

SOMMAIRE

Liste des abréviations

Liste des cartes

Liste des clichés

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des annexes

INTRODUCTION ***I***

1^{ère} partie : Intérêt de l'étude vis-à-vis du contexte rizicole malagasy en particulier dans la région du Vakinankaratra ***3***

1.1 Bref aperçu sur la filière riz à Madagascar ***3***

1.1.1 Importance du riz à Madagascar-----	3
1.1.2 Atouts de la filière riz -----	3
1.1.3 Faiblesses de la filière riz-----	5
1.1.4 Mise en valeur des Tanety par le riz pluvial : une des solutions pour relancer le riz	6

1.2 Contexte général de l'étude ***7***

1.2.1 URP / SCRiD : cadre scientifique et institutionnel de l'étude -----	7
1.2.2 Vakinankaratra : zone de culture pluviale et région de l'étude -----	9
-----	11
1.2.3 Etude proprement dite-----	12

2^{ème} partie : Connaissances nécessaires à l'étude : l'interdépendance du facteur génétique et de l'écologie ***15***

2.1 Connaissances théoriques sur le riz pluvial utiles à la compréhension de l'étude ***15***

2.1.1 Principaux caractères propres d'une variété pluviale-----	15
2.1.2 Croissance, développement et cycle du riz -----	16
2.1.3. Elaboration des composantes du rendement durant le cycle de culture -----	19
2.1.4 Modèles d'élaboration du rendement du riz pluvial -----	23

2.2 Connaissances sur l'environnement de culture du riz pluvial dans l'étude ***25***

2.2.1 Systèmes de culture et mode de gestion des sols pour le riz pluvial (facteurs agronomiques)-----	25
2.2.2 Description des zones d'altitudes de culture du riz pluvial étudiées (facteurs climatiques et édaphiques) -----	30

3^{ème} partie : Partie expérimentale	34
3.1 Caractéristiques des variétés utilisées	34
3.2 Dispositifs expérimentaux et itinéraires techniques	35
3.2.1 Dispositifs pour l'interaction variété – système de culture	35
3.2.2 Dispositifs pour l'interaction variété – altitude	38
3.3 Mesures et appareils utilisés	39
3.3.1 Suivi de la nutrition azotée par le biais du chlorophyllmeter	39
3.3.2 Critères d'évaluation de la croissance	40
3.3.3 Critères d'évaluation du développement (suivi phénologique)	42
3.3.4 Mesures des composantes du rendement	42
3.4 Limites de l'étude	44
3.4.1 Limites causées par des facteurs contrôlés	44
3.4.2 Limites causées par des facteurs non expérimentaux	45
 4^{ème} partie : Résultats, discussions et perspectives	 46
4.1- Diagnostic de la variété F161 sur les systèmes testés à Andranomanelatra SCRiD et TAFA	46
4.1.1 Statut azoté SPAD mesuré sur les matrices SCRiD et TAFA	46
4.1.2 Croissance mesuré sur la matrice SCRiD	48
4.1.3 Phénologie ou développement : dates de floraison et de maturité mesurées sur la matrice SCRiD	54
4.1.4 Composantes du rendement mesurées sur les matrices SCRiD et TAFA	55
4.1.5 Synthèse, discussion et perspectives sur le comportement variétal en fonction du système de culture	56
4.2- Comparaison de la réponse variétale (F161, F167 et E411) en fonction de l'altitude des dispositifs (Ivory, Andranomanelatra et Soanindrariny)	58
4.2.1 Caractérisation de la croissance des cultures en fonction des sites	58
4.2.2 Phénologie ou développement	68
4.2.3 Composantes du rendement	68
4.2.4 Synthèse, discussion et perspectives sur le comportement variétal en fonction de l'altitude	71
4.3- Modèles d'élaboration du rendement à partir du dispositif de référence d'Andranomanelatra	72
4.3.1 Validation des modèles obtenus par Jeannick l'année dernière (F161 et F167)	72
4.3.2 Modèle d'élaboration du rendement sur E411	78
4.3.3 Utilisation des modèles sur les systèmes et sur les sites	81

4.3.4 Synthèse, discussion et perspectives sur les modèles-----	86
<i>CONCLUSION</i> -----	87
<i>BIBLIOGRAPHIE</i> -----	89
<i>ANNEXES</i> -----	A

LISTE DES ABREVIATIONS

Etude des interactions génotype et environnement. Analyse de la croissance, du développement et de l'élaboration du rendement de variétés de riz pluvial d'altitude en fonction du système de culture et de l'altitude.

%GP : Pourcentage de Grains Pleins	GRET : Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques
ACCT : Agence de Coopération Culturelle et Technique	GSDM : Groupement Semis Direct de Madagascar
AFD : Agence Française de Développement	INA P-G : Institut National Agronomique Paris-Grignon
ANAE : ONG Association Nationale d'Actions Environnementales	INSTAT : Institut National de la STATistique
ASJA : Athénée Saint Joseph d'Antsirabe	IR : Indice de réalisation
CENRADERU : CEntre National de Recherche Appliquée au Développement RURAL, appelé aussi FOFIFA	IRAM : Institut de Recherche Agronomique de Madagascar
CeRSAE : Centre de Ressources Scientifique pour l'Agriculture et l'Environnement	IRD : Institut de Recherche pour le Développement
CFAMA : Centre de Formation Appliquée en Machinisme Agricole	IRRI : International Rice Research Institute
CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement	JAS : Jours Après Semis
CIRAGRI : CIrconcription Régionale d'AGRICulture	LAI : Leaf Aera Index en m^2/m^2
CITE : Centre d'Information Technique et Economique	MAEP : Ministère de l'Agriculture de l'Elevage et de la Pêche
CV en % : Coefficient de variation en pourcentage	MENRES : Ministère de l'Education Nationale et de la Recherche Scientifique
D2 : Densité de semis espacée de 20cm x 20cm	ONG : Organisme Non Gouvernementale
D3 : Densité de semis espacée de 20cm x 10cm	PC Riz : Plate forme de Concertation pour le pilotage du riz
DEA : Diplôme d'Etudes Approfondies	PG : Poids moyen d'un Grain, à ne pas confondre avec PMG
DJAS : Degrés - Jours Après Semis	PIP : Programme d'Investissements Publics
ESSA : Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques	PMG : Poids de Mille Grains, à ne pas confondre avec PG
FAFIALA : Centre d'expérimentation et de diffusion pour la gestion paysanne des <i>Tanety</i>	SCV : Système de culture à base de Couverture Végétale
FIFAMANOR : FIompiana sy FAmblena MAlagasy NORveziana	SPAD : Soil Plant Analyses Development
FM, Fu, F0, F1, F2 et F3 : niveaux de fertilisation sur les matrices de l'URP / SCRiD et de TAFA	TAFA : ONG TAny sy FAmpandrosoana
FOFIFA : FOibem-pirenena momba ny FIkarohana ampiharina amin'ny Fampandrosoana ny Ambanivohitra, appelé aussi CENRADERU	URP / SCRiD : Unité de Recherche en Partenariat, Systèmes de Culture et Rizicultures Durables
FSP - FORMA : projet franco-malgache Fonds de Solidarité Prioritaire, Forum de la Recherche à Madagascar	USTL : Université des Sciences et Techniques du Languedoc

LISTE DES CARTES

Carte N°1 : carte de localisation de la région du Vakinankaratra11

Carte N°2 : carte des cultures vivrières de la région du Vakinankaratra	11
Carte N°3 : carte de situation approximative des zones d'étude	33

LISTE DES CLICHES

Cliché n° 1 : Chlorophyllmeter	40
Cliché n°2: Appareil Li-3000 (Li-Cor)	42
Cliché n°3 : Etuve	42
Cliché n° 4: Balance de précision	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°1 : Les principales caractéristiques des variétés étudiées.....	34
Tableau N° 2 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur les valeurs SPAD de la variété F 161 par date de mesure en JAS sur le dispositif SCRD	47
Tableau N°3 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur la hauteur en cm de la variété F 161, par date de mesure en JAS sur le dispositif SCRD	49
Tableau N°4 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur la biomasse aérienne T/ha de la variété F 161, par date de mesure en JAS sur le dispositif SCRD	50
Tableau N°5: Effets du système de culture et de la fertilisation sur le LAI de la variété F 161, par date de mesure en JAS sur le dispositif SCRD	52
Tableau N°6 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur le nombre de talles par m² de la variété F161, par date de mesure en JAS sur le dispositif SCRD	53
Tableau N°7 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur les durées semis – floraison et semis - maturité, en JAS sur le dispositif SCRD, variété F 161	54
Tableau N°8 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur les composantes du rendement de la variété F161, sur le dispositif SCRD	55
Tableau N°9 : Composantes du rendement de la variété F161, en fonction du mode de gestion du sol et de la fertilisation sur la matrice TAFA	56
Tableau N°10 : Effets de la densité de semis sur la hauteur des variétés d'un même site	59
Tableau N°11 : Effets de la densité de semis sur la production des matières sèches en t/ha des variétés d'un même site	63
Tableau N°12 : Effets de la densité de semis sur le LAI m²/m² des variétés d'un même site	65

Tableau N°13 : Effets de la densité de semis sur le nombre de talles/m² des variétés d'un même site	66
Tableau N°14 : Repérage des stades phénologiques des autres sites à partir des données obtenues à Andranomanelatra	68
Tableau N°15 : Effets du site, de la variété et de la densité de semis sur les composantes du rendement et le rendement (en t/ha)	70
Tableau N°16 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur les indices de réalisation des modèles, sur le dispositif SCRID, variété F 161	82
Tableau N°17 : Effets du site (Andranomanelatra, Ivory, Soanindrariny), de la variété (F161, F167, E411) et de la densité (D2 semis en 20 x 20, D3 semis en 20 x 10) sur les indices de réalisation des modèles	84

LISTE DES FIGURES

Figure n°1 : Les différents schémas de croissance selon Tanaka	17
Figure n°2 : Les différentes phases du cycle du riz et la formation des composantes du rendement	19
Figure n°3 : Principaux stades de la phase reproductive et élaboration des composantes	22
Figure n°4 : Modèles et relations établis en conditions non limitantes	23
Figure N°5: Pluviométrie et évolution des températures durant le cycle cultural sur les trois sites	32
Figure N°6 : Evolution des valeurs SPAD en JAS pour la variété F161 en fonction du système de culture et pour chaque fertilisation FM et Fu sur le dispositif SCRID	46
Figure 7 : Evolution des valeurs SPAD en JAS pour la variété F161 en fonction du mode de gestion du sol et de la fertilisation sur le dispositif TAFA	48
Figure N°8 : Evolution de la hauteur en cm en JAS de la variété F161 en fonction du système de culture et pour chaque fertilisation sur le dispositif SCRID	49
Figure N°9 : Evolution de la biomasse aérienne en T/ha en JAS de la variété F161 en fonction du système de culture et pour chaque fertilisation sur le dispositif SCRID	50
Figure N°10 : Evolution du LAI en JAS de la variété F161 en fonction du système de culture et pour chaque fertilisation FM et Fu sur le dispositif SCRID	51
Figure N°11 : Evolution du tallage (talles/m²) de la variété F161en JAS en fonction du système de culture et pour chaque fertilisation FM et Fu sur le dispositif SCRID	52

Figure N°12 : Durée semis - floraison en JAS de la variété F161 en fonction du système de culture et de la fertilisation (FM et Fu) sur le dispositif SCRIID	54
Figure N°13 : Evolution de la hauteur en cm et en DJAS, en fonction du site et de la densité pour les variétés F161, F167, E411	58
Figure N°14 : Evolution de la biomasse aérienne (t/ha) en DJAS, en fonction du site et de la densité, pour les variétés F161, F167 et E411	62
Figure N°15 : Evolution du LAI en DJAS, en fonction du site et de la densité pour chaque variété F161, F167 et E411	64
Figure N°16 : Evolution du tallage en DJAS, en fonction du site et de la densité pour chaque variété F161, F167 et E411	67
Figure N°17 : Rendements obtenus par variété (F161, F167, E411), en fonction du site (Andranomaneltra, Ivory et Soanindrariny) pour chaque densité (D2 : 20 x 20 cm ; D3 : 20 x 10 cm)	69
Figure N°18 : Relation entre le nombre de pieds/m ² (NP) et la biomasse aérienne à début montaison (BA en g/m ²) pour la variété F161 (modèle 1), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06	72
Figure N°19: Relation entre la biomasse aérienne à début montaison (BA en g/m ²) et le nombre de panicules/m ² à récolte (Npan), pour la variété F161 (modèle 2), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06	73
Figure N°20 : Relation entre le nombre de panicules/m ² (Npan) et le nombre de grains/m ² (NG), pour la variété F161 (modèle 3), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06	73
Figure N°21 : Relation entre le nombre de grains/m ² (NG) et le pourcentage de grains pleins (%GP), pour la variété F161 (modèle 4a), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06	74
Figure N°22 : Relation entre le nombre de grains pleins/m ² (NGP) et le poids de 1000 grains (PMG), pour la variété F161 (modèle 4b), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06	75
Figure N°23 : Relation entre le nombre de pieds/m ² (NP) et la biomasse aérienne à début montaison (BA en g/m ²) pour la variété F167 (modèle 1), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06	75
Figure N°24 : Relation entre la biomasse aérienne à début montaison (BA en g/m ²) et le nombre de panicules/m ² à récolte (Npan), pour la variété F167 (modèle 2), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06	76

Figure N°25 : Relation entre le nombre de panicules/m ² (Npan) et le nombre de grains/m ² (NG), pour la variété F167 (modèle 3), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06	77
Figure N°26 : Relation entre le nombre de grains/m ² (NG) et le pourcentage de grains pleins (%GP), pour la variété F167 (modèle 4a), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06	77
Figure N° 27 : Relation entre le nombre de grains pleins/m ² (NGP) et le poids de 1000 grains (PMG), pour la variété F161 (modèle 4b), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06	78
Figure N°28 : Relation entre le nombre de pieds/m ² (NP) et la biomasse aérienne à début montaison (BA en g/m ²) pour la variété E411 (modèle 1), résultats obtenus sur la campagne 2005-06	79
Figure N°29: Relation entre la biomasse aérienne à début montaison (BA en g/m ²) et le nombre de panicules/m ² à récolte (Npan), pour la variété E411 (modèle 2), résultats obtenus sur la campagne 2005-06	79
Figure N°30 : Relation entre le nombre de panicules/m ² (Npan) et le nombre de grains/m ² (NG), pour la variété E411 (modèle 3), résultats obtenus sur la campagne 2005-06	80
Figure N°31 : Relation entre le nombre de grains/m ² (NG) et le pourcentage de grains pleins (%GP), pour la variété E411 (modèle 4a), résultats obtenus sur la campagne 2005-06	80
Figure N°32 : Relation entre le nombre de grains pleins/m ² (NGP) et le poids de 1000 grains (PMG), pour la variété E411 (modèle 4b), résultats obtenus sur la campagne 2005-06	81
Figure N°33: Evolution des indices de réalisation par modèle, pour chaque système testé, toutes fertilisations confondues sur le dispositif SCRiD, variété F161	83
Figure N°34 : Evolution des indices de réalisation par modèle, pour chaque fertilisation testée, tous systèmes confondues sur le dispositif SCRiD, variété F161	83
Figure N°35 : Indices de réalisation des modèles par variété (F161, F167, E411), en fonction du site (Andranomaneltra, Ivory et Soanindrariny) toutes densités confondues	85

LISTE DES ANNEXES

Annexe N°1: Plan du dispositif test de système de culture sur la matrice SCRI

Annexe N°2 : Plan du dispositif de référence à Andranomanelatra

Annexe N°3 : Plan du dispositif de référence à Soanindrariny

Annexe N°4 : Plan du dispositif de référence à Ivory

Annexe N°5 : Itinéraires techniques sur la matrice SCRI campagne 2005 – 2006

systèmes Témoin, R4 et R3

Annexe N°6 : Le rabcide

Annexe N°7 : Rendements obtenus en 2004 et en 2005

Annexe N°8 : Modèles d'élaboration du rendement des systèmes de culture

INTRODUCTION

Le Riz se classe parmi les trois céréales les plus cultivées au monde avec le Blé et le Maïs, et il constitue la base alimentaire de nombreux pays dont Madagascar fait partie. Le riz reste toujours la principale culture vivrière de la Grande Ile. Il est cultivé par des millions de paysans partout du niveau de la mer jusqu'au plus de 1500m d'altitude, des bas-fonds et plaines inondables aux sommets des collines, avec divers types de culture.

Cependant, la production stagnante ne suit plus l'augmentation démographique galopante. D'où le recours inévitable aux importations ces dernières années pour couvrir la demande nationale. Nombreuses sont les raisons techniques de cette situation : faible évolution des surfaces cultivées, insuffisante maîtrise de l'eau, précarité du matériel végétal et agricole, saturation des bas fonds exploités en priorité par rapport aux *Tanety*¹, baisse de la fertilité des sols à cause de la cherté des intrants agricoles par rapport aux prix du riz, qu'on cherche à rendre le plus bas et le moins cher possible,....

Plusieurs alternatives peuvent s'offrir à cela, en particulier l'extension de la riziculture sur les *Tanety* paraît une des meilleures solutions. Pourtant sans systèmes de culture adéquats qui préservent à la fois l'environnement et augmentent la fertilité des sols et sans variétés bien adaptées aux conditions difficiles, les paysans ne pourront pas cultiver en riz ces terrains en général pauvres et à topographie tourmentée. L'innovation et l'évaluation des nouveaux systèmes appelés SCV d'une part et la création et la diffusion des variétés améliorées d'autre part constituent le principal objectif des recherches effectuées au sein de l'URP / SCRIID.

Notre étude, faisant partie de ces recherches, se concentre sur l'interaction existante entre le potentiel variétal et son environnement de culture qui peut être soit des systèmes de culture, soit des zones d'altitudes dans le but de connaître un tel système et une telle zone favorable à une variété donnée. Sur ce, cinq dispositifs sont installés : deux sur les matrices SCRIID et TAFA à Andranomanelatra permettent de tester l'efficacité des systèmes de culture en labour ou en SCV ; trois sur différentes zones d'altitude Andranomanelatra, Soanindrarainy et Ivory renseignent sur l'adaptation spécifique des variétés. En outre, le dispositif en altitude à Andranomanelatra sert de dispositif de référence pour acquérir des modèles de rendement. Ainsi, l'appréciation de ces systèmes de culture et de ces zones d'altitude se fait d'une part par l'analyse des résultats des différentes mesures effectuées durant le cycle, et d'autre part par la comparaison des valeurs obtenues par traitement avec les valeurs de référence.

¹ Tanety : littéralement « terres sèches », collines aux pentes parfois fortes, caractéristique des Hautes Terres malagasy, résultant de l'altération de l'ancien haut plateau.

Le présent rapport intitulé « **Etude des interactions génotype et environnement. Analyse de la croissance, du développement et de l'élaboration du rendement de variétés de riz pluvial d'altitude en fonction du système de culture et de l'altitude**» se déroulera en 4 parties dont :

- Une première partie axée sur les caractéristiques de la filière rizicole à Madagascar en vue de montrer l'intérêt et la raison d'être de l'étude ;
- Une deuxième synthétisera les connaissances de bases utiles concernant le riz et ses milieux de culture permettant la compréhension du rapport ;
- Une troisième précisera le déroulement du travail pour atteindre les objectifs ;
- Et une quatrième et dernière partie expliquera les résultats analysés, suivis des discussions et perspectives.

1^{ère} partie : Intérêt de l'étude vis-à-vis du contexte rizicole malagasy en particulier dans la région du Vakinankaratra

1.1 Bref aperçu sur la filière riz à Madagascar

1.1.1 Importance du riz à Madagascar

Le riz occupe une place prépondérante *dans l'agriculture et dans l'économie malagasy*.

Il constitue, en effet, l'aliment de base de la majeure partie de la population. La consommation de riz est classée parmi les plus fortes du monde : évaluée à 138 à 145kg/tête/an en milieu rural et 118kg/tête/an en milieu urbain (INSTAT, 1999). La riziculture constitue l'activité principale des agriculteurs répartis en divers systèmes de production dans presque toutes les régions de l'Ile. Elle concerne 1 721 000 exploitants travaillant sur 1 450 000 ha et 30.000 opérateurs en aval par les opérations de : collecte, décorticage, vente en gros ou au détail. Selon le FAO UPDR, 2000, soit environ 10 millions de personnes directement concernées dans un pays qui en compte 15 M. Cette superficie rizicole représente plus du tiers de la totalité de la surface cultivée. Actuellement, la production rizicole représente les 70% de cultures vivrières et ces dernières constituent 71% de la production agricole nationale. La filière riz dégage une valeur ajoutée directe estimée à Ariary 50 milliards 142 millions en 1999, en contribuant à 12 % du PIB en termes courants et 43 % du PIB agricole. La production ne cesse de s'accroître au cours des ces dernières années. Elle est passée de 2 483 634 T en 1999 (INSTAT) à 3 030 000 T en 2004 avec encore une hausse de 14% en 2005².

1.1.2 Atouts de la filière riz

1.1.2.1 Situations agro - écologiques favorables

Situé entre le 12^{ème} et le 26^{ème} degré de latitude Sud, Madagascar se trouve dans la zone favorable à la riziculture qui s'étend jusqu'au 35^{ème} degré. La grande île présente une gamme de conditions écologiques adaptées à la riziculture. Alors, le riz est cultivé partout du niveau de la mer jusqu'à plus de 1500m d'altitude, des bas-fonds et plaines inondables aux sommets des collines ; il est reparti en différents types de culture, soit 79% en riziculture avec submersion ou aquatique (culture irriguée sur décrue, riziculture d'eau douce avec ou sans maîtrise d'eau), soit 21% en riziculture sans submersion ou sèche (riziculture de nappe, riz sur tavy, riziculture pluviale stricte).

² Donnée pas encore officielle, mais le Ministre de l'Agriculture le 5 juillet 2006 à Tsimbazaza a affirmé cette hausse de 14% par rapport à la production de la campagne précédente.

Six grandes zones peuvent être distinguées :

- la côte Est d'altitude 0 à 500m, à climat chaud et très humide, zone de cultures pluviales sur brûlis ;
- le lac Alaotra dans le Moyen-Est d'altitude 700 à 800m, cuvette constituant le premier grenier à riz de Madagascar ;
- le Nord-Ouest d'altitude 0 à 500m à climat tropical chaud et semi - humide, zone de cultures irriguées sur décrue après retrait des eaux, et du riz pluvial sur nappe;
- le Sud-Ouest et l'Ouest d'altitude 0 à 500m à climat semi-aride, où la double riziculture est pratiquée dans les plaines irriguées ;
- le Moyen-Ouest d'altitude 900 à 1000m, zone des cultures pluviales sur collines ;
- les Hautes-Terres³ d'altitude 1000 à 2000m, à climat tropical d'altitude, zone des cultures irriguées et pluviales.

1.1.2.2 Existence d'un potentiel de recherche

Madagascar dispose toujours d'une institution de recherche agricole, en particulier en recherche rizicole. En effet, il y avait l'IRAM qui a possédé deux stations principales au Lac Alaotra et à Marovoay dans lesquelles il a collectionné près de 2 000 variétés. Il y a aussi testé des variétés étrangères et créé de nouvelles variétés. Depuis 1974, le FOFIFA a pris le relais. Le « Département de Recherche Rizicole » un des départements de l'institution s'étend sur toutes les grandes régions rizicoles de Madagascar. Il s'intéresse aux principaux types de riziculture, aquatique et pluvial, dans toutes les disciplines scientifiques. Ce département travaille aussi avec de nombreux organismes de recherche et de diffusion régionaux, nationaux et internationaux. Le progrès de la recherche rizicole au cours de ces dernières années constitue un autre atout important du secteur. Il porte aussi bien sur des variétés performantes de riz pluvial et irrigué notamment le riz d'altitude que sur des nouvelles techniques plus productives telles que le SRI et le SCV. La diffusion de ces variétés et techniques auprès des riziculteurs n'a pour l'instant pas été à la hauteur des attentes.

1.1.2.3 Importance des débouchés

Tant au niveau national qu'international, la consommation reste encore élevée. En plus, le riz est toujours recherché non seulement pour l'alimentation humaine, mais aussi pour des diverses utilisations en nutrition animale, fabrication de farine, produits pharmaceutiques, boissons alcooliques fermentées, vinaigre, combustible, gaz, matériaux isolants,...

³ Le relief contrasté, heurté avec ses niveaux d'aplanissement, avec les manifestations volcaniques amène à préférer le terme de « Hautes Terres » qui définit mieux l'agencement orographique du centre de Madagascar que l'expression « Hauts Plateaux » (Rollin, 1994).

1.1.3 Faiblesses de la filière riz

1.1.3.1 Offre nationale toujours insuffisante

Malgré toutes ses potentialités, la production du riz n'arrive plus à satisfaire la demande nationale, surtout durant les vingt dernières années. Avec une croissance annuelle moyenne de 1,2% de la production de paddy entre 1972 et 1998, contre 2,8% de croissance démographique, les résultats du secteur se sont progressivement éloignés de l'objectif d'autosuffisance alimentaire. Et la consommation de riz a baissé de 188,7 kg/tête/an en 1975 à 135,8 kg/tête/an en 1995, à 113 kg/tête/an en 1999 jusqu'à 110 kg/tête en 2000. Le stock de début de saison étant insuffisant voire inexistant, d'où l'accroissement de l'importation d'une année à l'autre jusqu'à nos jours. Si en 1999 l'importation annuelle totale était de 83 000T (INSTAT, 2002), elle est de 150 000T entre début Septembre et mi-Décembre 2005 seulement (PC Riz, 2005).

1.1.3.2 Causes du déclin de la filière

Des causes physiques, techniques, structurelles et économiques sont à l'origine de cette dégénérescence de la filière riz. Les principales sont:

- les rendements qui stagnent ou régressent malgré l'augmentation des surfaces rizicoles, ils ne dépassent pas les 3T/ha dans les zones les plus peuplées (Hautes Terres) ;
- l'activité qui reste une activité de subsistance, mais non pas de commercialisation, le tiers des exploitants produisant à peine plus de 800 kg de paddy sur une surface de moins de 1 ha ;
- la faiblesse des niveaux d'équipements des paysans, en intrants (semences, engrains, produits phytosanitaires) il en est de même de l'adoption des nouvelles techniques, faute de la cherté voire de l'insuffisance de crédit d'investissement agricole;
- l'enclavement des zones productives. Ceci est dû au délabrement général des routes nationales, à l'absence d'ouvrages de franchissement sur la plupart des pistes rurales (passages à gué) et à l'insuffisance d'entretien des voies de manière générale ;
- l'état défaillant des réseaux d'irrigation et des infrastructures hydro - agricoles, les résultats étant encore mitigés malgré les coûts d'investissement élevés avec 44% du PIP en 1997, à titre d'exemple. La maîtrise de l'eau reste toujours un problème majeur ;
- l'insécurité foncière décourage le comportement des investisseurs en riziculture de par la complexité de la procédure d'acquisition des terres, le coût élevé d'acquisition des titres, l'éloignement du service des Domaines, la longue durée du traitement des dossiers et les problèmes juridiques ;
- les cataclysmes climatiques et des fléaux: cyclone, inondation, sécheresse, invasion d'acridiens, des rongeurs, des insectes, des maladies et ennemis de la culture ;

Etude des interactions génotype et environnement. Analyse de la croissance, du développement et de l'élaboration du rendement de variétés de riz pluvial d'altitude en fonction du système de culture et de l'altitude.

- la détérioration de l'environnement et des sols liée à certains systèmes de culture « *tavy* »

Elle est de plusieurs natures : déforestation, érosion des bassins versants... Ces atteintes portent préjudice aux riziculteurs eux-mêmes par l'ensablement des périphéries, la baisse de fertilité des rizières suite à l'épuisement du sol... et aux autres usagers de l'environnement.

- l'absence d'une bonne incitation économique, motivation et assurance agricole, le prix du riz doit être rémunérateur dès les producteurs mêmes et le circuit commercial doit être bien structuré. Le riz importé concurrence le riz local aussi bien sur le prix que sur la qualité.

1.1.4 Mise en valeur des *Tanety* par le riz pluvial : une des solutions pour relancer le riz

Le riz doit « monter » sur les *tanety*, seuls 5% de nos terres sont cultivées, Madagascar dispose encore de 63% de terres cultivables dont les 2/3 sont des sols ferrallitiques sous forme de *tanety* à relief plus ou moins accidenté (Rabezandrina, 2000). La mise en valeur de ces *tanety* est une des bonnes solutions à l'insuffisance / rétrécissement et la pression foncière sur les bas fonds, l'état défaillant des réseaux d'irrigation et l'accroissement démographique auprès des agglomérations. Notons que les Hautes Terres sont des zones surpeuplées. La région rurale d'Antsirabe, par exemple, est environ trois fois plus peuplée avec une densité de 77,53 Hab/Km² que la moyenne nationale malagasy à 20 Hab/Km² à Madagascar. Ainsi, le riz pluvial offre de nombreux avantages pour satisfaire à la fois la demande intérieure et les marchés extérieurs, à savoir :

- le potentiel agronomique en terme de surfaces exploitables ;
- la disponibilité des variétés améliorées proposées par la recherche ;
- la saisonnalité avantageuse, précocité par rapport au riz irrigué ;
- la non exigence en aménagements coûteux ;
- la meilleure valorisation de l'heure de travail, critère important pour le chef de famille ;
- l'avantage à l'usinage par le bon rendement en rapport grain/paddy ;
- la bonne appréciation alliée à une forte demande.

1.2 Contexte général de l'étude

1.2.1 URP / SCRiD : cadre scientifique et institutionnel de l'étude

1.2.1.1 Origine, objectifs et organisation

Notre étude s'intègre dans le programme de l'URP / SCRiD en collaboration avec les chercheurs en écophysiologie et en sélection variétale de cette unité. L'URP / SCRiD, créé à Antsirabe en septembre 2001, est le résultat d'un partenariat tripartite entre le FOFIFA, le CIRAD, et l'UNIVERSITE d' ANTANANARIVO.

L'objectif principal de la création de cette unité est de consolider la durabilité des systèmes de culture adéquat aux variétés de riz pluvial pour une production de qualité respectueuse de l'environnement, dans des conditions économiques intéressantes pour les producteurs. Il s'agit donc de :

- comprendre comment, pourquoi et dans quelles conditions les systèmes SCV permettent de reconstituer la fertilité du sol, d'atténuer le parasitisme et les effets des aléas climatiques sur le riz en peuplement et d'aboutir, en définitive, à des rendements plus élevés.
- diversifier les solutions techniques et mettre au point des méthodes de gestion intégrée de la culture du riz – variété, peuplement, fertilisation, protection de la culture, respect de l'environnement – dans un contexte d'incertitude climatique et de faible intégration au marché.

C'est aussi un programme de renforcement de la coopération entre le FOFIFA et le CIRAD pour assurer l'accompagnement agronomique et économique de l'évolution récente de la riziculture pluviale sur les Hautes Terres, le Lac Alaotra et le Moyen Ouest de Madagascar, et en y intégrant l'Enseignement Supérieur pour promouvoir une recherche d'excellence répondant aux besoins du développement de l'Agriculture.

Le SCRiD est constitué d'une équipe pluri - disciplinaire d'une vingtaine de chercheurs, en charge d'une trentaine d'activités de recherche au total. Il est en outre doté d'un Comité de pilotage, d'un Comité scientifique et d'une Cellule d'animation et de coordination.

1.2.1.2 Présentation des organismes impliqués et partenaires

Le **CIRAD** est un organisme scientifique français spécialisé en agronomie des régions tropicales. Sous la forme d'un établissement public, il est né en 1984 de la fusion d'instituts de recherche en plusieurs domaines des régions chaudes. Ses activités couvrent les domaines de l'Agriculture, l'Elevage et Médecine vétérinaire, la Foresterie, la Gestion des ressources naturelles, l'Agroalimentaire, la Gestion, Recherche, documentation et Appui Technique. Le

Etude des interactions génotype et environnement. Analyse de la croissance, du développement et de l'élaboration du rendement de variétés de riz pluvial d'altitude en fonction du système de culture et de l'altitude.

CIRAD emploie plus de 1800 personnes dont 900 cadres dans une cinquantaine de pays. Le CIRAD – CA (Culture Annuelle, une de ses départements) travaille à Madagascar en étroite collaboration avec le FOFIFA, sur la riziculture pluviale en diffusant des systèmes de cultures et en créant des variétés pluviales cultivables sur les régions d'altitude du monde.

Le **FOFIFA** ou **CENRADERU** créé en 1974 est une institution nationale de recherche agricole. L'organisation générale comprend une direction générale, six départements scientifiques d'appui et huit centres régionaux de recherche correspondant chacune à une région agro – écologique homogène. Ses domaines recouvrent aussi l'Agriculture (riziculture, cultures d'exportation, machinisme agricole...), l'Elevage (production animale, pisciculture...), la Foresterie, les Technologies de conservation et transformations des produits agricoles, l'Hydraulique et les Etudes socio-économiques. Le Département de Recherche Rizicole préconise l'approche participative entre les chercheurs, les vulgarisateurs et les agriculteurs pour que chacun soit un acteur à part entière des résultats obtenu. La Station Régionale de Recherche de FOFIFA d'Antsirabe œuvre surtout dans la production végétale : riziculture et cultures vivrières.

Au sein de l'Université d'Antananarivo ou UA, voici les entités membres de l'URP/SCRiD :

- UA Faculté des Sciences - départements : Entomologie, Géographie et Laboratoire des Radio Isotopes ;
- UA Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques - départements : Agriculture, Agro – management, Industries Agro – Alimentaires ;
- UA Ecole Supérieure Polytechnique.

Il existe aussi d'autres Universités, privées ou publiques, et nationales ou étrangères, comme :

- L'Université de Majunga - Faculté des Sciences
- L'ASJA ou Athénée Saint Joseph d'Antsirabe
- L'Université Montpellier I - Faculté des Sciences économiques
- L'Université Toulouse 3 – Faculté des Sciences économiques, ...

Les partenaires de l'URP SCRiD : l'unité travaille avec des institutions et organismes de développement et de vulgarisation de la recherche, citons quelques exemples:

- Le GSDM regroupant l'ONG TAFA en charge de l'expérimentation et de la diffusion des techniques SCV, le FIFAMANOR pour les multiplications des semences issus de l' URP /

SCRID, l'ANAE spécialisé en environnement, conservation et amélioration de la fertilité des sols, le FAFIALA responsable de l'expérimentation et de la diffusion des techniques sur Tanety), le FOFIFA et le CIRAD ;

- Le CFAMA à Antsirabe ;
- Les groupements de paysans semenciers à Vakinankaratra et à Sakay
- L'IRD, le FSP – FORMA, le MAEP et le MENRES, etc. ...

1.2.2 Vakinankaratra : zone de culture pluviale et région de l'étude

1.2.2.1 Milieu physique

Situation géographique : La région de Vakinankaratra fait partie des Hautes Terres centrales de Madagascar. Elle s'étend sur une superficie de 17.496 Km² et compte une population de 1 982 000 habitants répartis dans 6 districts Antsirabe-I, Antsirabe-II, Betafo, Antanifotsy, Faratsiho et Ambatolampy et 86 communes. La région occupe 32% du territoire de la province d'Antananarivo et représente 43% de sa population. Elle est située entre 18°59' et 20°03' de latitude Sud et entre 46°17' et 47°19' de longitude Est. Les rivières Mahajilo, Mania, Kitsamby, Sakay, Onive, Iandratsay et Manandona traversent la région.

Relief , géologie et pédologie : L'altitude varie de 600 à 2 644 mètres d'Ouest en Est, la géologie est constituée des massifs soit sur socle cristallin, soit sur volcanisme tertiaire et soit sur volcanisme récent. Plus l'on progresse vers l'Est, plus l'acidité des sols augmente et la fertilité diminue. Avec ses paysages variés, la région s'identifie à trois ensembles naturels :

- ✓ zone de haute altitude : supérieure à 1 600m, caractérisée par le massif volcanique de l'Ankaratra dans le Nord et le Sud-Est. Faratsiho à 2400m et Ambatolampy avec le pic de Tsiafajavona à 2 644m constituent les plus hautes altitudes ;
- ✓ zone de moyenne altitude : de 1 200m à 1 600m, surtout dans le Centre et l'Est. Toutefois, dans la partie occidentale, la constitution de l'Ankaratra a provoqué une série d'effondrements favorisant la formation de dépressions à fond alluviales et présentant de nombreux cratères et lacs ; et dans la zone méridionale dominée par la chaîne de l'Ibity est constituée une succession de petites cuvettes au sol sableux, jonché de blocs de quartzite de toute taille ;
- ✓ zone de basse altitude : inférieure à 1 200m dans le Moyen Ouest. Elle est formée par la pénéplaine de Mandoto-Ramaritina à climat chaud et où l'altitude descend jusqu'à 400m.

