



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DU SECOND CYCLE EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME D'INGENIORAT**

Option : AGRICULTURE ET ELEVAGE



Par **RAKOTONANDRASANA Oninarindra Mbolahasina**

Devant le jury composé de :

Président : **Pr Julien Amédée RABOANARY**

Encadreurs pédagogiques : **Dr Harisoa RAZAKAMANANA**

Dr Second Modeste VELOMBOLA

Maître de stage : **Dr Mathilde SESTER**

Année universitaire : **2010-2011**

REMERCIEMENTS

Au début de ce présent mémoire, nous rendons hommage à Dieu car Lui seul est source de toute réalité concrète ou abstraite.

Au terme de ce stage de fin d'études, nous ne pouvons présenter les résultats obtenus sans exprimer notre profonde gratitude et nos sentiments de vives reconnaissances à tous ceux qui ont apporté une contribution à l'élaboration de ce présent mémoire. Qu'il nous soit permis de remercier particulièrement:

- ❖ Professeur Julien Amédée RABOANARY, Recteur de L'ISPM, qui est le fondateur de l'institut de nous avoir donné la chance d'y étudier ;
- ❖ Monsieur Eric SCOPEL, responsable de l'URP SCRiD à Madagascar, qui a bien voulu que l'URP SCRiD serve de cadre pour ce stage ;
- ❖ Nos maitres de stage, Mme Mathilde SESTER, Mr Louis-Marie RABOIN et Mr Harinjaka RAVELOSON, ainsi que Madame Julie DUSSERE qui sont des chercheurs à l'URP SCRiD de nous avoir donné tout l'encadrement nécessaire pour la réalisation de ce travail ;
- ❖ Dr Alain RAMANANTSOANIRINA, coordonateur du Projet GIPyri et le Projet FSP-PARRUR pour avoir soutenu financièrement notre stage ;
- ❖ Nos encadreurs pédagogiques, Mme Harisoa RAZAKAMANANA et Mr Second VELOMBOLA, enseignants de l'option Agriculture et Elevage, pour les petites conseils ici et là, d'avoir partagé leur connaissance et leur passion pour l'agriculture malagasy ;
- ❖ Tout le corps administratif et enseignant de l'ISPM de nous avoir donné l'éducation dont on avait besoin ;
- ❖ Toute l'équipe de chercheurs, techniciens (en particulier Sambatra, Aina, Nathalie), stagiaires de l'URP SCRiD (Tahiry, Lalaina, Laingo) et les dames compteuses (Harisoa, lanto, monique, Velo, Lisy, Ravo) pour leur collaboration tout au long du stage ;
- ❖ Toutes les personnes qui nous ont prêté main forte moralement et matériellement à l'élaboration de ce mémoire.
- ❖ Un grand merci particulièrement à Mr Daphiné pour nous avoir présenté ce stage.
- ❖ Que tous mes proches, ma famille et mes amis, trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

« Que tout ce que vous faites se fasse avec charité ! »

I Corinthiens 16 : 14

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES PHOTOS	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES ABREVIATIONS	viii
LISTE DES ANNEXES	x
GLOSSAIRE.....	xi
INTRODUCTION.....	1
Partie I : CONTEXTE DE L'ETUDE.....	3
1. Le riz.....	3
1.1. Origine et description botanique.....	3
1.2. Cycle du riz.....	3
2. La culture du riz à Madagascar.....	5
2.1. Situation de la riziculture à Madagascar.....	5
2.2. Les différents types de riziculture.....	6
2.3. Les problèmes phytosanitaires du riz à Madagascar	8
3. La pyriculariose du riz.....	9
3.1. Généralités	9
3.2. Agent pathogène	9
3.3. Cycle infectieux	10
3.4. Conditions de développement de la maladie	12
3.5. Symptômes et dégâts	13
3.6. Moyens de lutte.....	14
4. Les mélanges variétaux	15
4.1. Généralités	15
4.2. Mécanismes d'action des mélanges variétaux	16
4.3. Intérêts de l'utilisation des mélanges variétaux	17
4.4. Les mélanges variétaux dans la pratique	17
4.5. Cas des mélanges variétaux pour la lutte contre la pyriculariose du riz pluvial à Madagascar.....	18
5. Problématique de l'étude.....	19

