût (Fmg/Ha)	0	120000	144420	120000	0	0
Entretien	Sarclages	Nombre / Ha	90	60	95	0	62	12.5
		Coût (Fmg/Ha)	540000	360000	570000	0	372000	0
	Désherbage chimique	Nombre / Ha	0	5	0	5	0	0
		Coût (Fmg/Ha)	0	30000	0	30000	0	0
	Traitement insecticide	Nombre / Ha	5	5	5	0	0	0
		Coût (Fmg/Ha)	30000	30000	30000	0	0	0
Récolte et post récolte		Nombre / Ha	40	40	40	101.5	173.5	32.5
		Coût (Fmg/Ha)	240000	240000	240000	609000	1041000	0
Total Main d'œuvre (1)			1266000	1212000	1698420	1065000	1848000	0

Tableau 15: Besoins intrants sur la première rotation : Riz pluvial en culture principale

Besoin en intrants			R3 SCV	R4 SCV	R4 Lab.	Tafa SCV	Tafa Lab.	Paysan
Préparation du sol	Labour	Coût (Fmg/Ha)	0	0	400000	0	0	0
	Herbicide	Coût (Fmg/Ha)	96300	129300	0	123750	0	0
Semis + épandage de fumure								
Semences	Culture	Coût (Fmg/Ha)	215250	210000	215250	280000	280000	140000
	Couverture	Coût (Fmg/Ha)	0	412500	412500	412500	0	0
	Insecticide	Coût (Fmg/Ha)	105318.75	103203.75	105772.5	137453.75	137000	119875
	Autres	Coût (Fmg/Ha)	0	0	0	0	0	0
Fumure		Coût (Fmg/Ha)	1325000	1550000	1550000	1335000	997500	230000
Entretien	Herbicide	Coût (Fmg/Ha)	0	22000		22000	0	0
	Insecticide	Coût (Fmg/Ha)	120000	120000	120000	156000	156000	0
Total intrants (2)			1861868.75	2547003.75	2803522.5	2466703.75	1570500	489875
Total charges 1ère rotation (3) = (1) + (2)			3127868.75	3759003.75	4501942.5	3531703.75	3418500	489875
Production brute	Rendement (kg/Ha)		2420	1900	3350	2500	980	750
	Coût (Fmg/Ha) (4)		3630000	2850000	5025000	3750000	1470000	1125000
Résultats bruts (Fmg/Ha) (5) = (4) - (3)			502131.25	(909003.8)	523057.5	218296.25	(1948500)	635125

Tableau 16: Besoins en main d'œuvre sur la deuxième rotation : maïs et soja en cultures principales

Besoin en MO		2ème rotation	R3 SCV	R4 SCV	R4 Lab.	Tafa SCV	Tafa Lab.	Paysan
Opération culturale								
Préparation du sol	Labour	Nombre / Ha	0	0	55	0	50	50
		Coût (mg/Ha)	0	0	330000	0	300000	0
	Herbicide	Nombre / Ha	14.5	19.5	0	4	0	0
		Coût (mg/Ha)	87000	117000	0	24000	0	0
Semis + épandage de fumure		Nombre / Ha	66	61.225	56	55	22.5	33
		Coût (mg/Ha)	396000	367350	336000	330000	135000	0
Semis plante de couverture		Nombre / Ha	30	21.5	21.5	0	0	0
		Coût (mg/Ha)	180000	129000	129000	0	0	0
Entretien	Sarclages	Nombre / Ha	38	33	63	0	62	65
		Coût (mg/Ha)	228000	198000	378000	0	372000	0
	Désherbant	Nombre / Ha	28	5	0	8	0	0
		Coût (mg/Ha)	168000	30000	0	48000	0	0
	Insecticide	Nombre / Ha	0	22.5	5	8	0	0
		Coût (mg/Ha)	0	135000	30000	48000	0	0
Autres	Nombre / Ha	15.5	15.625	15	0	0	0	
	Coût (mg/Ha)	93000	93750	90000	0	0	0	
Récolte et post récolte		Nombre / Ha	90	140	141	179.5	57.5	65
		Coût (mg/Ha)	540000	840000	846000	1077000	345000	0
Total main d'œuvre (1')			1692000	1910100	2139356.5	1527000	1152000	0

Tableau 17: Besoins en intrants sur la deuxième rotation : Maïs et soja en cultures principales et Résultat des systèmes.

Besoin en intrants			R3 SCV	R4 SCV	R4 Lab.	Tafa SCV	Tafa Lab.	Paysan
Préparation du sol	Labour		0	0	400000	0	0	0
	Herbicide	Coût (Fmg/Ha)	147600	197100	0	123750	0	0
Semis + épandage de fumure								
Semences	Culture	Coût (Fmg/Ha)	325000	350000	325000	525000	350000	325000
	Couverture	Coût (Fmg/Ha)	3125000	412500	412500	0	0	0
	Insecticide	Coût (Fmg/Ha)	222625	137688.75	120563.75	154595	34720	0
Fumure		Coût (Fmg/Ha)	1560000	1560000	1560000	2765000	1100000	3000000
Autres		Coût (Fmg/Ha)	0	2940	2940	3675	588	0
Entretien	Herbicide	Coût (Fmg/Ha)	265000	22000	0	165000	0	0
	Insecticide	Coût (Fmg/Ha)	0	47200	23600	23100	23100	0
Total intrants (2')			5645225	2729428.75	2844603.75	3760120	1508408	3325000
Total charges 2ème rotation (3') = (1') + (2')			7337225	4639528.75	4983960.25	5287120	2660408	3325000
Production brute	Rendement soja (Kg/Ha)		0	1200	1200	2800	1800	600
	Coût (Fmg/Ha)		0	3000000	3000000	700000	4500000	1500000
	Rendement Maïs (Kg/Ha)		2470	945	1380	4400	0	1300
	Coût (Fmg / ha)		3705000	1417500	2070000	6600000	0	1950000
Total Production (4')			3705000	4417500	5070000	13600000	4500000	3450000
Résultat brut (5') = (4') - (3')			(3632225)	(222028.75)	86039.75	8312880	1839592	125000
Total résultat système (6) = (5) + (3')			(3130093.8)	(1131032.5)	609097.25	8531176.25	(108908)	760125
Marge brute annuelle système			(1565046.9)	(565516.25)	304548.63	4265588.13	(54454)	380062.5

Le système labouré de deuxième année d'exploitation (R4LAB) est le plus productif des systèmes. Le résultat enregistré sur le système en SCV installé depuis une dizaine d'année atteint une productivité identique malgré une installation déficitaire en début d'adoption (R3SCV, R4SCV).

Les besoins en main d'œuvre sont importants en système labouré. De plus le résultat de production se dégrade au fur à mesure de la durée d'exploitation.

Le système de référence paysan se présente cependant peu productif et engage un nombre important de main d'œuvre.

4.2.1.4. ***Rentabilité et valorisation du temps de travail journalier du système paysan***

Les besoins en main d'œuvre de ce système s'élève à environ 165Hj à l'hectare. La rémunération du travail journalier du système sera donc : $380065/165 = 2289$ Fmg.

Pour une rémunération salariale à 6000 Fmg /jour, le résultat ne permet à l'exploitation de recourir à l'emploi de main d'œuvre extérieur.

Le système enregistre cependant une rentabilité de 20 % des charges de production et son seuil de rentabilité en terme de main d'œuvre se situe à 64 Hj / Ha /an. Une intensification pour augmenter sa production brute est donc nécessaire avec l'adoption d'un système de culture moins exigeant en main d'œuvre.

4.2.1.5. ***Rentabilité et valorisation du temps de travail journalier du système SCV sur le dispositif TAFA***

Le besoin en main d'œuvre de ce système s'élève à 216 Hj/Ha ce qui valorise le temps de travail journalier à $4\ 265\ 588 / 216 = 19\ 748$ Fmg.

Le système de culture en SCV après plusieurs années d'installation permet une production suffisante qui permet de valoriser la main d'œuvre employée et les intrants investis. De plus le besoin en main d'œuvre devient moins important par l'emploi des intrants chimiques et la suppression du labour.

La rentabilité s'élève à 73 % des charges investies, il est permis d'affirmer que ce système est un système économiquement rentable et durable.

4.2.1.6. ***Rentabilité et valorisation du temps de travail journalier du système labouré sur le dispositif de TAFE***

Le système est déficitaire à cause d'un besoin trop important de main d'œuvre et la conduite expérimentale ne considère pas l'investissement trop élevé en intrants chimiques notamment l'emploi d'insecticide. La productivité des cultures est aussi faible à cause de la dégradation du sol labouré et ne permet pas de rentabiliser les travaux et intrants investis.

Le seuil de rentabilité de ce système en terme de main d'œuvre se situe à 241Hj/Ha/an.