Une diversité des sols née des origines géologiques :

- *sols très riches* qui sont des andosols de couleur noire, à forte teneur en matières organiques bâtis sur des coulées volcaniques basaltiques recouvrant, en maints endroits, des

sédiments lacustres (Raveromihaja, 1996). Ces sols d'origine lacustro-volcanique sont favorables à la culture des légumes et des arbres fruitiers ainsi qu'à l'élevage des bovins.

- *sols à fertilité chimique et organique presque nulle*, dépourvues de calcaire, de magnésie et de phosphore et dont l'acidité est forte. Ces sols se développent soit sur socle cristallin, soit sur substrats fluvio-lacustres (Bourgeat, 1979) et se répartissent encore en cinq classes :

- les sols ferralitiques caractérisés par une individualisation des sesquioxides Al_2O_3 et Fe_2O_3 avec la 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 ferralitiques humifères correspondant aux argiles très épaisses surmontées d'un horizon d'accumulation de débris végétaux.
- les sols alluvionnaires et les sols hydromorphes qui se différencient 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.

Climat : Le climat tropical d'altitude est caractérisé par l'alternance annuelle d'une saison chaude et pluvieuse et d'une saison fraîche et sèche. La région subit une certaine sécheresse durant 5 ou 6 mois, les précipitations étant essentiellement concentrées durant la saison pluvieuse, notamment de décembre à mars. Il est toutefois constaté qu'à l'Ouest les pluies sont plus concentrées en une période de l'année et que la saison sèche est plus marquée, alors qu'à l'Est elles sont mieux étalées dans l'année. Au niveau des températures, la variabilité intra régionale s'avère également importante. Les températures moyennes se situent autour de 14°C dans le district d'Antanifotsy avec un maximum de 26°C et un minimum de 1°C, contre 21°C dans le district de Betafo dans le Moyen Ouest avec un minimum : 10,2°C et un maximum : 30,8°C.

1.2.2.2 Milieu humain et secteurs agricoles

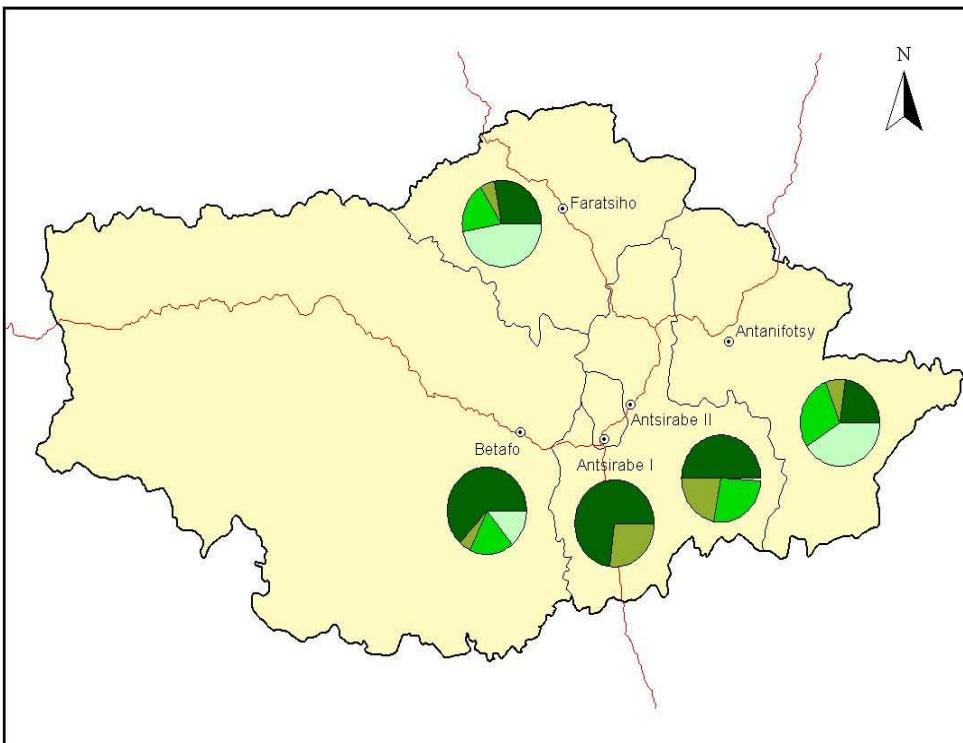
Avec sa grande proportion en population rurale dans laquelle il est dénombré environ 200 000 familles paysannes, la région de Vakinankaratra est souvent appelé la capitale rurale malagasy. La proportion de la population active est moyennement importante, entre 37% à Antsirabe I et 67% à Betafo. Antsirabe II et Faratsihy sont caractérisés par l'extrême jeunesse de la population. La région est aussi caractérisée par un grand dynamisme tant au niveau agricole qu'industriel avec une forte production d'une gamme de cultures et une forte implantation d'industries diverses. Parmi les types de riziculture, celle mixte irriguée - pluviale représente déjà 24%, contre celle mal irriguée et inondée 31% et bien irriguée 44%.

Carte N°1 : Carte de localisation de la région de Vakinankaratra

Carte N°2 : Carte des cultures vivrières de la région de Vakinankaratra



DIRECTION REGIONALE de DEVELOPPEMENT RURAL DE VAKINAKARATRA



Source: BD 500 FTM / MAEP / SAGE

20 0 20 40 Km

Edition: Mars 2003

LEGENDE:

Localités administratives

- ◎ Chef lieu de Sous Préfectures
- Limite des Sous Préfectures
- Region vakinankaratra

Agriculture



- Riziculture
- Manioc
- Mais
- Pomme de terre

1.2.3 Etude proprement dite

1.2.3.1 Thème de recherche, problématique, objectif de l'étude et hypothèses

Thème de recherche : Notre étude s'intitule : *Etude des interactions génotype - environnement. Analyse de la croissance, du développement et de l'élaboration du rendement de variétés de riz pluvial d'altitude en fonction du système de culture et de l'altitude.*

Problématique : Le riz pluvial est récemment introduit avec les cultures sur Tanety dans les Hautes Terres en particulier à Vakinankaratra, à cause de la saturation des bas fonds et la pression démographique. Or il existe des conditions écologiques très hétérogènes et des systèmes de culture très diversifiés sur les tanety de la région. La question se pose : *Est-ce que le système de culture et l'altitude avec son microclimat influencent le potentiel variétal du riz pluvial ?*

Objectif : Ainsi notre étude s'intéresse sur l'interaction entre le génotype (potentiel variétal) et le milieu de culture (système de culture et altitude) du riz pluvial. Le potentiel génétique et le milieu de culture sont parmi les facteurs déterminants de la croissance, du développement et de l'élaboration du rendement du riz pluvial. ***L'étude a un double objectif :***

➤ Connaître le comportement variétal des variétés de riz pluvial tout au long du cycle cultural sur des systèmes de culture et des altitudes, afin de caractériser les variétés par leur réaction aux différentes sources de limitation du rendement. Pour cela, il est étudié :

- Une variété (FOFIFA161) en fonction du système de culture (association et/ou rotation Légumineuses – Graminées) en labour et sur couverture végétale d'une part.
 - Trois variétés (FOFIFA161, FOFIFA167 et EXPERIMENTAL411) en fonction de l'altitude (sur trois altitudes ou sites représentatives de la région) d'autre part ;
- Contribuer à la mise au point des modèles d'élaboration du rendement pour ces variétés étudiées.

Hypothèses de recherche (HR) à vérifier :

Variétés – systèmes de culture :

- HR 1 : Les variétés se comportent mieux en système de culture sur couverture végétale (SCV) qu'en labour ;
- HR 2 : La rotation culturale riz/légumineuses optimise le rendement par rapport à la rotation riz/graminées ;
- HR 3 : Le niveau de fertilisation sur les systèmes de culture influence aussi le développement, la croissance et surtout le rendement variétal.

Variétés – altitudes :

- HR 4 : Le cycle du riz pluvial se raccourcit et le rendement s'élève si le milieu de culture est chaud et pluvieux ;
- HR 5 : Dans un milieu froid le développement et la croissance se ralentissent, alors le cycle s'allonge et la stérilité des grains s'amplifie ;
- HR 6 : Une densité de semis espacée améliore la vigueur des plantes et augmente le rendement.

Modèles d'élaboration du rendement :

- HR 7 : Les modèles élaborés pour les variétés F161 et F167 restent valides pour cette campagne 2005-2006 ;
- HR 8 : La nouvelle variété E411 possède son propre modèle.

1.2.3.2 Méthodologie de travail

Recherches bibliographiques

Des recherches bibliographiques effectuées avant, pendant et après la phase terrain servent de base à la réalisation de notre étude. En effet, les informations et statistiques recueillies auprès de différentes institutions (Ministères, CIRAGRI, INSTAT), et des bibliothèques (CITE, ESSA, FOFIFA, CeRSAE, ...) et complétées par des entretiens avec des personnes - ressources (chercheurs, techniciens,...) ont permis de bien cerner le sujet, d'élaborer les plans de recherche et de rédaction ainsi que de servir d'explications scientifiques des réalités sur le terrain.

Expérimentation

L'expérimentation a commencé depuis la préparation des terrains, suivi de l'installation des cultures jusqu'à la récolte et a duré environ huit mois s'étalant de fin septembre 2005 à fin mai 2006. Durant cette phase, différentes mesures, observations et prélèvements destructifs ont été opérés à des moments précis en suivant le cycle cultural du riz afin de suivre la croissance, le développement et d'élaborer les composantes de rendement du riz pluvial.

Concernant l'étude sur le test de systèmes de culture, la variété FOFIFA 161 est testé suivant différents modes de culture, en labour et sur couverture végétal (SCV), choisis en fonction des Légumineuses et/ou Graminées cultivées en association ou en rotation avec le riz pluvial et suivant différents niveaux de fertilisation. Deux sites d'expérimentation se trouvent à Andranomanelatra, le premier : à l'URP SCRiD et le second à l'ONG TAFA.

A propos de l'étude du comportement variétal en fonction de l'altitude, trois (3) variétés ont été cultivées, à savoir FOFIFA 161, FOFIFA 167 et EXPERIMENTAL 411, avec deux (2) densités de semis sur trois (3) sites différents : site d'Andranomanelatra à 1640m au centre et dans une zone de moyenne altitude, celui de Soanindrariny à 1850m au sud-est et dans une zone de haute altitude et enfin celui d'Ivory à 950m au moyen ouest et dans la zone de basse altitude. La fertilisation et les traitements phytosanitaires sont à l'optimum.

Traitements des données

Les résultats sont traités après la phase « terrain » juin et juillet 2006. Les équations autres que linéaires sont obtenues avec le logiciel Sigma Plot (Jandel), tandis que les équations linéaires et les graphiques avec le tableur Excel (Microsoft).

La majeure partie des traitements statistiques des données pour l'analyse de variance est faite avec le logiciel SAS version 6.12 pour Windows (SAS Institute, Cary, NC, USA), avec la procédure GLM (General Linear Model) ; d'autres traitements sont effectués avec le logiciel Statbox Pro 6.40 pour Microsoft Office.

2^{ème} partie : Connaissances nécessaires à l'étude : l'interdépendance du facteur génétique et de l'écologie

2.1 Connaissances théoriques sur le riz pluvial utiles à la compréhension de l'étude

2.1.1 Principaux caractères propres d'une variété pluviale

Les informations suivantes sont extraites du livre de J.P Dobelman, 1976. La connaissance des caractères propres à une variété est essentielle en culture pluviale. Ces caractères d'ordre morphologique et physiologique détermineront une bonne ou une mauvaise adaptabilité à une alimentation hydrique souvent déficiente, en raison même du système de culture. Ces principaux caractères sont : *la durée du cycle végétatif, le profil racinaire et le développement foliaire*.

2.1.1.1 Durée du cycle végétatif

C'est la période s'étendant de la levée à la maturité. Le choix d'une variété de riz pluvial s'effectuera principalement en fonction de la durée de son cycle végétatif. Ce cycle doit correspondre approximativement à la durée moyenne de la saison des pluies. Naturellement la tendance est de choisir des variétés hâties, ce qui bien souvent serait une erreur, les variétés précoces étant dans la majorité des cas moins productives que les variétés à cycle moyen ou long. Pour une même région, le cycle d'une variété reste fixe, il est seulement modifié par la température, elle-même étroitement dépendante des saisons et de l'altitude. Enfin le cycle végétatif peut être allongé dans les limites plus étroites par certains aléas cultureaux à savoir :

- le retard dans la levée : si le semis est effectué en sol sec, la germination et la levée ne commenceront qu'après le début des pluies. Ce retard peut avoir des répercussions fâcheuses lorsque les pluies s'arrêtent prématurément en fin de saison.
- la période de sécheresse : une période plus ou moins prolongée de sécheresse, avant l'épiaison, semble allonger le cycle de la plante de quelques jours.
- l'attaque des insectes et des maladies fongiques : la reconstitution de l'appareil foliaire, après une attaque importante (insectes destructeurs des feuilles, pyriculariose...) retarde également le cycle de quelques jours par rapport à des plants qui n'ont subi aucun dommage.

2.1.1.2 Profil racinaire

Le profil racinaire d'une plante est la répartition en poids de ses racines à différentes profondeurs dans le sol. Cette répartition est variable pour des variétés différentes. Un rapport

étroit existe entre la résistance à la sécheresse et la profondeur de l'enracinement, les couches profondes du sol explorées par les racines étant en général plus humides que l'horizon superficiel. L'apparition du flétrissement en période de sécheresse est plus ou moins tardive suivant l'importance du système racinaire. En général, ce sont les variétés du *type indica* à racines longues et épaisses qui résistent mieux à la sécheresse alors que celle du *type japonica* possède un faisceau radiculaire plus superficiel et moins étoffé. Par ailleurs la nature du sol et les façons préparatoires du lit de semis peuvent modifier cet enracinement.

2.1.1.3 Développement foliaire

Il peut être aussi constaté un comportement différent chez les variétés ayant des cycles végétatifs identiques, un profil racinaire favorable à une bonne résistance à la sécheresse mais un développement foliaire différent. Les variétés à paille courte, peu feuillues, donnent des rendements très supérieurs et leur comportement en fin de cycle offre de meilleures garanties de récolte. Il s'agit là d'un phénomène de consommation en eau de la plante par évapotranspiration, laquelle est beaucoup plus importante chez les variétés à développement foliaire abondant. En outre, chez les variétés à fort développement foliaire, une tendance plus accentuée à la verse contribuera à la diminution du rendement.

2.1.2 Croissance, développement et cycle du riz

2.1.2.1 Croissance

La croissance est en général l'augmentation des dimensions d'un corps organisé ou de l'une ou de l'autre de ses parties (Dictionnaire d'agriculture, 1999). Chez les plantes, cette croissance se traduit par une augmentation de taille, de volume ou de poids au cours de sa vie (Rabézandrina, 2002).

Deux phénomènes synchroniques interviennent dans la croissance:

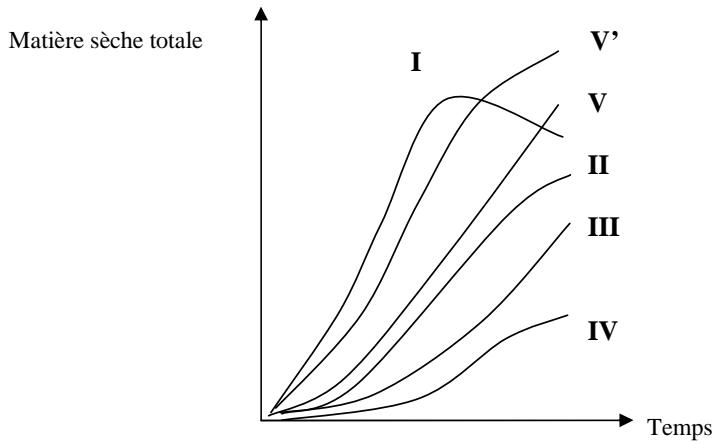
- la croissance en dimension de chacun des organes après leur initiation : c'est la croissance stricte appelée *auxesis* ou élongation cellulaire souvent isodiamétrique ;
- la multiplication du nombre de ces organes ou *meresis* ou division cellulaire se passant dans les zones méristématiques : c'est la liaison de la croissance avec le développement (Ramahandry, 2003).

L'augmentation de la plante est continue, irréversible et mesurable dans le temps. En pratique, l'augmentation du poids de matière sèche des organes du végétal comme les tiges, feuilles, panicules, graines, racines... est mesurée pour apprécier la croissance. Il est aussi possible de mesurer la hauteur, la longueur, la surface d'une partie de la plante.

Un chercheur nommé Tanaka a distingué 5 types de schéma de croissance de la matière sèche

du riz au cours du cycle :

Figure n°1 : Les différents schémas de croissance selon Tanaka, 1971(Cité par Moreau, 1987)



Type I : Croissance vigoureuse au départ puis faible en fin de cycle. Ce type est rencontré en cas de fortes températures ou bien d'alimentation azotée excessive en début de cycle. Les caractéristiques variétales peuvent également favoriser ce schéma de croissance.

Type II, V et V' : Croissance modérée (II) à forte (V et V') durant tout le cycle. Un bon équilibre a été trouvé entre la phase végétative et la phase reproductive. Le type V correspond à de forts rayonnements durant la maturation et à un poids de mille grains élevé.

Type III : Croissance faible au départ puis forte avec une croissance végétative prolongée. Ce type, outre les caractéristiques variétales, se retrouve en cas de faibles températures en début de cycle.

Type IV : Croissance lente et continue. Les conditions de nutrition sont insuffisantes ou les conditions de croissance sont difficiles.

2.1.2.2 Développement et cycle du riz

Le développement est l'ensemble des changements morphologiques et physiologiques dont un organisme vivant est le siège durant son ontogénèse⁴ (Dictionnaire d'agriculture, 1999). Autrement dit, c'est le passage du végétal au cours de son évolution agricole par différentes phases successives (Rabezandrina, 2002). L'ensemble des phases du semis à la maturité constitue le cycle de culture entier. Si la croissance est mesurable, le développement est un phénomène repérable dans le temps. En pratique, le développement du riz est divisé en

⁴ Ontogénèse : Ensemble des processus du développement qui, chez un animal ou végétal, conduisent du zygote à l'adulte.

trois phases successives :

- **la phase végétative** : elle s'étend du semis jusqu'au début de la formation des organes reproducteurs. La germination constitue le premier changement morphologique et physiologique de la semence. La levée ou l'apparition de la première feuille survient dans les dix premiers JAS. Le tallage ou la formation d'une tige secondaire à la base de la tige principale débute en moyenne 20 JAS au stade de trois feuilles. Les tiges secondaires émettent à leur tour des talles tertiaires et ainsi de suite. Selon les variétés et le milieu, le tallage s'arrête/continue avant/après l'initiation paniculaire, qui se situe autour de 60 à 100 JAS.

- **la phase reproductive** : elle commence à l'initiation paniculaire et se termine à la fécondation. Les panicules se forment d'abord au sommet de leur site de croissance dans les tiges, c'est l'initiation paniculaire, puis montent dans les tiges entraînant le gonflement de la base de la gaine foliaire : c'est la montaison. Cette étape est suivie par la sortie des panicules hors des gaines foliaires appelée épiaison. Vient ensuite la floraison marquée par l'écartement des glumelles et par la sortie des anthères ; puis suivie par l'autofécondation⁵ des fleurs de riz dites épillets⁶. Cette autofécondation s'opère de façon à ce qu'un des pollens émis par les anthères se dépose sur le stigmate et féconde l'œuf à l'intérieur de l'ovaire, et à la fin les glumelles se referment et les anthères restant à l'extérieur se dessèchent. Entre l'initiation paniculaire et l'épiaison s'écoulent une trentaine de jours. A part la formation des organes reproducteurs, les trois dernières feuilles se développent durant cette phase et les trois derniers entrenoeuds s'allongent. Cette phase correspond pour la plante à une période critique, à cause de ses exigences particulièrement importantes aussi bien en eau qu'en éléments fertilisants.

- et **la phase de maturation** qui correspond au remplissage des grains formés. Ainsi l'élaboration de l'amidon dans l'épillet démarre dès qu'une partie de la cellule mâle et une ovule ont fusionnée. Les grains passent alors à l'état laiteux, puis à l'état pâteux et enfin à l'état vitreux pendant la quinzaine de jours après fécondation. Le grain atteint son poids maximal 21 jours après la fécondation. Durant ce remplissage, petit à petit les panicules s'inclinent et les glumelles jaunissent et se durcissent. Environ 30 à 45 jours après l'épiaison, la panicule tout entière vire au jaune, les grains atteignent leur maturité et sont prêts à être récoltés.

Ainsi la durée du cycle est variable suivant les variétés. Elle est surtout fonction de la date de l'initiation paniculaire, c'est-à-dire la fin de la phase végétative. Ce passage de la

⁵ L'autofécondation est la règle, la pollinisation croisée est rare (Jacquot et Courtois, 1983)

⁶ Epillet devient grain après fécondation, une panicule comporte des dizaines d'épillets.

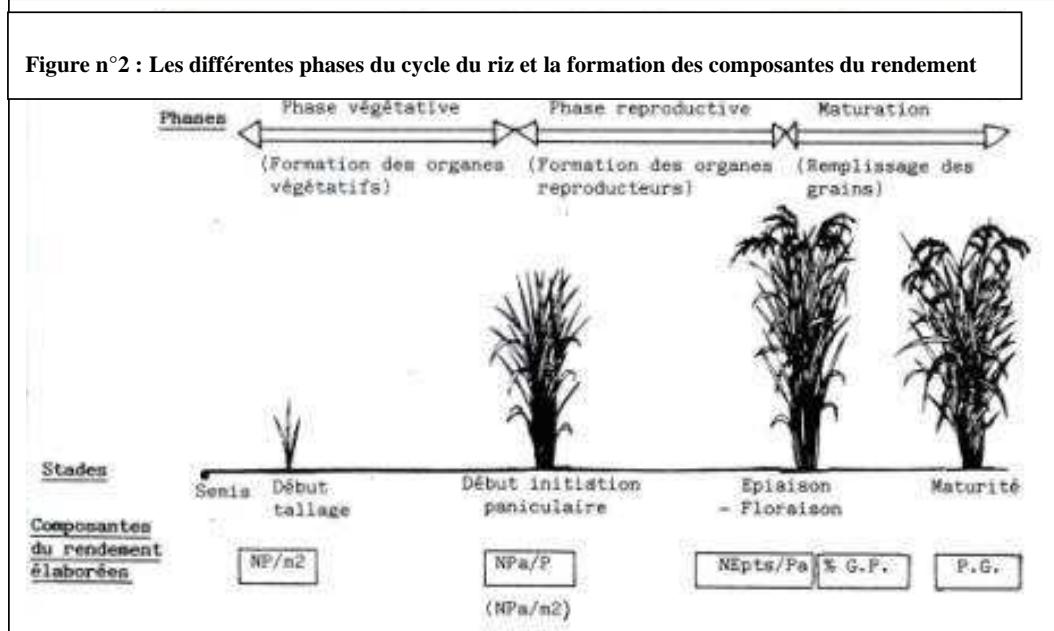
phase végétative à la phase reproductive est aussi conditionné par plusieurs facteurs externes : d'une part la réduction de la lumière en présence d'une humidité suffisante et d'une température élevée, et la forte fumure azotée qui favorisent le développement végétatif ; et d'autre part l'action combinée de la durée du jour⁷ ou photopériodisme⁸ et de la température qui accélère le changement de phase.

2.1.3. Elaboration des composantes du rendement durant le cycle de culture

Le rendement d'une culture s'élabore tout au long de son cycle au cours des phases successives. De même pour le riz pluvial durant chacune des trois phases, des composantes participent l'une après l'autre à l'élaboration du rendement (RDT). La décomposition du rendement en composantes est très enrichissante sur les parcelles expérimentales, où un contrôle maximum des facteurs et de conditions de croissance est possible sur des périodes plus courtes et bien définies. Elle permet alors l'analyse et l'interprétation des relations entre le peuplement végétal, la technique culturale et le milieu. Ainsi dans l'étude, nous utilisons la décomposition suivante :

$$\text{RDT} = \text{Nombre pieds/m}^2 \times \text{Nombre panicules/pieds} \times \text{Nombre épillets/panicule} \times \% \text{ grains pleins} \times \text{poids moyen d'un grain}$$

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



Source : Moreau , 1987

⁷ Les variétés dites « à jours longs » exigent un allongement de la durée du jour pour fleurir, d'autres dites « à jours courts » exigent une certaine durée de la période obscure pour fleurir. (Mémento de l'agronome, 1993)

⁸ Photopériodisme : phénomène d'alternance des périodes lumineuses et obscures. (Mémento de l'agronome, 1993)

La phase végétative

Les composantes du rendement s'élaborant durant cette période sont d'abord le **nombre de pieds par m² (NP/m²)**, suivi du **nombre de panicules par pied (NPa/P)** (déterminé à partir du nombre de talles fertiles) et ces deux derniers permettent l'obtention du **nombre de panicules par m² (NPa/m²)**.

❖ *Le nombre de pieds par m²* est fonction de la bonne germination des semences et de la réussite de la levée. Plusieurs conditions doivent être satisfaites pour permettre la germination, à savoir : la levée de dormance liée à la précocité/tardivité des variétés, les températures suffisantes, minimum : 14–16°C et optimum : 30–35°C, la bonne oxygénation dépendante de la profondeur de la graine et de l'état du lit de semence, et la propreté de la surface du sol. Barbier et Mouret, 1990, (côté par Primot, 2000) ont affirmé que les résidus de culture perturbent la germination du riz en aggravant les conditions d'anoxie au voisinage de la graine et/ou en produisant des substances de fermentation toxique.

Quant à la réussite de la levée, nombreux facteurs défavorables entre en ligne de compte : les obstacles mécaniques formés par des mottes compactes ou une croûte de battance, les obstacles photosynthétiques causés par les mauvaises herbes qui g  n  ent le fonctionnement photosynthétique de la jeune plantule, et le semis profond qui décroît le pourcentage de levée.

❖ *Le nombre de panicules par m²* est influencé par la durée de la phase végétative et par les déterminants du tallage. La durée de la phase végétative dépend de la sensibilité de la variété au photopériodisme et de la température. De fortes températures ont tendance à raccourcir la phase végétative et à avancer la date d'initiation paniculaire. L'utilisation des sommes de températures moyennes journalières permet de tenir compte de cette variable. Les déterminants du tallage sont :

- la vitesse d'émission de talles lors du tallage. Ce rythme suit le phyllochroone ou l'intervalle de temps s'écoulant entre l'apparition de deux feuilles, lui-même liée à la température. Plus la température est élevée, plus le phyllochroone exprimé en jours sera petit et donc plus la rythme d'émission des talles sera grand.

- le saut de talles ou la discontinuité et l'  r  t définitif du tallage. Ils sont causés, soit par l'absence de tout facteur limitant par la densité de pieds élevée entraînant une forte compétition pour la lumière et pour les ´éléments nutritifs entre les pieds et les talles, soit par la présence des conditions limitantes comme la baisse anormale du rayonnement incident, la présence des adventices, la limitation d'un de ces ´éléments nutritifs dans le sol et les températures au dessus ou au dessous des normales.

La phase reproductive

Cette phase peut être subdivisée en deux périodes :

- la période de formation de la jeune panicule durant laquelle se différencient les épillets. Ce qui entraîne à un nombre d'épillets différenciés potentiel.
- la période de formation des cellules reproductrices (ovules et grain de pollen), pendant laquelle un certain nombre d'épillets dégénère, aboutissant à un nombre d'épillets observés.

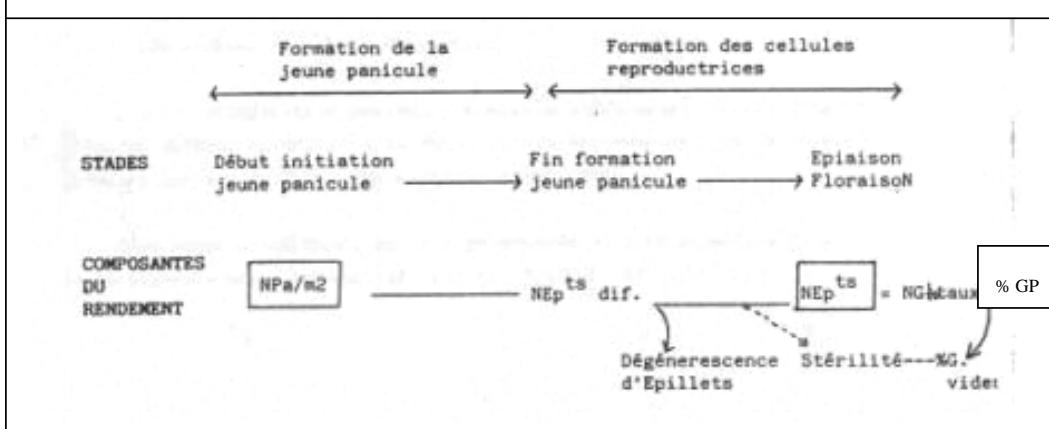
C'est ainsi que **le nombre d'épillets par panicules (NEpts/Pa) et le pourcentage des grains pleins (%G.P)** s'élaborent pendant cette phase.

❖ *Le nombre d'épillets par panicule différenciés* semble être lié essentiellement aux conditions de croissance de la plante jusqu'à leur différenciation. Des basses températures sont des principales causes de dégénérescence et de stérilité des épillets, défectiveuse de la déhiscence des anthères. L'optimum se situe entre 27-29°C. De même, un faible rayonnement durant cette phase induit une forte stérilité car l'épiaison est la période critique pour les besoins en radiations. De nombreux auteurs soulignent également la sensibilité de la plante au stress hydrique.

❖ Quant *au pourcentage de grains pleins*, d'après Moreau, 1987, ce %GP, bien que s'extériorisant durant le remplissage des grains, est déterminé à la floraison et correspond au % d'épillets stériles ou des fleurs non fécondées.

D'autres auteurs comme Matsushima, 1966, affirme que la période au cours de laquelle le %GP est déterminée n'est pas évidente à définir. Cependant, il semble que l'on peut en placer le début au stade de différenciation du nœud basal ou différenciation des épillets et la fin une dizaine de jours après épiaison. Cette dernière date dépend bien sûr de la variété et des conditions climatiques. Et pour Barbier et al, 1990, le %GP n'est définitivement déterminé qu'après floraison car l'arrêt de la croissance du grain se produit au stade laiteux, soit 10 à 20 jours après floraison.

Figure n°3 : Principaux stades de la phase reproductive et élaboration des composantes



Avec : Npa/m^2 = nombre de panicules par m^2 NEp^{ts} = nombre d'épillets

NEp^{ts} diff. = nombre d'épillets différenciés NG = nombre de grains

Source : Moreau, 1987

La phase de maturation

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

Détermination de la taille de l'enveloppe :

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

Remplissage des grains :

Le degré de remplissage des grains dépend de deux éléments : le nombre de grains à remplir (puits) et le niveau possible d'alimentation de ces grains (source). Cette alimentation provient encore de deux sources : la source photosynthétique fournissant de la matière carbonée du grain moyennant les trois dernières feuilles qui doivent avoir un port érigé de manière à capter le maximum de rayonnement et la translocation d'éléments azotés et phosphorés de la tige et des feuilles vers les grains avant la maturation. Sachant que 90% de l'azote et 80% du phosphore sont absorbées avant épiaison.

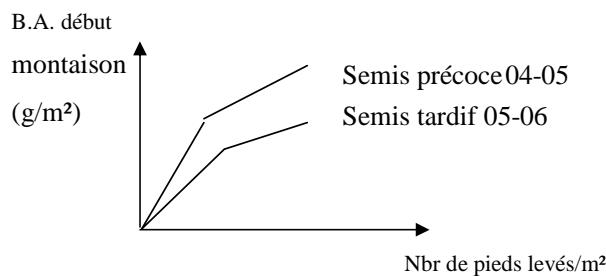
2.1.4 Modèles d'élaboration du rendement du riz pluvial

En 2005, Ramanandraivonona a élaboré des modèles d'élaboration du rendement pour les variétés F161 et F167 (ex- E933) à partir d'un dispositif de référence. Ces modèles sont repris cette année pour validation et élaboration d'un modèle pour la variété E411. il est à rappeler qu'un modèle met en relation les composantes du rendement, la placette étant choisie comme unité de base. Un modèle de référence sera présenté par une courbe appelée « courbe enveloppe » où sont mises en relation deux variables ou composantes de rendement. Une courbe de référence ou courbe enveloppe est obtenue à partir des points maximaux des variables. Les équations autres que linéaires sont obtenues avec le logiciel Sigma Plot (Jandel), les équations linéaires avec le tableur Excel (Microsoft).

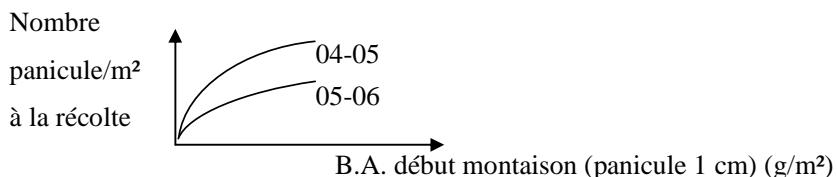
La figure ci-après montre les modèles retenus pour la comparaison des deux campagnes 2004-2005 et 2005-2006:

Figure n°4 : Modèles et relations établis en conditions non limitantes

<u>Modèles</u>	<u>Phase du cycle concernée</u>	<u>Forme de l'équation</u>
Modèle 1	levée – début montaison	$BA = \alpha \text{ NP} \text{ si } \alpha \text{ NP} \leq BA \text{ seuil}$ $BA = \text{NP} / (a + b\text{NP})$



$$\text{Modèle 2} \quad \text{début montaison - épiaison} \quad N_{\text{pan}} = c \cdot B \cdot A^d$$

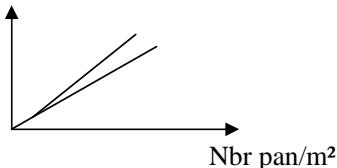


Modèle 3

début montaison – fécondation

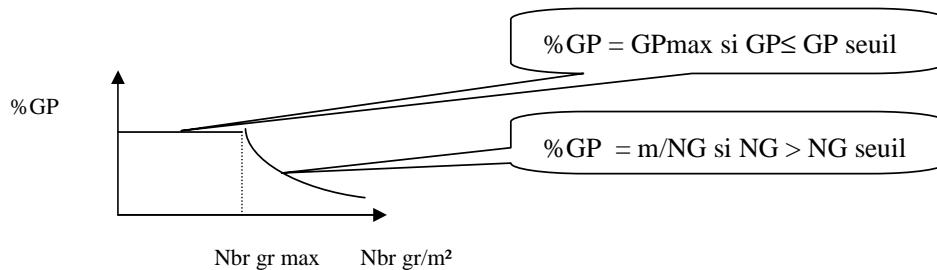
$$NG = u \cdot Npan + v$$

Nbr gr/m²



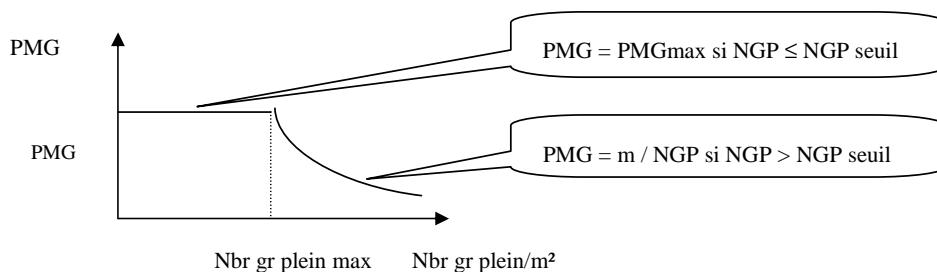
Modèle 4a

fécondation



Modèle 4b

fécondation – maturité



Avec : B.A. : biomasse aérienne en g/m²

Npan : nombre de panicule

NGP : nombre de grains pleins

V1, V2 : variétés 1 et 2

a, b, c, d, u, v, m, α : coefficients

N.P. : nombre de pieds levés par m²

PMG : poids de mille grains en g

%GP : pourcentage de grains pleins

Nbr grmax : nombre de grains maximal

2.2 Connaissances sur l'environnement de culture du riz pluvial dans l'étude

2.2.1 Systèmes de culture et mode de gestion des sols pour le riz pluvial (facteurs agronomiques)

2.2.1.1 Terminologie : rotation, association culturale, semis direct...

Système de culture ou système de production : c'est le résultat du choix de l'agriculteur dans la combinaison des facteurs de production (capital foncier, travail et capital d'exploitation) et des productions, effectuée selon les conditions dans lesquelles se trouvent son entreprise agricole (physique et économique) et son niveau technique.