5.1. Définition des objectifs.....	19
5.2. Cadrage de l'étude.....	19
Partie II : MATERIEL ET METHODES	23
1. Dispositif expérimental en milieu contrôlé	23
1.1. Matériel végétal	23
1.2. Présentation de la zone d'étude	23
1.3. Mise en place du dispositif	24
1.4. Les traitements comparés.....	25
2. Mesures et suivis expérimentaux effectués sur les parcelles.....	27
2.1. Suivi de la compétition entre les plants	27
2.2. Suivis de la pyriculariose.....	28
3. Evaluation du rendement et de ses composantes à la récolte	31
Partie III : RESULTATS ET ANALYSES	33
1. Effet du mélange variétal sur la pyriculariose	33
1.1. Effet sur la pyriculariose foliaire	33
1.2. Effet sur la pyriculariose paniculaire	35
2. Effet de la compétition sur la croissance des plantes	37
2.1. Evolution du nombre de talles	37
2.2. Suivis dynamiques de la hauteur des plants.....	38
3. Les composantes du rendement et le rendement	39
3.1. Les composantes du rendement	39
3.2. Le rendement	43
Partie IV : DISPOSITIF EN MILIEU PAYSAN.....	46
1. Contexte.....	46
2. Le dispositif expérimental	46
2.1. Milieu d'étude.....	46
2.2. Matériel végétal	46
2.3. Traitements	46
3. Mesures et suivis expérimentaux effectués sur les parcelles.....	47

3.1. Suivi de la pyriculariose	47
3.2. Evaluation du rendement	47
4. Résultats, analyses et discussion :	48
4.1. Effet du mélange variétal sur la pyriculariose	49
4.2. Effet du mélange variétal sur le rendement	50
4.3. Relation entre rendement et niveau de pyriculariose paniculaire	50
PARTIE V : DISCUSSIONS	52
PARTIE VI : PROGRAMMATION INFORMATIQUE	54
1. Capture d'écran et programmation de la fenêtre principale	54
2. Capture d'écran et programmation de l'affichage des résultats	54
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	57
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Le tallage.	5
Figure 2: Phase de croissance d'un plant de riz pluvial.....	5
Figure 3: Cycle biologique de la pyriculariose du riz.	11
Figure 4: Principe du mélange variétal.	16
Figure 5: Organigramme de l'ISPM.	21
Figure 6: Evolution de la température et de la pluviométrie à Andranomanelatra pendant la campagne culturale 2011-2012.	24
Figure 7: Plan du dispositif mélange variétal.....	26
Figure 8: Disposition d'une parcelle mélange 1:5.	27
Figure 9: Disposition des 5 poquets choisis pour les suivis.....	28
Figure 10: Méthode d'échantillonnage des plants à observer dans une parcelle.	30
Figure 11: Placement des échantillons de récolte.	31
Figure 12: Evolution de la sévérité de la pyriculariose foliaire pour la variété F152 cultivée en culture pure ou en mélange.....	33
Figure 13: Evolution de la sévérité de la pyriculariose foliaire pour la variété F154 cultivée en culture pure ou en mélange.....	33
Figure 14: Evolution de la sévérité de la pyriculariose paniculaire sur F 152 pure ou en mélange.	35
Figure 15: Evolution de la sévérité de la pyriculariose paniculaire sur F154 pure ou en mélange.	36
Figure 16: Evolution du nombre de talles suivant les variétés et les traitements.	38
Figure 17: Evolution des hauteurs suivant les variétés et les traitements	39
Figure 18: Rendements sur les parcelles.	43
Figure 19: Corrélation de la pyriculariose paniculaire sur le rendement de la parcelle.....	45
Figure 20: Schéma standard du dispositif simple en milieu paysan.	47
Figure 21: Evolution de la sévérité de la pyriculariose sur les dispositifs paysans.	49
Figure 22: Rendements des dispositifs paysans.	50
Figure 23: Relation entre rendement et niveau de pyriculariose paniculaire.....	51
Figure 24 : Fenêtre principale du logiciel.	54
Figure 25 : Fenêtre affichant les informations sur la variété F152	55

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Spores de <i>Magnaporthe oryzae</i> . -----	11
Photo 2: Symptômes de la pyriculariose.-----	14
Photo 3: Comptage du nombre de talles et mesure de la hauteur d'une touffe de riz. -----	28
Photo 4: Notation sur une parcelle.-----	30
Photo 5: Arrachage des poquets nécessaires pour l'évaluation des composantes du rendement. -----	32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Action de certains éléments minéraux sur la plante et sur l'agent pathogène de la pyriculariose du riz. -----	12
Tableau 2: Quelques caractéristiques des 4 variétés de riz pluvial utilisées dans l'étude. ----	23
Tableau 3: Analyse statistique de l'effet des différentes modalités de mélange sur la sévérité de la pyriculariose foliaire sur les variétés sensibles (F152 et F154).-----	34
Tableau 4: Analyse de l'effet variétale sur la sévérité de la pyriculariose foliaire. -----	35
Tableau 5 : Analyse statistique de l'effet des différentes modalités de mélange sur la sévérité de la pyriculariose paniculaire sur les variétés sensibles (F152 et F154).-----	36
Tableau 6: Comparaison de la sévérité de la pyriculariose paniculaire entre les différentes variétés en culture pure. -----	37
Tableau 7: Résultats de l'effet traitement sur les composantes du rendement de F152. -----	40
Tableau 8: Résultats de l'effet traitement sur les composantes du rendement de F154. -----	40
Tableau 9: Analyse statistique de l'effet de la compétition sur les composantes de rendement de F172.-----	41
Tableau 10: Analyse statistique de l'effet de la compétition sur les composantes de rendement de Chhomrong Dhan. -----	41
Tableau 11: Comparaison entre F154/F172 et F154/F172 sens du vent. -----	42
Tableau 12: Récapitulatif des différences significatives des moyennes du rendement. -----	43
Tableau 13: Récapitulatif des différences significatives des moyennes de rendement de F172. -----	44
Tableau 14: Récapitulatif des différences significatives des moyennes de rendement de Chhomrong Dhan. -----	44
Tableau 15: Résultats de l'effet du sens du vent sur le rendement. L'effet est significatif là où les cases sont colorées.-----	45
Tableau 17 : Synthèse des résultats sur les dispositifs en milieu paysan. -----	48