4.2.1.7. ***Rentabilité et valorisation du temps de travail journalier du système R3SCV sur le dispositif principal***

Le système est déficitaire avec un grand besoin en MO (246.5 Hj /Ha/an) et d'emploi d'intrants chimiques. Sous conditions réelles, on peut certainement revoir la quantité de main d'œuvre à employer et rationaliser l'emploi d'herbicide notamment dans la maîtrise du *Brachiaria* sur le riz. Ce système ne peut être productif qu'avec une production plus importante.

4.2.1.8. ***Rentabilité et valorisation du temps de travail journalier du système R4SCV sur le dispositif principal***

Le système engage beaucoup trop de main d'œuvre et la production obtenue ne permet de rentabiliser les intrants investis. Le déficit est estimé à 13 % des charges. Sous conditions réelles, on pourra certainement obtenir un meilleur résultat par un emploi moins élevé de main d'œuvre et de technique de production plus performante.

4.2.1.9. ***Rentabilité et valorisation du temps de travail journalier du système R4Lab sur le dispositif principal***

La valorisation du temps de travail journalier est de $304\ 548 / 320\ \text{Hj/Ha} = 952\ \text{Fmg}$
Le système labouré nécessite toujours beaucoup plus de main d'œuvre mais on constate un rendement plus élevé dans les premières années de culture. La rémunération journalière du travail est assez minime et demeure inférieure au seuil de survie actuelle.

Le seuil de rentabilité de ce système en terme de main d'œuvre se situe à 327Hj/Ha/an, l'emploi moins important d'intrants chimiques et l'importance de la production obtenue permet l'utilisation d'autant de main d'œuvre pour ses opérations culturales.

Il est déjà mentionné plus haut pourtant que ce type de gestion du sol ne permet pas toujours une production satisfaisante et continue.

4.2.2. Synthèse des résultats

L'analyse des performances économiques des systèmes expérimentaux ne peut vraiment pas permettre d'établir une caractérisation précise de l'efficacité économique des systèmes. Sous condition expérimentale, l'utilisation des mains d'œuvre est toujours plus élevée, de plus l'investissement en intrants est plus que rationnel pour pouvoir bien maîtriser toutes les conditions du milieu.

On peut pourtant déduire des études faites que :

- Sur le système SCV, le besoin en main d'œuvre est moins important et qu'au bout de plusieurs années d'installation la productivité est la plus intéressante. Il permettra une nette amélioration de la productivité paysanne qui est estimé ici à 2282 Fmg/jour.
- L'adoption du système SCV nécessite un investissement en intrants chimiques plus ou moins lourd pour les paysans. De plus la production dans les premières années reste peu satisfaisante, ce qui rend leur diffusion difficile.
- Sur le système labouré, le besoin en main d'œuvre constitue un facteur limitant de la productivité. Une production intéressante est obtenue dans les premières années d'exploitation (R4LAB) mais celle-ci se dégrade avec l'exploitation irrationnelle du sol. Au bout de dix ans, le système labouré (sur TAFA) ne permet plus une exploitation rentable.

4.3. Evaluation économique de la valorisation de la fertilisation des rizières pluviales sur les systèmes R3 et R4

Selon les niveaux de fumure FO ; FU ; FM, l'étude suivante va essayer d'évaluer le gain de productivité des systèmes de riziculture et d'établir sur quels facteurs (Main d'œuvre, intrants, production) la fertilisation influe pour améliorer cette productivité.

4.3.1. Initiation à l'analyse de la rentabilité et sensibilité de la production de la riziculture pluviale

Cette étude concerne les trois systèmes du dispositif expérimental où on peut estimer la valorisation de la fertilisation apportée en début d'exploitation par le riz pluvial.

4.3.1.1. *La méthode d'évaluation économique par budget partiel et d'analyse marginale*

La méthode du budget partiel correspond à l'établissement des résultats de production et des coûts dérivant du traitement à évaluer. Elle prend en compte la différence de production obtenue et le surplus de coûts impliqué sur chaque traitement étudié. Il y a lieu donc de définir les coûts variables selon les traitements et l'analyse statistique des différences de rendement des essais.

L'analyse marginale se porte ensuite sur l'évaluation du taux de rentabilité des surplus de coûts par rapport au gain de production.

Dans l'optimisation économique de la fertilisation, on émettra l'hypothèse que sur nos trois systèmes, les coûts qui varient sont induits seulement du niveau de fumure.

Le tableau de calcul des bénéfices et taux de rentabilité marginale permettra de dégager l'optimisation économique de la fertilisation en considérant le gain de production et les surplus de main d'œuvre et d'intrants entraînés par l'intensification de la fumure.

Le calcul du rendement additionnel minimum (seuil de rentabilité) est obtenu par la formule :

$$\text{Seuil de rentabilité} = \text{Coûts additionnels ou marginaux} \times (1 + \text{Taux minimum de rentabilité}) / \text{Prix au champ du produit}$$

(*) Avec un taux minimum de rentabilité acceptable fixé à 50 %

Tableau 18 : Calcul de rentabilité de la riziculture sur les différents systèmes en fonction du niveau de fumure

	R3SCV			R4SCV			R4Labouré		
	FO	FU	FM	FO	FU	FM	FO	FU	FM
Produit									
Rendement (kg paddy/Ha)	1270	1810	2420	1530	1440	1900	2010	2780	3350
Prix unitaire (Fmg/kg paddy)	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500
Produit brut (Fmg)	1905000	2715000	3630000	2295000	2160000	2850000	3015000	4170000	5025000
Charges en Intrants									
Fumier (Fmg/Ha)	0	375 000	375 000	0	375 000	375 000	0	375 000	375 000
NPK (Fmg/Ha)	0	0	690 000	0	0	690 000	0	0	690 000
Dolomie (Fmg/Ha)	0	0	275 000	0	0	275 000	0	0	275 000
Urée (Fmg/Ha)	0	0	210 000	0	0	210 000	0	0	210 000
Total intrants (Fmg/Ha)	0	375000	1550000	0	375000	1550000	0	375000	1550000
Charges en Main d'œuvre									
Epandage fumier (Fmg/Ha)	0	36 000	36 000	0	36 000	36 000	0	36 000	36 000
Epandage engrais au semis (Fmg/Ha)	0	0	24000	0	0	24000	0	0	24000
Epandage urée en couverture (Fmg/Ha)	0	0	180000	0	0	180000	0	0	180000
Total main d'œuvre (Fmg/Ha)	0	36000	240000	0	36000	240000	0	36000	240000
Coûts totaux (Fmg/Ha)	0	411000	1790000	0	411000	1790000	0	411000	1790000
Coûts marginaux (Fmg/Ha)		411000	1379000		411000	1379000		411000	1379000
Bénéfices nets (Fmg/Ha)	1905000	2304000	1840000	2295000	1749000	1060000	3015000	3759000	3235000
Bénéfices marginaux (Fmg/Ha)		399000	-464000		-546000	-689000		744000	-524000
Taux marginal de rentabilité (*)		97	-34		-133	-50		181	-38
Seuil de rentabilité (Rendement additionnel minimum)		411	1 379						