Rotation culturale : d'après l'agronome Gasparin, « la rotation est la succession de diverses plantes ou diverses cultures sur un même terrain pendant une période d'années déterminée à la fin de laquelle on reprend la même succession et dans le même ordre ». Elle s'étend donc dans le temps. Dans la rotation, si l'espèce suivante est plantée avant la récolte mais après la floraison de l'espèce précédente, il s'agit d'une culture relais. Si, durant la période où le sol est normalement au repos entre deux cultures, est introduite une culture qui n'occupe le sol que peu de temps : c'est une culture dérobée.

Assolement : c'est la répartition des surfaces consacrées aux différentes productions végétales ou bien c'est la répartition spatiale des cultures au cours de la même année. La surface réservée à une culture donnée porte le nom de sole.

Ainsi la rotation est choisie en fonction de l'assurement, elles sont alors interdépendantes.

Association culturale ou cultures associées: ceci concerne les cultures effectuées en même temps sur le même terrain mais semées et récoltées séparément. Si les cultures sont en mélange pied à pied dans le même poquet ou semées sans répartition en ligne distincte, on les appelle culture mixte. Mais lorsque l'association culturale est faite ligne par ligne, on la nomme culture intercalaire.

Semis direct : Ce terme possède plusieurs sens selon le contexte et l'idéologie de l'auteur :

- **Semis direct (1)** : c'est un mode de semis qui consiste à semer les semences (grains des céréales, graines d'essences forestiers, boutures de canne à sucre...) directement sur le lieu de culture. Dans ce cas, il est l'opposé du semis en pépinière qui nécessite encore une transplantation ou un repiquage vers le champ de culture. La majorité des cultures sur *tanety* sont cultivées en semis direct, tandis que la plupart des cultures irriguées sont semées en pépinière. Les deux modes de semis peuvent être fait à la volée, en poquet ou en ligne.

- **Semis direct (2)** : il consiste à effectuer le semis dans l'état où se trouve le sol depuis la récolte précédente. Le terme s'oppose alors au *système labour* car la préparation du sol est très localisée et se limite sur la ligne de semis ou sur l'emplacement des poquets. Une ouverture d'un simple trou ou d'un sillon suffit pour garantir une bonne couverture et un bon contact de la semence avec le sol. C'est ainsi que « semis direct 2 » est l'un des éléments des nouveaux systèmes de culture basée sur la couverture permanente du sol.

2.2.1.2 Systèmes de culture conventionnels : le labour et le travail du sol

Le labour consiste à découper une bande de terre et à la retourner (Soltner, 1992) moyennant des divers instruments de travail du sol tels que « l' *angady* », la charrue. Ce travail mécanique vise l'amélioration du profil cultural, la stabilité des propriétés physico-chimico-biologiques du sol qui tendent à s'altérer avec le temps, la maîtrise des adventices afin de créer un milieu toujours favorable aux cultures. La profondeur du labour joue un rôle important au point de vue des rendements en raison de l'augmentation des réserves en eau du sol et d'un meilleur développement du profil racinaire (Dobelmann, 1976). Les expériences effectuées en Casamance⁹ et à Madagascar¹⁰ sur sol ferrugineux tropical prouvent cette affirmation.

L'affinage du sol après labour revêt aussi une importance particulière en semis direct (semis direct 1) pluvial pour avoir une bonne germination. En effet, la partie superficielle dite lit de semence devient meilleure et le volume de sol accessible aux racines des plantes se maximise. Ceci grâce à l'ameublissemement du sol qui permet de redonner une structure grumeleuse en émiettant les terres compactes et en réduisant les mottes du labour en éléments plus ou moins fins¹¹. L'opération détruit aussi un maximum d'adventices pouvant croître entre le labour et le semis.

Le travail du sol offre d'autres avantages pour les cultures pluviales, citons :

- *La régénération de la structure et le rétablissement d'une porosité satisfaisante* favorisent l'infiltration et le ressuyage de l'eau dans le sol, contrairement à la stagnation superficielle de l'eau, cause principale de la dégradation de la structure du sol. En plus, le bon équilibre entre l'eau et l'air facilite le réchauffement du sol. Par conséquent l'activité biologique du sol est plus intense.

⁹ G. HADAD et L. SEGUY, 1972, Le riz pluvial dans le Sénégal méridional. Agronomie Tropicale n°4.

¹⁰ I.R.A.M, 1971 – 1972, Essais de riziculture pluviale sur sols ferrugineux tropicaux – Province de Majunga.

¹¹ L'idéal c'est d'avoir d'agrégats ayant des dimensions voisines de celles de la semence pour que l'imbibition de cette dernière se fait rapidement. L'imbibition est une phase essentielle de la germination.

- *L'incorporation de diverses substances dans le sol* à savoir :

- des matières organiques du genre fumier, résidus de récolte, engrais verts, ... ;
- des amendements calcaires ;
- des engrais de fond, insolubles ou retenus par le complexe absorbant ;
- et des produits de traitement insecticides et herbicides de pré-levée.

- *La destruction des mauvaises herbes*, avant la mise en place d'une culture ou pendant son développement, dont l'enfouissement est pour certain le meilleur moyen de lutte.

- *La protection du sol contre la dégradation structurale* causée par les aléas pluviométriques qui donnent au sol un relief accentué et des grosses mottes alignées. Pour limiter l'érosion sur des terrains accidentés et en pente, le sens du labour doit être perpendiculaire au sens de plus grande pente et parallèles aux courbes de niveau (Jacquot et Courtois, 1983).

- *L'exposition du sol aux agents climatiques* capables de fissurer ses mottes compactes : le gel, les alternances de dessiccation et d'humectation. Cette exposition peut aussi l'assainir en détruisant nombre de larves parasites (insectes terricoles).

Par contre, le labour présente des contraintes.

La pénibilité si celui-ci est effectué à l'*angady*, car il est intéressant de travailler moins tout en produisant plus.

En outre, lorsque le labour est effectué avec une charrue et non à l'*angady* toujours à la même profondeur au plus de 20 ans, il aboutit à la constitution d'un horizon d'étranglement très tassé « semelle du labour » que les racines des plantes ne peuvent plus traverser (Rabezandrina, 2002). Mais le sous-solage permet de briser cette semelle de labour, et par la suite la pénétration des racines et de l'eau sera permise.

De même la porosité qui est élevée après le travail du sol diminue plus ou moins lentement avec le temps, vers une valeur limite correspondant au tassemement. Cette évolution sera plus ou moins rapide suivant la constitution du milieu ou plus exactement suivant la stabilité de la structure du sol, et suivant l'intensité des phénomènes responsables de la dégradation de cette structure. Cette dégradation résulte essentiellement de deux processus : l'*effet de battance* et le *phénomène de prise en masse*. Ils sont dus à la combinaison des effets des gouttes de pluies, de la formation d'une lame d'eau, et de la constitution d'une croûte litiée caractéristique. Cette dégradation de la porosité peut être atténuée par la couverture du sol avec une végétation ou par un *mulching* artificiel ou paillage qui fournit en même temps de la matière organique au sol (Rabezandrina, 2002).

2.2.1.3 Nouveaux systèmes de culture : les SCV ou Système de culture sur Couverture Végétale

Des nouveaux systèmes sont en vogue pour pallier les limites du labour jusqu'à sa réduction voire même son abandon. Apparus aux Etats-Unis¹² vers les années 60, puis se sont répandus vers d'autres pays tempérés (notamment en Australie, années 70-80) et dans les zones agricoles intertropicales (Amérique du Sud, années 60-80 ; Afrique et Océan Indien, années 80-90), les Systèmes de culture à base de Couverture Végétale permanente (SCV) du sol imitant l'écosystème forestier constituent une voie nouvelle de préservation et de valorisation durable des ressources naturelles.

Le principe de base des SCV (SEGUY et al, 2001) est d'assurer une protection permanente du sol contre les érosions et dégradations par des mulchs de biomasses vivantes ou mortes. Le sol porte non seulement la culture, mais aussi un couvert végétal supplémentaire qui peut être les pailles de la production précédente ou la matière végétale d'une plante cultivée en partie en association avec la culture principale. La semence est placée directement dans un sol qui n'est pas travaillé¹³ (semis direct 2) pour ne pas altérer cette protection. Les buts de ce paillis et de cette seconde culture sont de protéger en permanence le sol contre les intempéries, de recycler les éléments nutritifs et d'apporter au sol la matière organique indispensable. L'élimination des mauvaises herbes avant le semis et pendant la culture est faite avec des herbicides les moins polluants pour le sol.

Les impacts positifs des SCV sur les cultures pluviales touchent d'abord les performances techniques et les considérations environnementales. En effet, non seulement la couverture vive ou morte protège le sol contre l'érosion, mais encore elle accroît le taux de matières organiques du sol, augmente l'infiltration, réduit l'évaporation et tamponne les températures. Se crée aussi un environnement favorable au développement de l'activité biologique¹⁴. Par conséquent, les plantes de couverture recyclent les nutriments lixivierés, plus particulièrement les nitrates et pompent l'eau profonde du sol pour la production de biomasse durant la saison sèche. Donc l'utilisation rationnelle de l'eau et des nutriments est accrue par la réduction de la consommation d'eau pour la production agricole, meilleure résistance aux stress hydriques et productions pluviales dans les zones marginales. La structure du sol s'améliore du fait de sa protection, des activités racinaires, des apports de biomasse

¹² In DOUNIAS, 2001, les SCV et semis direct en zones tropicales, études et travaux n°19.

¹³ En réalité, c'est à partir de la 2^{ème} année de culture qu'on ne labour plus et cela correspond à la 1^{ère} année de SCV.

¹⁴ La macrofaune et la microflore du sol agissent positivement sur les systèmes : activités foreuses, mélangeuses, dégradation et minéralisation des biomasses, intervention dans l'alimentation des plantes (oxydations et chélations des minéraux par les bactéries).

(aériennes, racinaires) et des activités biologiques intenses. Il y a alors restauration de la fertilité du sol.

D'autres impacts positifs relèvent des aspects socio-économiques. Le calendrier culturel devient souple. L'emploi d'intrant, d'engrais et de pesticides est minimal, donc diminution de leur impact sur l'environnement. Ainsi ces systèmes procurent une réduction des temps de travail et de leur pénibilité surtout pendant la préparation du sol et le sarclage, une meilleure rentabilité de la terre et du capital. Pour cela, les récoltes augmentent et les marges nettes s'élèvent. En outre, la rotation et l'assolement des cultures en SCV diversifient les productions (Raunet et al. 1999 ; Naudin 2000). En plus, l'intégration de l'élevage dans la production agricole entraîne une plus grande diversité dans la rotation ainsi qu'une diminution des problèmes phytosanitaires grâce à l'introduction des cultures fourragères (FAO, 2001).

Mais, les effets susdits sont discutables et dépendent fortement du milieu, des espèces cultivées mais aussi de l'environnement socioéconomique. Rappelons que le fonctionnement des SCV est basé¹⁵ avant tout à la production de biomasse permanente et non au semis direct qui est une conséquence. A l'échelle d'une petite exploitation, la maximisation et la pérennisation de la biomasse risquent d'être un frein à l'intégration des SCV à un système de production. Dans la majorité des cas, les premiers résidus de récolte n'arrivent pas à couvrir la totalité du sol. Il faut alors pailler les parcelles par des biomasses externes en raison de 6 à 8 tonnes/Ha¹⁶, avant le début de saison des pluies. Non seulement ceci présente un surplus de travail, mais encore la disponibilité des biomasses n'est pas évidente, car l'usage des biomasse est très sollicité comme alimentation des bétails surtout si la vaine pâture existe, fabrication de fumure (préparation de fumier, de compost ou simplement de cendres), construction des toits, artisanat, etc...

Autres inconvénients majeurs des SCV résident sur le contrôle des mauvaises herbes et la compétition de la couverture vive avec la culture principale. Les agriculteurs doivent recourir alors aux herbicides sélectifs les moins polluants possible ; or la disponibilité et la cherté de ces intrants ne convient pas aux exploitations dont les moyens financiers sont limités.

En outre, en phase transitoire, la modification de l'équilibre biologique du sol peut engendrer de nouveaux problèmes en favorisant certains ravageurs ou maladies dans le sol (FAO, 2001). Un autre inconvénient est qu'au début du cycle les SCV favorisent l'utilisation de l'azote

¹⁵ L'appellation "semis direct" pour désigner ces systèmes est donc très réductrice. Elle oublie le principe majeur qui est la couverture permanente du sol, pour ne garder que le semis direct qui est une conséquence (M Goudet, 2003).

¹⁶ In L SEGUY, 2000, Systèmes de cultures durables en semis direct avec minimum d'intrants, protecteurs de l'environnement, création - diffusion de ces systèmes, en petit paysannat, dans différentes écologies de Madagascar. Rapport de mission 13/03-03/04 2000

soluble du sol par les microorganismes qui décomposent la litière entraînant une carence en azote plus ou moins ponctuelle de la plante qualifiée de « faim d'azote », ce qui la rend plus sensible aux maladies ; suivi d'une perte d'azote par volatilisation suite à la décomposition de la matière organique (Thurston 1997 cité par Naudin 2000).

2.2.2 Description des zones d'altitudes de culture du riz pluvial étudiées (facteurs climatiques et édaphiques)

Un autre facteur écologique qui influence le riz pluvial est l'altitude de culture caractérisé par les conditions pédoclimatiques. L'étude s'est effectuée sur trois zones d'altitude de la région de Vakinankaratra à savoir :

- Ivory : zone de basse altitude
- Andranomanelatra : zone de moyenne altitude
- Soanindrariny : zone de haute altitude

2.2.2.1 Ivory : zone de basse altitude

Le site de l'URP SCRiD à Ivory¹⁷ se localise à 88km environ à l'Ouest d'Antsirabe sur l'axe RN 34 Antsirabe – Miandrivazo. Le site a une altitude de 950m et s'étend entre 19°33,459' de latitude sud et 46°24,841' de longitude Est.

Le sol d'Ivory est ferralitique sur migmatite granitoïde (Ramahandry, 2003), sur colluvions (carte des sites d'intervention de l'URP SCRiD & TAFA), ferralitique humifère (Rakotoson, 2003).

2.2.2.2 Andranomanelatra : zone de moyenne altitude

Les deux sites d'Andranomanelatra se situent entre 17km et 18Km au Nord d'Antsirabe ville sur la RN7 vers Antananarivo. L'altitude des sites varie de 1645m à 1653m. Ils sont limités entre. L'un, site de l'URP SCRiD, se localise à 19°46,756' de latitude Sud et 47°6,411' de longitude Est et se trouve juste derrière la minoterie KOBAMA ; et l'autre, site de l'ONG TAFA, se situe à une centaine de mètre au nord du premier.

Les sols d'Andranomanelatra sont des sols ferralitiques sur sédiments ou sur alluvions volcano-lacustres. Autrement dit, ils appartiennent au classe VIII, sous-classe 3, groupe C : sol ferralitique lessivé très désaturé en présentant toujours une réaction plus acide en surface qu'en profondeur. (Rakotoson, 2003).

¹⁷ Antsirabe --22km-- Betafo --18km-- Soavina -- 31km-- Ankazomiriora --11km-- Vinany – bifurcation à droite de 6km-- Ivory

2.2.2.3 *Soanindrariny : zone de haute altitude*

Le site de Soanindrariny se trouve à 50Km environ à l'Est d'Antsirabe. Il a une altitude de 1850m et est limité entre 19°53,934' de latitude Sud et 47°14,232' de longitude Est. C'est un site d'expérimentation des essais variétaux de l'URP SCRD en milieu paysan.

Le sol est de type ferrallitique sur substrat cristallin (carte des sites d'intervention de l'URP SCRD & TAFA).

Climat des trois sites :

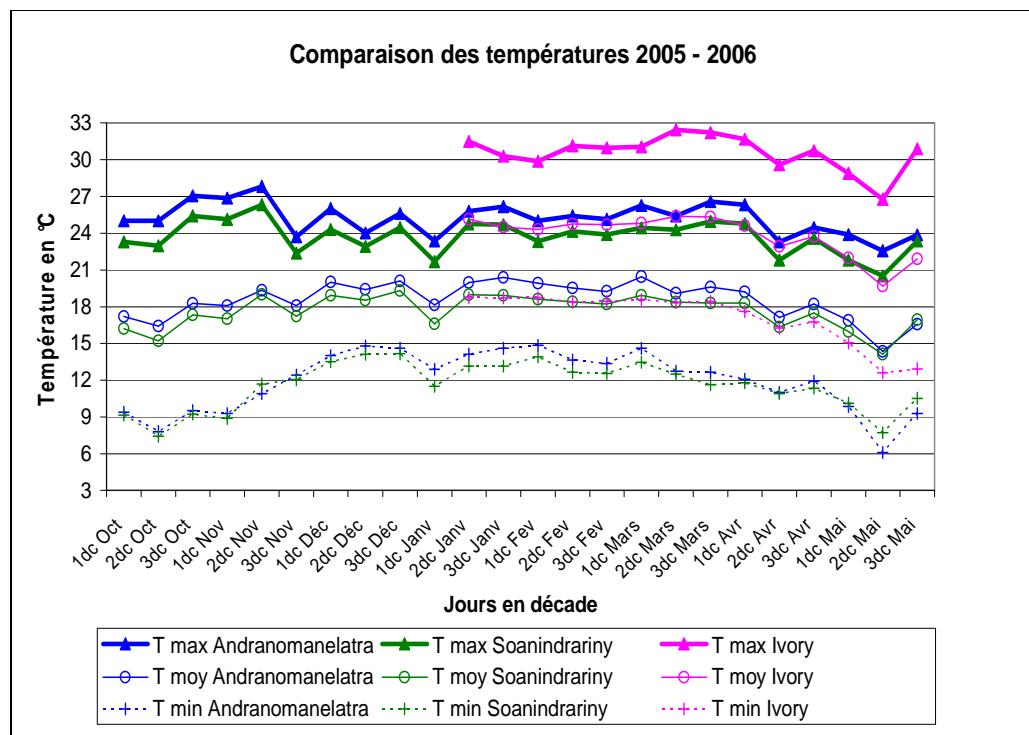
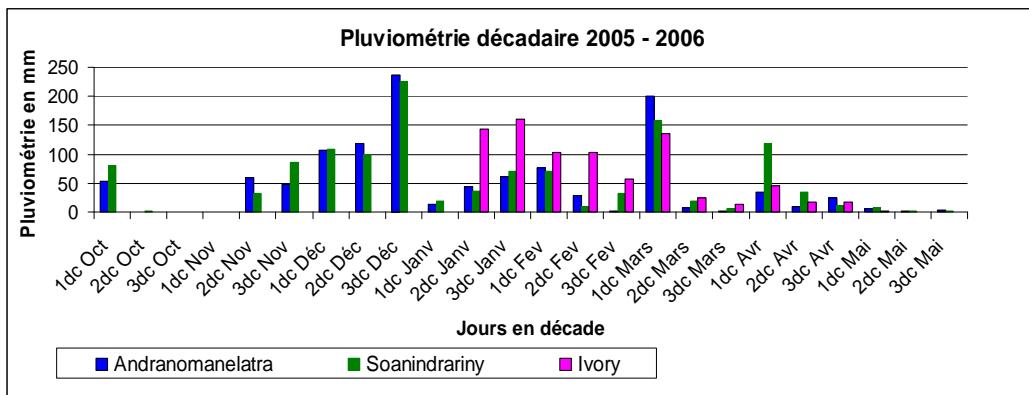
Les stations météorologiques Cimel installées sur les sites nous renseignent sur les conditions climatiques des zones d'altitudes durant l'expérimentation sur terrain, campagne d'Octobre 2005 à Mai 2006. A noter que les données disponibles pour Ivory commencent à partir de la deuxième décade du mois de janvier. Les figures dans la page ci-après nous montrent la répartition des pluies et l'évolution des températures pendant la période de culture.

Pendant cette campagne, la saison des pluies a débuté tard pour Andranomanelatra et Soanindrariny. Il y avait une seule journée pluvieuse en début d'Octobre, suivie d'une période sèche de un mois et demi. Or les semis à sec ont été faits entre la troisième décade du mois d'Octobre et la première décade du mois de Novembre. C'est à partir du 18 Novembre que la vraie saison chaude et humide a commencé jusqu'en fin Décembre avec un pic de 237,5mm pour les dix derniers jours à Andranomanelatra et 226 mm à Soanindrariny. Décembre était le mois le plus chaud aussi avec une T moyenne de 20°C à Andranomanelatra et 19°C à Soanindrariny. Après, les pluies se sont raréfierées pour créer des trous pluviométriques en fin Février et à partir de la mi-mars, avec une reprise est observée entre ces deux périodes. Les températures moyennes se sont stabilisées autour de 19°C à Andranomanelatra et 18°C à Soanindrariny jusqu'au début du mois d'Avril. Puis la saison sèche et fraîche a pris le relais.

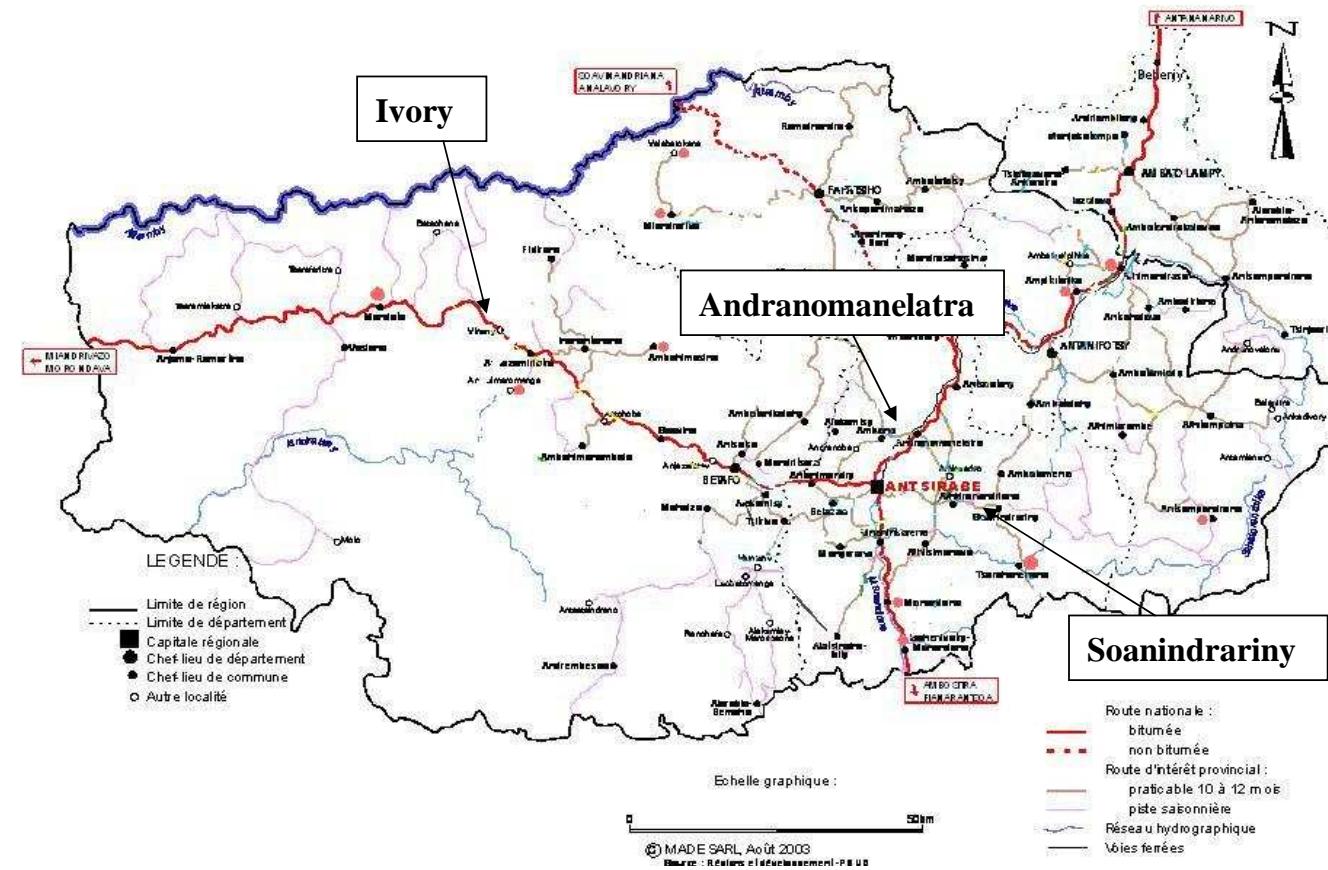
Concernant Ivory, même si les autres données ne sont pas disponibles sur les figures, les pluies ont été bien reparties de Novembre à Mars et il faisait très chaud par rapport aux autres sites car la moyenne des températures oscillait autour de 25°C, c'est l'équivalente des températures maxima pour Andranomanelatra et Soanindrariny.

Nous verrons dans la partie résultat l'impact de ces conditions climatiques sur le potentiel variétal dès la germination jusqu'à la maturation.

Figure N°5: Pluviométrie et évolution des températures durant le cycle cultural sur les trois sites



Carte N°3 : Carte de situation approximative des zones d'étude



3^{ème} partie : Partie expérimentale

3.1 Caractéristiques des variétés utilisées

Trois variétés de riz pluvial ont été étudié dont le choix a reposé sur des variétés à haut potentiel productif, adaptées à l'altitude, tolérantes au froid et peu sensibles aux maladies :

- FOFIFA 161 (ou F161), variété récemment diffusée aux paysans en 2004 – 2005 ;
- FOFIFA 167 (ou F167), ancienne EXPERIMENTAL 933, nommée F167 en novembre 2005, puis vulgarisée ;
- EXPERIMENTAL 411 (ou E411), variété prometteuse en cours d'évaluation.

Le tableau N°1 suivant résume leurs principales caractéristiques :

Variété et origine	Description et points forts	Points faibles
F161 ou «Mahefa», parents : IRAT 114 (femelle) et FOFIFA 133 (mâle)	Variété à paille intermédiaire et à feuille grande, hauteur moyenne 92 cm, port de la feuille paniculaire semi-dressé, panicule compacte, gros grain poilu demi-rond, variété très homogène, bonne productivité : 2,8T/ha en moyenne à 6,6T/ha maximum, résistante à la pyriculariose, adaptation à l'altitude, rustique, tolérante au froid, cycle végétatif moyen 154 jours à 1500m	Tallage moyen, un peu sensible à l'égrenage, devient un peu sensible à la pyriculariose (cette année)
F167 , parents : CA 148 (femelle) et Shin Ei (mâle)	Plante haute à feuille fine, hauteur moyenne 115cm, fort tallage, port de la feuille paniculaire intermédiaire, compétitive vis-à-vis des mauvaises herbes, tolérante aux maladies, grain barbu, meilleur rendement 4T/ha, résistante à l'égrenage, cycle végétatif moyen 165 jours à 1500m	Hétérogène, cycle un peu tardif, petit grain demi-long, un peu sensible à la verse
E411 , parents : IRAT 265 (femelle) et Jumli Marshi (mâle)	Variété à paille courte et peu feuillue, hauteur moyenne 96 cm, port de la feuille paniculaire horizontal, grain brun medium, barbe brune, résistante aux maladies, bonne productivité, cycle végétatif moyen 150j à 1500m	Très sensible à l'égrenage, les autres caractères sont en cours d'évaluation

3.2 Dispositifs expérimentaux et itinéraires techniques

3.2.1 Dispositifs pour l'interaction variété – système de culture

Nous avons travaillé sur deux dispositifs appelés matrice de l'URP / SCRiD et matrice de l'ONG TAFA à Andranomanelatra. Les deux matrices sont estimées selon leur âge de fonctionnement pour nous permettre de vérifier l'effet SCV dans le temps notamment sur l'évolution du rendement. La variété **F161** est contrôlée sur cinq (5) systèmes de culture dont 3 sur le premier dispositif et 2 sur le second.

3.2.1.1 Matrice de l'URP SCRiD à Andranomanelatra

C'est le dispositif central de l'URP / SCRiD dans le Vakinankaratra. Il a été mis en place en fin 2002 sur une surface totale de 3ha et 20 ares, les essais en annexes sont mis à part. Le dispositif a été conçu pour une approche multidisciplinaire : évaluation agronomique, sélection variétale, suivis en entomologie et phytopathologie. On y trouve 6 systèmes de culture avec deux modes de gestion du sol **Labour / SCV** et deux niveaux de fertilisation **Fu / FM**¹⁸ en répétition sur **4 blocs** A, B, C, D. C'est un dispositif complexe. Voici les 3 systèmes de culture auxquels nous avons focalisé l'étude :

- **Le système Témoin ou T [Haricot+ (Avoine) + (Vesce)] – [Riz¹⁹] en SCV et Labour**

Le riz est la culture principale. Il est en rotation annuelle avec du haricot en première saison de culture suivie de l'avoine en relais et de la vesce en dérobée. Le haricot est l'un des principales cultures pluviales dans la région. L'avoine et la vesce sont introduites pour pérenniser la biomasse et font des bons fourrages. En plus, le haricot et la vesce sont utilisés en tant que Légumineuses, pour leur capacité à fixer de l'azote atmosphérique donc d'enrichir le système. Ce système est très riche en cultures pluviales car il y a double alternance Graminée – Légumineuse.

- **Le système R3 [Maïs + (Brachiaria ruzisiensis)] – [Riz] en SCV**

Le riz est en rotation annuelle avec du maïs associé au *Brachiaria ruzisiensis* en culture intercalaire. 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, un excellent fourrage mais surtout à labourer biologiquement le sol avec ses racines, donc à offrir au sol la macroporosité nécessaire au riz pluvial. C'est un système de succession des graminées, il est conduit en SCV seul.

¹⁸ Fu / FM voir détail à la page suivante dans le paragraphe « Itinéraires techniques »

¹⁹ Pour les systèmes : + Association et culture dérobée – Rotation culturelle
[] Culture de même année () Pas de récolte en grain

- **Le système R4 [Maïs + Soja + (Vesce)] – [Riz] en SCV et en Labour**

Le riz pluvial est en rotation annuelle avec du maïs associé à du soja en culture intercalaire et suivi de la vesce en dérobée. L'adoption du maïs et du soja dans le système est la même raison qu'en R3, c'est-à-dire que les deux sont aussi des cultures importantes. La vesce permet d'ajouter la production fourragère à la production de biomasse. La vesce et le soja sont utilisés aussi en tant que Légumineuses, pour leur capacité à fixer de l'azote afin d'enrichir aussi le système.

Itinéraires techniques

Ces 3 systèmes **T, R3 et R4** entrent dans leur 3^{ème} année de culture en SCV. Les parcelles en FM sont de grandes parcelles de 100m² et de 200m², celles en Fu sont de 100m² et de 50m² sur R3 et R4, tandis que sur Témoin ils sont tous de 24m². Sur les 40 parcelles, la variété F161 est semée en poquets alignés et espacés de 20cm à 8 grains par poquet, soit 60 à 80Kg de semence par Ha. Les fertilisations appliquées au moment de semis se font comme suit :

- **Fu** : constitué d'un apport seul de fumier à 5T/ha, c'est la pratique paysanne.

- **FM** : fumure considérée comme la dose normale d'un apport nutritif sur le riz pluvial, elle est constituée de fumier à 5 t/ha, de dolomie à 500 kg/ha pour corriger l'acidité du sol ferrallitique peu favorable aux plantes et permettre une plus grande libéralisation des éléments nutritifs du sol ainsi que l'activation de la microfaune, et enfin de l'engrais composé NPK 11-22-16 avec une dose de 300 kg/ha. En plus, 100kg/ha d'urée perlée 46% est apporté en deux apports vers le début du tallage et de l'initiation paniculaire.

Concernant les entretiens, pour lutter contre les insectes terricoles, la semence est enrobée par du Gaucho, insecticide en poudre, à la dose de 2,5g/kg de semence, tandis que le sol est traité par du Carbofuran, insecticide granulé, à la dose de 6kg/ha. Des désherbages et herbicidages²⁰ fréquents sont aussi faits dès la préparation du milieu de culture, au semis et jusqu'au remplissage des grains. La récolte pour chaque parcelle est faite manuellement avec des fauilles et le battage avec une batteuse à pédale.

3.2.1.2 Matrice de TAFA à Andranomanelatra

Le site vitrine de démonstration de l'efficacité du système de culture de l'ONG TAFA est fonctionnel depuis 1994. Le dispositif s'installe sur une topo séquence complète d'une

²⁰ Un mois avant semis : Glyphader 3l/ha + 2-4D 1,5 à 2l/ha. Au moment du semis réel (après la 1^{ère} pluie), sur T et R4 Stomp 3l/ha + Gramoxone 1l/ha enSCV et Stomp seul en labour ; sur R3 Glyphader 3l/ha en traitement localisé pour tuer les restes de Brachiaria et après un jour Stomp 3l/ha. La suite est assurée par des desherbages manuels.

dizaine d'hectare qui va des plateaux sommitaux jusqu'au bas fonds. Des systèmes de culture de rotation et d'association de riz pluvial avec des Légumineuses/ Graminées de couvertures y sont essayés. Notre travail s'est limité sur deux systèmes présentant la variété F161 :

▪ **Le Système Riz - Vesce / Maïs +Soja 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 pour son système racinaire profond quant à la mobilisation des éléments en profondeur et pour le soja pour sa capacité à fixer de l'azote contribuant à l'amélioration de la fertilité du système. La vesce en dérobée avec le riz sert de couverture et de production de surplus de biomasse.

▪ **Le Système Riz / Soja en Labour**

Sur les essais de TAFA, les systèmes labourés correspondent à l'agriculture conventionnelle où aucune restitution de résidus et ni apport de couverture morte n'ont été faits. La couverture vive quant à elle correspond à une simple succession de cultures.

Itinéraires techniques

La superficie des parcelles était à peu près la même à environ 25m². Les systèmes entrent dans leur 12^{ème} année de culture en SCV. Les parcelles se trouvent sur des terrains en pente faible 3 à 5%. Les essais ne présentent pas de répétition et sont conduits sur 4 niveaux de fumure à savoir :

- **F0** : niveau de fumure nul, parcelle témoin pour chaque système
- **F1** (équivalent de Fu du premier dispositif) : apport de fumier seul avec une dose de 5 t/ha.
- **F2** : fumier 5t/ha, dolomie 500kg/ha, phosphate d'ammoniaque (20% N, 45% P₂O₅) 150kg/ha, KCl 80kg/ha et urée perlée 46% à raison de 100kg/ha appliqués en deux apports vers le début du tallage et de l'initiation paniculaire.

- **F3** : niveau de fertilisation en excès pour 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. La composition est la suivante : fumier de l'ordre de 5 t/ha, de la dolomie pour 2000 Kg/ha appliqués 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 début du tallage et de l'initiation paniculaire.

L'épandage des engrains est généralisé pour F1 et est localisé pour F2 et F3. La variété F161 est semée en poquets alignés avec un écart de 25cm (interligne) x 20cm (entre deux lignes). Presque les mêmes entretiens sur le premier dispositif ont été effectués.