LISTE DES ABREVIATIONS

% GP : Pourcentage de grains pleins

% : pourcentage

> : Supérieur à

°C : degré Celsius

ADRAO : Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest

BVPI : Bassin Versant et Périmètres Irrigués

ChhD : variété Chhomrong Dhan

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CIAT : Centre Internacional de Agricultura Tropical

F152: variété Fofifa 152

F154: variété Fofifa 154

F161: variété Fofifa 161

F172: variété Fofifa 172

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations)

FIFAMANOR: Fiompiana Fambolena Malagasy Norveziana

FOFIFA: FOibem-pirenena momba ny Fikarohana ampinarina amin'ny Fampanandrosoana ny Ambanivohitra

FSP : Fonds de solidarité prioritaire

GIPyri : Gestion Intégrée de la pyriculariose

ha : hectare

IRRI : International Rice Research Institute

ISPM : Institut Supérieur Polytechnique e Madagascar

JAS : jour après semis

Kg/ha : kilogramme par hectare

Km : kilomètre

m : mètre

m² : mètre carré

MAEE : Ministère français des Affaires Etrangères et Européennes

mm : millimètre

Nbr ep/ pan: Nombre d'épillets par panicule

Nbr ep/m²: Nombre d'épillets par mètre carré

Nbr GP/m²: Nombre de grain plein par mètre carré

Nbr pan/ plts: Nombre de plants par plants

Nbr pan/m²: Nombre de panicules par mètre carré

Nbr plts/m²: Nombre de plants par mètre carré

PARRUR : PArtenariat et Recherche dans le secteur RURal

PMG : Poids de Mille Grains

RYMV : Rice Yellow Mottle Virus

SDmad : Semis Direct Madagascar

SPV : Service de la protection des végétaux

t : tonne

URP SCRiD : Unité de Recherche en Partenariat Sur les Systèmes de Culture et Rizicultures Durables

LISTE DES ANNEXES

Annexe I : Répartition de la culture du riz à Madagascar.

Annexe II : Répartition de la pyriculariose du riz à Madagascar.

Annexe III : Fiche des caractéristiques des variétés de riz pluvial F152, F154, F172, Chhomrong Dhan.

Annexe IV : Localisation de la zone d'étude : région de Vakinankaratra, commune Andranomanelatra.

Annexe V : Analyses statistiques de l'effet compétition dans les mélanges.

GLOSSAIRE

Angady : Mot malagasy désignant la bêche traditionnelle.

Bozaka : Mot malgache désignant des graminées rustiques qui poussent spontanément sur les parcelles en jachère.

Culture itinérante: C'est un système primitif dans lequel les terres forestières sont défrichées, plantées en riz pendant deux ou trois ans puis abandonnées. Après plusieurs années de jachère, les agriculteurs peuvent revenir et recommencer un autre cycle.

Isolat : substance plus ou moins pure extraite d'un organisme végétal ou animal.

Lutte intégrée : c'est un système de gestion des populations de ravageurs ou maladies qui met en oeuvre toutes les techniques appropriées pour maintenir ces populations ou maladie à un niveau acceptable qui n'affecte pas significativement le rendement.

Monoculture: culture d'une seule espèce végétale à un moment donné.

Multilignées : mélanges de lignées génotypiquement semblables, au gène de résistance près, ne différant entre elles que par les gènes de résistance à un parasite défini.

Nécrose: altération se produisant après la mort d'une cellule au niveau d'un tissu, d'un organe, alors que le reste de l'organisme continue de vivre.

Spores : cellule ou ensemble de cellules qui participent à la reproduction (de certains végétaux).

Tanety : Terme malagasy désignant les sommets et les versants des collines.

Tavy : c'est la culture itinérante sur brûlis de forêt primaire ou secondaire.

INTRODUCTION

Le riz est une des principales cultures alimentaires dans le monde. Il est surtout cultivé pour ses grains qui constituent la base de l'alimentation de plus de la moitié de la population mondiale. Avec plus d'un million deux cent mille hectares de surface cultivée en riz, Madagascar se classe second pays d'Afrique en termes de surface rizicole, après le Nigéria (68). La riziculture aquatique reste de loin dominante avec 79% de la superficie en riz contre 10% pour la riziculture pluviale et 11% pour la riziculture de *tavy* (44), mais au cours de ces dernières décennies, la riziculture pluviale est en plein essor surtout sur les Hautes-Terres de l'île.