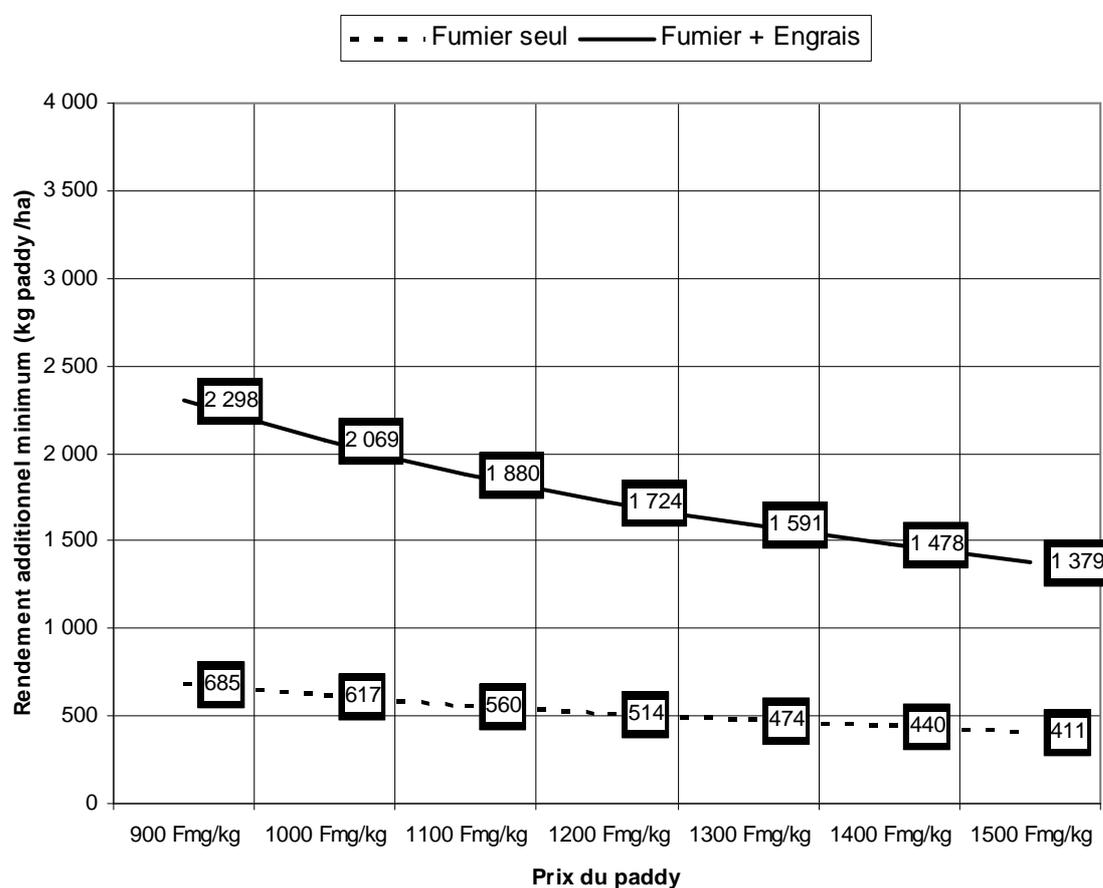
Les rizicultures en SCV ne peuvent rentabiliser la fumure FM, de par les coûts des engrais mais aussi par le faible niveau de la production obtenue. Quelque soit le système étudié, la rentabilité de l'apport de fumier ne sera obtenue qu'avec un surplus de production de 411 kg sur le rendement obtenu des parcelles traitées en FO. On a pourtant décelé des expérimentations que le rendement obtenu avec le niveau de fumure FU ne présente aucune différence significative avec celui produit sur les parcelles en FO.

L'apport d'engrais minéral avec le fumier devrait quant à lui augmenter le rendement obtenu en FU de 1379 Kg pour être justifié. Cette différence n'est pourtant pas observée sur les rendements des essais malgré la différence significative des rendements obtenus de ces niveaux de fumure.

Les indicateurs suivants permettront d'analyser la sensibilité de la rentabilité de la fumure azotée des rizicultures pluviales sur les différents systèmes en fonction de la variation des prix du paddy et des intrants.

4.3.1.2. Analyse de la sensibilité du seuil de rentabilité

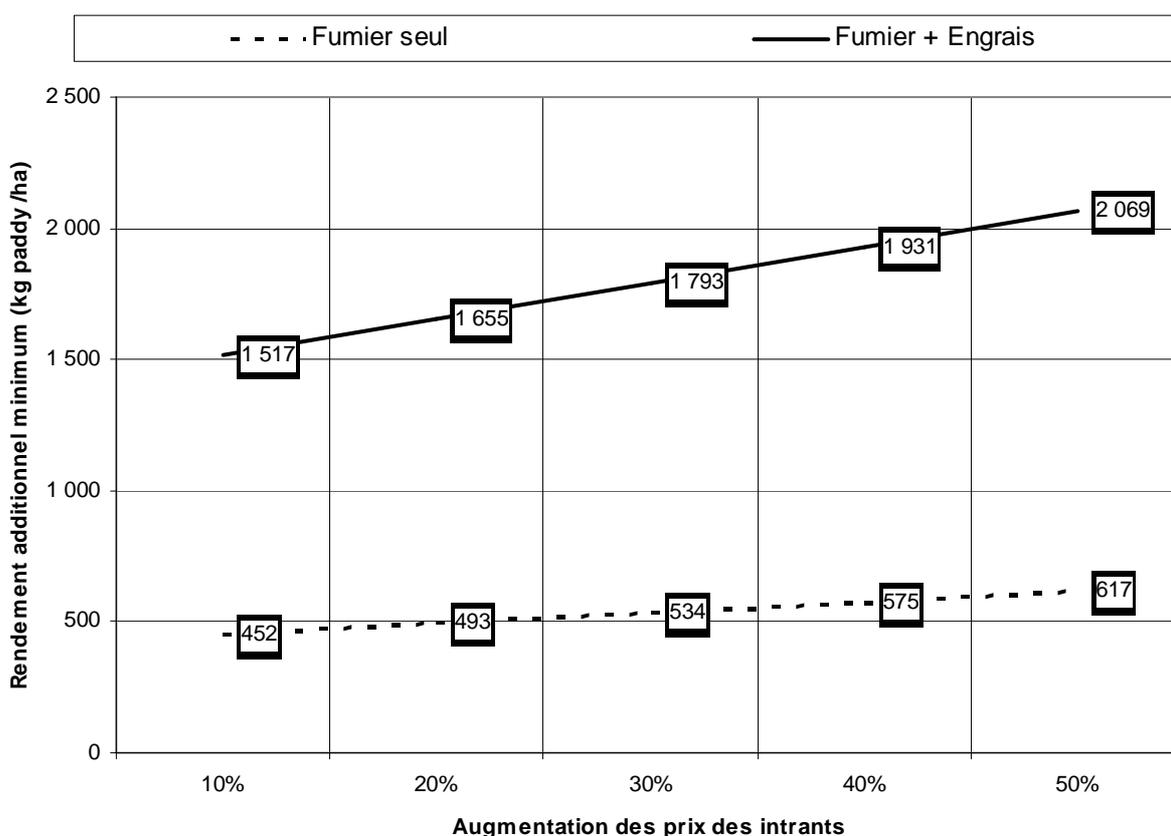
Courbe 23 : Seuil de rentabilité (exprimé en rendement additionnel minimum) de la riziculture en fonction de la variation du prix du paddy.



Le seuil de rentabilité en terme de rendement est en régression quand le prix du Paddy augmente. Préconiser un niveau de fumure amélioré sur ces systèmes ne peut être positif que si le prix du paddy augmente. La tendance de ce facteur demeure cependant stationnaire avec une hausse peu ressentie dans le contexte actuel du pays.

En considérant la variation du prix des intrants on peut obtenir la courbe suivante :

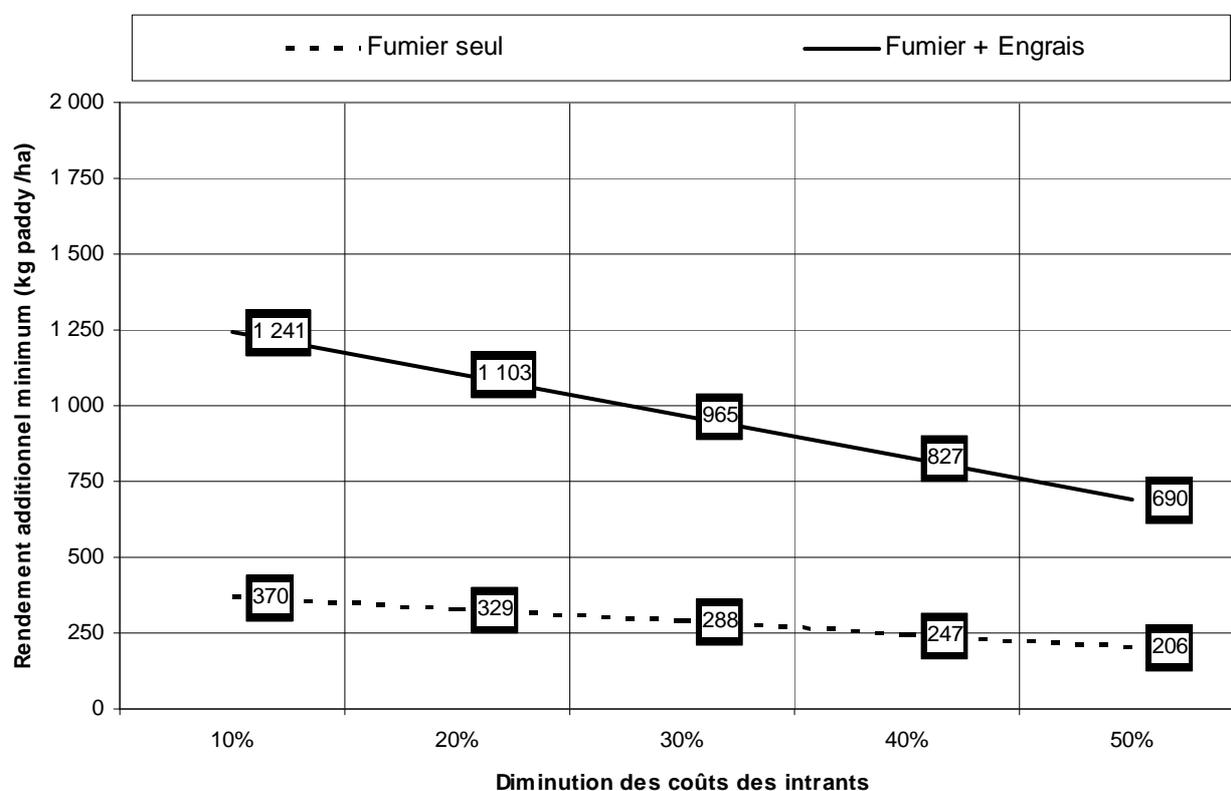
Courbe 24 : Seuil de rentabilité (exprimé en rendement additionnel minimum) de la riziculture en fonction de l'augmentation du prix des intrants



Le seuil de rentabilité augmente avec le taux d'augmentation du prix des intrants. En prenant compte du prix actuel des engrais chimiques par rapport au prix retenu pour la présente étude, la préconisation d'une intensification de la fertilisation pour optimiser la production de ces systèmes se montrera peu rentable.