3.2.2 Dispositifs pour l'interaction variété – altitude

L'objectif ici est de trouver la variété adaptée et la densité adéquate à une altitude de culture donnée. Des **essais multi locaux** sont réalisés à Ivory (950m), à Andranomanelatra (1645m) et à Soanindrariny (1850m). Les dispositifs sont en blocs complets randomisés à quatre répétitions où les **trois variétés F161, F167 et E411** sont cultivées en poquets alignés avec **deux différentes densités de semis** : D2 20cm (écart entre deux lignes) X 20cm (écart interligne) et D3 double densité 20cm (écart entre deux lignes) X 10cm (écart interligne). **Huit grains** sont semés par poquet, soit 60 à 120Kg de semence par Ha selon le poids moyen des grains. La semence est toujours enrobée de Gaucho (insecticide « Imidachlopride »- fongicide « Thirame » en poudre) à la dose de 2,5g/kg de semence pour combattre les insectes terricoles. Les 72 parcelles des trois sites sont toutes **en labour**. La fertilisation sur chaque site est la suivante :

- résidus de récolte des précédents culturaux enfouis au moment du labour
- 5T/ha de fumier et 500kg/ha de dolomie en épandage généralisé et mélangés au moment du labour
- 300Kg/Ha de N.P.K 11.22.16 en épandage localisé dans les poquets au moment du semis
- 100Kg/Ha d'urée perlée 46% en 2 apports (vers début tallage et initiation paniculaire).

La récolte pour chaque parcelle est faite manuellement avec des fauilles et le battage avec une batteuse à pédale.

3.2.2.1 Site d'Andranomanelatra (dispositif de référence aussi pour les modèles d'élaboration du rendement)

Le site fait parti des essais en annexe de la matrice de l'URP / SCRiD. Le dispositif est utilisé en même temps comme un dispositif de référence pour les modèles d'élaboration de rendement et comme un des dispositifs en altitude. La dimension d'une parcelle élémentaire est de 25,52m² ou 11,6m de long X 2,2m de large. Les lignes de semis sont perpendiculaires à la largeur de chaque parcelle, donc le résultat est pour :

- D2 : 11 lignes et 58 poquets par ligne
- D3 : 11 lignes et 116 poquets par ligne

À propos de l'itinéraire technique, l'herbicide Stomp (pendimethalin 500) est utilisé à la dose de 3l/ha pour empêcher la germination des adventices juste après la première pluie ou moment du semis réel pour cette année. Le sol est traité avec du Carbofuran 10G (insecticide granulé) à la dose de 6kg/ha pour tuer les insectes terricoles. Afin de respecter 8 à 10pieds/poquets, des démarriages et transplantations des plantes entre les poquets sont effectués.

Des désherbagés manuels sont faits après. Dès l'apparition de la pyriculariose, les parcelles

sont traitées hebdomadairement²¹ par du Rabcide (fongicide) à la dose de 2kg/ha à 4kg/ha.

3.2.2.2 Site de Soanindrariny

Comme nous avons mentionné dans la 2^{ème} partie, c'est un site d'expérimentation des essais variétaux de l'URP SCRiD en milieu paysan. La surface élémentaire est de 7,2 m² soit 4m de long X 1,8m de large. Les lignes de semis sont perpendiculaires à la largeur de chaque parcelle, on obtient pour :

- D2 : 20cm (écart entre ligne) X 20cm (écart interligne), 9 lignes et 20 poquets par ligne
- D3 : 20cm (écart entre ligne) X 10cm (écart interligne), 9 lignes et 40 poquets par ligne

A part les apports d'urée, un seul sarclage suffit pour maîtriser les adventices.

3.2.2.3 Site d'Ivory

La surface élémentaire est de 24,96 m² (5,2m de long X 4,8m de large). Les lignes de semis sont perpendiculaires à la largeur de chaque parcelle avec :

- D2 : 20cm (écart entre ligne) X 20cm (écart entre poquet), 24 lignes et 26 poquets par ligne
- D3 : 20cm (écart entre ligne) X 10cm (écart interpoquet), 24 lignes et 52 poquets par ligne

L'herbicide Stomp est utilisé à la dose de 3l/ha pour éviter la germination des mauvaises herbes au moment du semis. Faute de l'agressivité des pluies et du terrain en pente douce, un re-semis, des remplacements et des transplantations sur les poquets manquants sont réalisés. Les désherbages et l'arrachage des Striga²² sont effectués manuellement.

3.3 Mesures et appareils utilisés

3.3.1 Suivi de la nutrition azotée par le biais du chlorophyllmeter

La teneur en chlorophylles²³ dans les plantes est en relation avec leur teneur en azote. Le chlorophyllmeter est un appareil portable développé par la société Minolta. Il sert à estimer la teneur en chlorophylle *in situ* d'un végétal, en mesurant la quantité de lumière transmise à travers la feuille, l'unité de mesure est le SPAD (*Soil Plant Analyses Development*). Des essais effectués sur le riz irrigué ont montré une relation entre les valeurs lues sur le Chlorophyllmeter 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. Le SPAD permet de savoir le moment opportun pour l'apport d'azote.

²¹ 2kg/ha par traitement pendant les 4 premières semaines, puis 4kg/ha pendant 3 semaines (13/02 – 27/03/06).

²² Striga : mauvaises herbes parasites spécifiques pour la riziculture pluviale, très développées dans le Moyen Ouest de Madagascar, appelée localement « herbe arema ».

²³ La chlorophylle est un pigment présent dans la plante qui capte la lumière utilisée lors de la photosynthèse.

La mesure est réalisée toujours sur la dernière feuille ligulée dès le stade 2 à 3 feuilles jusqu'à la formation complète de la feuille paniculaire (dernière feuille). Ces dernières feuilles sont les plus jeunes qui renseignent le mieux sur le niveau de satisfaction des besoins azotés de la plante. Une mesure est la moyenne de 20 feuilles mesurées sur chaque parcelle des systèmes de culture et des sites. Elle est effectuée presque toutes les semaines pour les dispositifs à Andranomanelatra ; et est réalisée avant les prélèvements des plantes pour les deux autres sites. Habituellement, la mesure au SPAD augmente avec la teneur en azote apporté. Mais, elle peut être affectée par différents facteurs, à savoir: la différence de radiation, la densité de la plantation, la variété, le statut des autres éléments nutritifs dans la plante et les différents stress biotiques ou abiotiques pouvant influencer la coloration de la feuille. Ainsi si pour deux parcelles, à niveaux de fumure différente, la valeur SPAD est la même, on peut attribuer l'identité des valeurs à une carence en un autre élément nutritif : le phosphore ou le potassium (Schaobing, 1995, cité par Rakotoson, 2003).



Cliché 1 : Chlorophyllmeter

Source site web cirad

3.3.2 Critères d'évaluation de la croissance

3.3.2.1 Echantillonnage des plantes à analyser dans des placettes de prélèvement

A l'exception du dispositif de TAFA, sur chaque parcelle des systèmes de culture de l'URP / SCRID et des trois sites en altitude ont été repérées cinq placettes (P1 à P5) pour servir d'échantillons de *prélèvements destructifs* nécessaires au suivi de la croissance :

- P1 pour le premier suivi à 35JAS c'est à dire au début du tallage,
- P2 pour le deuxième suivi à 65JAS soit au stade plein du tallage du riz,
- P3 pour le troisième suivi vers 85 à 90JAS donc l'initiation paniculaire ou fin du tallage,
- P4 pour le suivi vers 120JAS à floraison quand la production végétative est à son maximum
- P5 suivi à la récolte, lorsque la croissance est achevée.

Une placette est constituée par 6 poquets de plantes consécutives limitées par 2 ou 4 piquets. A 25 jours après semis, étaient déterminées les placettes : une disposition au hasard prédefinie était reportée sur chaque parcelle. Les placettes seront utilisées pour analyser l'évolution :

- de la hauteur
- du nombre des plantes et des tiges
- de la surface foliaire
- de la biomasse aérienne

3.3.2.2 Mesure de la hauteur

La hauteur des plantes est mesurée à l'aide *d'un mètre*. Pour ce faire deux plantes sont choisies au hasard sur deux poquets médians d'une placette.

3.3.2.3 Evolution du nombre des plantes, des tiges et des panicules

Après cette mesure de la hauteur, les plantes de la placette sont extirpées à l'aide d'une bêche, un *comptage du nombre des plantes mères* est effectué afin de vérifier le nombre de pieds par m^2 par prélèvement qui est la base des composantes du rendement. Ensuite, la dynamique de tallage est obtenue par le *comptage du nombre de tiges*, étant donné que le nombre de tiges émis est un critère fiable pour exprimer la productivité de la plante. Le *nombre de panicules* aussi est compté à partir de la floraison pour avoir le rapport tiges fertiles et tiges stériles ainsi que la régression des tiges jusqu'à la récolte.

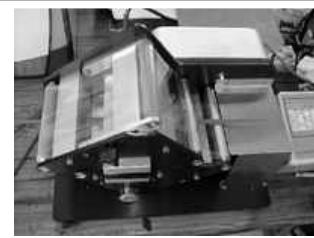
3.3.2.4 Mesure de la surface foliaire

La vigueur d'une variété à occuper l'espace et à recouvrir le sol est donnée par la mesure de l'indice de sa surface foliaire (LAI : Leaf Area Index). La méthode se base sur l'établissement d'une relation entre la masse de matières sèches et de la surface foliaire mesurée avec *l'appareil LI 3000*. Pour ce faire, les mesures de surface foliaire se faisaient sur un seul bloc des dispositifs. Ainsi à chaque prélèvement, 5 plantes de 2 poquets de la placette de prélèvement sont choisies au hasard pour cette mesure. Les feuilles sont découpées et elles ne doivent pas se recroqueviller. Ensuite faire passer les feuilles sur le tapis roulant de l'appareil 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 :

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

Et on obtient les LAI de tous les essais.



Cliché n°2: Appareil Li-3000 (Li-Cor)

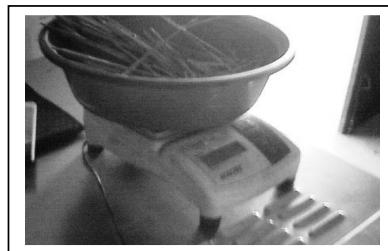
Source site web cirad

3.3.2.5 Mesure de la biomasse aérienne (tiges/gaines, limbe foliaire, panicule)

Enfin, toutes les racines d'une placette sont jetées après avoir couper au niveau du collet, et les parties aériennes comprenant les tiges+gaines, les limbes et les panicules s'il y en a sont séparées dans différentes enveloppes ou sacs. Ces organes sont séchés à l'étuve au minimum 48heures et au maximum 72heures à 60°C, pour se débarrasser de l'humidité. A la sortie de l'étuve, ils sont pesés moyennant *des balances de précision respective* à chaque organe pour avoir leur poids sec. La valeur de l'ensemble va donner la matière sèche totale produite et accumulée par la plante.



Clichés n°3 et 4:
Etuve et balance
de précision



3.3.3 Critères d'évaluation du développement (suivi phénologique)

Avec l'*observation visuelle*, sont déterminés les dates de semis, de levée, de l'initiation paniculaire, de la floraison et de la maturité physiologique. Dans la partie résultat, nous analyserons en particulier la durée semis - floraison et semis – maturité physiologique.

3.3.4 Mesures des composantes du rendement

3.3.4.1 Echantillonnage de la placette de rendement

La placette de rendement sur chaque parcelle est constituée par *les poquets dans un carré de 1m²* choisie au hasard au moment de la récolte. Elle est limitée par 4 grands piquets. Ainsi, le carré de rendement sera constitué par :

- 25 poquets (5 lignes de 5 poquets) pour les trois systèmes de culture de l'URP / SCRID semés en 20cmx 20 cm,

- 20 poquets (4lignes de 5 poquets) pour les deux systèmes de culture de TAFA semés en 25cmx 20cm. A noter que deux carrés de rendement par parcelle sont pris chez TAFA afin de pouvoir calculer le rendement moyen malgré l'absence de la répétition des systèmes.

- 25 poquets (5 lignes de 5 poquets) pour les variétés en D2 des trois sites en altitude semés en 20cmx20cm,

- 50 poquets (5 lignes de 10 poquets) pour les variétés en D3 des trois sites en altitude semés en 20cmx10cm.

Notons que la dernière placette (P5) du suivi de la croissance (composée de 6 poquets) est délimitée à l'intérieur de la placette de rendement. Donc, les mesures de la croissance sur les 6 poquets à l'intérieur sont effectuées en même temps avec les mesures des composantes de rendement sur la totalité du carré de rendement. Cette fois-ci, la biomasse aérienne est constituée par les tiges/gaines et limbes seulement, car les panicules entrent dans la mesure des composantes de rendement.

3.3.4.2 Nombre de pieds par m² (NP/m²) et de panicules par pied (NPa/P)

Ils sont obtenus respectivement par le comptage du nombre de plantes présentes et du nombre de tiges sur la totalité du carré. Ce sont des variables qui paramètrent le nombre de panicules par unité de surface

3.3.4.3 Nombre de panicules par m² (NPa/m²)

Il est soit reconnu directement par le comptage des panicules présentes sur le carré de rendement, soit calculé par la multiplication des deux composantes précédentes. Ensuite, les panicules sont séparées en « 20 panicules » prises au hasard et en « reste panicules ». Le « reste panicule » est tout de suite égrené, et les grains obtenus sont pesés et mis à l'étuve au minimum 48heures à 60°C, puis pesés de nouveau à la sortie pour déterminer le taux d'humidité.

3.3.4.4 Nombre d'épillets par panicule (N Epts/Pa)

Après, sur les « 20 panicules » sont comptées les grains pleins et vides. La somme grains pleins et grains vides divisés par 20 donne le nombre d'épillets ou grains par panicule, tandis que le nombre de grains par m² est le résultat de la multiplication entre le NP/m², le NPa/P et le N Epts/Pa.

3.3.4.5 Pourcentage de grains pleins, Poids de mille grains et poids moyen d'un grain

Le pourcentage de grains pleins s'obtient par le rapport entre grains pleins et la totalité des grains. Les grains pleins et grains vides sont à leur tour séchés à l'étuve au minimum 48heures à 60°C, puis pesés à la sortie. Le rapport entre le poids sec de grains pleins et le nombre de grains pleins donne le poids moyen d'un grain.

3.3.4.6 Rendement

Le rendement à l'hectare est extrapolé à partir du poids de grains produits dans un mètre carré ou dans la placette de rendement. Théoriquement le rendement est donné par la formule énoncée dans le paragraphe 2.1.3 :

« Rendement composante » = NPieds/m² x Npan/Pieds x NGrains/Pan x %GP x PG.

Or en pratique, une autre formule du rendement est utilisée : c'est le « rendement placette ». Ce dernier est obtenu par la somme des poids secs des grains issus du « reste panicule », des grains pleins et des grains vides issues des « 20 panicules ».

Bien que les deux formules surestiment la valeur réelle du rendement, car les mesures étant faites sur des échantillons plus petits, la deuxième formule informe mieux sur la production réelle de grains sur le mètre carré, donc elle est plus proche de la réalité que la première.

3.4 Limites de l'étude

Avant d'entrer aux résultats, voyons les limites rencontrées durant l'expérimentation, qui peuvent avoir des impacts sur les résultats.

3.4.1 Limites causées par des facteurs contrôlés

A propos de l'interaction variété – système de culture, la dimension des parcelles est différente ; nous avons mentionnés que les parcelles en FM sont de grandes parcelles de 100m² et de 200m², celles en Fu sont de 100m² et de 50m² pour les systèmes R3 et R4, 24m² sur Témoin et autour de 25m² à 50m² pour les systèmes étudiés chez TAFA. En plus, la matrice de l'URP / SCRIID est un dispositif complexe, tandis que les systèmes étudiés chez TAFA n'ont pas de répétition et se trouve sur un terrain en pente faible. Il y a aussi une différence légère sur la conduite des cultures. Alors, dans l'analyse des résultats, nous séparerons les systèmes de l'URP/ SCRIID et ceux de TAFA. Pour les deux systèmes de TAFA, l'analyse statistique ne sera pas faite.

Concernant l'interaction variété – altitude, à part la dimension de la parcelle spécifique pour chaque site, le nombre de prélèvements pour le suivi de la croissance et du développement n'est pas toujours égal et les prélèvements n'ont pas pu se faire au stade

phénologique précis, surtout pour les sites éloignés Ivory et Soanindrariny. Alors pour la croissance et le développement, l'analyse statistique de *l'évolution d'une variété entre - sites* ne sera pas possible, il sera remplacé par l'analyse statistique de la *comparaison des variétés dans un même site*.

3.4.2 Limites causées par des facteurs non expérimentaux

D'autres paramètres environnementaux ne sont pas étudiés, même s'ils influencent directement ou indirectement le potentiel génétique de notre riz pluvial. Citons les principaux paramètres :

- l'effet des précédents culturaux pour les sites en altitude,
- les entretiens effectués durant le cycle cultural pour tous les dispositifs,
- les propriétés spécifiques des sols même s'ils sont tous des sols ferralitiques,
- l'influence des maladies secondaires ou des quelques attaques des ennemis (insectes, rongeurs, oiseaux, et même humain) sur la culture.

4^{ème} partie : Résultats, discussions et perspectives

4.1- Diagnostic de la variété F161 sur les systèmes testés à Andranomanelatra SCRiD et TAFA

4.1.1 Statut azoté SPAD mesuré sur les matrices SCRiD et TAFA

L'évolution de la valeur SPAD au cours de la phase végétative et l'analyse statistique sont données respectivement par les figures et les tableaux.

Figure N°6 : Evolution des valeurs SPAD en JAS pour la variété F161 en fonction du système de culture et pour chaque fertilisation FM et Fu sur le dispositif SCRiD

Sur cette figure, chaque point est la moyenne de 80 mesures (20 feuilles mesurées au hasard/parcelle x 4 répétitions)

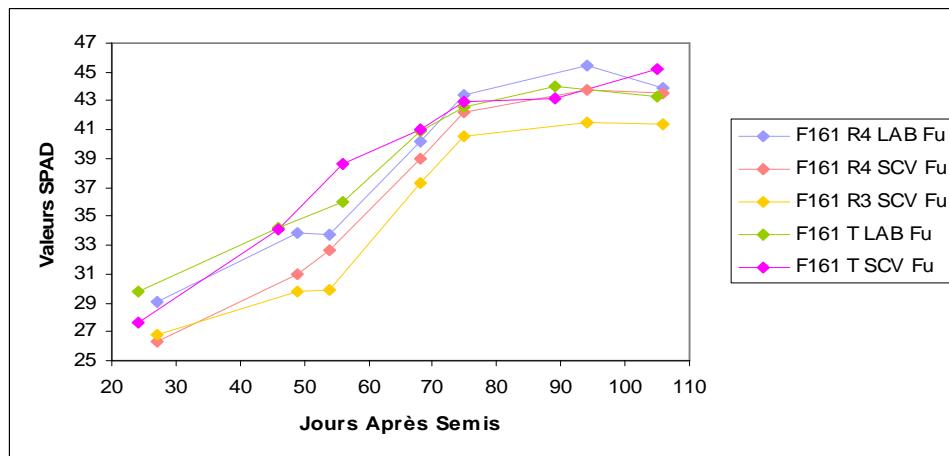
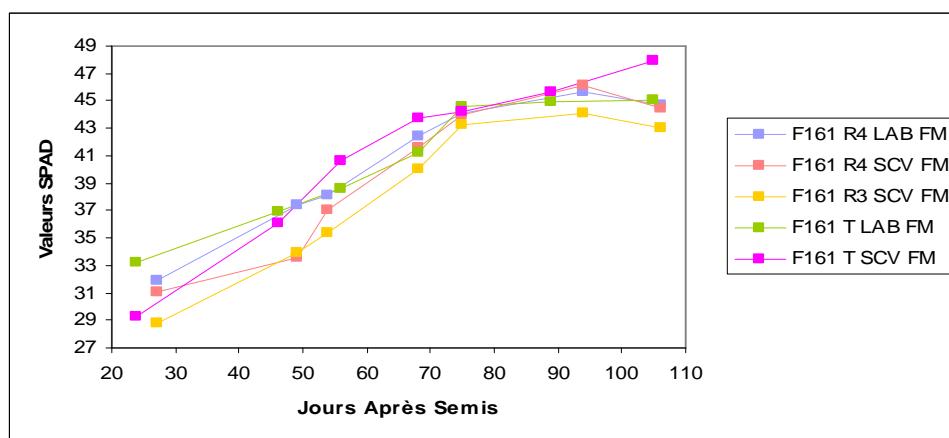


Tableau N° 2 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur les valeurs SPAD de la variété F 161 par date de mesure en JAS sur le dispositif SCRiD

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

Système Fumure	27 JAS	49 JAS	54 JAS	68 JAS	75 JAS	94 JAS	106 JAS
R3 SCV [<i>Mais+(Brach ruzisiensis)</i>]_ [Riz]	27,8 b	31,8 b	32,6 e	38,7 d	41,9 b	42,8 c	42,2 c
R4 SCV [<i>Maïs + Soja + (Vesce)</i>]_ [Riz]	28,7 b	32,3 b	34,9 d	40,3 c	43,1 a	45,0 ab	44,0 b
R4 Labour [<i>Mais + Soja + (Vesce)</i>]_ [Riz]	30,5 a	35,6 a	36,0 c	41,3 b	43,8 a	45,6 a	44,3 b
T Labour [<i>Haricot+ (Avoine) + (Vesce)</i>]_ [Riz]	31,5 a	35,6 a	37,3 b	41,1 bc	43,6 a	44,5 b	44,2 b
T SCV [<i>Haricot+ (Avoine) + (Vesce)</i>]_ [Riz]	28,5 b	35,1 a	39,6 a	42,4 a	43,5 a	44,4 b	46,5 a
Fu	27,9 b	32,6 b	34,2 b	39,7 b	42,3 b	43,6 b	43,5 b
FM	30,9 a	35,6 a	38,0 a	41,8 a	44,0 a	45,3 a	45,0 a

D'après la figure N°6, les valeurs sont plus élevées en labour pour la première date de mesure, ce qui montre une bonne disponibilité en azote pour les plantes au début du cycle sur labour, d'où un bon démarrage végétatif. Les valeurs plus faibles en SCV peuvent être dues à l'immobilisation de l'azote par les micro-organismes du sol dans les résidus de récolte entraînant une carence de la plante en azote dans les premiers jours. C'est à 54JAS que le témoin SCV rattrape le retard de démarrage, c'est-à-dire deux semaines après le premier apport d'urée effectué à 40JAS. Tout au long de la phase végétative, le système R3 présente des valeurs plus faibles.

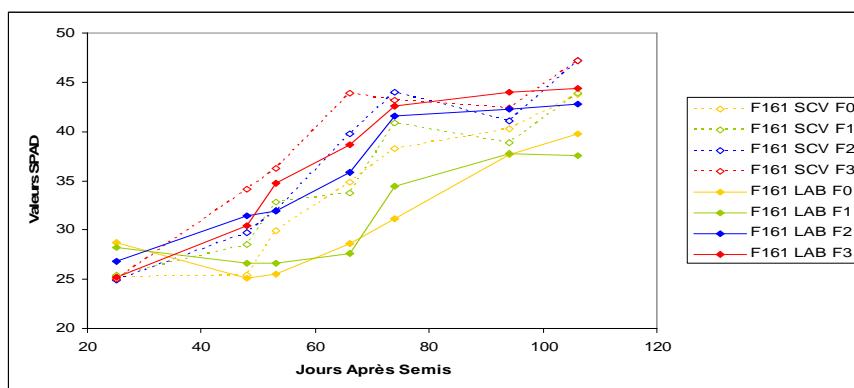
L'analyse statistique du tableau N°2 montre que les écarts entre labour – SCV sont presque significatifs pour les mesures. C'est à 75JAS ou en plein tallage seulement que l'effet système n'existe pas pour les R4 et T. A noter que le deuxième apport d'urée s'est appliqué à 70 et 71JAS. Les valeurs du système R3 sont significativement faibles. En plus, l'effet significatif de la fertilisation s'observe dès le début jusqu'à la fin des mesures.

Au point de vu SPAD, les systèmes en FM et en rotation avec des légumineuses sont alors meilleurs que le R3 en rotation avec des graminées.

SPAD chez TAFA :

Chez TAFA, la figure N°7 ci-après montre que sur les premières dates les valeurs SPAD sont plus élevées en labour par rapport au SCV. Par la suite, des valeurs plus faibles sont observées sur des traitements F0 et F1²⁴ en labour par rapport aux autres traitements. Par contre en SCV, les valeurs des traitements F0 et F1 sont similaires à celles des traitements F2 et F3 en labour, ce qui indique une offre d'azote plus importante en SCV qu'en labour, sans ou avec très peu d'apport externe. Ceci est dû normalement à la richesse en légumineuses qui, du système en SCV, a contribué à l'amélioration de la fertilité du système.

Figure N°7 : Evolution des valeurs SPAD en JAS pour la variété F161 en fonction du mode de gestion du sol et de la fertilisation sur le dispositif TAFA



4.1.2 Croissance mesuré sur la matrice SCRiD

Il est à rappeler que les prélèvements pour le suivi de la croissance sont *destructifs*, sauf la hauteur. Normalement les points sur les figures ne doivent pas être reliés par des traits, mais ils sont quant même reliés afin de distinguer et de comparer les systèmes.

Les coefficients de variations dans les analyses statistiques indiquent l'homogénéité (<20%) ou l'hétérogénéité (>20%) de l'échantillon.

4.1.2.1 Dynamique de la hauteur

La hauteur est une des caractéristiques typiques de la variété. Elle est un indice visuel d'une bonne croissance de la plante sur différents systèmes.

²⁴ F0, F1, F2 et F3 niveaux de fertilisation chez TAFA, cf paragraphe 3.2.1.2 Matrice de TAFA, itinéraires techniques

Figure N°8 : Evolution de la hauteur en cm en JAS de la variété F161 en fonction du système de culture et pour chaque fertilisation sur le dispositif SCRiD

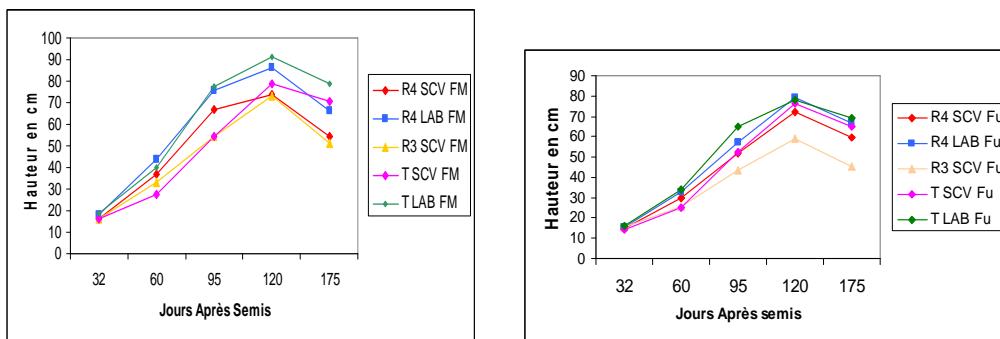


Tableau N°3 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur la hauteur en cm de la variété F 161, par date de mesure en JAS sur le dispositif SCRiD

- Entre systèmes et fumures les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Système	Fumure	Hauteur 32 JAS	Hauteur 60 JAS	Hauteur 95 JAS Début montaison	Hauteur 120 JAS Floraison	Hauteur 170 JAS Récolte
R3 SCV [<i>Maïs+(Brach ruzisiensis)</i>]_ [Riz]		15,90 a	29,38 b	48,81 c	65,87 c	48,18 b
R4 SCV [<i>Maïs + Soja + (Vesce)</i>]_ [Riz]		16,03 a	34 a	59,43 b	70,62 c	53,31 b
R4 Lab [<i>Maïs + Soja + (Vesce)</i>]_ [Riz]		16,78 a	38,18 a	66,20 a	82,68 ab	66,62 a
T Lab [<i>Haricot+ (Avoine) + (Vesce)</i>]_ [Riz]		17,43 a	36,56 a	72,50 a	86,71 a	74,37 a
T SCV [<i>Haricot+ (Avoine) + (Vesce)</i>]_ [Riz]		15,39 b	26,15 b	53,43 bc	77,56 b	67,75 a
	Fu	14,81 b	29,52 b	54,50b	72,71 b	59,90 a
	FM	17,20 a	36,18 a	65,65 a	80,67 a	64,20 a
Coefficient de variation en %		20,32	12,78	10,46	8,10	11,85

La figure et le tableau ci-dessus montrent qu'au début du cycle la hauteur est presque identique pour tous les systèmes de même fertilisation. Puis, le gain en hauteur sur les systèmes en labour devient beaucoup plus rapide et plus significative par rapport aux systèmes en SCV. L'hauteur maximum est atteinte à la floraison, après elle diminue jusqu'à la récolte. Cette diminution indique bien le passage de la phase végétative vers la phase reproductive et indique aussi le remplissage des grains qui entraîne l'inclinaison progressive de la plante au fur et à mesure que le poids des grains augmente.

L'effet de la fertilisation sur la hauteur s'exprime par des différences significatives durant la phase végétative et comparables pendant la maturation. A la floraison, d'après la figure, le riz en FM atteint une hauteur maximale de 91,4cm sur T LAB et pourtant celle en Fu ne dépasse pas le 79,4cm R4 LAB. La fertilisation n'a plus d'effet sur la hauteur au moment de la récolte.

4.1.2.2 Dynamique de la matière sèche aérienne

L'évolution de la matière sèche en jours après semis est représentée par la figure N°9, tandis que l'effet des systèmes et fertilisations est offert par le tableau N°4.

Figure N°9 : Evolution de la biomasse aérienne en T/ha en JAS de la variété F161 en fonction du système de culture et pour chaque fertilisation sur le dispositif SCRiD

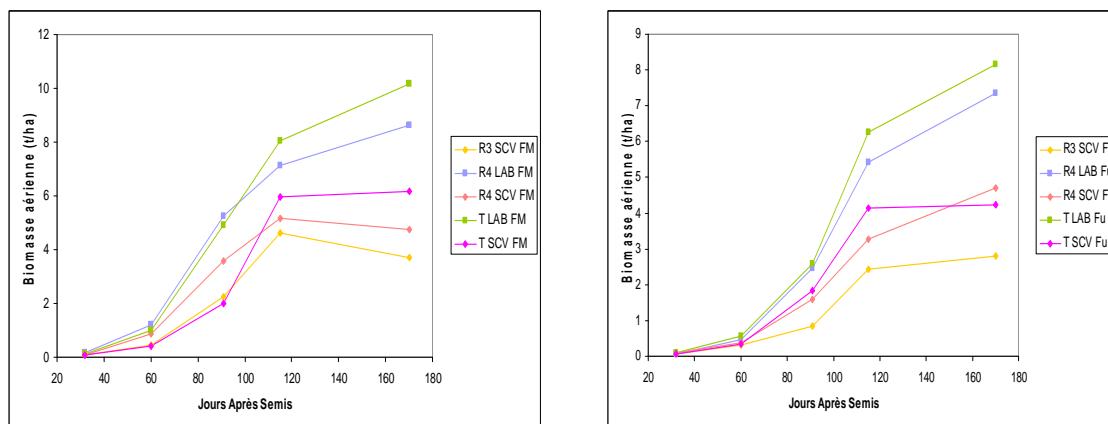


Tableau N°4 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur la biomasse aérienne T/ha de la variété F 161, par date de mesure en JAS sur le dispositif SCRiD

- Entre systèmes et fumures les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Système	Fumure	BA 32 JAS	BA 60 JAS	BA 95 JAS Début montaison	BA 120 JAS Floraison	BA 170 JAS Récolte
R3 SCV [Maïs+(Brach ruziensis)]_ [Riz]		0,08 c	0,38 c	1,53 c	3,53 c	3,24 c
R4 SCV [Maïs + Soja + (Vesce)] _ [Riz]		0,09 bc	0,64 b	2,58 b	4,22 c	4,73 bc
R4 Lab [Maïs + Soja + (Vesce)] _ [Riz]		0,13 a	0,85 a	3,85 a	6,26 ab	7,99 a
T Labour [Haricot+ (Avoine) + (Vesce)] _ [Riz]		0,11 ab	0,78 ab	3,74 a	7,15 a	9,17 a
T SCV [Haricot+ (Avoine) + (Vesce)] _ [Riz]		0,07 c	0,39 c	1,92 c	5,06 bc	5,21 b
	Fu	0,08 b	0,42 b	1,86 b	4,30 b	5,45 b
	FM	0,11 a	0,80 a	3,59 a	6,19 a	6,68 a
<i>Coefficient de variation en %</i>		24,78	34,91	25,41	28,17	27,12

Les systèmes en labour, d'après la figure N°9, a une croissance modérée à forte durant le cycle. Un bon équilibre a été trouvé entre la phase végétative et la phase reproductive. L'évolution de la matière sèche de ces systèmes ressemble aux types II, V et V' mentionnés au paragraphe 2.1.2.1. Les systèmes T et R4 en SCV, ayant une croissance faible au départ puis forte avec une croissance végétative prolongée, ressemblent au type III. En revanche, la croissance lente, difficile et continue s'observe sur le R3.

L'analyse statistique renforce les renseignements issus de la figure. Des différences significatives existent entre les systèmes. Les labours sont meilleurs que les SCV tout au long du cycle. Par ailleurs, le système T SCV FM démarre lentement, mais c'est le meilleur système SCV en fin de cycle pour la production de biomasse. R3 est le moins bon système. En Fu, il y a plus de différences entre les labours et les SCV, R3 est également le système le moins bon. Enfin, l'effet net de la fertilisation FM présente des valeurs plus élevées très significatives que Fu.

4.1.2.3 Dynamique de la surface foliaire (LAI)

La dynamique de la surface foliaire est analogue à celle de la biomasse, selon la figure N°10 et le tableau N°5 suivantes. Les évolutions et les valeurs du LAI des systèmes en labour sont nettement plus élevées que les systèmes en SCV et significatifs sont les écarts. Les mêmes observations restent valables pour la fertilisation : ceux en FM ont des LAI supérieures par rapport à ceux en Fu avec des différences significatives.