Le riz constitue de loin la première culture du pays. Avec près de la moitié de la production agricole, l'immense majorité des paysans soit 92% des exploitants agricoles malagasy pratiquent la riziculture (45). La politique du riz affecte donc directement la population: que ce soit en tant que consommateur ou comme producteur. A cet effet, l'augmentation de la production rizicole est devenue une volonté de la politique nationale dont un des volets est la lutte contre les facteurs limitant le développement de la riziculture. Parmi les bio-agresseurs du riz, les maladies sont considérées comme une des plus importantes causes de diminution de la quantité et de la qualité de la production.

La pyriculariose du riz provoquée par *Magnaporthe oryzae* est considérée comme la maladie la plus importante du riz (40). A Madagascar, l'utilisation de variétés résistantes reste la principale stratégie de lutte contre cette maladie vue que les fongicides efficaces sont inaccessibles aux riziculteurs à cause de leur coût élevé ou de leur absence même sur le marché malagasy. Pourtant l'utilisation de variétés résistantes possède aussi une limite car le risque de contournement des résistances est important étant donné que le champignon fait preuve d'une grande variabilité et adaptabilité et sa capacité à muter pour générer de nouvelles races pouvant attaquer les variétés résistantes limite la durée de vie de ces nouvelles variétés (49). La présente étude porte donc sur la recherche d'une stratégie de lutte intégrée pour contrôler la pyriculariose du riz pluvial sur les Hautes-Terres de Madagascar en ayant recours à l'utilisation des mélanges variétaux à l'image des recherches menées en Chine qui reflètent l'efficacité des mélanges de variétés dans le contrôle de la pyriculariose et dans la gestion de la résistance des variétés (62, 63) en reposant sur l'idée que la diversification génétique peut être mise en œuvre au niveau des variétés de riz dans une parcelle pour contrôler la pyriculariose du riz (30).

Dans un premier temps, nous ferons un bilan des connaissances sur la riziculture Malagasy. Ensuite, nous présenterons la démarche expérimentale suivie lors des essais aux

champs puis les résultats obtenus seront présentés, analysés et discutés dans les dernières parties.

Partie I : CONTEXTE DE L'ETUDE

1. Le riz

1.1. Origine et description botanique

D'un point de vue botanique, le riz est une Monocotylédone de la famille des Poacées. Il appartient au genre *Oryza* comptant 24 espèces dont deux sont les plus cultivées : *Oryza sativa* et *Oryza glaberrima* (14). La première, d'origine asiatique, regroupe les variétés les plus nombreuses et les plus répandues dans le monde y compris à Madagascar, tandis que la seconde d'origine africaine ne comporte qu'un petit nombre de variétés dont l'aire de culture est limitée à certaines régions de l'Afrique de l'ouest.

Oryza sativa comporte trois grands types morphologiques: *indica*, *japonica* et *javanica*. Le type *indica* se caractérise par un tallage fort, des feuilles étroites, des racines fines et un grain effilé; le type *japonica* se distingue par un tallage moyen, des feuilles étroites, des racines fines et un grain arrondi, et le type *javanica* se définit par un tallage faible, des feuilles larges, des racines épaisses et profondes et un grain long et large (24).

Le riz est une plante herbacée annuelle prédisposée au tallage se développant en touffe. La touffe est formée d'un nombre variable de tige et pourvue à la base d'un abondant système racinaire. Les racines fasciculées sont constituées de racines secondaires et de leurs poils absorbants.

La tige cylindrique est divisée en entrenœuds séparés par des nœuds. Les nœuds inférieurs de la tige émettent des racines et plus haut ils portent une feuille et un bourgeon qui pourra donner naissance à une talle secondaire. La talle primaire donne naissance aux talles secondaires. Ceux ci donnent à leur tour naissance à des talles tertiaires (figure 1).

Les feuilles sessiles, alternes, plates en forme de lame prennent naissance à un nœud de la tige et sont constituées de deux parties : la gaine foliaire et le limbe foliaire. La gaine s'insère sur un nœud et enveloppe la tige jusqu'au nœud suivant. Le limbe rubané est parcouru de nervures fines et parallèles. La dernière feuille avant la panicule s'appelle « feuille paniculaire ».

L'inflorescence est une panicule dont les ultimes ramifications, les pédicelles (ou rachis), portent des épillets ou fleurs. Les fleurs comportent les glumes et les glumelles formant avec le caryopse le grain de riz ou paddy (17, 24). La panicule prend naissance sur le dernier nœud de la tige.