Si l'Etat décide par contre d'adopter une politique de relance de l'agriculture par une subvention des prix des engrais on aura la tendance suivante :

Courbe 25 : Seuil de rentabilité (exprimé en rendement additionnel minimum) de la riziculture en fonction de la diminution du prix des intrants.



Une baisse du prix des intrants à moitié permet d'obtenir une rentabilisation de ceux-ci avec le niveau de production obtenue des systèmes d'étude.

La rentabilité du R4SCV demeure déficitaire quelque soit la tendance des valeurs de production et des coûts des charges. En effet le riz pluvial n'y manifeste un effet positif de la valorisation de l'intensification de la fertilisation à travers son niveau de production.

Le système labouré quant à lui rentabilise les niveaux de fumure FU jusqu'à une baisse du prix de la production à 900Fmg par kilogramme de paddy. La fumure FM devient par contre déficitaire avec une baisse du prix du kilo du paddy au-dessous de 1500Fmg.

La hausse des prix des intrants jusqu'à 50 % reste valorisé par le système labouré en FU. Quelque soit le système pourtant cette hausse limite la valorisation économique des investissements.

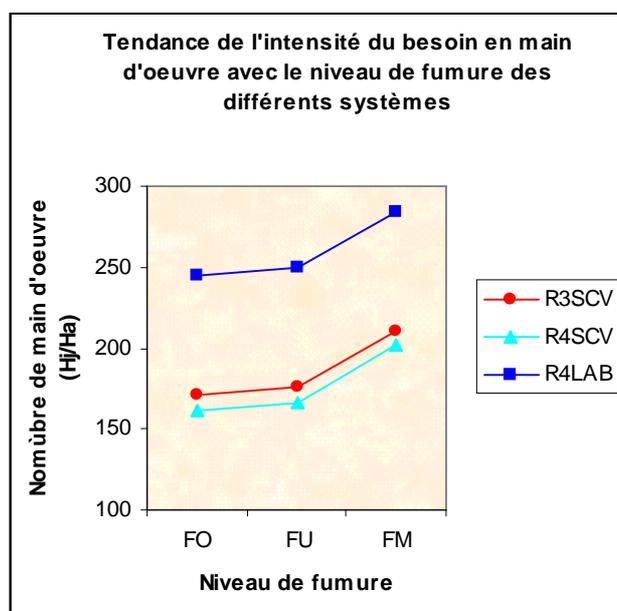
La baisse de ceux-ci à plus de 10 % permet par contre une rentabilisation positive sur le système R3SCV de la fumure FM. Le système R4 SCV ne permet une valorisation de l'apport du fumier malgré une baisse du prix des intrants à moitié.

4.3.2. Besoin en main d'œuvre et niveau de fertilisation

Les différents niveaux de fumure entraînent des coûts supplémentaires de main d'œuvre. L'étude de la tendance du besoin en main d'œuvre avec l'intensification de la fertilisation permet de définir le facteur limitant de sa rentabilité.

D'après la courbe suivante on a une relation proportionnelle entre l'intensité du besoin en main d'œuvre avec la quantité d'apport d'éléments nutritifs sur les systèmes.

Courbe 26: Tendance d'évolution du besoin en main d'œuvre selon les niveaux de fumure



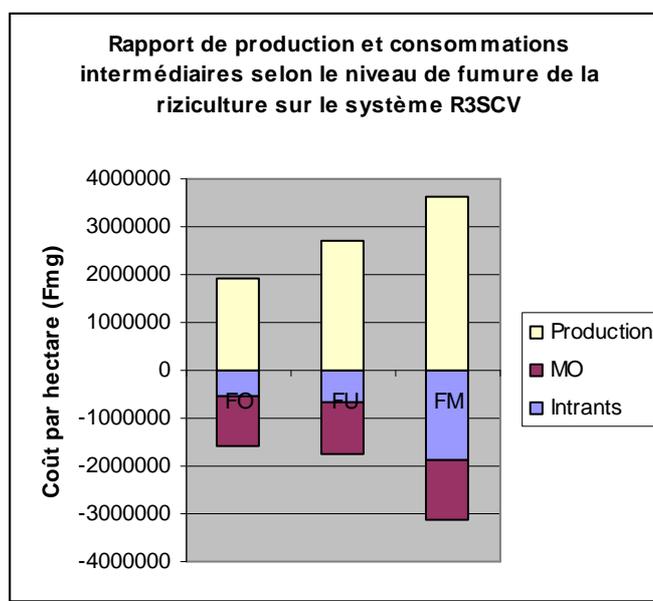
Le système labouré R4 par rapport aux deux systèmes en SCV présente le besoin de main d'œuvre le plus élevé notamment pour le travail du sol. En FO, ce besoin est moins important par rapport au niveau FM. Il y a diminution des besoins en main d'œuvre par la suppression de l'épandage d'engrais au semis et la diminution de l'intensité de sarclage. En effet avec l'apport d'éléments fertilisants, la pression des mauvaises herbes augmentent.

4.3.3. Rapport coût d'exploitation et production

A partir des diagrammes suivants on peut établir l'importance du résultat obtenu sur les systèmes.

4.3.3.1 *Système R3 en système de culture sous couverture végétale R3 SCV*

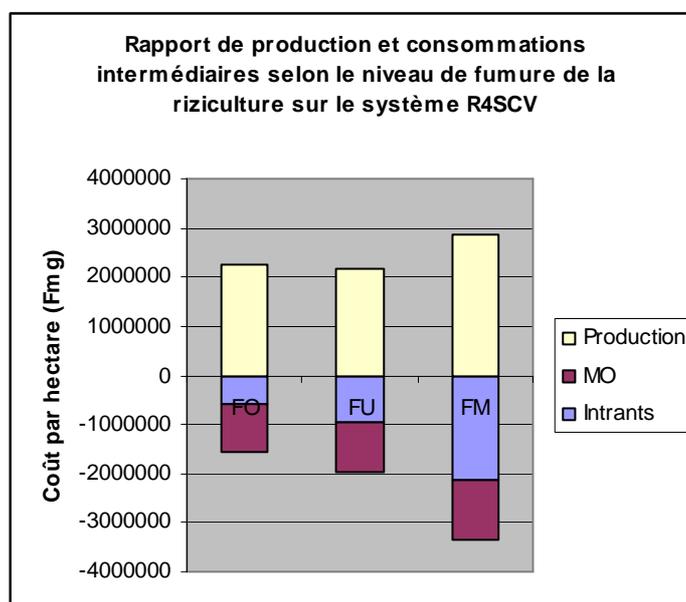
Graphique 10: Rapport production et charges d'exploitation selon le niveau de fumure du R3SCV



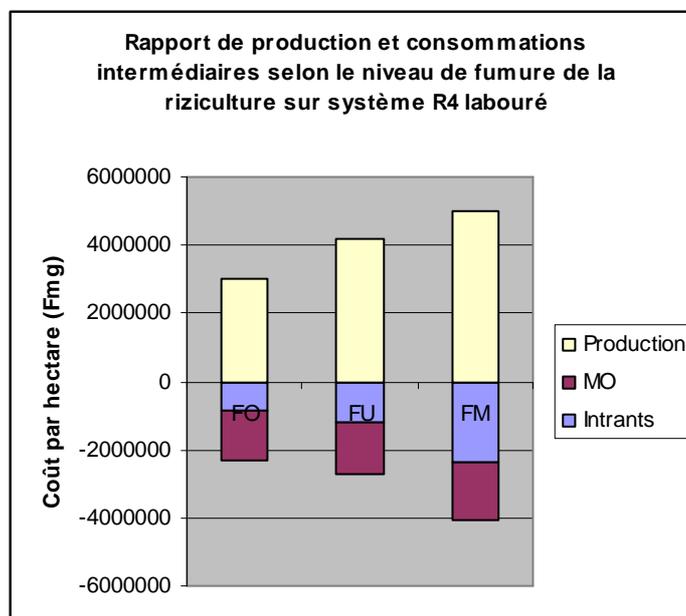
La lecture du précédent diagramme nous permet de dire que plus le niveau de fumure augmente plus la production est importante. Cette augmentation de la production sur R3SCV n'est pas proportionnelle à l'augmentation des charges d'exploitation. L'emploi d'intrants phytosanitaires constitue par contre l'essentiel de cette charge. On ne peut pas ainsi attribuer simplement le gain de production à la fertilisation.