Figure N°10 : Evolution du LAI en JAS de la variété F161 en fonction du système de culture et pour chaque fertilisation FM et Fu sur le dispositif SCRiD

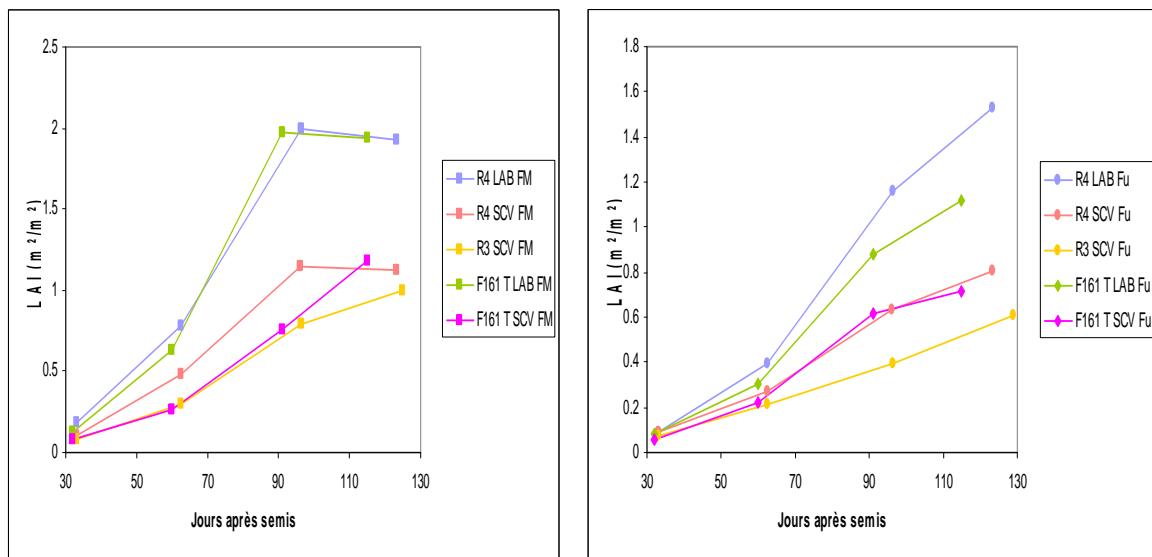


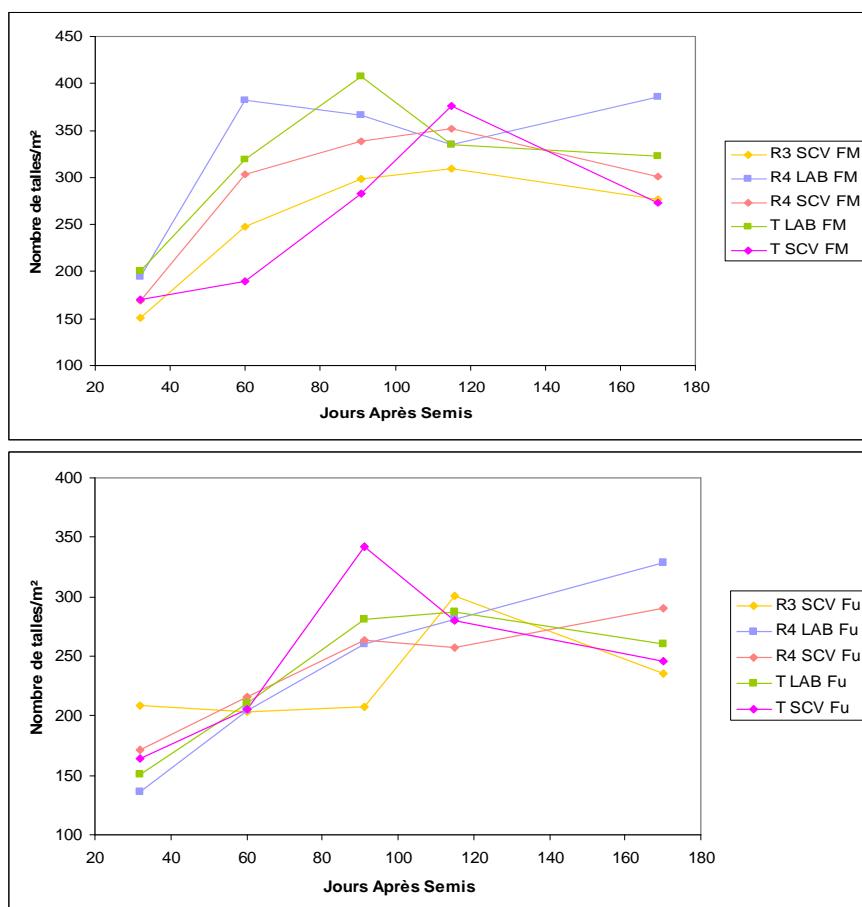
Tableau N°5 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur le LAI de la variété F 161, par date de mesure en JAS sur le dispositif SCRID,

- Entre systèmes et fumures les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Système	Fumure	LAI 32 JAS	LAI 60 JAS	LAI 95 JAS Début montaison	LAI 120 JAS Floraison
R3 SCV [<i>Maïs+(Brach ruzisiensis)</i>]_ [Riz]		0,08 b	0,25 c	0,60 d	0,80 c
R4 SCV [<i>Maïs + Soja + (Vesce)</i>]_ [Riz]		0,10 b	0,38 b	0,89 c	0,96 bc
R4 Labour [<i>Maïs + Soja + (Vesce)</i>]_ [Riz]	0,14 a	0,59 a		1,58 b	1,73 a
T Lab [<i>Haricot+ (Avoine) + (Vesce)</i>]_ [Riz]	0,13 a	0,58 a		1,78 a	1,91 a
T SCV [<i>Haricot+ (Avoine) + (Vesce)</i>]_ [Riz]		0,09 b	0,30 bc	0,86 c	1,18 b
Fu		0,09 b	0,30 b	0,81 b	1,05 b
FM	0,12 a	0,54 a		1,47 a	1,59 a

4.1.2.4 Dynamique du tallage

Figure N°11 : Evolution du tallage (talles/m²) de la variété F161 en JAS en fonction du système de culture et pour chaque fertilisation FM et Fu sur le dispositif SCRID



La première remarque, d'après ces figures, est qu'au début du tallage le classement des systèmes sur FM est l'inverse de l'ordre sur Fu. Par exemple, le R4 LAB, premier système ayant un nombre de talles élevé sur FM, est le dernier sur Fu. Normalement, il y a un effet de la fertilisation sur les systèmes. La deuxième remarque repose sur la position moyenne de l'arrêt du tallage par rapport à l'initiation paniculaire. Ici l'initiation paniculaire se situe entre 90 à 95JAS. Ainsi, seuls les systèmes T LAB FM et T SCV Fu ont un arrêt du tallage juste avant l'initiation paniculaire. Cela veut dire qu'il n'y a plus de talles formées après l'initiation paniculaire, alors les futurs grains profiteront pleinement la croissance ultérieure. Par contre, pour les autres systèmes, le tallage continue bien après l'initiation paniculaire jusqu'à la floraison voire jusqu'à la récolte. Un risque d'avoir un nombre important de talles stériles et un nombre d'épillets par panicule faible sont à craindre, car une compétition vis-à-vis de la nutrition existe entre les talles et les épillets.

Tableau N°6 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur le nombre de talles par m² de la variété F161, par date de mesure en JAS sur le dispositif SCRID

- Entre systèmes et fumures les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Système	Fumure	Talles/m ² 32 JAS	Talles/m ² 60 JAS	Talles/m ² 95 JAS Début montaison	Talles/m ² 120 JAS Floraison	Talles/m ² 170 JAS Récolte
R3 SCV [<i>Maïs+(Brach ruziensis)</i>]_ [Riz]		179,7 a	225,5 ab	253,1 c	305,2 a	255,8 b
R4 SCV [<i>Maïs + Soja + (Vesce)</i>]_ [Riz]		170,3 a	259,4 ab	301,0 b	304,7 a	295,8 b
R4 Lab [<i>Maïs + Soja + (Vesce)</i>]_ [Riz]		165,6 a	293,2 a	313,5 ab	307,8 a	356,9 a
T Lab [<i>Haricot+ (Avoine) + (Vesce)</i>]_ [Riz]		176,0 a	265,1 ab	344,3 a	311,5 a	291,8 b
T SCV [<i>Haricot+ (Avoine) + (Vesce)</i>]_ [Riz]		170,1 a	197,4 b	312,5 ab	328,1 a	259,4 b
	Fu	167,4 b	207,7 b	270,8 b	281,5 b	272,1 b
	FM	177,3 a	288,5 a	339,0 a	341,5 a	311,8 a
<i>Coefficient de variation en %</i>		17,25	32,57	16,79	23,98	22,56

L'analyse statistique, au point de vu système de culture, montre peu d'effet sur ces valeurs. L'effet système s'observe à la montaison et à la récolte. Ainsi, le T LAB atteint l'optimum de talles/m² juste avant la phase reproductive. Normalement ce système présentera le meilleur rendement. Le tallage des autres systèmes s'arrête à la floraison, sauf le R4 LAB où son tallage continue jusqu'à la récolte. Alors, la compétition entre les talles et les épillets sera forte sur R4 LAB. A rappeler que F161 est une variété qui talle peu, donc qui ne peut présenter qu'une faible variabilité sur ce caractère.

Cependant l'effet fertilisation existe vraiment, FM présente des valeurs plus élevées et significatives que Fu durant le cycle.

4.1.3 Phénologie ou développement : dates de floraison et de maturité mesurées sur la matrice SCRiD

Figure N°12 : Durée semis – floraison en JAS de la variété F161 en fonction du système de culture et de la fertilisation (FM et Fu) sur le dispositif SCRiD

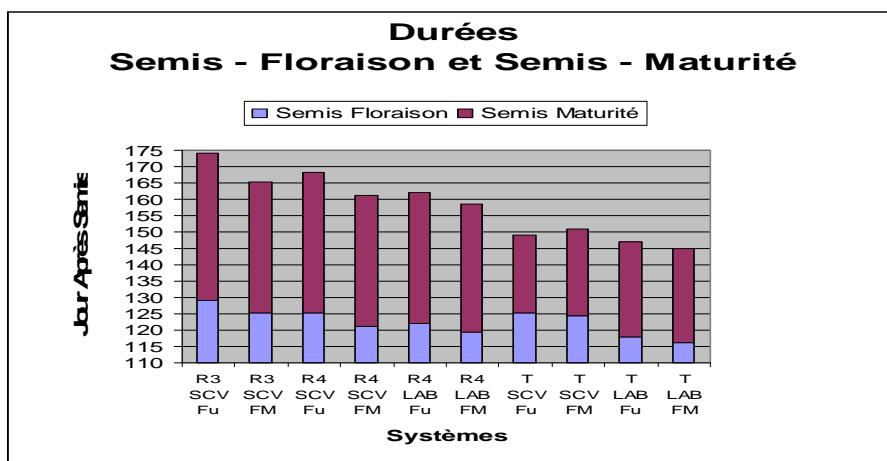


Tableau N°7 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur les durées semis – floraison et semis – maturité, en JAS sur le dispositif SCRiD, variété F 161

- Entre systèmes et fumures les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Système	Fumure	Durée Semis – Floraison	Durée Semis – Maturité
R3 SCV [Maïs+(Brach ruziensis)]_ [Riz]		127,1 a	169,6 a
R4 SCV [Maïs + Soja + (Vesce)] _ [Riz]		123,3 bc	164,8 b
R4 Labour [Maïs + Soja + (Vesce)] _ [Riz]		120,8 c	160,8 c
T Lab [Haricot+ (Avoine) + (Vesce)] _ [Riz]		117,1 d	146,0 e
T SCV [Haricot+ (Avoine) + (Vesce)] _ [Riz]		124,9 ab	150,0 d
	Fu	123,9 a	160,3 a
	FM	121,4 b	156,2 b

Concernant les durées semis – floraison, elles sont longues pour les systèmes en SCV par rapport à ceux en labour. Il y a une différence jusqu'à 10 jours entre les systèmes T LAB et R3 SCV. Aucune durée n'est semblable parce que tous les systèmes et les fertilisations sont statistiquement différents. A rappeler que la longueur du cycle cultural dépend fortement de cette durée semis – floraison. De ce fait, les systèmes en labour auront un cycle plus court que ceux en SCV.

Au sujet des durées semis – maturité, à noter avant tout que l'observation des dates de maturité ne se ressemble pas, maturité à 75% pour R3 et R4 et maturité à 50% pour T. Alors R3 et R4 sont évalué en premier, T est interprété à part. En effet, la figure et le tableau

montrent toujours que les durées semis – maturité sont plus brèves sur les R4 LAB que les R4 et R3 SCV. La différence significative s'observe non seulement entre les 3 systèmes mais aussi entre leurs fertilisations. Pour le système T, le labour et le FM raccourcissent positivement les durées semis – maturité, alors que le SCV et le Fu les prolongent.

4.1.4 Composantes du rendement mesurées sur les matrices SCRID et TAFA

Tableau N°8 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur les composantes du rendement de la variété F161, sur la matrice SCRID

- Entre systèmes et fumures les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Système Fumure	Nombre pieds / m ²	Nombre panicules / pied	Nombre grains / panicule	Nombre grains / m ²	% Grains pleins	PMG en grammes	Rendement Placette en t/ha
R3 SCV	131,4 ab	1,38 c	54,3 d	9 733 d	83,9 c	26,7 a	1,24 d
R4 SCV	130,4 ab	1,65 bc	70,5 c	15 412 cd	87,8 ab	28,3 a	1,99 cd
R4 Labour	139,8 a	2,00 ab	90,9 ab	24 997 ab	84,6 bc	26,1 a	2,96 b
T Labour	118,0 abc	2,38 a	97,1 a	27 353 a	85,0 bc	27,2 a	4,11 a
T SCV	103,8 c	2,10 a	89,2 b	19 782 bc	88,6 a	28,2 a	2,34 bc
Fu	125,5 a	1,82 a	76,5 b	17 624 b	87,2 a	28,1 a	2,39 a
FM	123,9 a	1,98 a	84,3 a	21 287 a	84,8 b	26,4 b	2,67 a
CV %	18,70	17,58	12,12	29,21	4,19	8,02	28,32

D'après ce tableau, le meilleur rendement 4,11 t/ha est obtenu par Témoin labour, grâce à une production plus importante de grains par m². Vient ensuite le R4 labour avec 2,96 t/ha, qui est le 2^{ème} système produisant le plus de grains par m². Mais T SCV et R4 SCV sont les systèmes présentant des valeurs de %GP les plus élevées respectivement 88,6% et 87,8%. Par contre R3 présente des valeurs faibles pour toutes les composantes, et obtient le plus faible rendement 1,24 t/ha.

La fertilisation influe principalement sur les composantes. Sur FM, la bonne production de grains par panicule induit une production plus importante de grains par m². En revanche, cette plus forte production de grains aboutit des valeurs de %GP et PMG plus faibles que celles sur Fu. Les valeurs de rendement sont finalement comparables entre les 2 traitements de fertilisation.

Tableau N°9 : Composantes du rendement de la variété F161, en fonction du mode de gestion du sol et de la fertilisation sur la matrice TAFA

* Chaque donnée est la moyenne de deux carrés de rendement

Gestion sol	Fumure	Nombre pieds / m ²	Nombre panicules / pied	Nombre grains / panicule	Nombre grains / m ²	% Grains pleins	PMG en grammes	Rendement Placette en t/ha
SCV	F0	210,0	0,8	46,9	7878,3	72,1	29,1	0,6
SCV	F1	288,5	0,9	45,6	11813,5	79,3	27,4	0,9
SCV	F2	178,0	1,3	70,0	17315,3	69,3	22,9	1,2
SCV	F3	140,5	1,6	61,2	13139,3	76,8	29,7	1,0
LAB	F0	204,5	0,5	28,2	2787,3	56,9	21,0	0,2
LAB	F1	294,5	0,2	14,5	773,9	45,8	23,3	0,1
LAB	F2	215,0	0,7	53,8	7950,6	73,4	27,0	0,6
LAB	F3	215,5	0,1	59,6	14298,0	81,8	26,9	1,3

Chez TAFA, les meilleurs rendements s'observent sur les SCV en F2 et F3 et le LAB F3. Ces rendements sont dus essentiellement par une forte production panicules/pied, de grains/panicule ou de grains/m² pour les SCV et par une forte production de grains/panicule et d'un %GP élevé pour le LAB F3. Mais on ne sait pas si ces résultats sont significativement différents ou non.

Mais en général, les rendements sont très faibles pour tous les systèmes. Ce ne serait pas dû à un manque d'azote (voir SPAD) mais à d'autres facteurs. En effet, une forte attaque d'insectes terricoles est observée cette année sur ces systèmes tout au long du cycle. En plus, des tâches noires/brunes sont apparues sur les feuilles. D'après le mémento de l'agronome, ces tâches ressemblent aux symptômes d'une maladie des tâches brunes ou helminthosporiose qui est une maladie causée soit par des mauvaises conditions de culture, soit par une carence en silice.

4.1.5 Synthèse, discussion et perspectives sur le comportement variétal en fonction du système de culture

Maintenant la vérification des hypothèses de recherche peut être obtenue par la synthèse des résultats du comportement de la variété F161 sur les systèmes de culture.

Ainsi, d'après les résultats acquis ci-dessus, l'interaction variété F161 – systèmes de culture se résume comme suit :

- HR 1 est infirmée, les systèmes de culture en labour sont meilleurs que ceux en SCV dès la croissance en passant au développement et jusqu'à l'élaboration du rendement ;
- HR 2 est vérifiée, les systèmes de culture en rotation culturale Légumineuses_Riz optimisent significativement le rendement de la variété F161 par rapport aux systèmes en

rotation Graminées _ Riz ;

- HR 3 est confirmée partiellement car le niveau de fertilisation sur les systèmes de culture influence positivement le développement et la croissance, mais présente un effet comparable sur le rendement variétal.

A propos de la discussion et perspectives d'amélioration, chez la matrice SCRID durant cette campagne la couverture du sol par les résidus de récolte produits sur place seulement, surtout pour les SCV en Fu, était peu satisfaisante. Ceci peut être l'une des causes du rendement faible car l'amélioration du sol n'est pas atteinte. En effet, il est constaté visuellement que le sol en SCV est plus compact qu'en labour, mais cette constatation doit être vérifiée par des résultats pénétrométriques sur la compaction du sol. Ce problème a été existé aussi pendant les 2 premières années de culture en SCV. Il est probable que certaines cultures secondaires n'assurent pas le labour biologique du sol. Par la suite, c'est toujours les systèmes de culture en labour qui sont avantageux, malgré la condition climatique un peu défavorable pour le riz pluvial cette année.

En outre, d'autres facteurs non identifiés jusqu'à présent ont joué sur la faiblesse des mesures aériennes du système R3, car c'est le système offrant un meilleur développement racinaire du riz que les autres, d'après une autre étude sur la biomasse racinaire. C'est-à-dire que le labour biologique fonctionne.

En plus, pour les prochaines études il mérite à vérifier par des résultats statistiques si possible si l'âge de fonctionnement du système en SCV influe réellement sur le rendement. En effet, il est difficile de comparer et de tirer des conclusions vues les différences entre les dispositifs de SCRID et de TAFA. Cette année les rendements des systèmes de TAFA ayant une forte fumure en SCV et en LAB sont comparables, alors que les résultats de l'année dernière montrent des rendements très faibles en SCV par rapport au labour, et que les études en 2004 indiquent des rendements plus élevés en SCV qu'en LAB (cf annexe N°7).

Cependant, l'effet du niveau de fertilisation est une fois de plus constaté : les rendements obtenus sur des parcelles en forte fumure (F2 et F3) sont toujours plus élevés que ceux en Fo et F1.

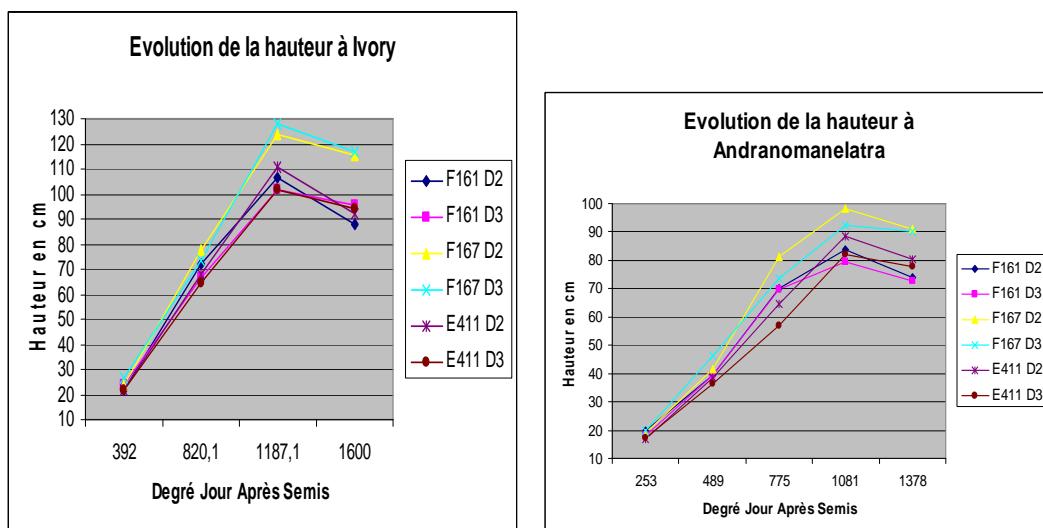
4.2- Comparaison de la réponse variétale (F161, F167 et E411) en fonction de l'altitude des dispositifs (Ivory, Andranomanelatra et Soanindrariny)

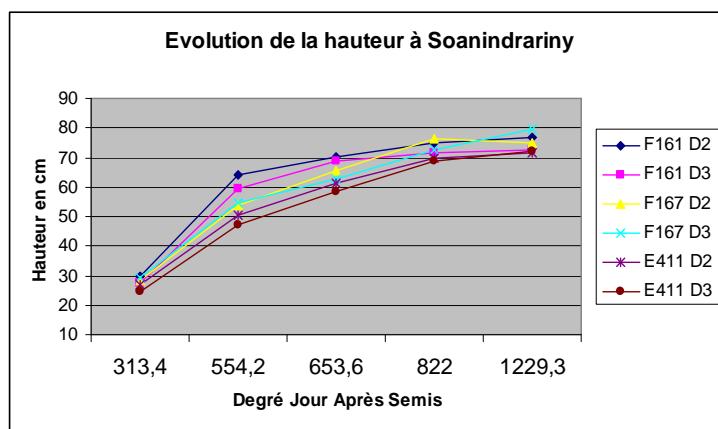
4.2.1 Caractérisation de la croissance des cultures en fonction des sites

Les données obtenues, sur la dynamique de la croissance au cours du cycle culturel sont présentées par les graphiques qui suivent. Afin d'évaluer mieux l'effet de l'altitude, les mesures sur les sites sont exprimées en Degrés Jours Après Semis ou DJAS qui est le cumul des températures journalières moyennes moins la température du zéro de végétation du riz : 10°C. L'analyse statistique de *l'évolution d'une variété entre – sites* ne sera pas faite. Cela en raison d'un nombre de prélèvements inégaux pour chaque site, et également du fait que les prélèvements n'ont pas pu se faire au stade phénologique précis pour les sites éloignés Ivory et Soanindrariny. Cependant, il y aura une analyse statistique pour *comparer les variétés d'un même site*.

4.2.1.1 Hauteurs

Figure N°13 : Evolution de la hauteur en cm et en DJAS, en fonction du site et de la densité pour les variétés F161, F167, E411 :





D'après la figure N°13, il est à remarquer que la hauteur limite atteinte par chaque variété est différente d'un site à l'autre. En général, le gain de hauteur maximum est obtenu à Ivory, les trois variétés ont dépassé le 1m jusqu'à 1,28m pour F167 aux environs de 1188DJAS, normalement autour de la floraison. Par contre, à Soanindrariny les hauteurs des plantes restent au-dessous de 80cm tout au long du cycle végétatif ; tandis qu'à Andranomanelatra, les pics de hauteurs oscillent entre 80 et 100cm. Ainsi, l'altitude influe sur la hauteur du riz pluvial par l'intermédiaire de la température. Plus il fait froid en haute altitude, plus la hauteur ralentie et plus il fait chaud en basse altitude, plus le gain en hauteur est important.

Tableau N°10 : Effets de la densité de semis sur la hauteur des variétés d'un même site :

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

- Tableau N°10 a) sur le site d'Andranomanelatra

Variétés Densités	Hauteur 252,7 DJAS	Hauteur 488,6 DJAS	Hauteur 775,4 DJAS Début montaison	Hauteur 1080,7 DJAS Floraison	Hauteur 1378,1 DJAS Maturité
F 161	18,96 a	39,40 b	69,87 b	81,82 b	73,43 b
F 167	19,21 a	43,81 a	77,37 a	95,18 a	90,5 a
E 411	17,12 a	37,53 b	60,75 c	85,43 b	79,00 b
D2	18,52 a	39,77 a	72,00 a	90,12 a	81,79 a
D3	18,35 a	40,72 a	66,66 b	84,70 b	80,18 a
C.V en %	9,92	6,15	6,45	6,62	6,56

Le tableau d'Andranomanelatra montre que la densité de semis a peu d'effet sur la hauteur. La hauteur est fonction de la variété. Le résultat prouve qu'il y a une variété haute : F167, une variété à paille intermédiaire : F161 et une variété à paille courte : E411. Une interaction variété – densité existe au moment du deuxième prélèvement.

- Tableau N°10 b) sur le site d'Ivory

Variétés Densités	Hauteur 392 DJAS	Hauteur 820,1 DJAS	Hauteur 1187,1 DJAS	Hauteur 1600 DJAS Récolte
F 161	23,06 a	69,18 a	104,15 b	91,81 b
F 167	25,09 a	75,56 a	125,87 a	116,12 a
E 411	21,71 a	66,5 a	106,12 b	93,12 b
D 2	22,43 a	72,54 a	113,37 a	98,45a
D 3	24,14 a	68,29 a	110,72 a	102,25 a
<i>C.V en %</i>	<i>11,49</i>	<i>10,40</i>	<i>6,97</i>	<i>8,01</i>

L'effet densité de semis n'existe pas sur la hauteur à Ivory. La hauteur est toujours un caractère variétal. F167 domine sur F161 et E411.

- Tableau N°10 c) sur le site de Soanindrariny

Variétés Densités	Hauteur 313,4 DJAS	Hauteur 554,2 DJAS	Hauteur 653,6 DJAS	Hauteur 822 DJAS	Hauteur 1229,3 DJAS Récolte
F 161	28,53 a	61,78 a	69,5 a	73,43 a	74,56 a
F 167	28,68 a	54,25 ab	64,12 ab	74,43 a	77,37 a
E 411	25,75 a	48,81 b	59,93 b	69,31 a	71,75 a
D 2	28,31 a	56,10 a	65,70 a	73,58 a	74,33 a
D 3	27 a	53,79 a	63,33 a	71,20 a	74,79 a
<i>C.V en %</i>	<i>12,73</i>	<i>14,42</i>	<i>10,40</i>	<i>8,64</i>	<i>10,70</i>

L'effet densité de semis sur la hauteur est encore nul à Soanindrariny. Cette fois – ci, F161 croît plus vite que les autres pendant les 3 premières observations. Il est mieux adapté à l'altitude que F167 et E411.

4.2.1.2 Matières sèches aériennes

A propos des matières sèches aériennes ou de la production de biomasse, la figure N°14 ci – dessous indique une production différente selon la densité de semis et le site de culture des variétés. En vue d'ensemble, la meilleure production de biomasse est obtenue avec la densité 20cm X 10cm : D3 et en haute altitude à Soanindrariny.

Contrairement au résultat de la hauteur, ici les biomasses augmentent mieux en densité serrée et dans une condition de basses températures. Mais la moyenne altitude offre une bonne croissance modérée et continue. Il se peut que les températures élevées à Ivory accélèrent la mise en fleur et la maturation, d'où les plantes n'ont pas le temps nécessaires à la fabrication de plus de biomasse.

Pour la variété F161, les valeurs maxima en D3 sont acquises à Soanindrariny depuis le début jusqu'en fin de cycle. Une production de matières sèches importante est aussi observée à Ivory en fin de cycle. En D2, l'évolution de la matière sèche est comparable à

Soanindrariny et à Andranomanelatra, tandis que les valeurs sont plus faibles à Ivory.

Cependant la variété F167 présente une évolution comparable pour chaque densité à Andranomanelatra et à Soanindrariny. Les valeurs les plus faibles pour les deux densités s'aperçoivent à Ivory.

Enfin, la variété E411 atteint sa biomasse maximale en D3 à Soanindrariny. Les valeurs les plus faibles en D2 se voient à Ivory.

L'analyse statistique par site donnée par le tableau N°11 affirme bien qu'il existe des effets significatifs et positifs en D3 sur la production de biomasse presque pendant le cycle. Pour toutes les variétés, la densité D3, surtout en haute altitude et en moyenne altitude, favorise la croissance modérée (type II) à forte (type V et V') qui sont très recherchées d'après les schémas de croissance de Tanaka énoncé au paragraphe 2.1.2.1 pour maximiser le poids des grains, donc pour augmenter significativement le rendement.

Figure N°14 : Evolution de la biomasse aérienne (t/ha) en DJAS, en fonction du site et de la densité, pour les variétés F161, F167 et E411.

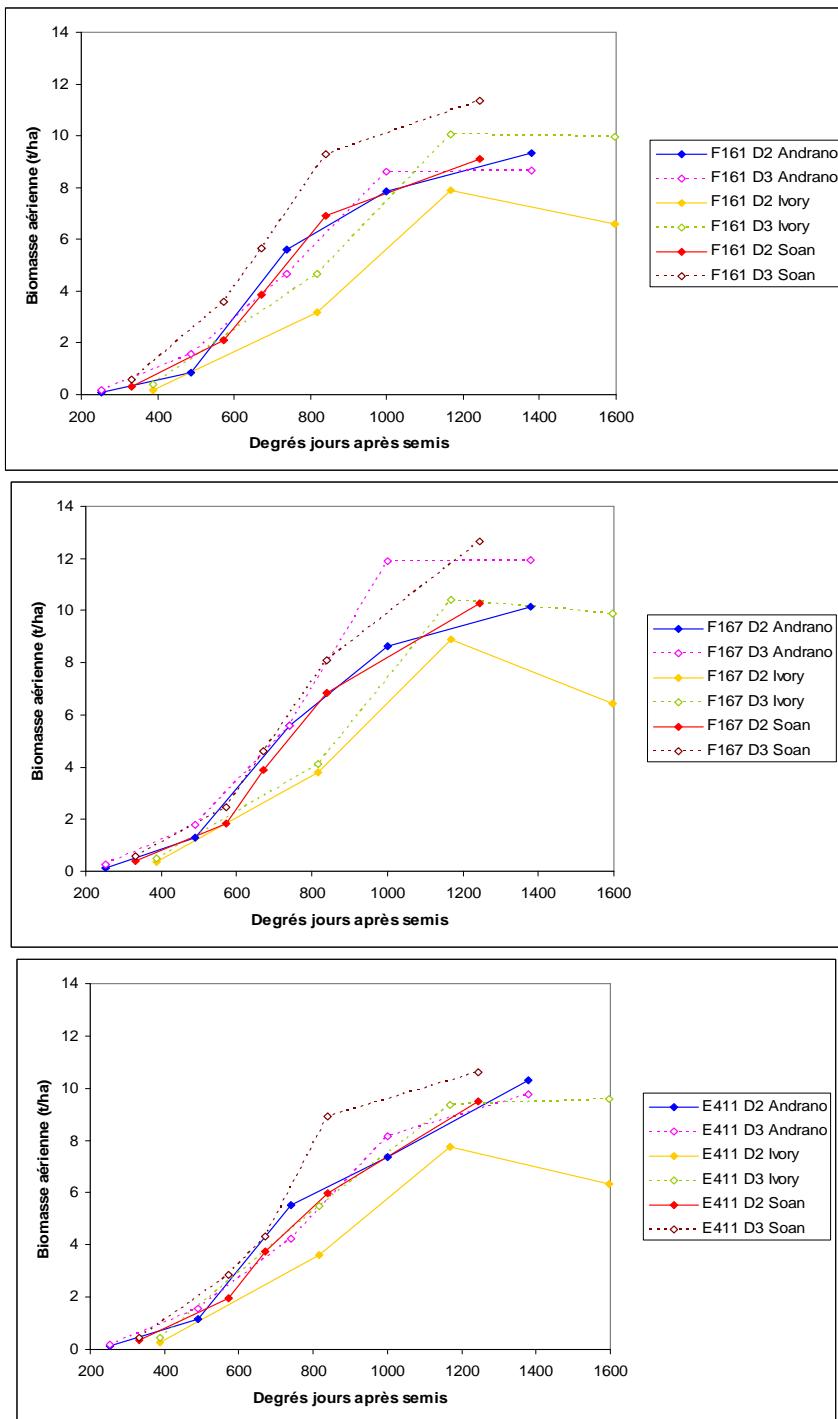


Tableau N°11 : Effets de la densité de semis sur la production des matières sèches en t/ha des variétés d'un même site :

o Tableau N°11 a) sur le site d'Andranomanelatra

Variétés Densités	Biomasse 252,7 DJAS	Biomasse 488,6 DJAS	Biomasse 775,4 DJAS Début montaison	Biomasse 1080,7 DJAS Floraison	Biomasse 1378,1 DJAS Maturité
F 161	0,03 a	1,20 b	5,15 a	8,24 b	8,99 a
F 167	0,04 a	1,54 a	5,60 a	10,27 a	11,03 a
E 411	0,03 a	1,35 ab	4,80 a	7,76 b	11,18 a
D 2	0,11 b	1,10 b	5,59 a	7,95 b	10,69 a
D 3	0,20 a	1,62 a	4,84 a	9,56 a	10,11 a
C.V en %	28,98	17,43	33,57	15,85	23,83

o Tableau N°11 b) sur le site d'Ivory

Variétés Densités	Biomasse 392 DJAS	Biomasse 820,1 DJAS	Biomasse 1187,1 DJAS	Biomasse 1600 DJAS Récolte
F 161	0,30 a	3,90 a	8,97 a	8,28 a
F 167	0,40 a	3,95 a	9,65 a	8,16 a
E 411	0,35 a	4,54 a	8,55 a	7,94 a
D 2	0,25 b	3,53 b	8,18 b	6,45 b
D 3	0,48 a	4,73 a	9,94 a	9,80 a
C.V en %	38,52	30,02	13,03	16,96

o Tableau N°11 c) sur le site de Soanindrariny

Variétés Densités	Biomasse 313,4 DJAS	Biomasse 554,2 DJAS	Biomasse 653,6 DJAS	Biomasse 822 DJAS	Biomasse 1229,3 DJAS Récolte
F 161	0,44 a	2,84 a	4,75 a	8,10 a	10,24 a
F 167	0,49 a	2,15 a	4,23 a	7,46 a	11,48 a
E 411	0,40 a	2,41 a	4,03 a	7,45 a	10,05 a
D 2	0,36 b	1,97 b	3,82 b	6,57 b	9,64 a
D 3	0,53 a	2,96 a	4,85 a	8,77 a	11,54 a
C.V en %	24,60	35,71	22,5	14,74	22,87

4.2.1.3 Surface foliaire (LAI)

La dynamique de cette surface est assez identique à celle de la matière sèche. La figure suivante montre une évolution maximale de façon générale pour les D3 par rapport aux D2.

Pourtant, il est difficile de comparer le LAI pour le stade floraison représenté normalement par la dernière mesure, car d'une part ce stade est déjà dépassé à Ivory où les valeurs sont en baisse par rapport à la précédente mesure et d'autre part la floraison n'est pas encore atteinte à Soanindrariny où les valeurs augmentent par rapport à la précédente.

Figure N°15 : Evolution du LAI en DJAS, en fonction du site et de la densité pour chaque variété F161, F167 et E411

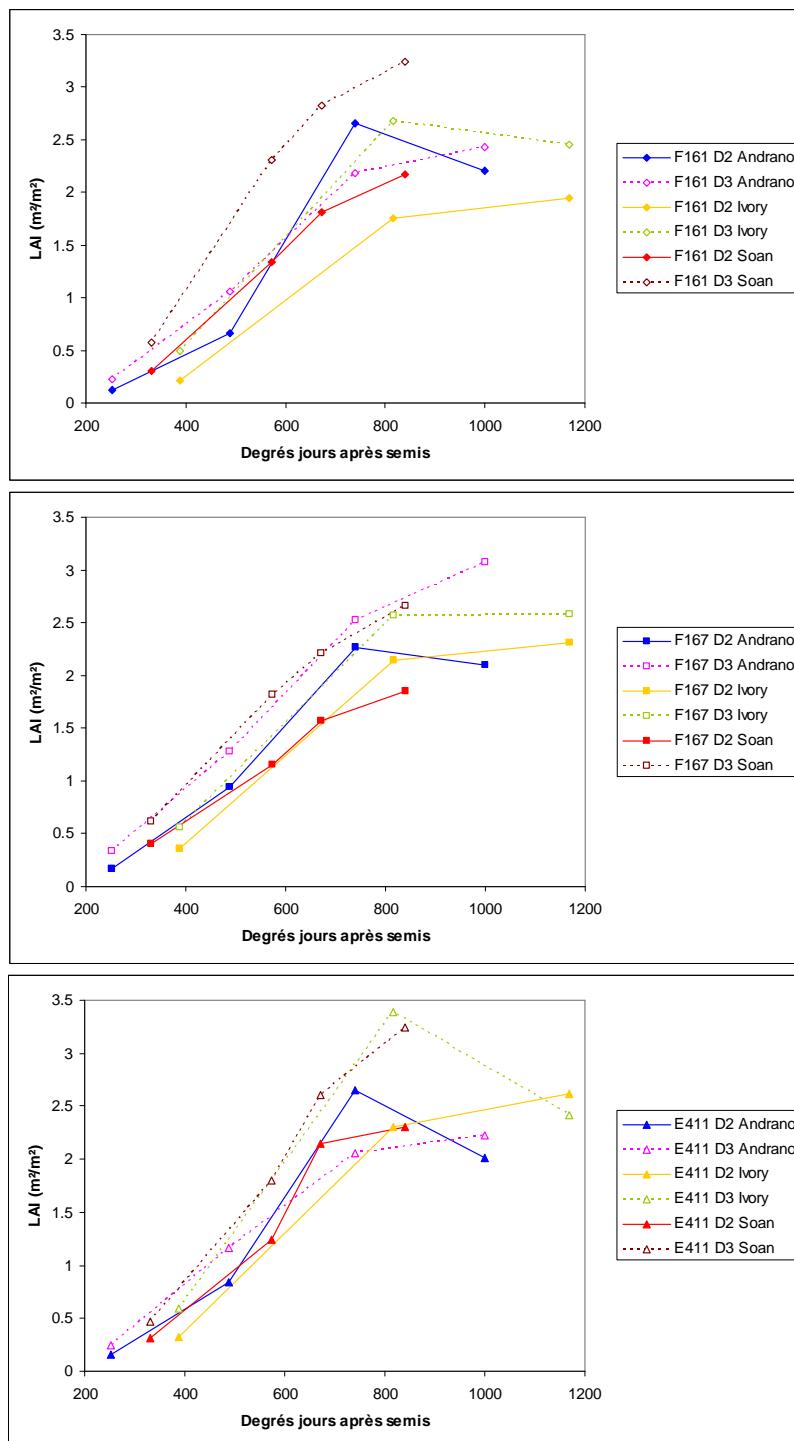


Tableau N°12 : Effets de la densité de semis sur le LAI m²/m² des variétés d'un même site :

- Tableau N°12 a) sur le site d'Andranomanelatra

Variétés Densités	LAI 252,7 DJAS	LAI 488,6 DJAS	LAI 775,4 DJAS Début montaison	LAI 1080,7 DJAS Floraison
F 161	0,17 b	0,85 b	2,42 a	2,31 a
F 167	0,25 a	1,10 a	2,39 a	2,58 a
E 411	0,20 ab	1,02 a	2,37 a	2,16 a
D 2	0,15 b	0,81 b	2,52 a	2,10 b
D 3	0,27 a	1,17 a	2,27 a	2,60 a
C.V en %	22,37	13,15	28,56	14,08

- Tableau N°12 b) sur le site d'Ivory

Variétés Densités	LAI 392 DJAS	LAI 820,1 DJAS	LAI 1187,1 DJAS
F 161	0,35 a	2,21 a	2,20 a
F 167	0,46 a	2,35 a	2,44 a
E 411	0,46 a	2,84 a	2,51 a
D 2	0,30 b	2,06 b	2,28 a
D 3	0,55 a	2,87 a	2,48 a
C.V en %	30,31	25,40	18,58

- Tableau N°12 c) sur le site de Soanindrariny

Variétés Densités	LAI 313,4 DJAS	LAI 554,2 DJAS	LAI 653,6 DJAS	LAI 822 DJAS
F 161	0,43 ab	1,81 a	2,32 a	2,70 a
F 167	0,51 a	1,48 a	1,89 b	2,25 b
E 411	0,39 b	1,52 a	2,37 a	2,77 a
D 2	0,34 b	1,24 b	1,84 b	2,10 b
D 3	0,55 a	1,97 a	2,55 a	3,04 a
C.V en %	15,44	22,47	15,90	12,16

Sur les trois sites, l'effet de la densité D3 est toujours significatifs, à l'exception du début montaison à Andranomanelatra et de la dernière mesure à Ivory.