1.2. Cycle du riz

Le cycle du riz diffère selon les variétés et se divise en trois phases (figure 2) :

- la phase végétative qui va de la levée jusqu'à l'initiation paniculaire. La durée de la phase végétative diffère suivant les variétés. Elle correspond à la croissance des principaux organes végétatifs du riz (59). Le phénomène de tallage s'effectue durant cette phase. Le tallage est la capacité d'un plant à émettre des tiges (ou talles) secondaires ou tertiaires (17). Une talle est une pousse qui comporte des racines, une tige et des feuilles (figure 1). Environ 3 à 5 jours avant la floraison, le tallage s'arrête et on peut observer l'initiation paniculaire à l'intérieur des tiges de différentes talles (29). Une talle peut porter ou non une panicule (59), le rendement est donc fonction du tallage.

- la phase reproductive commence avec la formation de la panicule et finit à la floraison. Elle dure environ 35 jours (59). Cette phase comprend l'initiation paniculaire, la montaison, l'épiaison et la fécondation (29). La phase qui débute la montaison est l'initiation paniculaire : la base de la gaine foliaire s'enfle à sa partie supérieure et forme un « ventre » puis une panicule portant les inflorescences émerge à l'extrémité de la tige. La floraison est l'épanouissement des fleurs qui se caractérise par l'ouverture des glumelles et la pollinisation. Pendant la fécondation, le pollen des anthères tombe sur le stigmate et féconde l'ovule à l'intérieur de l'ovaire qui se transformera en graine (59, 17).

- la phase de remplissage du grain et de maturation qui va de la fécondation des grains jusqu'à la maturité. Après la fécondation, le caryopse prend son format définitif. Les grains passent alors par trois phases : d'abord une texture laiteuse qui devient pâteuse pour enfin acquérir une consistance dure et craquante au moment de la maturité. La maturation dure de 30 à 42 jours (29).

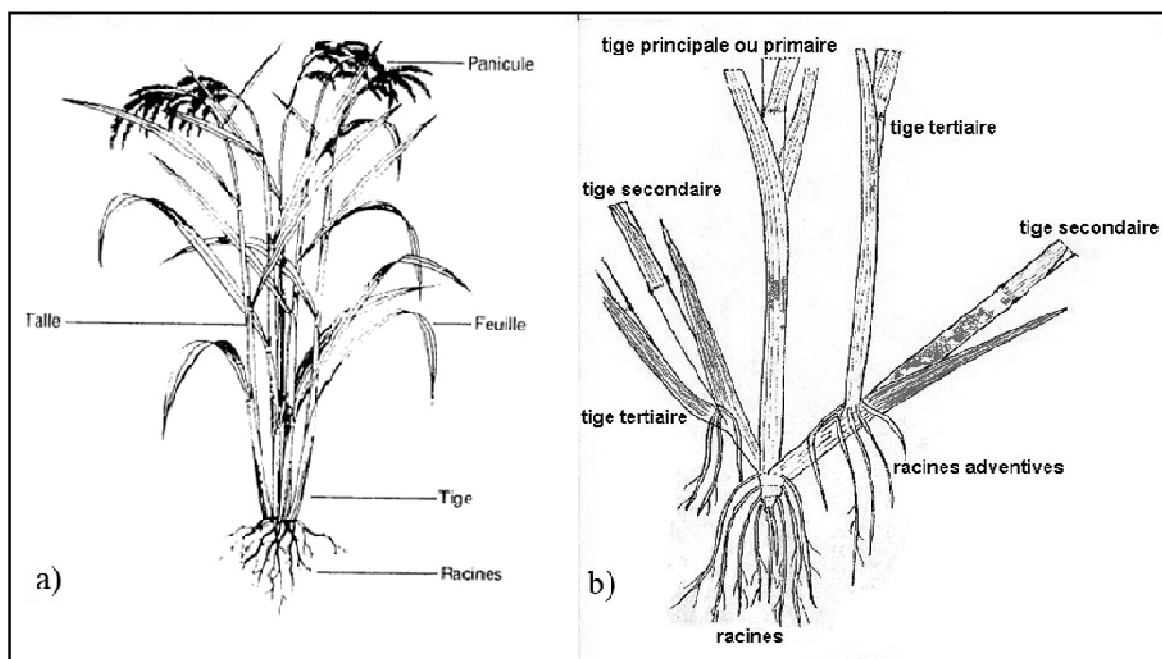


Figure 1: Le tallage. a) Pied de riz comportant 5 talles, b) Phénomène de tallage.
Source : Vergara, 1984