4.3.3.2 *Système R4 en système de culture sous couverture végétale R4 SCV*

Graphique 11 : Rapport production et charges d'exploitation selon le niveau de fumure du R4SCV



L'augmentation de la production est peu ressentie sur le système R4SCV avec le niveau de fumure. Les charges de production demeurent par contre en progression. La fertilisation y est moins valorisée elle induit surtout un surplus de coût.

4.3.3.3. *Système R4 en système de culture labouré R4 LAB***Graphique 12: Rapport production et charges d'exploitation selon le niveau de fumure du R4LAB**

La production se différencie et devient plus importante avec l'intensité de l'apport fertilisant. Les charges augmentent aussi avec les niveaux de fumure et sont valorisées. Ce système présente donc une productivité suffisante avec un niveau de fertilisation adéquat.

La synthèse de l'analyse économique de la riziculture pluviale permet de déduire que :

- Quelque soit le système le besoin en main d'œuvre augmente avec l'apport d'éléments fertilisants.
- La valorisation de la fertilisation considère l'effet des pratiques culturales d'entretien (Traitement phytosanitaire, sarclage).
- Le système labouré R4LAB permet une production meilleure avec un niveau plus élevé. Sur SCV, la valorisation de la fumure est fonction de l'intensité des charges d'exploitation.
- Au niveau actuel des rendements, des prix de paddy et des coûts des intrants, la fertilisation minérale des rizicultures en SCV ne sont pas rentables

4.4. Conclusion partielle

L'étude économique faite sur les systèmes d'études se base sur des conditions expérimentales, on ne peut pas être précis sur les performances économiques réelles des systèmes. Le système paysan permet à l'exploitant une rémunération moyenne mais il peut toujours faire mieux avec une intensification et des techniques culturales moins exigeant en main d'œuvre. La nécessité d'une exploitation durable avec un niveau de production satisfaisant nous permet de préconiser une amélioration de ce système par :

- La restitution des résidus de récolte
- L'investissement plus important en intrants chimiques notamment pour le désherbage

On ne peut cependant opter pour un tel du système expérimental car ils sont encore en phase de mise au point. Leur efficacité en milieu paysan n'est pas encore testée mais leur performance de production nous permet déjà de distinguer une meilleure efficacité du système en SCV sur Tafa : l'aînée du système R4SCV. Le système labouré nécessitera des investissements en intrants et protection du sol pour maintenir son niveau de production.

Le système R3SCV est le système le plus intéressant pour une gestion rationnelle du sol mais il est limité par la difficulté de maîtrise du *Brachiaria* qui nécessite un investissement important en intrant chimique. L'intérêt de la culture pour la production fourragère facilitera par contre l'adoption du système dans les mœurs d'agriculture de la région du Vakinankaratra.

**CONCLUSION GENERALE ET
PERSPECTIVES**

Conclusion générale et perspectives

Toute action de développement agricole à Madagascar priorise l'objectif de lutte contre l'insuffisance alimentaire. Ce problème touche plus de la moitié de sa population. La riziculture contribue à 43 % de la valeur ajoutée du secteur agricole du pays. Cette importance lui donne une priorité dans les préoccupations de recherche en Agriculture. Plusieurs facteurs sont pourtant à considérer pour améliorer la production rizicole, notamment les innovations de techniques culturales, la mécanisation des systèmes, l'intensification par l'emploi d'intrants chimiques et on retrouvera en aval la structuration du monde rural.

Les études conduites au sein du PCP SCRID pour intégrer le système agrobiologique de gestion du sol ou SCV dans le système de riziculture pluvial s'orientent dans ce sens. La compréhension du fonctionnement du système sous couverture végétale SCV et la maîtrise de ses techniques culturales permettront de faciliter sa diffusion mais surtout de l'améliorer. La fertilisation azotée est une composante déterminante pour cette dernière.

Les résultats de notre étude ont permis de suivre l'effet des SCV, en comparaison avec les systèmes labourés, sur la croissance et le développement du riz pluvial. Nous avons évalué la réponse du riz à la fertilisation azotée par sa vigueur de croissance et sa qualité et quantité de production. Des outils de diagnostic du statut azoté ont été testés tels le Chlorophyll meter (SPAD) et le taux de sénescence des feuilles.

La sénescence s'avère peu spécifique du niveau de fumure mais le SPAD a donné des résultats expressifs d'une différence entre la fumure minérale (FM) de la fumure organique constituée de fumier (FU).

Le riz a présenté une réponse positive sur les systèmes SCV surtout après plusieurs années d'installation avec un rendement moyen de 2.42 T/Ha. Sur système labouré, les résultats des premières années sont satisfaisants mais l'exploitation continue renforce les effets de la dégradation du sol. Le rendement devient médiocre au bout de dix années.

L'analyse économique des systèmes expérimentaux confirme ces résultats. Le système SCV nécessite moins de main d'œuvre et permet une valorisation du temps de travail journalier bien supérieur au seuil de survie actuel.

L'amélioration du SCV par l'optimisation de la fertilisation est certes efficace mais plusieurs facteurs demeurent non négligeables pour compléter les résultats de la présente étude. Il sera plus pertinent donc d'étudier :

- Υ La maîtrise des mauvaises herbes en système SCV afin de valoriser pour la culture les apports d'éléments fertilisants.
- Υ L'effet du SCV sur les infestations parasites (insectes et maladies) qui semblent être limitant dans la durabilité du système.
- Υ L'influence du SCV sur la reproduction de la fertilité du sol pour évaluer sa capacité à améliorer le sol notamment les Tanety et la disponibilité de celui-ci à nourrir la culture pour une production durable.
- Υ La faisabilité d'une extension des systèmes SCV pour mettre en valeur des grandes surfaces. On pourra de ce fait augmenter la production rizicole et mettre en valeur les surfaces non exploitées du pays.

L'aboutissement des résultats de recherche devrait être accompagnée d'une forte action de vulgarisation et aussi d'une structuration de la filière rizicole : de la production à la commercialisation.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

1. ANDRIANASOLO H., 2002, *Cours de cultures vivrières*, ESSA, Département Agriculture, Université d'Antananarivo.
2. BOCKEL L., 2003, *Filière riz et pauvreté rurale à Madagascar : Déterminants d'une stratégie de réduction de la pauvreté rurale et politiques publiques de développement*.
Résumé de Thèse pour l'obtention du Doctorat en Sciences Economiques, Université de Metz : Faculté de Droit, d' Economie et d' Administration. 42 p.
3. CALLOT G. et al. 1982, *Les interactions sol – racines : incidence sur la nutrition minérale*. INRA, Paris, Edition Mieux comprendre, 325p.
4. DMD, 2004, *Madagascar en situation d'urgence alimentaire*, Hebdomadaire économique N° 9984723. 23 Janvier 2004.
5. DOBELMANN J.P., 1976, *Riziculture pratique 2 : Riz pluvial*. Presses universitaires de France.
6. DOUNIAS I., 2001, *Systèmes de culture à base de couverture végétale et semis direct en zones tropicales*. CIRAD/CA – CNEARC.139p. + annexes.
7. FOFIFA, 1999, *La recherche agricole en 1997-1998-1999*. Ministère de la recherche scientifique, 110p.
8. GOUVERNEMENT DE LA REPUBLIQUE DE MADAGASCAR, 2003, *DSRP Document de stratégie de réduction de la pauvreté*, 133 p.
9. GRET – CTA – CIRAD, 2002, *Mémento de l'agronome*. 1691 p.
10. GRET – CTA – CIRAD, 2002, *Mémento de l'agronome*, Cédéroms
11. GUYOU C., 2003, *Etude diagnostic de la situation agraire de la région d'Antsirabe I ; Antsirabe, Madagascar*. DESS INAPG 82 p.
12. INSTAT, 2003, *Annuaire statistiques agricole 1999-2000-2001-2002*, 121p.
13. LAGAYE C., 1999, *Caractérisation de parcelles expérimentales à Goiânia, état de Goiás, Brésil*. Mémoire de fin d'études INAPG. 39p. + annexes.
14. M.GAUDRY J. F., 1997, *Assimilation de l'azote chez les plantes : aspects physiologiques biochimiques et moléculaire*. INRA, Edition Mieux comprendre, Paris.422p
15. MICHELLON R. et al. 2003, *Rapport de campagne 2001-2002*, O.N.G Tafa Vakinankaratra Antsirabe, 40p.
16. MIDI MADAGASCAR N° 6052, quotidien national d'information de Madagascar, 2003, *Plus de 33 millions d'Ha de surfaces non exploitées*, article du Mercredi 09 juillet 2003, p.7