En plus, les variétés à feuilles plus larges mais lancéolées F161 et E411 atteignent leur valeur maximale à Soanindrariny, même si les plantes ne sont pas encore en floraison au moment de la dernière mesure.

4.2.1.4 Tallage

Concernant la dynamique du tallage, la figure N°16 et le tableau N°13 ci – après montrent une production de talles assez forte en D3 au moins durant les deux premières mesures sur les sites. Puis, une baisse considérable du nombre de talles, pour cette même densité, est observée pour toutes les variétés sur les trois sites.

Par contre en D2, l'apparition des talles est modérée et se poursuit jusqu'au 2^{ème} prélèvement pour E411 et F167 d'Ivory, jusqu'au 3^{ème} prélèvement pour E411 et F167

d'Andranomanelatra et de Soanindrariny, et jusqu'à la récolte pour F161 de Soanindrariny. Ensuite, la régression des talles s'effectue peu à peu sur les sites pour toutes les variétés.

L'analyse statistique prouve qu'il y a des différences significatives entre D3 et D2 presque sur les trois sites. Les fortes régressions se trouvent à Soanindrariny et à Ivory. Alors les basses et les hautes températures sont tous néfastes pour le tallage. Les basses températures provoquent la sénescence des talles, tandis que les températures très élevées peuvent être à l'origine d'une stérilité non négligeable. En outre, le tallage est aussi fonction de la variété, des écarts significatifs peuvent exister entre F161 variété à faible tallage et F167 et E411 variétés à fort tallage.

Tableau N°13: Effets de la densité de semis sur le nombre de talles/m² des variétés d'un même site :

- Tableau N°13 a) sur le site d'Andranomanelatra

Variétés Densités	Talles/m ² 252,7 DJAS	Talles/m ² 488,6 DJAS	Talles/m ² 775,4 DJAS Début montaison	Talles/m ² 1080,7 DJAS Floraison	Talles/m ² 1378,1 DJAS Maturité
F 161	228,02 b	408,33 b	420,31 b	386,97 b	386,12 b
F 167	344,79 a	667,18 a	666,14 a	614,06 a	558,87 a
E 411	291,66 ab	651,04 a	606,25 a	619,27 a	538,12 a
D 2	216,31 b	433,68 b	483,33 b	441,40 b	416 b
D 3	366,66 a	717,36 a	645,13 a	636,80 a	572,75 a
C.V en %	21,71	11,57	23,50	7,73	13,08

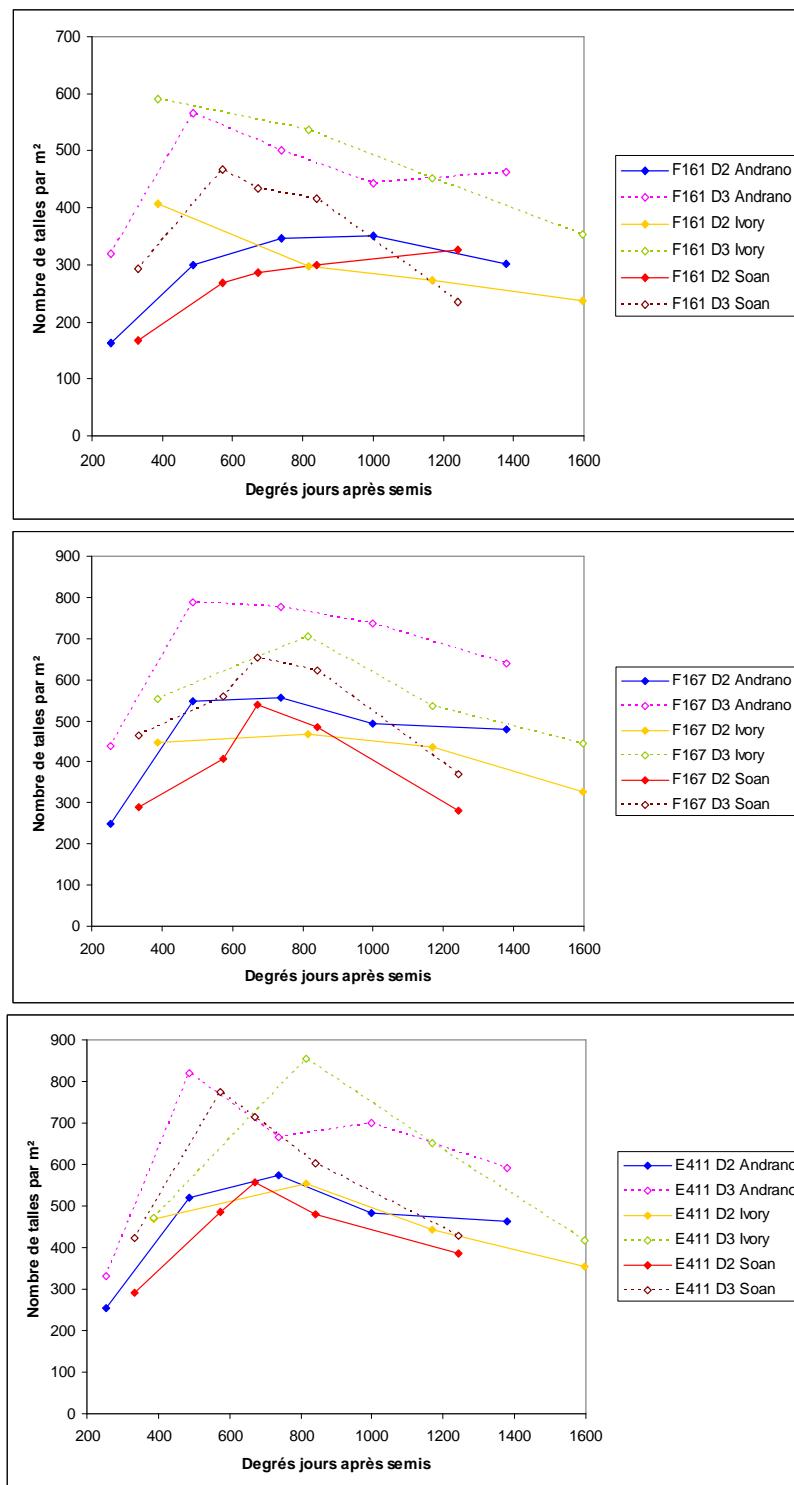
- Tableau N°13 b) sur le site d'Ivory

Variétés Densités	Talles/m ² 392 DJAS	Talles/m ² 820,1 DJAS	Talles/m ² 1187,1 DJAS	Talles/m ² 1600 DJAS Récolte
F 161	498,75 a	417,70 b	363,02 b	295,37 b
F 167	500,37 a	586,97 a	484,89 a	385,50 a
E 411	470 a	704,68 a	546,67 a	385,75 a
D 2	441,5 a	440,27 b	383,33 b	306,16 b
D 3	537,91 a	699,30 a	546,52 a	404,97 a
C.V en %	25,99	21,90	15,70	18,56

- Tableau N°13 c) sur le site de Soanindrariny

Variétés Densités	Talles/m ² 313,4 DJAS	Talles/m ² 554,2 DJAS	Talles/m ² 653,6 DJAS	Talles/m ² 822 DJAS	Talles/m ² 1229,3 DJAS Récolte
F 161	230,20 b	367,70 c	359,37 b	358,33 b	280,87 b
F 167	376,56 a	483,33 b	596,87 a	553,64 a	326 b
E 411	356,77 a	628,64 a	636,45 a	540,62 a	406,25 a
D 2	248,61 b	387,15 b	461,11 b	421,18 b	331 a
D 3	393,75 a	599,30 a	600,69 a	547,22 a	344,41 a
C.V en %	18,05	21,94	15,87	16,33	18,37

Figure N°16 : Evolution du tallage en DJAS, en fonction du site et de la densité pour chaque variété F161, F167 et E411



4.2.2 Phénologie ou développement

Malgré le nombre de prélèvements inégaux et au stade phénologique non précis pour les sites éloignés Ivory et Soanindrariny, le repérage des stades de développement ratés est possible à partir des données phénologiques en DJAS obtenues à Andranomanelatra. En effet, puisque la plante a besoin d'une certaine quantité de chaleur pour changer d'une phase de développement à l'autre, la comparaison des DJAS des trois sites permet alors de situer une telle date à un tel stade de développement pour un site étudié. Ainsi, le tableau suivant donne la comparaison de la durée d'accomplissement des principaux stades de développement en DJAS et en JAS.

Tableau N°14: Repérage des stades phénologiques des autres sites à partir des données obtenues à Andranomanelatra :

		Ivory	Andranomanelatra	Soanindrariny
Début de tallage	DJAS	250	252,7	256,9
	JAS	15	<i>32</i>	<i>38</i>
Plein tallage	DJAS	495	488,6	490,6
	JAS	37	<i>61</i>	<i>72</i>
Initiation paniculaire	DJAS	780,8	775,4	782,1
	JAS	59	<i>94</i>	<i>113</i>
Floraison > 75%	DJAS	1081,7	1080,7	1080,8
	JAS	82	<i>130</i>	<i>160</i>
Maturation physiologique >75%	DJAS	1301,2	1304,1	Vers 1300
	JAS	98	<i>161</i>	<i>Vers 200</i>

Alors d'après ce tableau, plus le milieu est chaud en zone de basse altitude à Ivory, plus l'accomplissement d'un stade est rapide, et plus le cycle cultural se raccourcit. Par rapport à Andranomanelatra, les gains de jours s'amplifient d'un stade à l'autre à Ivory, et les retards de jours augmentent à Soanindrariny. Ainsi, la durée du cycle cultural du riz pluvial à Ivory est normalement atteinte en 3 mois et une semaine après le semis ; tandis qu'à Soanindrariny vers 7 mois et à Andranomanelatra autour de 5 mois.

4.2.3 Composantes du rendement

Ainsi, d'après la figure N°17 suivante, les rendements élevés sont tous obtenus à Andranomanelatra pour les 3 variétés et pour les 2 densités de semis. Il existe peu d'écart de rendement entre Soanindrariny et Ivory, avec une tendance pour des rendements supérieurs à Ivory pour F161 et F167, et supérieurs à Soanindrariny pour E411.

La variété F167 a un plus faible rendement à Soanindrariny. Cette variété est la plus tardive. La faiblesse du rendement est causée par des stress climatiques en haute altitude vers la fin de

la campagne. Il est mieux de privilégier des variétés plus précoces comme E411 et d'éliminer carrément des variétés plus tardives comme F167 pour ce site en haute altitude.

Figure N°17 : Rendements obtenus par variété (F161, F167, E411), en fonction du site (Andranomaneltra, Ivory et Soanindrariny) pour chaque densité (D2 : 20 x 20 cm ; D3 : 20 x 10 cm)

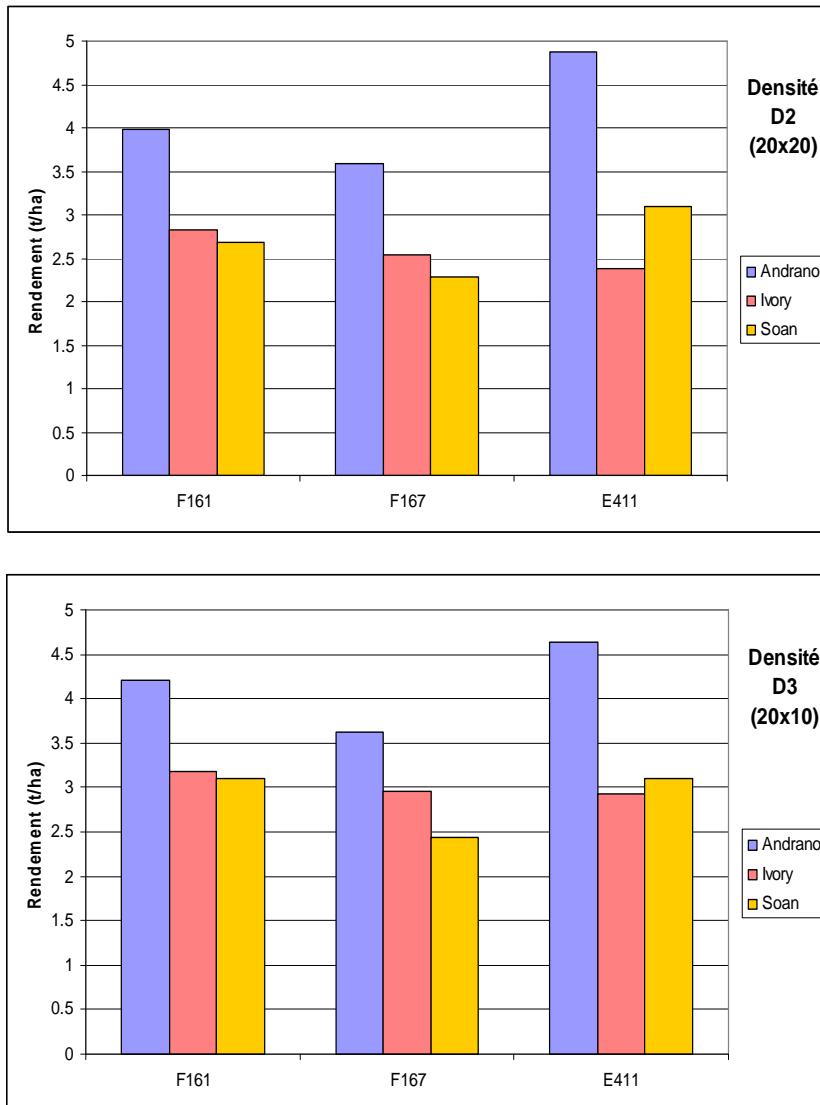


Tableau N°15 : Effets du site, de la variété et de la densité de semis sur les composantes du rendement et le rendement (en t/ha)

* Entre sites, variétés et densité les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Site Variété Densité	Nombre pieds / m ²	Nombre panicules / pied	Nombre grains / panicule	Nombre grains / m ²	% Grains pleins	PMG	Rendement placette
Andrano.	192,5 a	2,39 a	77,9 b	33 371 a	86,7 a	22,6 b	4,15 a
Ivory	143,4 b	2,16 a	85,5 a	24 719 b	63,0 c	24,1 a	2,80 b
Soan.	159,1 ab	2,48 a	73,5 b	23 448 b	73,2 b	24,6 a	2,78 b
F161	159,3 a	2,01 b	83,6 a	24 439 b	78,4 a	26,8 a	3,33 a
F167	167,2 a	2,44 ab	86,6 a	31 403 a	63,2 b	21,5 c	2,90 b
E411	168,5 a	2,57 a	66,9 b	25 695 b	81,2 a	23,0 b	3,50 a
D2	144,7 b	2,35 a	81,4 a	25 182 b	74,8 a	23,6 a	3,14 a
D3	185,3 a	2,34 a	76,6 b	29 176 a	73,8 a	23,9 a	3,35 a
<i>CV %</i>	37,50	36,89	14,12	21,98	15,34	18,82	18,31

Toutes variétés confondues, le meilleur rendement obtenu à Andranomanelatra est dû à un nombre de grains/m² supérieur qui apparaît conséquent à un fort nombre de pieds/m² et un bon % GP. Les rendements sont comparables pour les 2 autres sites, malgré sur Ivory un plus fort nombre de grains/panicule, mais avec le plus faible %GP des 3 sites. Or, il faisait chaud et humide au moment de la floraison à Ivory, alors la stérilité est causée, soit par les fortes températures provoquant une indéhiscence des anthères donc pas de fécondation, soit par d'autres facteurs non expérimentaux, comme le Striga, mais non par une période de sécheresse. En effet, ces mauvaises herbes parasites sont apparues au moment de la récolte.

Les PMG sont plus élevés à Soanindrariny et Ivory par rapport à Andranomanelatra, mais cela doit être dû au fait que moins de grains ont été produits sur ces sites, donc moins de compétitions entre grains pour leur remplissage, d'où des grains mieux remplis.

Côté variété, F167 est le moins productive avec un rendement placette de 2,9 t/ha, contre 3,33t/ha et 3,5t/ha pour les deux autres variétés. Ceci est le résultat des valeurs faibles pour la majorité de ses composantes de rendement surtout le %GP. Les rendements supérieurs de F161 et E411 sont obtenus, grâce à un nombre de grains/panicules élevé associé à un bon %GP et un meilleur PMG pour F161, et grâce à aucune composante médiocre pour E411.

Cependant, l'effet significatif de la forte densité de semis D3 se trouve au niveau du nombre de pieds par m², puis au niveau du nombre de grains par m². Enfin, la faible densité de semis D2 favorise positivement le nombre de grains par panicules.

4.2.4 Synthèse, discussion et perspectives sur le comportement variétal en fonction de l'altitude

En bref, les variétés s'adaptent mieux dans la moyenne altitude à Andranomanelatra que dans les hautes et basses altitudes. La variété F161 est la plus rustique, E411 préfère les hautes altitudes et F167 privilège les basses altitudes. Cette fois – ci, la plupart des hypothèses de recherche sur l'interaction variété – altitude sont moitiés vérifiées et moitiés infirmées :

- HR 3 est vérifiée partiellement car le cycle du riz pluvial se raccourcit si le milieu de culture est chaud et pluvieux, mais cela n'entraîne pas toujours un meilleur rendement ;

- HR 4 est confirmée car dans un milieu froid, le développement et la croissance se ralentissent, le cycle s'allonge et la stérilité des grains s'amplifie, surtout si la variété possède un cycle tardif ;

- HR 5 est infirmée, une densité de semis espacée n'entraîne ni l'amélioration de la vigueur des plantes ni l'augmentation du rendement. C'est la forte densité qui améliore la vigueur des plantes. Par contre, le rendement des deux densités sont comparables, même si l'autre faible densité D2 permet l'obtention du nombre de grains/ panicule élevé, et l'une forte densité D3 produit plus de grains/ m².

A propos de la discussion, il est probable qu'à part les basses et les fortes températures d'autres facteurs écologiques influent sur la régression des talles et la stérilité des panicules. En effet, les éléments minéraux présents dans le sol peuvent influencer beaucoup la croissance et le développement des organes du riz. Pourtant, peu d'études sur l'effet des carences en éléments minéraux sur la stérilité du riz sont faites. L'application d'une quantité élevée d'azote conduit également à une augmentation de la stérilité due aux basses températures, d'après une autre étude. En plus, d'autres chercheurs étudient actuellement l'impact des Striga sur le potentiel du riz pluvial.

Pour les prochaines recherches sur la variété et l'altitude, c'est très intéressant d'augmenter le nombre des facteurs à contrôler afin d'analyser aussi l'effet des autres facteurs écologiques sur le potentiel génotype du riz. Citons entre autre le sol et les précédents cultureaux, car il existe une forte interaction entre : sol – climat – variété et précédents cultureaux. Mais pour y parvenir, il faut se donner les moyens nécessaires afin d'effectuer des suivis réguliers et des analyses du substrat sol qui sont utiles à l'interprétation des interactions existantes.

4.3- Modèles d'élaboration du rendement à partir du dispositif de référence d'Andranomanelatra

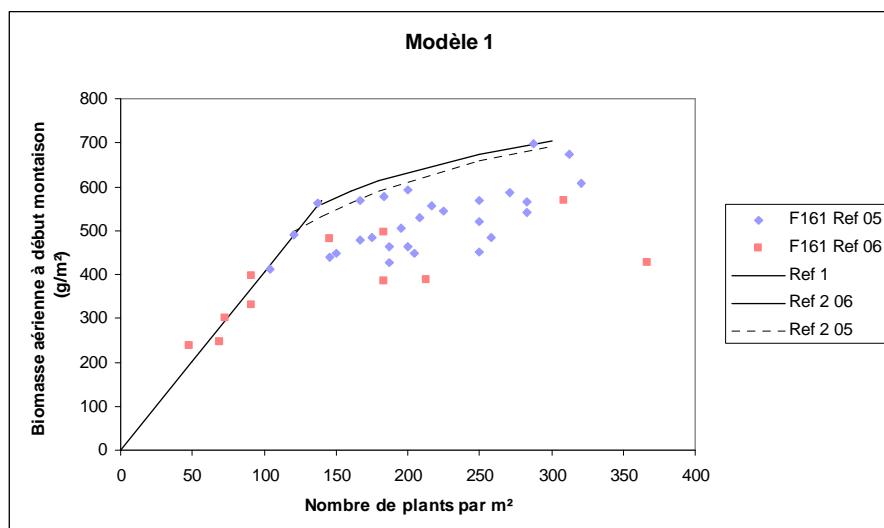
Dans cette partie, nous allons, à partir des résultats obtenus pour le dispositif de référence d'Andranomanelatra, chercher à valider ou préciser les modèles obtenus lors de la campagne dernière pour les variétés Fofifa 161 et F167, et à élaborer les modèles pour la variété Expérimental 411. Les modèles seront ensuite utilisés sur les systèmes de culture et les sites.

Les équations autres que linéaires sont obtenues avec le logiciel Sigma Plot (Jandel), les équations linéaires avec le tableur Excel (Microsoft).

4.3.1 Validation des modèles obtenus par Jeannick l'année dernière (F161 et F167)

4.3.1.1 Modèles pour la variété F161

Figure N°18 : Relation entre le nombre de pieds/m² (NP) et la biomasse aérienne à début montaison (BA en g/m²) pour la variété F161 (modèle 1), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06



Phase du cycle concernée : levée – début montaison.

Formes de l'équation :

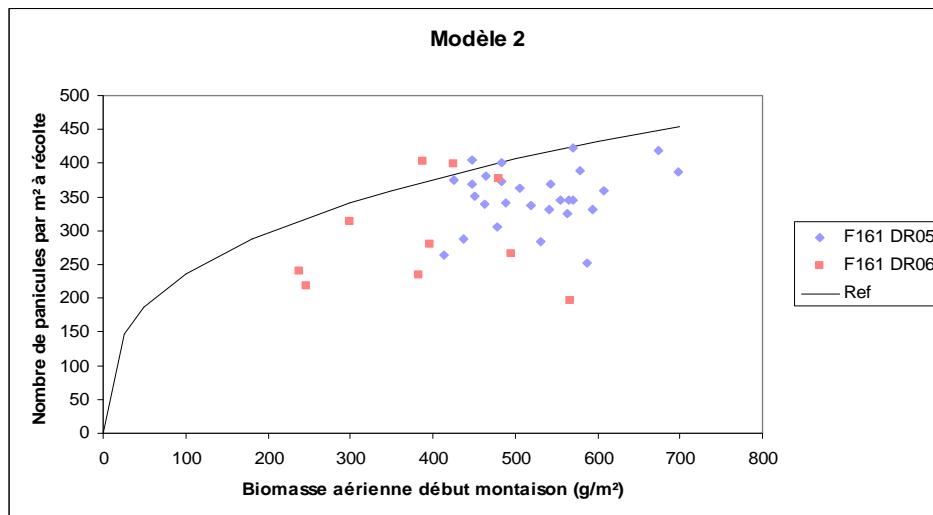
$$BA = \alpha NP \text{ si } \alpha NP \leq BA \text{ seuil}$$

$$BA = NP / (a + bNP)$$

Pour la campagne 2004-05, nous n'avions pas de valeurs en dessous de 100 plants/m², la forme linéaire de l'équation n'avait pu être calculée, les coefficients de la deuxième forme de l'équation obtenue étaient $a = 0,1152$ et $b = 0,00106$ (courbe pointillée).

Avec les valeurs de la campagne 2005-06, nous avons pu calculé la forme linéaire, avec $\alpha = 4,0586$, et réajuster l'équation de la deuxième forme sur les valeurs extrêmes : $a = 0,0958$ et $b = 0,0011$ (courbe pleine).

Figure N°19: Relation entre la biomasse aérienne à début montaison (BA en g/m²) et le nombre de panicules/m² à récolte (Npan), pour la variété F161 (modèle 2), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06

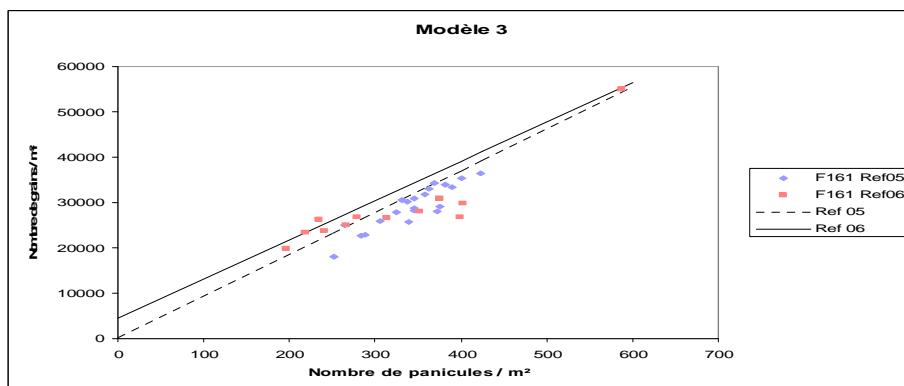


Phase du cycle concernée : début montaison – épiaison

Forme de l'équation : $Npan = c BA^d$

Nous n'avons pas modifié les paramètres obtenus la campagne dernière, $c = 49,8428$ et $d = 0,3375$.

Figure N°20 : Relation entre le nombre de panicules/m² (Npan) et le nombre de grains/m² (NG), pour la variété F161 (modèle 3), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06

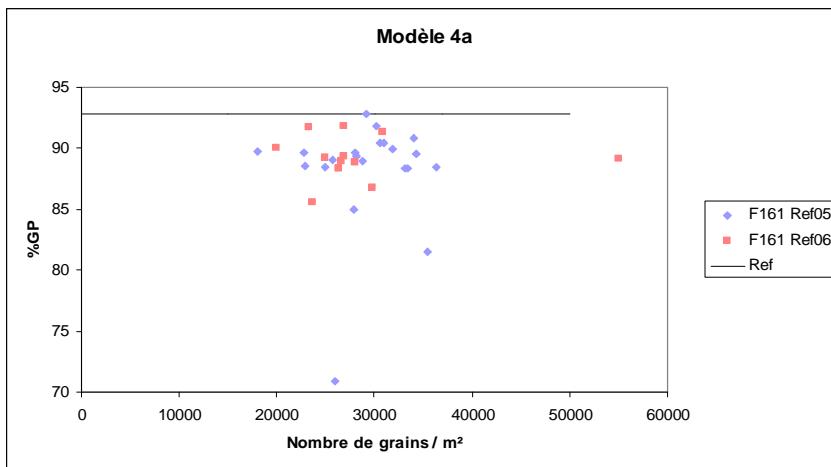


Phase du cycle concernée : début montaison - fécondation

Forme de l'équation : $NG = u \cdot N_{pan} + v$

Lors de la campagne 2004-05, les coefficients obtenus étaient $u = 92,318$ et $v = 115,3$ (courbe pointillée), ils ont été recalculés avec les données 2005-06 : $u = 86,538$ et $v = 4423,5$ (courbe pleine).

Figure N°21 : Relation entre le nombre de grains/m² (NG) et le pourcentage de grains pleins (%GP), pour la variété F161 (modèle 4a), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06

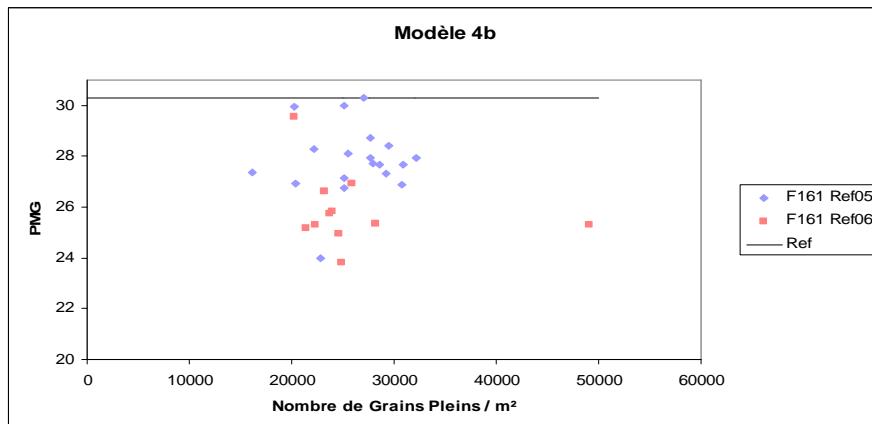


Phase du cycle concernée : fécondation

Forme de l'équation : $%GP = %GP_{max}$ si $NG \leq NG_{seuil}$ et $%GP = m / NG$ si $NG > NG_{seuil}$

La limite seuil de nombre de grains par m² induisant une réduction du pourcentage de grains pleins n'a pu être atteinte dans nos conditions sur les deux campagnes. La droite sur la figure a été placée à la valeur maximale de pourcentage de grains pleins observé, soit 92,8 %.

Figure N°22 : Relation entre le nombre de grains pleins/m² (NGP) et le poids de 1000 grains (PMG), pour la variété F161 (modèle 4b), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06



Phase du cycle concernée : fécondation – maturité

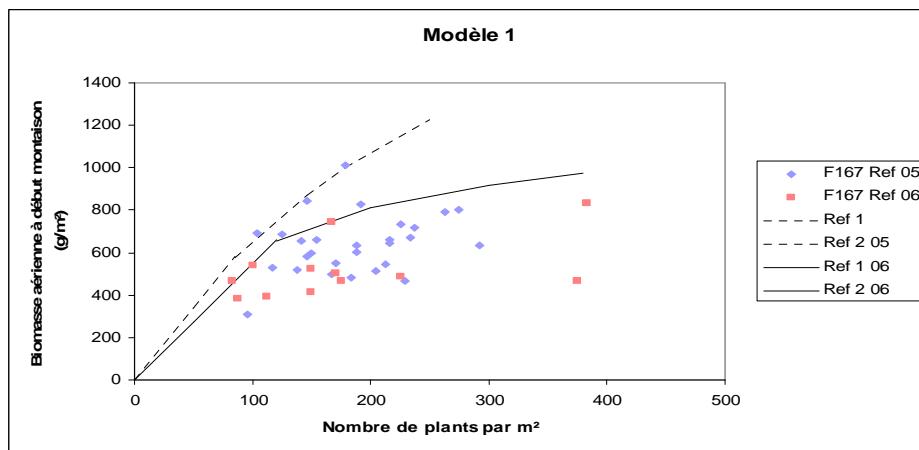
Forme de l'équation : $PMG = PMG_{max} \text{ si } NGP \leq NGP \text{ seuil}$

$PMG = m / NGP \text{ si } NGP > NGP \text{ seuil}$

La limite seuil de nombre de grains pleins par m² induisant une réduction du PMG n'a pu être atteinte dans nos conditions sur les deux campagnes. La droite sur la figure a été placée à la valeur maximale de PMG pleins observé, soit 30,3 g.

4.3.1.2 Modèles pour la variété F167

Figure N°23 : Relation entre le nombre de pieds/m² (NP) et la biomasse aérienne à début montaison (BA en g/m²) pour la variété F167 (modèle 1), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06



Phase du cycle concernée : levée – début montaison.

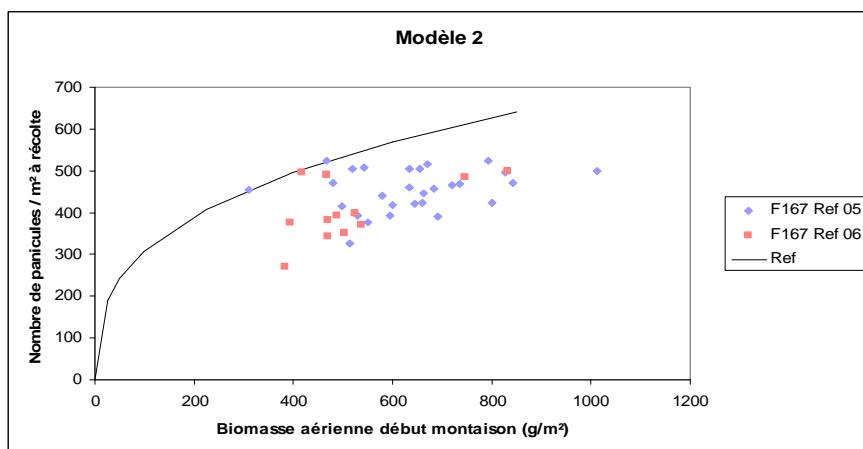
Formes de l'équation :

$$BA = \alpha NP \text{ si } \alpha NP \leq BA \text{ seuil}$$

$$BA = NP / (a + bNP)$$

Pour la campagne 2004-05, nous avions établi les équations sur les valeurs extrêmes, avec $\alpha = 6,8333$; $a = 0,1177$ et $b = 0,00344$ (courbe pointillée). Nous avons préféré ne pas tenir compte de ces valeurs et utiliser des valeurs de la campagne 2005-06 pour recalculer les équations, les coefficients obtenus sont $\alpha = 5,484$; $a = 0,0864$ et $b = 0,0008$ (courbe pleine).

Figure N°24 : Relation entre la biomasse aérienne à début montaison (BA en g/m²) et le nombre de panicules/m² à récolte (Npan), pour la variété F167 (modèle 2), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06

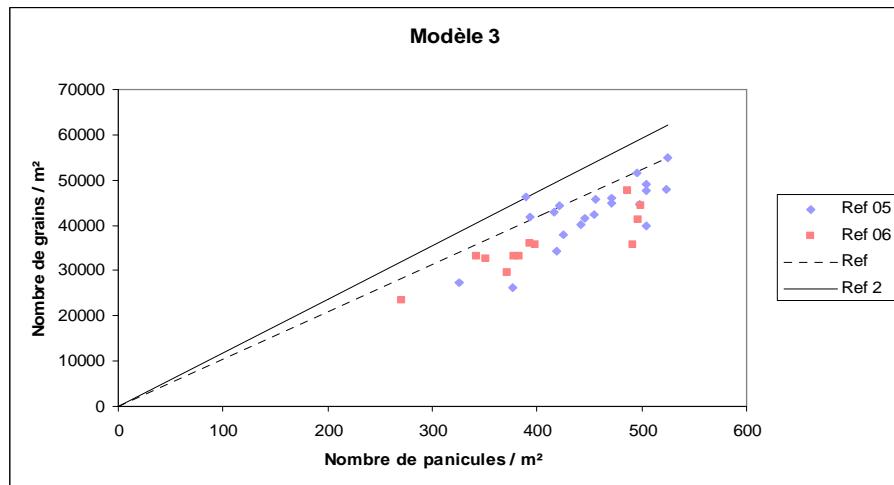


Phase du cycle concernée : début montaison – épiaison

Forme de l'équation : $Npan = c BA^d$

Nous n'avons pas modifié les paramètres obtenus la campagne dernière, $c = 62,7275$ et $d = 0,3449$.