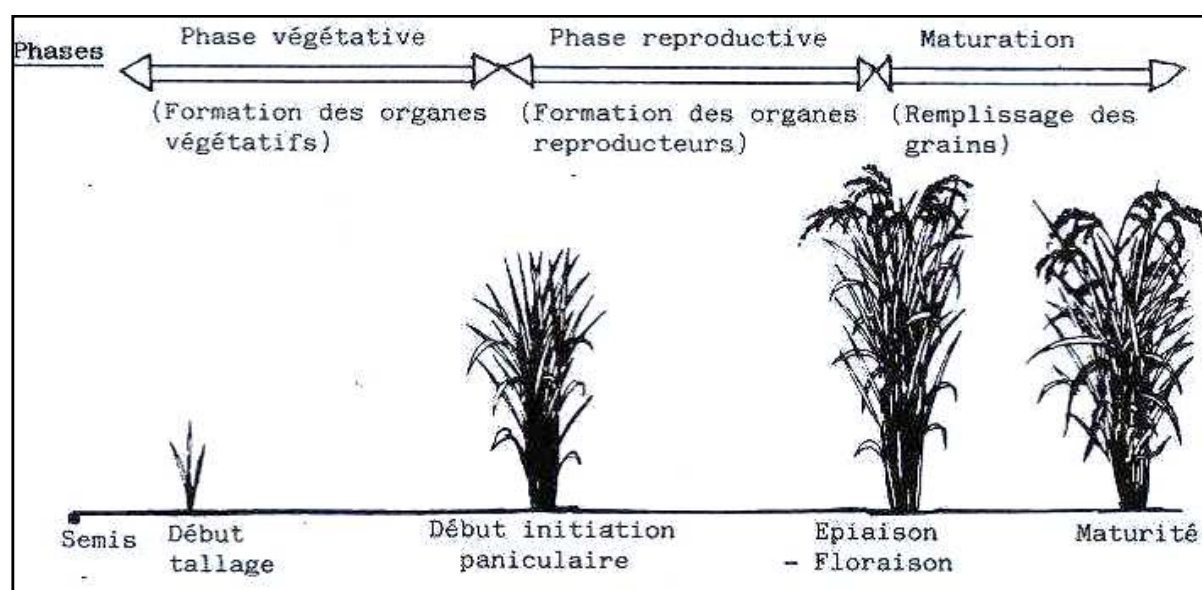


Figure 2: Phase de croissance d'un plant de riz pluvial.
Source : Moreau, 1987

2. La culture du riz à Madagascar

2.1. Situation de la riziculture à Madagascar

A Madagascar, le riz occupe une place importante dans le secteur agricole. La filière riz constitue la première activité économique en milieu rural en termes de volume. La riziculture est en effet pratiquée par 85% des exploitants agricoles (12) et tient une place importante dans les communes de Madagascar (voir annexe I) (46). La région des Hautes

Terres situées entre 1000m et 2000m d'altitude est la principale zone de production rizicole du pays en termes de surfaces (318.000 ha) (41, 55).

Les époques de culture sont variables d'une région à une autre, et sont uniquement dépendantes du climat et des possibilités hydrauliques (17). La pratique du repiquage en foule domine (77% des superficies) sur le repiquage en ligne (9.4%) qui permet une meilleure productivité et facilite l'entretien des cultures. Le semis direct considéré comme un système traditionnel concerne encore 12.6% des superficies. Le Système de Riziculture Intensif et le Système de Riziculture Amélioré préconisés pour l'augmentation de la production et de la productivité n'occupent que 0.34% des superficies (12).

La productivité se situe autour de 2t/ha/an ce qui correspond à une consommation annuelle moyenne de 120kg par habitant (43, 44). Comme on le constate actuellement, la production locale ne couvre pas encore entièrement les besoins de la population c'est pourquoi le pays a été amené à importer du riz. Cependant, Madagascar possède de fortes potentialités avec de grandes surfaces exploitables pour pouvoir satisfaire la demande intérieure mais aussi parvenir à exporter (12). Ainsi, le secteur rizicole fait l'objet d'une véritable stratégie nationale de développement visant à accroître la capacité à mettre sur le marché des produits en quantité et en qualité, pour assurer la sécurité alimentaire de la population qui augmente, tout en limitant la flambée des prix et pour réduire les importations. La couverture des besoins passe alors par l'augmentation de la production qui implique non seulement l'accroissement des superficies rizicoles mais aussi l'augmentation des rendements.

2.2. Les différents types de riziculture (15, 48)

Trois grands types de riziculture se rencontrent à Madagascar: la riziculture aquatique, la riziculture pluviale et la culture itinérante sur brûlis (*tavy*). Les rendements sont meilleurs en aquatique qu'en pluvial et qu'en *tavy*.

2.2.1. La riziculture aquatique

C'est la plus dominante et la plus couramment rencontrée (79% de la superficie) (44). Ce terme désigne l'ensemble des types de riziculture où le sol est submergé sur une hauteur plus ou moins importante pendant une partie du cycle végétatif du riz. Ce type de riziculture est fait avec ou sans maîtrise de l'eau, submergée ou irriguée (9). La riziculture aquatique se pratique en bas-fonds ou en plaine ; elle peut se faire avec ou sans repiquage. La première nécessite une pépinière tandis que la seconde s'effectue selon un semis direct, à la volée dans

la rizière. Les rizières les plus importantes se trouvent à Antananarivo (plaine de Betsimitatatra), à Ambatondrazaka (Lac Alaotra) et à Majunga (dans la région Marovoay).