17. MINETTE S., 2000, *Etude de l'impact des techniques de semis direct sur les caractéristiques physiques et biologiques des sols des cerrados Brésiliens*. Mémoire de fin d'études ENSA Rennes 52p + annexes
18. MINISTERE DE L'AGRICULTURE, 1997, *Document de politique agricole et alimentaire : 1ère partie orientation et action en cours*, 243p.
19. MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ELEVAGE, 2001, Coordination générale des projets, Direction des études de la planification et du suivi évaluation, *Annuaire statistique agricole 2001*. Service de la statistique et de l'information géographique.
20. MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ELEVAGE ET DE LA PECHE, 2004, *Monographie de la région du Vakinankaratra, Unité politique de développement rural (UPDR)*, 107p + Annexes
21. NAUDIN K., 2000, *Action semis direct à Madagascar : Dispositifs, techniques et résultats*. Compte rendu de mission – formation auprès de l'ONG TAFA. CIRAD-CA.158p + annexes.
22. MOREAU D., 1997, *L'analyse de l'élaboration du rendement du riz : les outils de diagnostic*, GRET (Groupe de recherche et d'échanges technologiques).
23. PERRIN et al. 1989 : *Manuel méthodologique d'évaluation économique : Formulation de recommandations à partir de données agronomiques*. Mexique CIMMYT 82p.
24. RABEHARISOA L., 2003, *Cours de radioagronomie*, ESSA, Département Agriculture, Université d'Antananarivo.
25. RABEZANDRINA R, 2000, *Manuel de pédologie malagasy*, cours à l'ESSA Département Agriculture, Université d'Antananarivo, 93 p.
26. RABEZANDRINA R., 2002, *Manuel d'agriculture général malagasy*, cours à l'ESSA Département Agriculture, Université d'Antananarivo, 119 p.
28. RANDRIANARISOA J.C., 2003, *Analyse spatiale de la production rizicole malgache*, Conférence "AGRICULTURE ET PAUVRETÉ", Antananarivo 8 p.
29. RANDRIANJATOVO J.F., 1982 *La fertilisation azotée du riz de submersion sur les hauts – plateaux*. Mémoire de fin d'études, ESSA, Département Agriculture, Université d'Antananarivo (Année universitaire 1979 -1982) 152 p. + annexes.
30. RAKOTONDRAVELO J.C., AHMADI N., 2002, *Riziculture pluviale en semis direct sur couverture végétale sur les hautes terres de Madagascar*. Recherche et formation pour son amélioration et son développement. Projet CORUS.

31. RAKOTONIAINA N. H., 2003, *Etudes comparatives des propriétés physiques des sols sous différents systèmes de culture en semi directs sur couverture végétale et en labour.*

Mémoire de fin d'études ESSA, département Agriculture. 63 p + Annexes

32. RAKOTOSON L. R., 2003, *Essais agronomiques en vue de suivre les effets de la fertilisation et de la densité sur la physiologie et le statut azoté du riz pluvial.* Mémoire de fin d'études ESSA, Département Agriculture, Université d'Antananarivo.

33. RAMANANTSOA S., 2000, *Pour la promotion de la filière maïs dans la région d'Antsirabe.* Mémoire de fin d'études ESSA, Département Agriculture, Université d'Antananarivo.

34. RASOLO F. ET RAUNET M., 1999, *Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de cultures ; Actes de l'atelier international.* Antsirabe Madagascar ; CIRAD, 658 p.

35. RAVEROMIHAJA H., 1992, *Atlas CIRVA Antsirabe,* Ministère de l'Agriculture. Madagascar

36. RAZAFIMAHATRATRA H. M., 2003, *Optimisation des facteurs interactifs de productivité du riz et impacts de la maîtrise de l'eau. Cas du SRI sur les hautes terres Malgaches.* Mémoire de fin d'études ESSA, Département Agriculture, Université d'Antananarivo, 95 p. + Annexes.

37. VEXKULL H.R., *Aspects of fertilizer use in High-Yield Rice Culture.* International Potash Institute. 74p

www.cirad.mg

www.dmd.mg

www.fao.org

www.inra.fr

www.smbmada.net

ANNEXES

Annexes

Annexe 1: Part des différents secteurs économiques dans le PIB de Madagascar

	97-98	98-99	99-00
Variation annuelle PIB (%)	3.9	4.7	4.8
Contribution :			
Activités liées aux exportations	1.54	0.80	2.17
Activités liées au Tourisme	0.97	0.88	0.33
Activités liées au commerce	0.59	0.67	0.90
Activités liées à la construction et BTP	0.39	0.45	0.43
Activités liées à l'Agriculture	-0.26	0.80	-0.20
Activités liées à l'Industrie	0.52	0.22	0.44

Source : DGE/ MEFB (DSRP)

Annexe 2: Quantité et Qualité des terres disponibles à Madagascar

Utilisation des terres	Superficie (Km ²)	Pourcentage %
Superficie totale de Madagascar (eaux et lacs compris)	587 041	100
Superficie des terres	581 540	99.06
Superficie agricole totale	368 561	62.78
Terres arables et cultures permanentes	28 561	4.86
Prairies et pâturages permanents	340 000	57.92
Terres forestières	124 700	21.24
Terres susceptibles d'utilisation	55 240	9.41
Terrains bâtis et terres inutilisables	38 540	6.57

Source : Service des statistiques 2004 (DISE/ MAEP)

Annexe 3: Importance de la riziculture dans le Vakinankaratra

Spécifications	Surfaces (Ha)	Rendement moyen (T/Ha)	Production moyenne annuelle (T)
Riz irrigué	68 300	3	204 900
Riz pluvial	3 000	1.5	4 500
Pomme de terre	26 000	13.7	356 200
Maïs	43 100	1.5	64 650
Manioc	14 300	14	200 200
Légumes	4 300	18	77 400
Pommier	2 350	16	37 600
Prunier	1 050	13	13 650
Soja	3 100	1.3	4 030
Blé	1 010	2.1	2 121
Orge	740	2.5	1 850

Source : DIRA Antananarivo 1999

Annexe 4: Propos de politique agricole PADR 2003

Les recommandations à l'issue du Groupe thématique central organisé dans le cadre du PADR en septembre 2001 ayant réuni la plupart des partenaires en mécanisation agricole ont défini les grandes lignes d'orientation suivantes :

- faciliter l'accès aux équipements agricoles par l'appui à la fabrication locale et industrielle (Taxation douanière et fiscale favorable, accès aux institutions de financement, création de central d'achat) ;
- concevoir et mettre en œuvre des projets de mécanisation selon la spécificité des exploitations et des régions et en cohérence avec les programmes de développement agricole (en respectant l'environnement) ;
- inciter la gestion et l'utilisation en commun des gros matériels par les groupements et développer les prestations des services (service, réparation maintenance et location) ;
- mettre à jour et appliquer des textes et réglementations en vigueur, établissement de normes
- élaborer et mettre en place une Politique Nationale de Mécanisation Agricole : la politique est en cours de préparation avec le PADR ;
- développer les structures de formation humaine et de dressage de bœufs ;
- inciter à la promotion de la vulgarisation de la mécanisation auprès de l'ensemble des intervenants (secteur privé et OP en particulier) et ;
- développer la petite mécanisation (mise en place d'une opération Petit Matériel d'Agriculture et d'Elevage).

Un cadre favorable à l'émergence d'organisations de producteurs et d'exploitants sera mise en place pour la promotion d'un label « en faveur de l'environnement ». Compte tenu de l'augmentation des flux financiers mobilisés au niveau décentralisé, les capacités de contrôle financier seront renforcées.

Sur le plan financement du monde rural

Le financement du monde rural, depuis quelques années, commence à se concrétiser au travers des institutions de micro finance, et notamment des institutions mutualistes dont le fonctionnement a été consacré par la loi 96-030 sur les Institutions financières mutualistes.