Figure N°25 : Relation entre le nombre de panicules/m² (Npan) et le nombre de grains/m² (NG), pour la variété F167 (modèle 3), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06

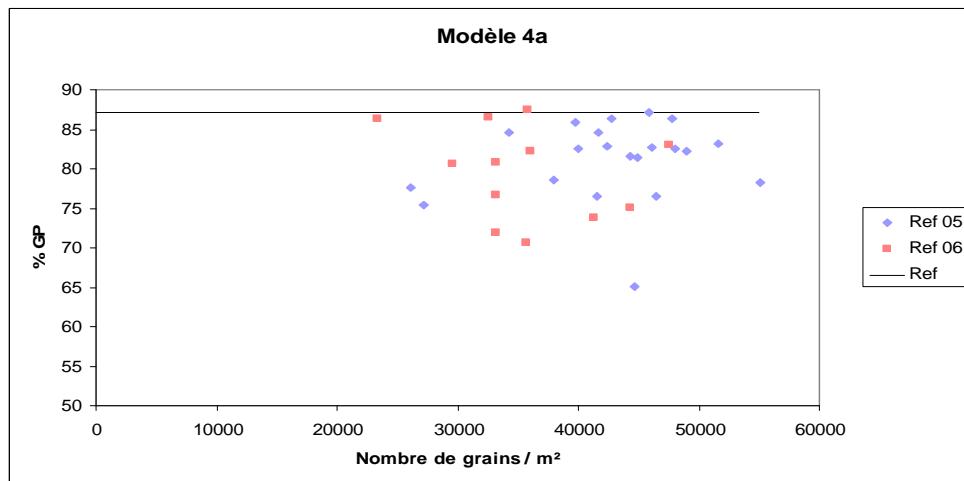


Phase du cycle concernée : début montaison - fécondation

Forme de l'équation : $NG = u Npan + v$

Lors de la campagne 2004-05, les coefficients obtenus étaient $u = 104,59$ et $v = -16,459$ (courbe pointillée), ils ont été recalculés en tenant compte de la valeur extrême : $u = 118,82$ et $v = -70,093$ (courbe pleine).

Figure N°26 : Relation entre le nombre de grains/m² (NG) et le pourcentage de grains pleins (%GP), pour la variété F167 (modèle 4a), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06



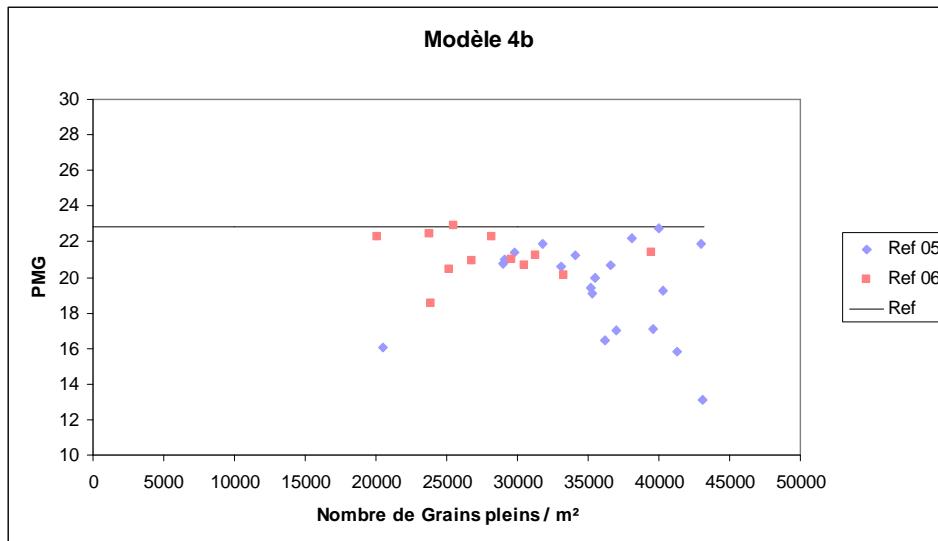
Phase du cycle concernée : fécondation

Forme de l'équation : $\%GP = \%GP_{max}$ si $NG \leq NG_{seuil}$

$$\%GP = m / NG \text{ si } NG > NG_{seuil}$$

La limite seuil de nombre de grains par m^2 induisant une réduction du pourcentage de grains pleins n'a pu être atteinte dans nos conditions sur les deux campagnes. La droite sur la figure a été placée à la valeur maximale de pourcentage de grains pleins observé, soit 87,2 %.

Figure N° 27 : Relation entre le nombre de grains pleins/ m^2 (NGP) et le poids de 1000 grains (PMG), pour la variété F161 (modèle 4b), résultats obtenus sur les campagnes 2004-05 et 2005-06



Phase du cycle concernée : fécondation – maturité

Forme de l'équation : $PMG = PMG_{max}$ si $NGP \leq NGP_{seuil}$

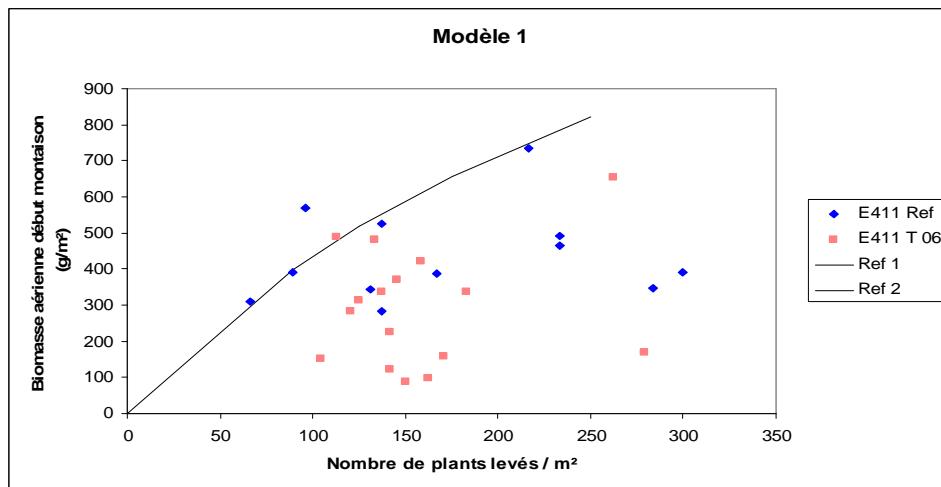
$$PMG = m / NGP \text{ si } NGP > NGP_{seuil}$$

La limite seuil de nombre de grains pleins par m^2 induisant une réduction du PMG n'a pu être atteinte dans nos conditions sur les deux campagnes. La droite sur la figure a été placée à la valeur maximale de PMG pleins observé, soit 22,8 g.

4.3.2 Modèle d'élaboration du rendement sur E411

Pour l'élaboration des modèles de relation entre composantes du rendement de cette variété, nous ne possédons les valeurs que sur une seule campagne, celle 2005-06. Afin d'augmenter le nombre de points, nous avons rajouter les valeurs obtenues sur le dispositif Témoin (riz / haricot - avoine – vesce) de la matrice.

Figure N°28 : Relation entre le nombre de pieds/m² (NP) et la biomasse aérienne à début montaison (BA en g/m²) pour la variété E411 (modèle 1), résultats obtenus sur la campagne 2005-06



Phase du cycle concernée : levée – début montaison.

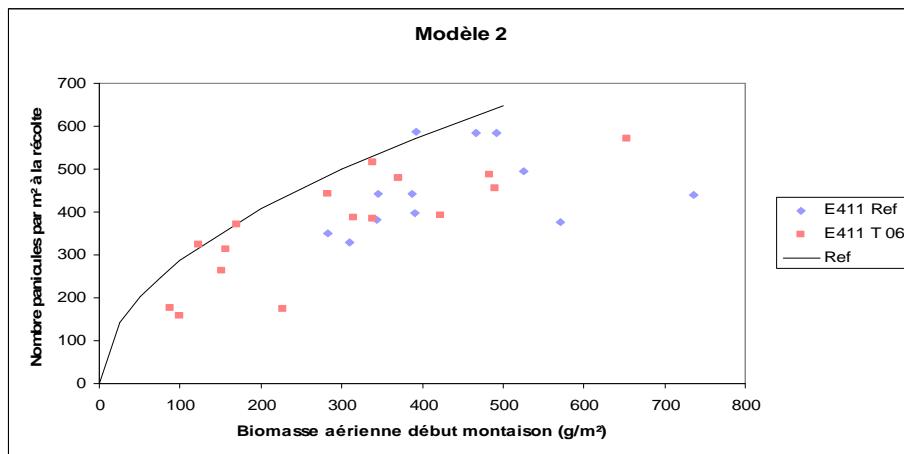
Formes de l'équation :

$$BA = \alpha NP \text{ si } \alpha NP \leq BA \text{ seuil}$$

$$BA = NP / (a + bNP)$$

Sur les données d'une seule campagne, les coefficients obtenus sont : $\alpha = 4,4594$; $a = 0,1787$ et $b = 0,0005$.

Figure N°29: Relation entre la biomasse aérienne à début montaison (BA en g/m²) et le nombre de panicules/m² à récolte (Npan), pour la variété E411 (modèle 2), résultats obtenus sur la campagne 2005-06

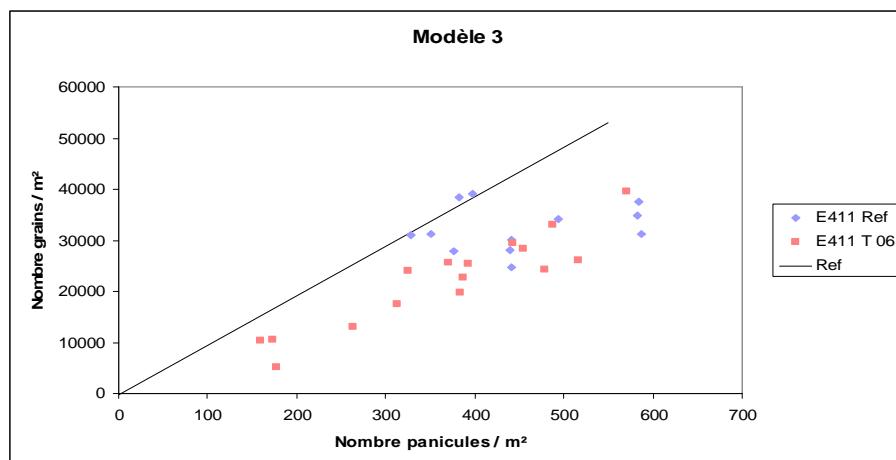


Phase du cycle concernée : début montaison – épiaison

Forme de l'équation : $Npan = c BA^d$

avec $c = 27,7393$ et $d = 0,5072$.

Figure N°30 : Relation entre le nombre de panicules/m² (Npan) et le nombre de grains/m² (NG), pour la variété E411 (modèle 3), résultats obtenus sur la campagne 2005-06

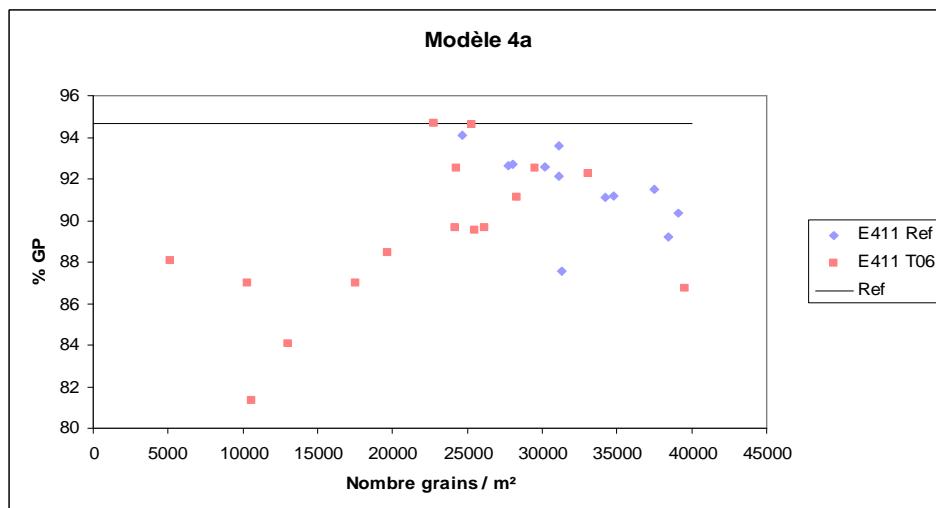


Phase du cycle concernée : début montaison - fécondation

Forme de l'équation : $NG = u Npan + v$

avec $u = 96,909$ et $v = - 299,03$.

Figure N°31 : Relation entre le nombre de grains/m² (NG) et le pourcentage de grains pleins (%GP), pour la variété E411 (modèle 4a), résultats obtenus sur la campagne 2005-06



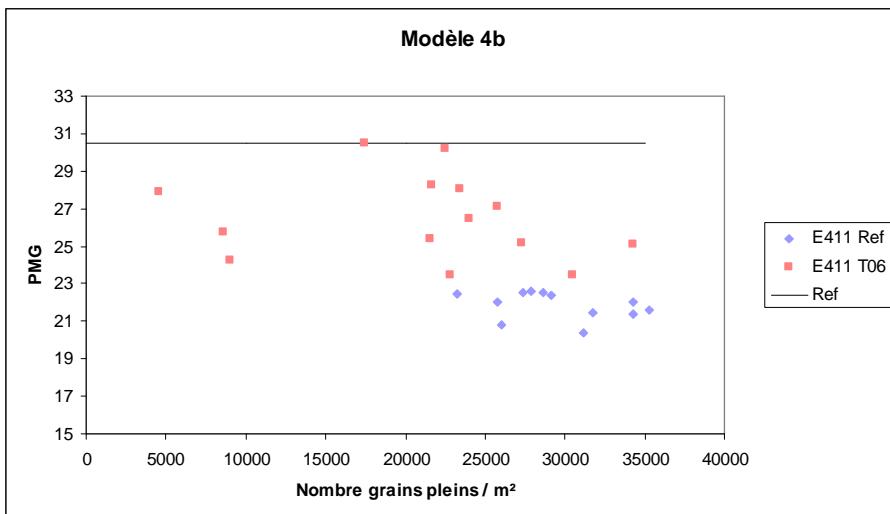
Phase du cycle concernée : fécondation

Forme de l'équation : $\%GP = \%GP_{max}$ si $NG \leq NG_{seuil}$

$$\%GP = m / NG \text{ si } NG > NG_{seuil}$$

La limite seuil de nombre de grains par m^2 induisant une réduction du pourcentage de grains pleins n'a pu être atteinte dans nos conditions. La droite sur la figure a été placée à la valeur maximale de pourcentage de grains pleins observé, soit 94,65 %.

Figure N°32 : Relation entre le nombre de grains pleins/ m^2 (NGP) et le poids de 1000 grains (PMG), pour la variété E411 (modèle 4b), résultats obtenus sur la campagne 2005-06



Phase du cycle concernée : fécondation – maturité

Forme de l'équation : $PMG = PMG_{max}$ si $NGP \leq NGP_{seuil}$

$$PMG = m / NGP \text{ si } NGP > NGP_{seuil}$$

La limite seuil de nombre de grains pleins par m^2 induisant une réduction du PMG n'a pu être atteinte dans nos conditions. La droite sur la figure a été placée à la valeur maximale de PMG pleins observé, soit 30,5 g.

4.3.3 Utilisation des modèles sur les systèmes et sur les sites

4.3.3.1 Indices de réalisation mesurés sur la matrice SCRiD

Les indices de réalisation par modèle ont été calculés en divisant la valeur de la composante observée sur la placette par la valeur potentielle (courbe enveloppe) à la même abscisse. Ces indices varient donc de 0 à 1, mais en pratique ils sont ramenés en pourcentage. Ils sont des indicateurs des contraintes rencontrées par le peuplement dans son milieu.

Les résultats des IR mesurés sur la matrice SCRID se font comme suit :

Pour les systèmes, toutes fertilisations confondues, les IR sont données par le Tableau N°16 et la figure N°33:

Ainsi, des faibles valeurs d'IR sur le modèle 1 pour les modes de gestion du sol en SCV, par rapport au labour, particulièrement pour le système R3 = faible production de biomasse au stade début montaison (cf. graphiques de biomasse aérienne). Cette faible valeur peut être due soit au semis à sec entraînant un mauvais démarrage pour ce système R3, soit aux résidus de récolte non dégradés, notamment les restes de la tige de maïs, perturbant la germination des grains. Ce deuxième cas prouve l'affirmation de Barbier et Mouret dans la paragraphe 2.1.3.

Egalement, toujours sur R3, des faibles valeurs d'IR sur le modèle 3 = peu de grains produits pour le nombre de panicules en place, normalement associé soit à une faible nutrition, or les racines sont très développées, donc soit à d'autres facteurs non étudiés.

Pour les fertilisations, toutes systèmes confondus, les IR sont données par le Tableau N°16 et la figure N°34:

La fertilisation FM présente des fortes valeurs d'IR sur les modèles 1 et 3, cela veut dire que la production de biomasse en début montaison et la production de grains par panicule dépendent fortement d'une bonne fertilisation. Par ailleurs, les valeurs d'IR des autres modèles 2, 4a et 4b sont dues au fumier seul.

Tableau N°16 : Effets du système de culture et de la fertilisation sur les indices de réalisation des modèles, sur le dispositif SCRID, variété F 161

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

Système Fumure	IR 1	IR 2	IR 3	IR 4a	IR 4b
R3 SCV	27,6 c	68,4 a	48,6 d	88,9 c	88,1 ab
R4 SCV	47,5 b	68,2 a	65,1 c	93,0 ab	90,9 ab
R4 Labour	71,7 a	78,6 a	88,2 ab	89,7 bc	86,0 b
T Labour	77,0 a	77,3 a	94,4 a	90,1 bc	89,8 ab
T SCV	40,7 b	74,6 a	82,5 b	93,9 a	92,9 a
Fu	36,7 b	78,5 a	71,6 b	92,4 a	92,9 a
FM	69,0 a	68,3 b	79,9 a	89,8 b	86,2 b

Figure N°33: Evolution des indices de réalisation par modèle, pour chaque système testé, toutes fertilisations confondues sur le dispositif SCRiD, variété F161

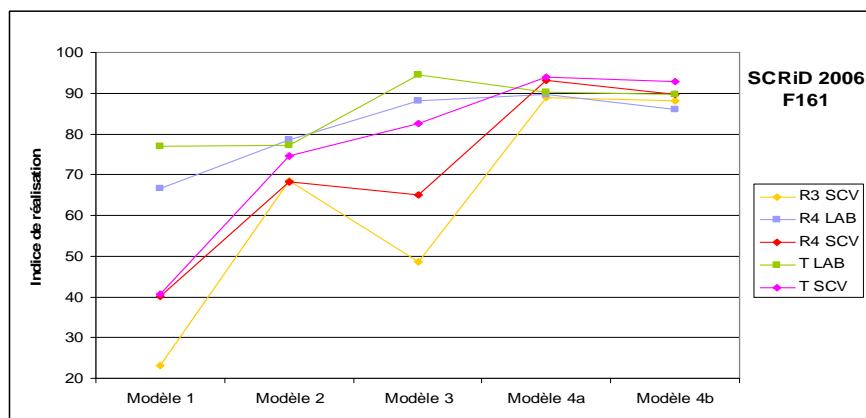
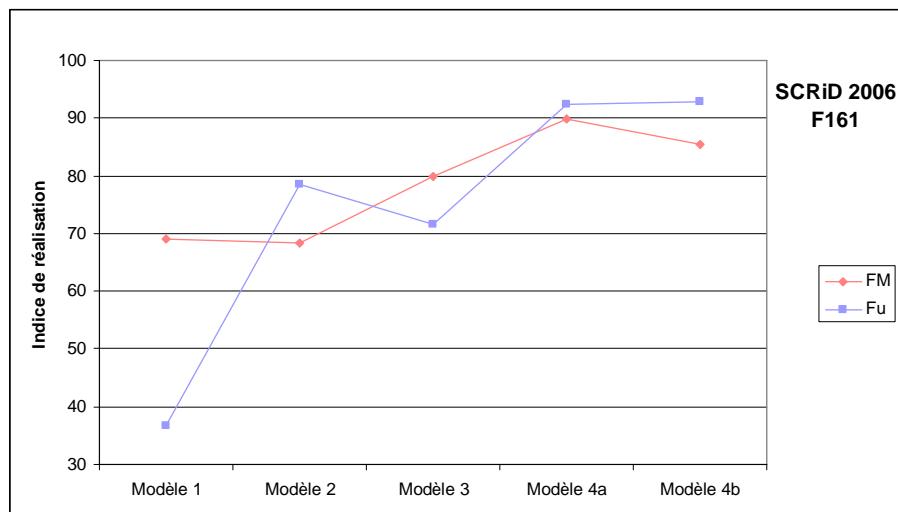


Figure N°34 : Evolution des indices de réalisation par modèle, pour chaque fertilisation testée, tous systèmes confondus sur le dispositif SCRiD, variété F161



4.3.3.2 Indices de réalisation des sites en altitude

Le tableau N°17 et la figure N°35 ci-dessous montrent les IR des sites en altitude.

F161 : en moyenne, bons indices de réalisation à Andranomanelatra ; faibles sur modèles 1 et 2 à Ivory à cause du resemis des cultures dû à des fortes pluies après le semis ; sur Soanindrariny valeurs assez faibles pour les modèles 1, 2 et 3 à cause d'un faible production de gr/m². Enfin, des valeurs faibles pour le modèle 4a (%GP) à Soanindrariny et Ivory. C'est le résultat d'une baisse de température pour Soanindrariny et d'une forte température pour Ivory.

F167 : valeurs assez faibles pour les modèles 1 et 3 sur Andranomanelatra : cette variété n'a pas en effet atteint son potentiel cette campagne. Normalement, c'est une variété à forte vigueur au départ. Les valeurs faibles sont, soit dû au semis à sec, soit dues à des facteurs non expérimentaux.. En plus, des valeurs très faibles à Soanindrariny et Ivory pour les modèles 1, 2 et 4a, et le modèle 3 également à Soanindrariny. Par la suite, les valeurs de rendement deviennent faibles, faiblesse qui peut être due à l'effet d'un stress hydrique durant la formation des grains sur cette variété qui a un cycle plus long que les autres.

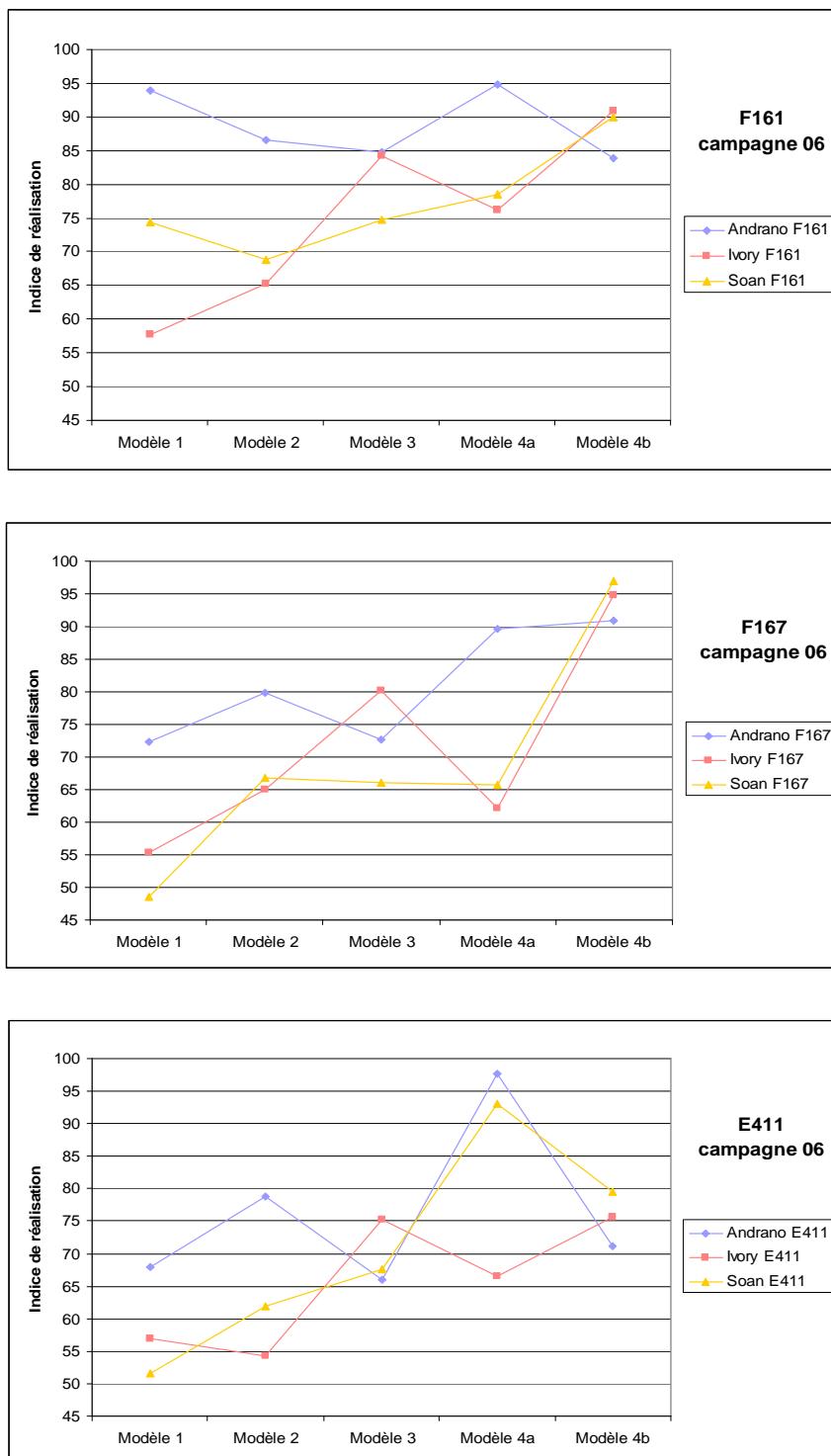
E411 : valeurs faibles pour les modèles 1 et 2 sur Ivory et Soanindrariny par rapport à Andranomanelatra (comme les autres variétés), mais aussi sur le modèle 3 pour les 3 sites. E411 qui est une variété plus précoce, a subi un stress hydrique durant la période de formation des grains à Andranomanelatra. Si le %GP (IR4a) de Soanindrariny et d'Andranomanelatra sont élevés, ce paramètre est faible à Ivory. Ceci est dû, soit par les fortes températures entraînant l'indéhiscence des anthères, soit par les Striga ou d'autres facteurs non contrôlés.

Tableau N°17 : Effets du site (Andranomanelatra, Ivory, Soanindrariny), de la variété (F161, F167, E411) et de la densité (D2 semis en 20cm x 20cm, D3 semis en 20cm x 10cm) sur les indices de réalisation des modèles

* Entre sites, variétés et densité les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Site Variété Densité	IR 1	IR 2	IR 3	IR 4a	IR 4b
Andrano.	78,0 a	82,3 a	74,5 b	94,0 a	82,0 b
Ivory	56,7 b	61,5 b	79,9 a	68,3 c	87,1 a
Soan.	58,2 b	65,9 b	69,4 b	79,1 b	88,9 a
F161	75,3 a	74,1 a	81,2 a	83,2 a	88,3 b
F167	58,7 b	70,5 ab	73,0 b	72,5 b	94,2 a
E411	58,8 b	65,0 b	69,6 b	85,8 a	75,4 c
D2	66,0 a	63,4 b	76,2 a	81,0 a	85,6 a
D3	62,7 a	76,4 a	73,0 a	79,9 a	86,4 a

Figure N°35 : Indices de réalisation des modèles par variété (F161, F167, E411), en fonction du site (Andranomaneltra, Ivory et Soanindrariny) toutes densités confondues



4.3.4 Synthèse, discussion et perspectives sur les modèles

Ces résultats ont montré que les équations des modèles des variétés F161 et F167 sont renforcées par les données de cette campagne pour qu'ils restent valides. A partir de cette année, la variété E411 possède aussi ses propres modèles d'élaboration du rendement.

Ces différents modèles sont ensuite appliqués sur les essais sur les systèmes de culture et les sites d'altitude afin d'y trouver les facteurs limitants du potentiel variétal par rapport à la référence.

Les modèles d'élaboration du rendement permettent alors de mieux situer les périodes de stress en découplant le cycle en fonction de l'élaboration de chaque composante du rendement. Pour la suite, des modèles de relation entre composantes pour différentes régions écologiques doivent être élaborés pour avoir ainsi des références. Mais il faut avant tout caractériser suffisamment bien le milieu tout au long du cycle pour détecter les éventuels stress indépendamment de la réponse de la culture.

CONCLUSION

Aujourd'hui, l'autosuffisance alimentaire spécialement en matière rizicole reste toujours un défi à relever pour Madagascar. Le pays qui est à vocation agricole importe continuellement du riz. L'exploitation des *tanety* est une alternative incontournable pour augmenter la production du riz. Mais les principaux problèmes de leur non exploitation sont d'une part, l'absence des systèmes de culture adéquats qui préservent à la fois l'environnement et augmentent la fertilité des sols de *tanety* et d'autre part la rareté des variétés bien adaptées aux conditions difficiles et différentes.

Ainsi, cette étude effectuée au sein de l'URP SCRID ajoute un plus sur les travaux de recherches rizicoles pour développer la possibilité de cultiver du riz pluvial sur *tanety*. En effet, l'étude intitulé « **Etude des interactions génotype et environnement. Analyse de la croissance, du développement et de l'élaboration du rendement de variétés de riz pluvial en fonction du système de culture et de l'altitude** », fait ressortir plusieurs points essentiels concernant le comportement des variétés sur des systèmes de culture, des modes de gestion du sol, des niveaux de fertilisation, des zones de culture et sur des types de densité de semis. Les résultats des différents essais ont montré que chaque variété a sa propre réponse vis – à – vis de ses environnements de culture.

☞ Pour la variété F161 :

- les systèmes de culture en labour sont meilleurs que ceux en SCV dès la croissance en passant au développement et jusqu'à l'élaboration du rendement du riz;
- les systèmes de culture en rotation culturale Légumineuses_Riz optimisent significativement le rendement variétal par rapport aux systèmes en rotation Graminées_Riz ;
- chez SCRID les niveaux de fertilisation sur les systèmes de culture influencent positivement le développement et la croissance, mais présentent un effet comparable sur le rendement variétal ; cependant chez TAFA l'apport en azote par le sol devient plus important en SCV qu'en labour, sans ou avec très peu d'apport externe (cf SPAD);
- la « moyenne » altitude autour de 1500m convient bien à sa culture, mais grâce à sa rusticité et à sa souplesse F161 s'adapte bien aussi dans les « basses » (<900m) et les « hautes » altitudes (>1800m).

☞ Pour la variété F167 :

- la « moyenne » altitude autour de 1500m convient bien à sa croissance, à son

développement et à son élaboration du rendement ; mais à cause de son cycle un peu tardif, il privilégie les « basses » altitudes (<900m) ayant un climat chaud durant le cycle.

❖ Pour la variété E411 :

- la « moyenne » altitude autour de 1500m convient bien à sa croissance, à son développement et à son élaboration du rendement ; cependant, il tolère les « hautes » altitudes (>1800m) grâce à sa précocité.

❖ Points communs des trois variétés :

- leur cycle cultural se raccourcit si le milieu de culture est chaud et pluvieux, mais cela n'entraîne pas toujours un meilleur rendement ;

- dans un milieu froid, le développement et la croissance se ralentissent, le cycle s'allonge et la stérilité des grains s'amplifie, surtout si la variété possède un cycle tardif ;

- l'effet des densités de semis s'observe seulement sur l'une des composantes du rendement, mais leurs rendements sont comparables, la forte densité augmente le nombre de grains/m² tandis que la faible densité élève le nombre de grains/panicule.

- les modèles d'élaboration du rendement permettent de trouver les facteurs limitants du potentiel variétal.

La suite de cette recherche pourra s'orienter vers l'étude des autres paramètres environnementaux et agronomiques, des paramètres socio – économiques limitant le développement du riz pluvial sur tanety.

Enfin, les recherches menés au sein de l'URP / SCRiD sur les Hautes Terres, le Lac Alaotra et le Moyen Ouest donne de l'espoir sur l'avenir du riz malagasy. Mais il faut valoriser mieux les résultats déjà acquis en travaillant avec tous les acteurs de la filière riz à savoir, Etat, chercheurs, vulgarisateurs, producteurs, consommateurs pour que chacun apporte sa contribution à l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire. D'où non seulement l'économie de subsistance n'existera plus, mais le pays exportera aussi le riz de luxe qui a fait sa renommée.

BIBLIOGRAPHIE

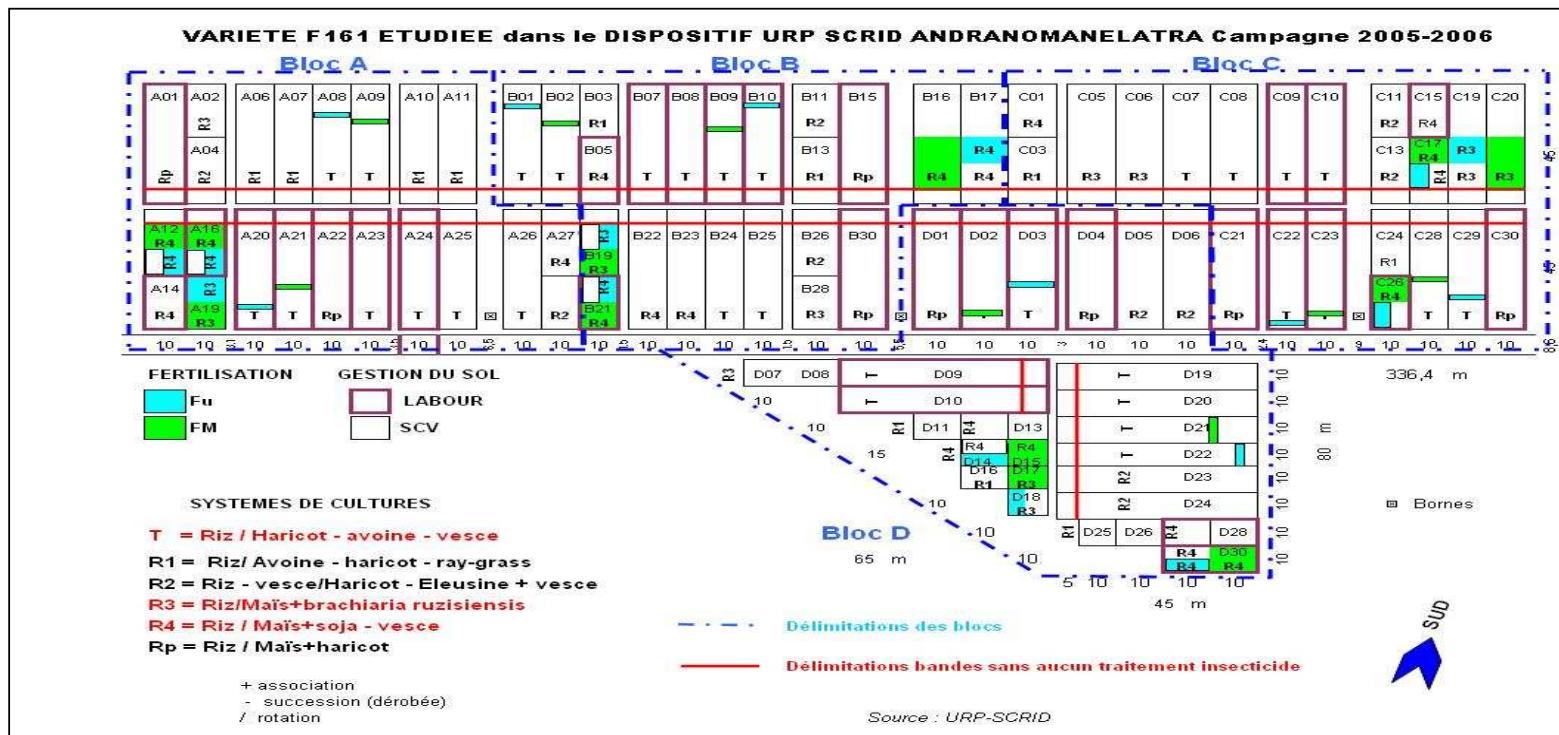
- 01- AMARY Addy, Septembre 1996, Principe et organisation de la production de semences, Application au Projet Riz d'Altitude, FO.FI.FA C.I.R.A.D Antsirabe, 36pages.
- 02- ANDRIANASOLO Hanta, 2004, Cours de cultures vivrières, Cours de fertilisation et Cours d'expérimentation, ESSA, Département Agriculture, Université d'Antananarivo.
- 03- ANDRIANASOLO Harison, 23 Mars 2005, Analyse de quelques déterminants de la formation des prix du riz pluvial dans les régions de l'Imerina centrale et du Moyen-Ouest de Madagascar, mémoire de fin d'étude pour l'obtention du D.E.A en Agro management, E.S.S.A, 50 p + annexes.
- 04- ANGLADETTE A., 1966 - Le riz, Maisonneuve et Larose, Paris.
- 05- ARRAUDEAU M. A. et VERGARA B.S., 1985, Manuel illustré de riz pluvial, INRA, 120 p.
- 06- ARRAUDEAU M.A and VERGARA B.S., 1988, A farmer's primer on growing upland rice, I.R.R.I, 284p
- 07- ARREOLA TOSTADO J.M, 27 Septembre 1996, Etude et modélisation de l'effet des paillis sur le bilan hydrique. Le cas de semis direct sous paillis au Mexique, mémoire de fin d'étude pour l'obtention du D.E.A en Sciences de l'eau dans l'environnement continental, U.S.T.L, 83 p + annexes.
- 08- Atlas CIRAGRI, 1996 , Base de données SRAT Vakinankaratra, 2000. Antsirabe Madagascar.
- 09- CHABANNE et ROLLIN, 1990, L'environnement et le riziculture d'Altitude à Madagascar, p 29 – 44, in Contraintes liées à la riziculture d'Altitude et amélioration variétale, U.C.L, Louvain –la –Neuve, 1990, 213p.
- 10- CHAUVIGNE. V, Octobre 2005, Enjeux et perspectives du développement de la riziculture pluviale à Madagascar, DESS pratiques sociales du développement, 115p
- 11- DOBELMAN J.P, 1976, Riziculture Pratique. Tome 2 : Le riz pluvial, Presses universitaires de France, Paris, 125p.
- 12- DOUNIAS, 2001, Systèmes de culture à base de couverture végétale et semis direct en zones tropicales. CIRAD/CA – CNEARC, 139p. + annexes.
- 13- FAO, 2002, Agriculture de conservation, Article Madagascar, CD ,4p.