2.2.2. La riziculture pluviale

Occupant environ 10% des surfaces rizicoles, la riziculture pluviale se pratique sur les collines, ou « *tanety* ». C'est un système de culture pratiqué sur sols exondés. Encore appelée riziculture de plateaux ou de montagne, la riziculture pluviale est pratiquée dans les zones à pluviométrie supérieure à 800 mm et sur des sols à bonne capacité de rétention en eau (38) car son alimentation en eau est essentiellement assurée par la pluie. Autrefois, le riz pluvial n'était cantonné que dans des régions à altitude inférieure à 1200m mais depuis les années 80, la culture s'est étendue à des altitudes plus élevées comme celles des Hautes-Terres (1200 à 2000m) grâce au programme d'amélioration des variétés de riz pluviale adaptées aux conditions environnementales (notamment le froid) de ces régions mené par le CIRAD et le FOFIFA. La riziculture pluviale permet de pallier à l'insuffisance de la production en riz irrigué (68). Elle a aussi permis d'élargir la surface rizicole par l'exploitation des *tanety*. Cependant, le riz pluvial se heurte à plusieurs contraintes à savoir la rigueur du climat des Hautes-Terres (en particulier les températures basses et la pluviométrie qui influencent le cycle végétatif et l'alimentation hydrique de la plante), l'acidité des sols (*tanety* caractérisé par un sol ferrallitique qui affecte la nutrition minérale de la plante) (11) et les bio-agresseurs (insectes, maladies, nématodes, rongeurs, adventices (17) qui gênent le bon développement de la plante).

2.2.3. La culture itinérante sur brûlis

Appelée localement « *tavy* », la culture itinérante sur brûlis représente environ 10% des surfaces rizicoles. Elle se pratique sur une montagne après défrichage et brûlis de la forêt primaire ou secondaire pour « faire du terrain ». D'une part, dans ce système de culture, les techniques culturales sont fort réduites (pas d'apport de fertilisation) et d'autre part les outils agricoles sont rudimentaires alors que la flore adventice dont l'éradication demande beaucoup de travail envahit également le terrain, ce qui fait qu'après plusieurs cultures, le terrain épuisé est laissé à l'abandon pour un emplacement vierge où le cycle recommence (10). Le « *tavy* » se rencontre en particulier dans la région Est de Madagascar.

2.3. Les problèmes phytosanitaires du riz à Madagascar

2.3.1. Les ennemis (17)

- les jeunes plants de riz en rizières irriguées sont sujets aux attaques de poissons herbivores, en particulier le *Tilapia melanopleura*

- les rats occasionnent aussi de sérieux dégâts à la culture du riz en grignotant les tiges et les grains

- les oiseaux surtout les *fody* ne sont pas à négliger surtout au moment de la maturation des grains ; ils pillent les rizières en vidant les grains au stade laiteux et en cassant les panicules

- les poux du riz (*Hispa gestroi* et *Trichispa sericea*). Ces insectes peuvent non seulement creuser des galeries sur les organes aériens de la plante mais aussi peuvent être des vecteurs de maladie virale (RYMV)

- les borers mineurs de la tige dont les deux principaux sont : le borer blanc (*Maliarpha separatella*) et le borer rose (*Sesamia calamistis*). Les borers sont nuisibles à leur stade larvaire en se nourrissant des tissus internes des chaumes et en se développant à l'intérieur de la tige

- les nématodes (*Aphelencoides besseyi*, *Ditylenchus angustus*) peuvent provoquer le rabougrissement de la plante, une malformation des panicules et l'avortement des grains.

- les punaises comme *Diploxys fallax* et *Nezara soror* piquent les épillets encore à l'état laiteux ou pâteux ; les grains se trouvent ainsi complètement vidés ou déformés.

- les vers blancs (*Heteronychus sp* notamment) qui sont des Coléoptères dont les larves broient le système racinaire des plants de riz entraînant le dessèchement des touffes tandis que les adultes provoquent la dilacération des tiges au niveau du collet.

2.3.2. Les maladies (17)

Les maladies les plus fréquentes sont :

- les maladies à sclérotés (*Rhizoctonia oryzae*) s'observant sur les racines et le collet ;

- les maladies s'attaquant aux tiges, feuilles et panicules. Parmi celles-ci on note la maladie des stries bactériennes, la pyriculariose, et l'helminthosporiose. La bactériose se caractérise par des rayures de couleur foncée sur le limbe, la pyriculariose et l'helminthosporiose ont des symptômes foliaires assez voisins : apparition de taches noires sur les nœuds des chaumes, taches ovales à centre clair et bord brun sur les feuilles. La pyriculariose est due à *Magnaporthe oryzae*, elle présente également des symptômes paniculaires plus typiques. L'helminthosporiose est causée par *Helminthosporium oryzae*.

- La maladie virale appelée maladie de la panachure jaune du riz ou Rice Yellow Mozaic Virus (RYMV).