Concernant la composante « Augmentation de la production »

- Vulgariser les techniques et technologiques respectueuses de l'environnement ;
- Développer les filières et valoriser les produits ;
- Développer les infrastructures ;
- Promouvoir des mécanismes et structures d'organisation de développement des

Infrastructures ;

- Moderniser les techniques de production ;
- Approvisionner les agriculteurs en intrants agricoles ;
- Améliorer le système de vulgarisation ;
- Etablir des requêtes de financements ;

Annexe 5: Courbe ombrothermique de GAUSSEN de la région: 2003-2004

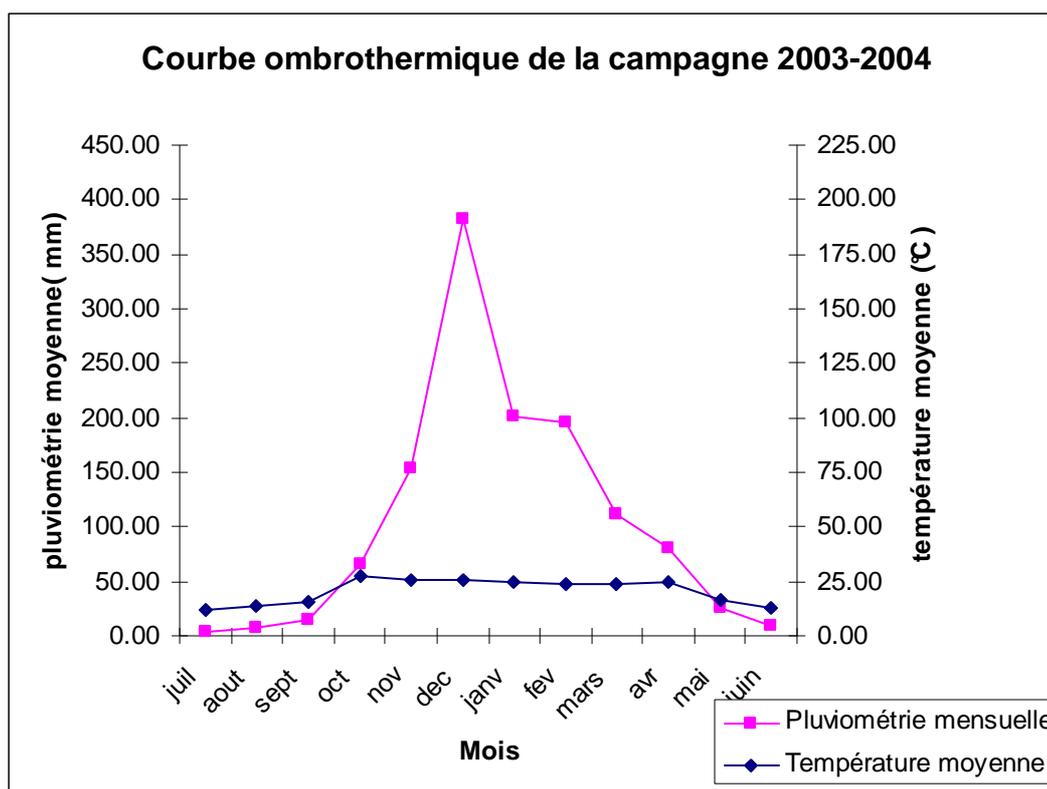


Tableau des données :

Mois	oct.	nov.	dec	Janv.	fev	mars	avr	mai	Juin	Juil	août	sept
Pluie (mm)	66.00	154.00	382.50	202.00	195.50	111.50	80.00	25.50	9.50	4.00	7.00	14.50
T moyenne (°C)	27.21	25.47	25.17	25.03	24.20	23.68	24.51	16.90	13.16	12.31	13.56	15.22

Source : Station Cimel Andranomanelatra 2004

Annexe 6: Systématique et variétés du riz

Règne :	Végétal	Famille :	Graminacées
Division :	Spermaphytes	Genre :	Oryza
Embranchement :	Angiospermes	Espèces :	Oryza sativa
Sous-embranchement :	Phanérogames		Oryza Glaberrima
Classe :	Monocotylédones		
Ordre :	Gluniformes		

Caractéristiques des variétés utilisées pour l'étude :**FOFIFA 154 :**

Origine : création locale, C30 (Latsibavy) X FOFIFA 62

Cycle végétatif total moyen : 162 jours à 1500 m

Aptitude culturale : pluviale

Caractéristiques variétales :

- Hauteur moyenne de la plante : 75 cm
- Port de la plante : érigé
- Type de grain : quasi long
- Paddy : longueur : 9,4 mm, teinte jaune paille, barbu
- Caryopse : longueur 7,43 mm, translucide
- Caractéristiques agronomiques : résistante à la verse et à l'égrenage, tolérante à la pyriculariose, plus ou moins rustique, ne supporte pas une quantité élevée d'azote et très productive.

Rendement en essais : 3,2 T/Ha en moyenne et 6 T/Ha au maximum.

FOFIFA 159

Origine : création locale, IRAT 114 X FOFIFA 133

Cycle végétatif total moyen : 160 jours à 1500 m

Aptitude culturale : pluviale

Caractéristiques variétales :

- Hauteur moyenne de la plante : 90 cm
- Port de la plante : intermédiaire
- Type de grain : grain long et poilu

- Paddy : poids de 1000 grains : 26 g
- Caractéristiques agronomiques : résistante à la pyriculariose, productive, rustique, fertile, tallage faible, très bon aspect sanitaire du grain, très homogène (taille, maturité).

Rendement en essais : 3,0 T/Ha en moyenne et 4,5 T/Ha au maximum.

FOFIFA 161

Origine : création locale, IRAT 114 X FOFIFA 133

Cycle végétatif total moyen : 155 jours à 1500 m

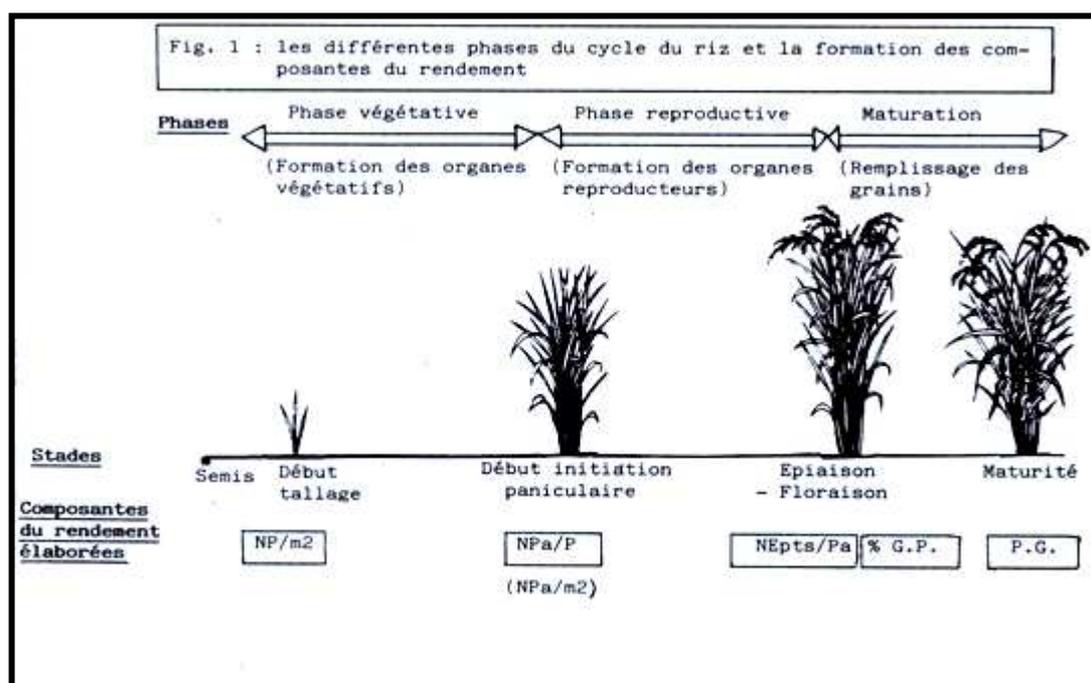
Aptitude culturale : pluviale

Caractéristiques variétales :

- Hauteur moyenne de la plante : 85 cm
- Port de la plante : intermédiaire
- Type de grain : grain long et poilu
- Paddy : poids de 1000 grains : 34 g
- Caractéristiques agronomiques : résistante à la pyriculariose, adaptation en altitude, rustique, fertile, tallage moyen, très bon état sanitaire général, certaine sensibilité à l'égrenage.

Rendement en essais : 2.66 T/Ha en moyenne et 6.6T/Ha au maximum.

Annexe 7: Elaboration des composantes du rendement



(Source : Moreau, 1997)

Annexe 8: Caractéristiques des Tanety

La réputation des sols de Madagascar, d'avoir une fertilité de brique provient des sols ferrallitiques qui ont des propriétés très variées. Quand on veut mettre en valeur ces derniers, il faut considérer le climat, les propriétés physiques et chimiques, la topographie.