- 14- GUYOU Cecile., 2003, Analyse de la filière riz pluvial dans la région des hauts plateaux de Madagascar, DESS Développement Agricole, 40 p.
- 15- JACQUOT M. et COURTOIS B., 1983, Le riz pluvial, Maisonneuve & Larose et A.C.C.T, Paris, 134p.
- 16- JOURNEAU Pauline et all, 1999, Dictionnaire d'agriculture, Conseil International de la langue française.
- 17- KWANCHAI A.G, traduit par RANDRIANASOLO et RAKOTONJANAHARY R.X., 1972, Technique pour des expérimentations au champ sur le riz, I.R.R.I, 56p.
- 18- LATIRI-SOUKI, K., C. AUBRY, T. DORÉ, and M. SEBILLOTTE. 1992. Elaboration du rendement du blé dur en conditions semi-arides en Tunisie : relations entre composantes du rendement sous différents régimes de nutrition azotée et hydrique. Revue Agronomie N°12, p : 31-43.
- 19- MAEP, 2003, Monographie de la région du Vakinankaratra, 104p + annexes
- 20- MEYNARD J-M., RIBEYRE C., BOUDON O., and E. LAURENT. 1988. Pour mieux connaître les variétés de blé : analyser l'élaboration de leur rendement. Perspectives agricoles 131, p : 17-24.
- 21- MOREAU Didier, Janvier 1987, L'analyse de l'élaboration du rendement du riz : Les outils de diagnostic, G.R.E.T, 125p.
- 22-PRIMOT Sophie, 2000, Etude de la décomposition du rendement de deux cultivars de riz en Camargue (Thaibonnet et Ariete) : Constitution d'un référentiel et diagnostic agronomique, mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur agronome, spécialisation agronomie - environnement, I.N.A P-G, 56p + annexes.
- 23- RABEZANDRINA René, 2000, Manuel de Pédologie Malagasy, Département Agriculture, ESSA, Antananarivo, 93 p.
- 24- RABEZANDRINA René, 2002, Manuel d'Agriculture Générale Malagasy, Département Agriculture, ESSA, Antananarivo, 119 p.
- 25- RADANIELSON A. M., 2004, Etude de la valorisation et de la rentabilité de la fertilisation azotée du riz pluvial dans différents types de rotations culturales pratiquées dans la région du Vakinankaratra. Mémoire de fin d'étude, ESSA, Département Agriculture, 102 p + annexes
- 26- RAFIKAT Ahmada, 2005, Effet de système "semis direct avec couverture permanente du sol" sur la pyriculariose du riz pluvial, mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de licence es sciences, Université de Majunga, 44p + annexes.

- 27- RAKOTOSON Laingotiana, 2003, Essai agronomique 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 pour l'obtention du diplôme d'Ingénierat en agronomie, option Agriculture, E.S.S.A, 73 pages + Annexes.
- 28- RAMAHANDRY Fidiniaina, 2003, Influence des conditions pédoclimatiques et de l'itinéraire cultural sur la phase végétative et l'élaboration du rendement de variétés de riz pluvial d'altitude: Recherche d'adaptation spécifique, mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénierat en agronomie, option agriculture, E.S.S.A, 100p + annexes
- 29- RAMANANDRAIVONONA Jeannick Aimé, 2005, Elaboration du rendement du riz pluvial. Relations entre composantes du rendement sous différents systèmes de culture et niveaux de fertilisation azotée, mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénierat en agronomie, option agriculture, E.S.S.A, 93p + annexes.
- 30- RASOLOFO F., RAUNET M.- Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de cultures. Acte de l'atelier international, Antsirabe, Madagascar, 23 – 28 mars 1998. ANAE, CIRAD, FAFIALA, FOFIFA, ONG TAFA. Montpellier, France, CIRAD, Collection Colloques, 658 p.
- 31- RAUNET et al, 1999, SCV Techniques au concept, CD, 9p.
- 32- RAVEROMIHAJA H., 1992, Atlas CIRVA Antsirabe, Ministère de l'Agriculture. Madagascar.
- 33- REPUBLIQUE FRANCAISE, Ministère de la coopération, 1993, Mémento de l'agronome, 4^{ème} édition, p 687 - 716.
- 34- ROLLIN D., 1994 , Des rizières aux paysages : Eléments pour une gestion de la fertilité dans les exploitations agricoles du Vakinankaratra et du Nord Betsileo (Madagascar). Thèse de nouveau régime de géographie, Université de Paris X Nanterre, département de Géographie, 323 p.
- 35- SEGUY, 2001, Semis direct et couverture végétale : comment cultiver durablement les sols de la planète, Article Madrid, CD, 7p.
- 36- SEGUY et al, 1998, Semis direct du riz pluvial de haute technologie : Principes de base – systèmes de culture, CD.
- 37- UPDR – FAO, 2001, Diagnostic et perspectives de développement de la filière riz à Madagascar, 91 p.

ANNEXES

Annexe N°1: Plan du dispositif test de système de culture sur la matrice SCRiD



N.B : à rectifier par :

T [Haricot+ (Avoine) + (Vesce)] _ [Riz]

R3 [Maïs+(Brachiaria ruziensis)]_ [Riz]

R4 [Maïs + Soja + (Vesce)] _ [Riz]

Où : + Association et culture dérobée

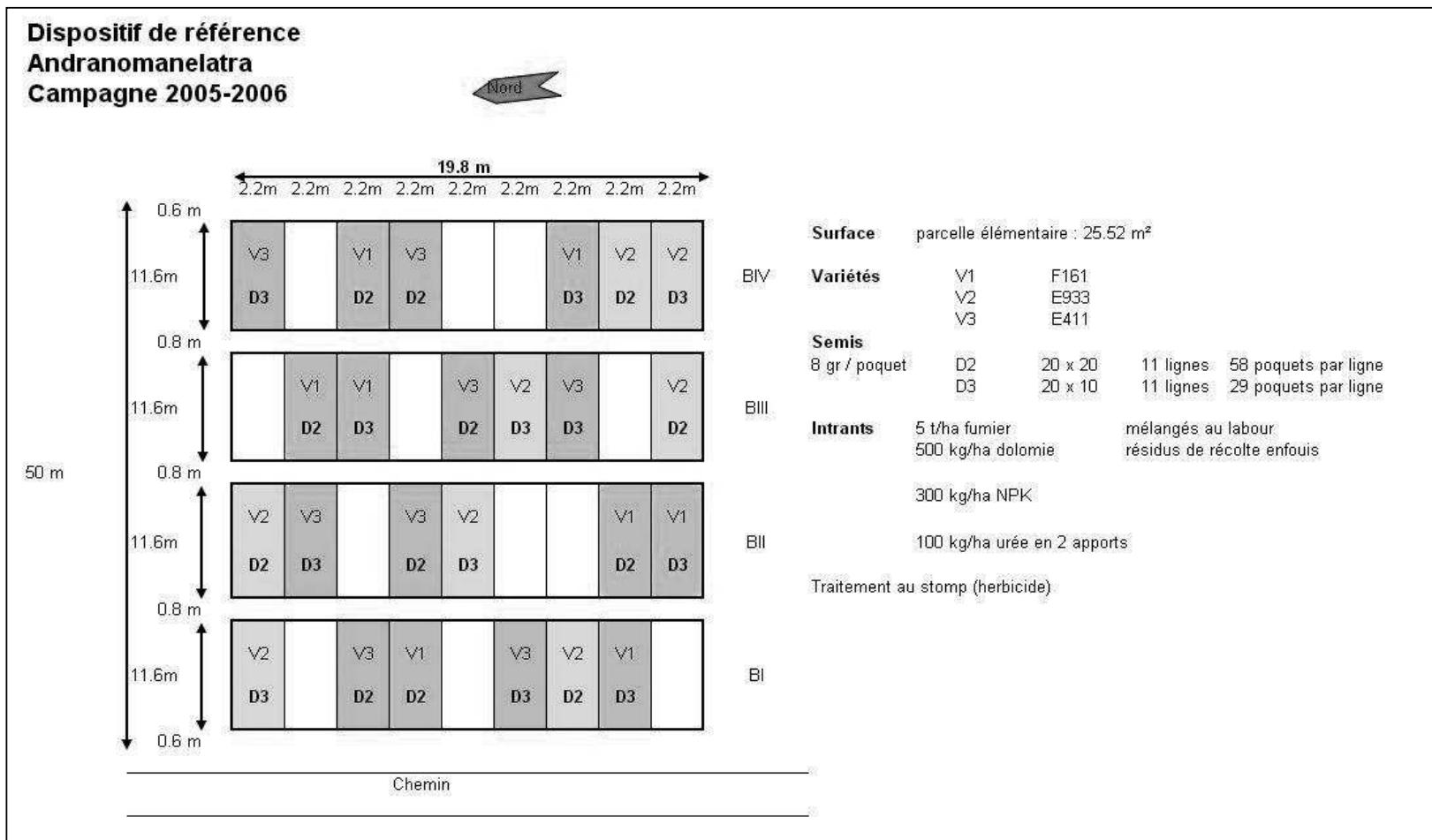
_ Rotation culturelle

[] culture de même année

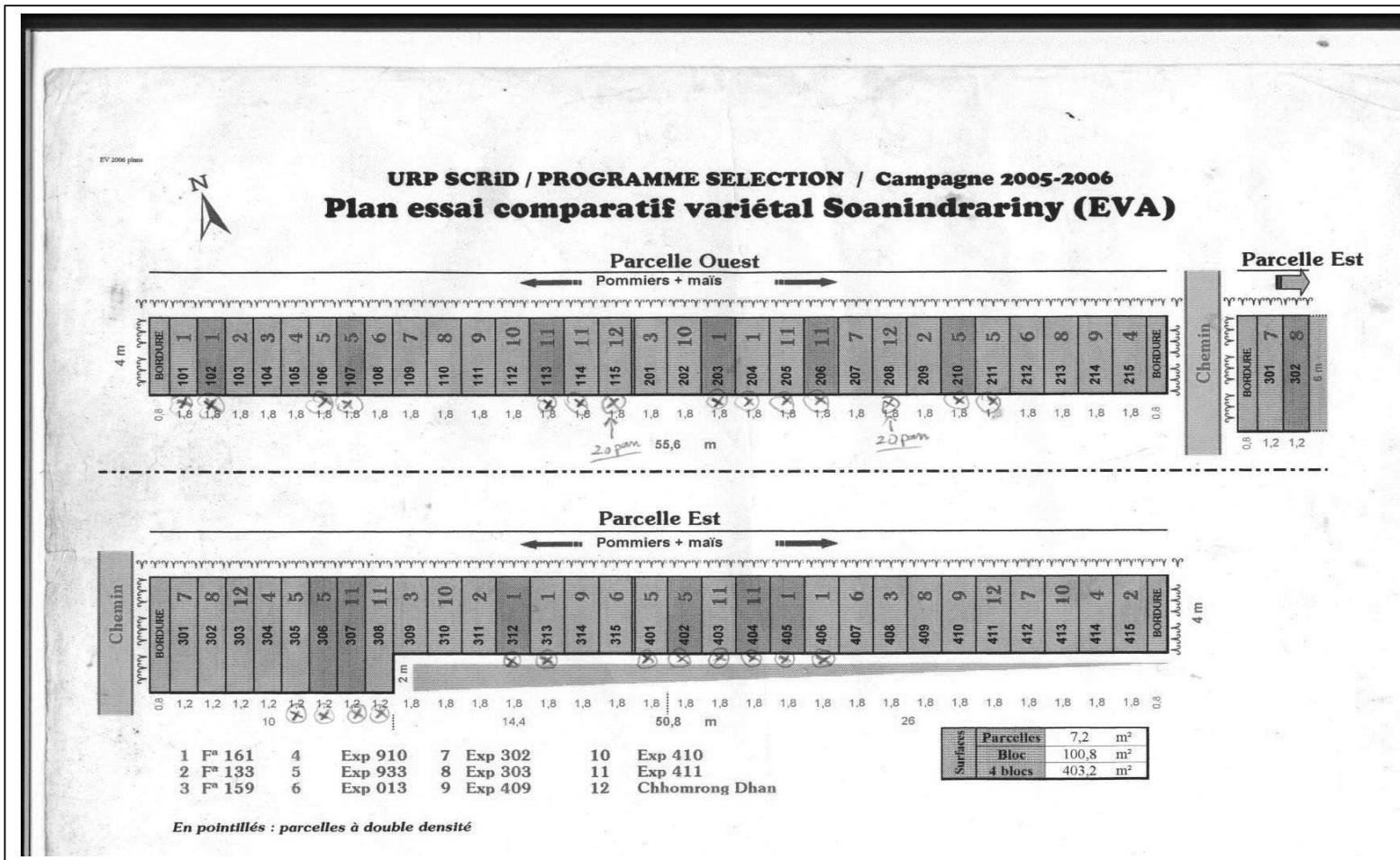
() Pas de récolte en grain

A

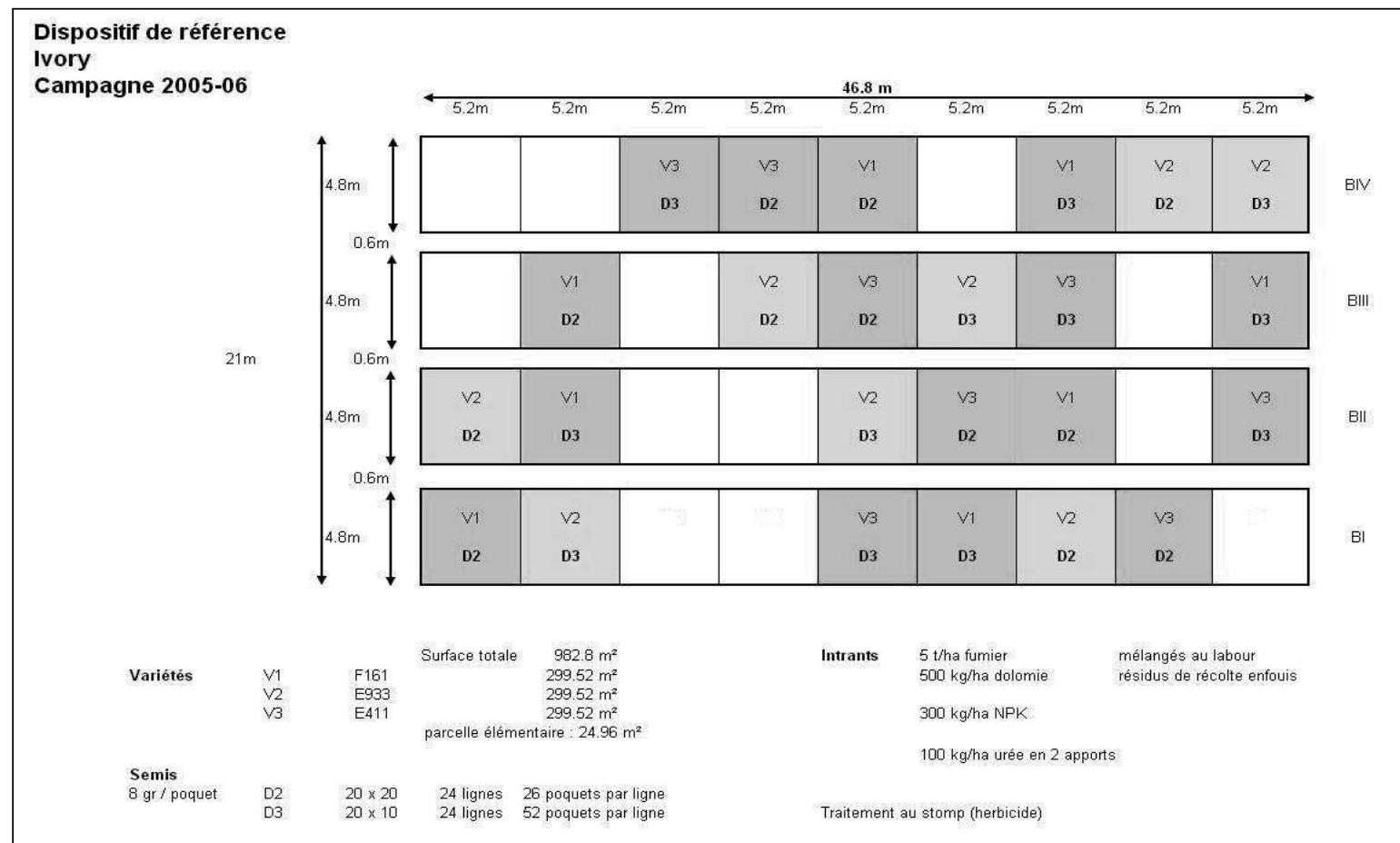
Annexe N°2 : Plan du dispositif de référence à Andranomanelatra



Annexe N°3 : Plan du dispositif de référence à Soanindrariny



Annexe N°4 : Plan du dispositif de référence à Ivory



D

Annexe N°5 : Itinéraires techniques sur la matrice SCRiD campagne 2005 – 2006 systèmes Témoin, R4 et R3

Systèmes en SCV

- pas de retournement de terre
- application d'herbicide de nettoyage avec une dose de 3l/ha de Glyphader + 1.5 à 2l de 2.4D à un mois avant le semis
- après semis et en sol humide, repassage d'herbicide de nettoyage:
 - sur T et R4 : Stomp 3l/ha + Gramoxone 1.5 l/ha
 - sur R3 : Glyphader 3l/ha en traitement localisé en tuant les restes de Brachiaria et le lendemain Stomp 3l/ha
- enlèvement manuel des mauvaises herbes sur SCV si nécessaire au cours du cycle.

Système en labour

- labour à l'angady et à une profondeur d'environ 25cm,
- suivi d'un émottage, nettoyage, nivellation, affinage juste avant le semis.
- désherbage manuel à l'angady sur labour.

Pour les deux systèmes SCV et Labour

- traitement des semences avec du GauchoT45WS à raison de 2,5g /kg de semence
- traitement du sol en localisé avec du Carbofuran 10G, dose : 6 kg/ha épandage localisé au moment du semis
- modalité de semis : semis en poquet avec un écartement de 20 cm fois 20 cm, 6 à 8 graines par poquet ce qui donne une dose de 80kg par ha de semence
- fertilisation :
 - ❖ pour le système paysan FU : 5 t/ha de fumier
 - ❖ pour le FM : 5t/ha de fumier + 300 kg/ ha de dolomie + 500 kg/ha de dolomie
 - + apport d'urée : 1^e apport : 50 kg/ha au stade mi-tallage
 - 2^e apport : 50 kg/ha au stade fin tallage
- récolte : manuelle avec de la fauille puis battage avec une batteuse.

Annexe N°6 : Le rabcide

C'est le nom commercial du fongicide utilisé sur le dispositif de référence à Andranomanelatra pour lutter contre la pyriculariose.



Source : Auteur

▪ **CHEMICAL PRODUCT NAME:**

Rabcide wettable powder (30% or 50%) or Rabcide 30% WP / Rabcide 50% WP

- **COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS:**

COMPOSITION/ INFORMATION ON INGREDIENTS:	
○ Substance / Mixture	: A fungicidal chemical formulation
○ Chemical Name	: 4,5,6,7-tetrachlorophthalide
○ Synonym	: fthalide
○ CAS Registry Number	: 27355-22-2 (Active ingredient)
○ Ingredients and Composition	: Rabicide 30% or 50%
○ Chemical Formula	: $C_8H_8Cl_4O_2$

Source : RAMANANDRAIVONONA J.A, 2005

Annexe N°7 : Rendements obtenus en 2004 et en 2005

o *Résultats obtenus en 2004 sur les matrices SCRiD et TAFA*

Pas de répétition des traitements, variétés F154

Sites et systèmes	Nombre plantes/m ²	Nombre panicules/ plantes	Nombres grains/ panicules	Nombre grains/ m ²	% grains pleins	PMG	Rendement placette (t/ha)
<i>SCRiD SCV F0</i>	137,5	1,7	56,2	13 336	72,9	20,5	1,3
SCRiD SCV Fu	70,8	3,5	64,1	15 746	62,8	25,3	1,7
SCRiD SCV FM	100,0	3,7	63,9	23 430	48,6	23,0	2,0
<i>TAFA SCV F0</i>	72,2	2,6	78,8	15 375	60,9	27,0	2,2
TAFA SCV F1	68,1	3,1	66,6	13 960	59,4	26,6	2,0
TAFA SCV F2	84,7	3,3	90,2	24 789	53,4	25,6	2,7
TAFA SCV F3	95,8	3,5	78,5	26 250	51,5	26,4	3,0
<i>TAFA LAB F0</i>	115,3	1,2	35,9	4 957	66,7	25,3	0,8
TAFA LAB F1	115,3	1,3	23,1	3 265	60,1	23,3	0,6
TAFA LAB F2	101,4	2,6	66,6	17 448	61,4	21,9	1,8
TAFA LAB F3	97,2	2,3	74,5	16 818	60,4	22,6	2,0

Source : RADANIELSON A. M., 2004

o *Résultat obtenu en 2005 sur la matrice SCRiD, variété F161*

Système Fumure	Nombre plants / m ²	Nombre panicules / plant	Nombre grains / panicule	Nombre grains / m ²	% Grains pleins	PMG	Rendement placette
R3 SCV	183,7 a	1,49 b	70,4 c	19 120 c	91,1 a	26,7 ab	3,44 b
R4 SCV	188,2 a	1,53 b	77,7 bc	22 409 bc	88,6 b	26,3 ab	3,94 ab
R4 Labour	194,6 a	1,41 b	76,9 bc	21 354 bc	88,5 b	26,1 b	4,44 a
T Labour	155,7 b	2,05 a	86,4 ab	27 809 a	90,6 ab	27,6 ab	4,38 a
T SCV	127,6 c	2,12 a	91,7 a	24 814 ab	91,8 a	28,5 a	3,98 ab
Fu	164,9 a	1,58 b	75,7 b	19 273 b	91,1 a	27,7 a	3,61 b
FM	175,1 a	1,86 a	85,6 a	26 929 a	89,2 b	26,4 a	4,46 a

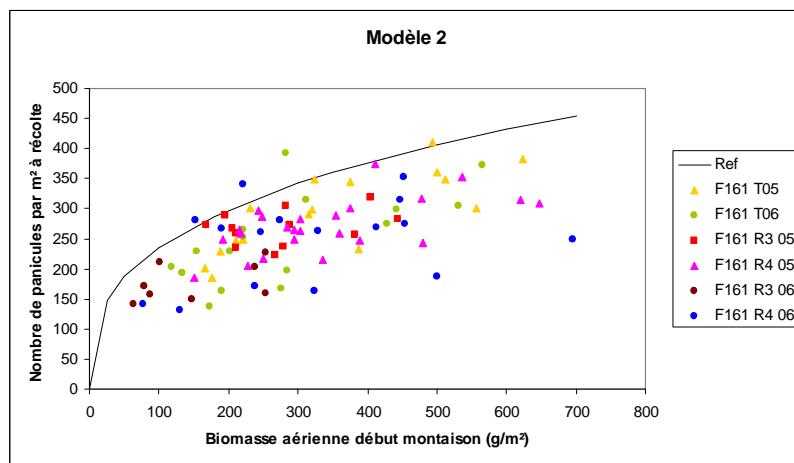
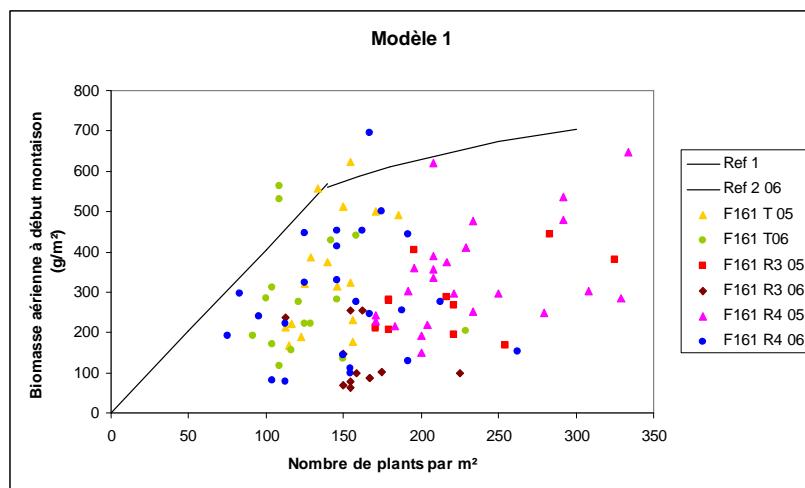
Source : RAMANANDRAIVONONA J.A, 2005

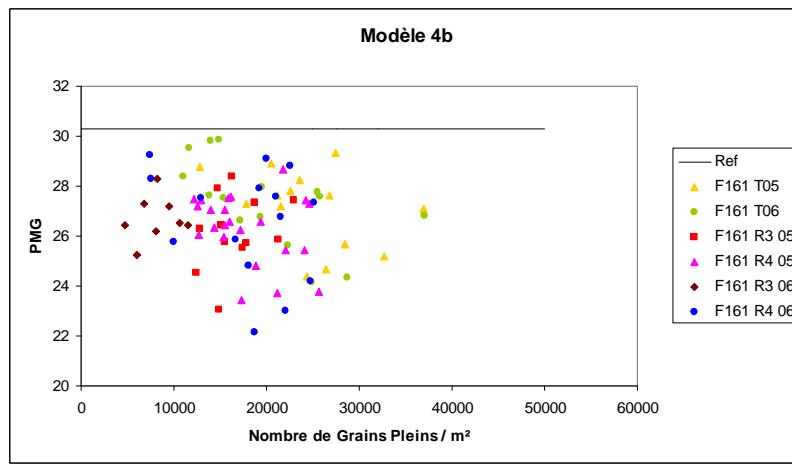
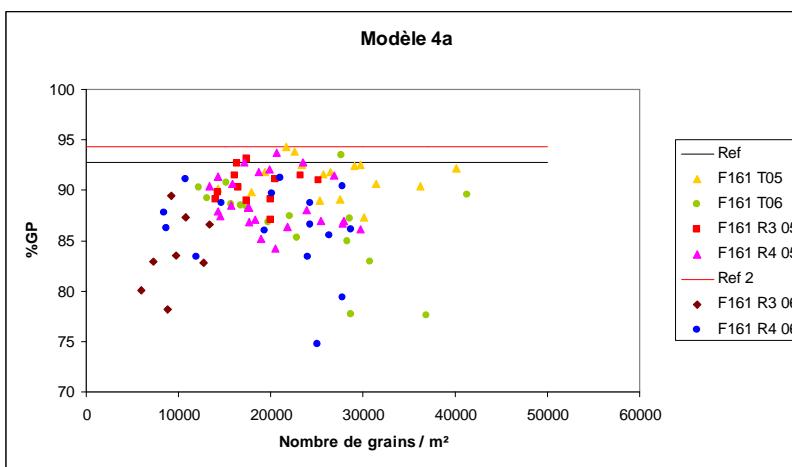
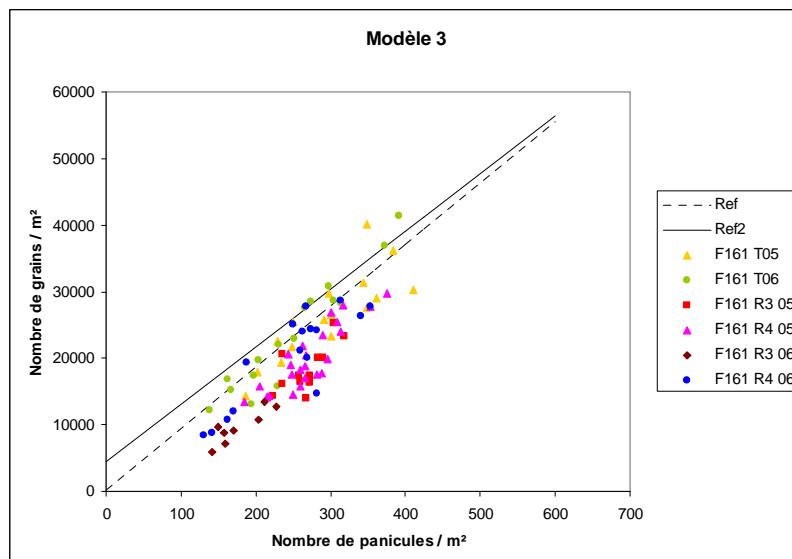
○ Résultat obtenu en 2005 sur la matrice TAFA, variété F161

Gestion sol	Fumure	Nombre plants/m ²	Nombre panicules /plant	Nombre grains/panicule	Nombre grains/m ²	% Grains Pleins	PMG	Rdt placette
SCV	F0	133,3	0,78	59,5	6 170	76,14	24,62	0,65
SCV	F1	150,0	0,79	59,8	7 071	91,08	29,54	1,13
SCV	F2	149,1	0,83	80,4	9 989	74,55	25,23	1,20
SCV	F3	148,1	0,93	62,5	8 567	84,79	26,84	1,23
Lab	F0	133,3	1,00	33,8	4 487	90,41	27,16	1,06
Lab	F1	119,4	1,35	48,9	7 875	92,11	27,53	1,86
Lab	F2	136,1	1,89	90,9	23 369	84,33	26,56	4,61
Lab	F3	106,5	1,95	86,6	17 961	84,43	26,67	4,12

Source : RAMANANDRAIVONONA J.A, 2005

Annexe N°8 : Modèles d'élaboration du rendement des systèmes de culture





RESUME

Sur les Hautes Terres malagasy où la population s'agglomère, en particulier dans la région du Vakinankaratra, la riziculture pluviale sur *tanety* devient une alternative inévitable pour que la production du riz suive la croissance démographique. Mais il faut trouver d'une part des systèmes de culture adéquats qui à la fois préparent l'environnement et augmentent la fertilité des sols de *tanety*, et d'autre part des variétés bien adaptées aux différentes altitudes et résistantes aux différentes maladies et ennemis.

Ainsi, effectuée sur les sites d'expérimentation de l'URP SCRiD, cette étude intitulé « **Etude des interactions génotype et environnement. Analyse de la croissance, du développement et de l'élaboration du rendement de variétés de riz pluvial d'altitude en fonction du système de culture et de l'altitude** », fait ressortir plusieurs points essentiels concernant la réponse des nouvelles variétés vis – à – vis des environnements de culture.

La variété **FOFIFA161** est le plus souple. Les systèmes de culture en labour en rotation culturale Légumineuses_Riz optimisent son potentiel variétal dès la croissance en passant au développement et jusqu'à l'élaboration du rendement. Elle tolère les niveaux de fertilisation et les différentes altitudes. Pour la variété **FOFIFA167** la moyenne altitude autour de 1500m (Andranomanelatra) convient bien à sa croissance, à son développement et à son élaboration du rendement; mais à cause de son cycle un peu tardif, elle préfère les basses altitudes (Ivory <900m) ayant un climat chaud durant le cycle. Cependant, la variété **EXPERIMENTAL411** tolère les hautes altitudes (Soanindrarainy >1800m) grâce à sa précocité si bien que la moyenne altitude autour de 1500m permet aussi d'exprimer son potentiel génotype.

Points communs des trois variétés :

- leur cycle cultural se raccourt si le milieu de culture est chaud et pluvieux, mais cela n'entraîne pas toujours un meilleur rendement ;
- dans un milieu froid, le développement et la croissance se ralentissent, le cycle s'allonge et la stérilité des grains s'ampifie, surtout si la variété possède un cycle tardif ;
- les densités de semis influencent soit la vigueur des plantes, soit le nombre de grains par m² et soit le nombre de grains par panicule, mais leurs rendements sont comparables.
- les modèles d'élaboration du rendement permettent de trouver les facteurs limitants du potentiel variétal.

ABSTRACT

On the Highlands malagasy where the population agglomerates, in particular in the area of Vakinankaratra, rainfed rice-field on *tanety* becomes an inevitable alternative so that the production of rice will follow the demographic growth. But it is necessary to find on the one hand the farming systems adequate which at the same time preserve the environment and increase the fertility of the grounds of *tanety*, and on the other hand the varieties adapted well to various altitudes and resistant to the various diseases and enemies.

Thus, carried out on the sites of experimentation of the URP SCRiD, this study entitled "**Study of the interactions genotype and environment. Analyze the growth, the development and the yield elaboration of rainfed upland rice varieties according to the farming system and the altitude**", emphasize several essential points concerning the reply of the new varieties with respect to the environments of culture.

The **FOFIFA161 variety** is most flexible. The farming systems in ploughing in farming rotation Leguminous_Rice optimize its potential varietal as of the growth while passing to the development and until the yield elaboration. It tolerates the levels of fertilization and the various altitudes. For the **FOFIFA167 variety** the average altitude around 1500m is appropriate well for the growth, the development and the yield elaboration; but because of its a little late cycle, it prefers the low altitudes (Ivory < 900m) having a hot climate lasting the cycle. However, **EXPERIMENTAL411 variety** tolerates high altitudes (Soanindrarainy > 1800m) thanks to its precocity so that the average altitude around 1500m also allows expressing its potential genotype.

Common Points of the three varieties:

- their farming cycle is shortened if the environment of culture is hot and rainy, but that always does not involve a better yield;
- in a cold environment, the development and the growth slow down, the cycle lengthens and the sterility of the grains expands, especially if the variety has a late cycle;
- the densities of sowing influence either the vigour of the plants, or the number of grains by m² and or the number of grains per panicle, but their yields are comparable;
- the models of yield elaboration make it possible to find the factors limiting of the potential varietal.

Mots clés : Vakinankaratra, riz pluvial sur *tanety*, essai variétal multi local, système de culture, altitude, densité, nutrition azotée, composantes du rendement, modèles de référence.

Key words: Vakinankaratra, rainfed rice on *tanety*, varietal test multi local, farming system, altitude, density, nitrogenized nutrition, yield components, models of reference.