La teneur en azote des sols ferrallitiques est variable suivant la teneur en matière organique. La minéralisation des matières organiques doit dans certain cas être amorcée par un amendement calcique et un apport d'azote minéral.

Ces sols sont pauvres en K_2O et en P_2O_5 . Les apports en ces deux éléments sont toujours positivement conséquents.

Ils sont aussi en général relativement acides car ils sont plus ou moins désaturés. Leurs réserves en calcium demeurent faibles et un apport de dolomie est toujours nécessaire pour en relever le PH.

Le soufre et le bore constituent les oligoéléments les plus souvent en carence. Ces différentes carences doivent être corrigées par une fumure de fond et des fumures d'entretien.

Formule de fertilisation :

En première année d'exploitation des tanety :

- 1 tonne de dolomie à l'hectare à renouveler tous les dix ans
- 160 Kg de P_2O_5
- 60 Kg de K_2O

La fumure d'entretien sera annuellement de :

- 30 Kg de N
- 60 Kg de P_2O_5
- 45 Kg de K_2O avec
- 20 tonnes de fumier

Les sols ferrallitiques ainsi améliorés conviennent à toutes les cultures annuelles notamment le riz pluvial. Il est à noter que les Tanety ont une topographie très favorable à l'érosion ; les terrains ayant une pente supérieure à 15 % doivent être réservés au reboisement et ceux qui ont une pente faible doivent être cultivés avec des mesures de protection contre l'érosion.

Annexe 10: Plan du dispositif secondaire TAFE

A			B			C			D			E			F			G			
COUVERTURES VIVES ET MORTES									LABOUR												
F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3	
RR Maïs BR 106 + soja FT10 + Vesce 146	K Soja FT 10 201	A Maïs BR 106 246	Tr Maïs BR 106 335	Lab Avoine + haricot 2°s. carioca 643																	
RR Riz 154 + Vesce 232	K/E 98/99 Haricot IP 20 1ère saison 213	RR Maïs BR 106 235	Tr/E 96/97 Maïs BR 106 289	Lab Riz F 154 417	RR Haricot + Maïs BR 106 + Eleusine 414																
D/E 96/97 Maïs BR 106 221	K Haricot IP 44 2ème saison 213	RR Riz 159 Vesce 196	RR E/97/98 Riz 154 + Vesce 234	Lab Soja FT 10 327	RR E/97/98 Maïs + Haricot Avoine 2ème saison 369	Lab RR Riz + Vesce 154 Blé 435															
D Maïs BR 106 167	RR/E 98/99 Soja FT 10 204	RR Maïs BR 106 + Soja 213	Tr/E 96/97 Maïs BR 106 278	IP 20 ---Haricot--- carioca 371																	

Légendes :

 : Parcelles d'intervention

RR : couverture morte

Lab. : labour

Annexe 11: Liste et prix des intrants

Opération culturale	Date	Produits utilisés sur 1 ^{ère} rotation	Quantité /Ha	Unité	Coût unitaire (Fmg)
Préparation du sol	13/11/03	Glyphader	3	l	30000
		2.4 D	1.5	l	22000
		Urée	3	kg	2100
Semis	25/11/03	Riz	60	kg	3500
		GAUCHO	150	g	685
		Fumier	5000	kg	75
		NPK	300	kg	2300
		Dolomie	500	kg	550
Désherbage	24/12/03	2.4 D	1	l	22000
Traitement insecticide	07/01/04	Regent	1	l	120000
Apport d'urée	12/01/04	Urée	100	kg	2100
Semis couverture	14/04/04	Vesce	8.25	Kg	50000
		Dolomie	0.825	kg	550
Opération culturale	Date	Produits utilisés sur 2 ^{ème} rotation	Quantité/Ha	unité	Coût unitaire (Fmg)
Préparation du sol	07/11/03	Glyphader	3	l	36000
		Urée	3	kg	2200
		Gramoxone	1	l	82500
Semis	29/11/03	Maïs	30	kg	5000
		Gaicho	175	g	685
		Soja	35	kg	5000
		Inoculum	140	g	21
		Thirame	56	g	310
		Brachiaria	2	Kg	20000
		Fumier	5000	kg	75
		NPK	300	kg	2300
		Dolomie	500	kg	550
Apport d'urée	09/01/04	Urée	100	kg	2200
Désherbage	20/02/04	2,4 D	1	l	22000
Traitement insecticide	01/03/04	Cypvert	250	ml	47
Semis couverture	14/04/04	Vesce	8.25	kg	50 000
		Dolomie	0.825	kg	550
Production					
Récolte	03/05/04	Paddy		Kg	1500
	17/04/04	Soja		Kg	2500
	28/06/04	Maïs		Kg	1500

Résumé :

Les études entreprises par le PCP SCRID pour intégrer le système de culture sous couverture végétale dans le système de riziculture pluvial cherche à améliorer ce système pour contribuer à l'augmentation de la production rizicole : une priorité en matière de politique de réduction de la pauvreté à MADAGASCAR. L'optimisation de la fertilisation sur ce système agrobiologique de gestion de sol est une composante déterminante pour cet objectif. Notre étude a ainsi testé des outils de diagnostic du statut azoté du riz pluvial et a essayé d'établir une caractérisation de la réponse du riz à différents niveaux de fumure sur des systèmes en SCV et labourés. Le chlorophyll meter (SPAD) se présente comme indicateur efficace, il montre une nette différence de la réponse du riz à une fertilisation mixte (FM) par rapport à une fertilisation organique (FU). La sénescence des feuilles dépend des variétés que du niveau de satisfaction des besoins nutritif du riz, sa précocité peut par contre être considéré comme un outil fiable. L'étude a aussi permis d'évaluer l'efficacité des systèmes SCV sur les systèmes labourés. Le rendement du peuplement en SCV en première année de culture est certes inférieur au système labouré mais au bout de plusieurs années d'installation il présente une meilleure productivité et nécessite moins d'apport d'éléments minéraux. Du point de vue économique, les besoins relativement faibles de main d'œuvre en SCV contribuent à augmenter sa rentabilité. De plus l'importance de la production obtenue justifie l'emploi des intrants chimiques sur le système. Ces résultats peuvent être plus approfondis par des études sur l'effet des SCV sur l'écosystème cultivé (sol et biotope). L'appréciation des performances économiques des systèmes reste à compléter avec des résultats obtenus sous conditions réelles d'exploitation.

Mots clés : Vakinankaratra, riz pluvial, fertilisation, azote, tanety, SCV, outils de diagnostic, système de culture, rotation culturale, variétés, rentabilité économique, main d'œuvre..

RESUME

Les études entreprises par le PCP SCRID pour intégrer le système de culture sous couverture végétale dans le système de riziculture pluvial cherchent à améliorer ce système pour contribuer à l'augmentation de la production rizicole : une priorité en matière de politique de réduction de la pauvreté à MADAGASCAR.

L'optimisation de la fertilisation sur le système agrobiologique de gestion de sol est une composante déterminante pour cet objectif. Notre étude a ainsi testé des outils de diagnostic du statut azoté du riz pluvial et a essayé d'établir une caractérisation de la réponse du riz à différents niveaux de fumure sur des systèmes en SCV et labourés.

Le chlorophyll meter (SPAD) se présente comme indicateur efficace, il montre une nette différence de la réponse du riz à une fertilisation mixte (FM) par rapport à une fertilisation organique (FU). La sénescence des feuilles dépend des variétés que du niveau de satisfaction des besoins nutritifs du riz ; sa précocité peut par contre être considérée comme un outil fiable.

L'étude a aussi permis d'évaluer l'efficacité des systèmes SCV sur les systèmes labourés. Le rendement du peuplement en SCV en première année de culture est certes inférieur à celui sur système labouré. Mais au bout de plusieurs années d'installation, il présente une meilleure productivité et nécessite moins d'apport d'éléments minéraux.

Du point de vue économique, les besoins relativement faibles de main d'œuvre en SCV contribuent à augmenter sa rentabilité. De plus l'importance de la production obtenue justifie l'emploi des intrants chimiques sur le système.

Ces résultats peuvent être plus approfondis par des études de l'effet des SCV sur l'écosystème cultivé (sol et biotope). L'appréciation des performances économiques des systèmes reste à compléter avec des résultats obtenus sous conditions réelles d'exploitation.

Mots clés : Azote, Fertilisation, Main d'œuvre, Outils de diagnostic, Rentabilité économique, Rotation culturale, Riz pluvial, SCV, Système de culture, Tanety, Vakinankaratra, Variétés.

Erreur ! Aucune entrée de table des matières n'a été trouvée.