2.3.3. Les adventices

Les adventices entrent en compétition avec le riz pour les éléments essentiels à la croissance et au développement, causant ainsi des pertes de rendement plus ou moins importantes. Ils peuvent aussi servir d'hôtes aux insectes ravageurs et aux maladies. La présence d'adventices favorise la prolifération de rongeurs. Les pertes partielles dues aux adventices dans la région ouest africaine varient de 8 à 15% pour la riziculture irriguée repiquée et de 25 à 30% dans les bas-fonds pluviaux et les plateaux (26).

Les principaux problèmes phytosanitaires de la riziculture pluviale des Hautes-Terres malagasy sont les vers blancs, la pyriculariose et les adventices. Il est à noter que la pyriculariose est une maladie particulièrement préjudiciable pour le riz pluvial.

3. La pyriculariose du riz

3.1. Généralités

La pyriculariose du riz est présente dans plus de 85 pays (27). La maladie a été observée pour la première fois à Madagascar en 1951 par Séchet (47). Dans la grande île, certains l'appellent Menalavitra alors que d'autres connaissent la maladie sous le terme de Matifotsy. La pyriculariose existe partout où le riz est cultivé, dans toutes les régions rizicoles des Hautes-Terres, du Lac Alaotra et du Sud du pays (voir répartition géographique de la pyriculariose à Madagascar, annexe II).

La maladie peut attaquer toutes les formes de riziculture mais le riz pluvial y est plus sensible que le riz irrigué (39). Elle peut se manifester sur toutes les parties aériennes du plant de riz : feuilles, nœuds, tiges, base des panicules (cou), rachis et glumelles (51), successivement ou simultanément, en provoquant des nécroses.

3.2. Agent pathogène

La pyriculariose du riz est une maladie fongique due à un champignon filamenteux Ascomycète (64). Plusieurs noms peuvent faire référence à l'agent pathogène de la maladie. *Pyricularia oryzae* Cavara est utilisé pour désigner la forme asexuée (anamorphe) du champignon tandis que la forme sexuée (téléomorphe) est nommée *Magnaporthe grisea* Herbert jusqu'à ce qu'il a été montré, par des analyses phylogénétiques et des tests de fertilité,

que *Magnaporthe* peut être séparé en plusieurs espèces (18). Parmi ces espèces figure *Magnaporthe oryzae* qui infecte *Oryza sativa* (13) et *Magnaporthe grisea* qui est associé à *Digitaria* spp.

Le plus souvent, *Magnaporthe oryzae* se reproduit de façon asexuée (par les conidies) (53). Certaines publications continuent de désigner *Magnaporthe grisea* comme étant l'agent pathogène de la pyriculariose du riz du fait que celui-ci ne peut être distingué de *Magnaporthe oryzae* en aucun de ces caractères morphologiques, toutefois, *Magnaporthe grisea* et *Magnaporthe oryzae* ne sont pas interfertiles (13).

Selon SERE, 1996, le développement du champignon donne un thalle composé de filaments microscopiques ou hyphes à structure cloisonnée. Lorsque les conditions sont favorables, les lésions se couvrent d'un feutrage gris cendré constitué par des conidiophores cylindriques et unicellulaires portant les conidies, organes de reproduction asexuée du champignon.

3.3. Cycle infectieux

Le champignon survit d'une saison à l'autre sur des graines infectées, sur les débris des cultures, sur les repousses infectées et peut-être sur des graminées vivaces (21, 32). Les semences infectées ainsi que les résidus de récoltes laissés au champ peuvent constituer un foyer d'infection de la maladie. Le champignon peut se maintenir en activité entre deux cultures en se développant sur des hôtes de relais, et les plantes hôtes avoisinantes. Il se conserve sous forme de spores et de mycélium qui reste à l'état de dormance en l'absence de conditions favorables à son développement. Au retour des conditions favorables, les formes de conservation se développent, et produisent des spores (photo 1) qui infectent les plants de riz, assurant ainsi l'infection primaire et la propagation de la maladie. L'infection est réalisée quand les conidies entrent en contact avec l'organe cible (feuilles, nœuds, cou,...), une simple lésion foliaire contient des milliers de conidiophores pouvant décharger plus de 20000 conidies par nuit pendant une vingtaine de jours (53). Les conidies adhèrent à la surface de l'organe cible par un mucilage. Elles germent ensuite et pénètrent dans la cellule hôte en développant une cellule spécialisée dans la pénétration, l'appressorium. L'appressorium va développer un réseau d'hyphes qui coloniseront rapidement les tissus végétaux. Les premiers symptômes apparaissent 4 à 5 jours après le début d'infection. Les lésions sporulent et donnent naissance à de nouvelles conidies qui infecteront à leur tour d'autres plantes et le cycle recommence. La sporulation dure au moins 15 jours dont le maximum est atteint 7 à 10

jours après le début de l'infection (27). Un cycle infectieux foliaire peut être réalisé en moins de 7 jours dans les conditions les plus favorables.

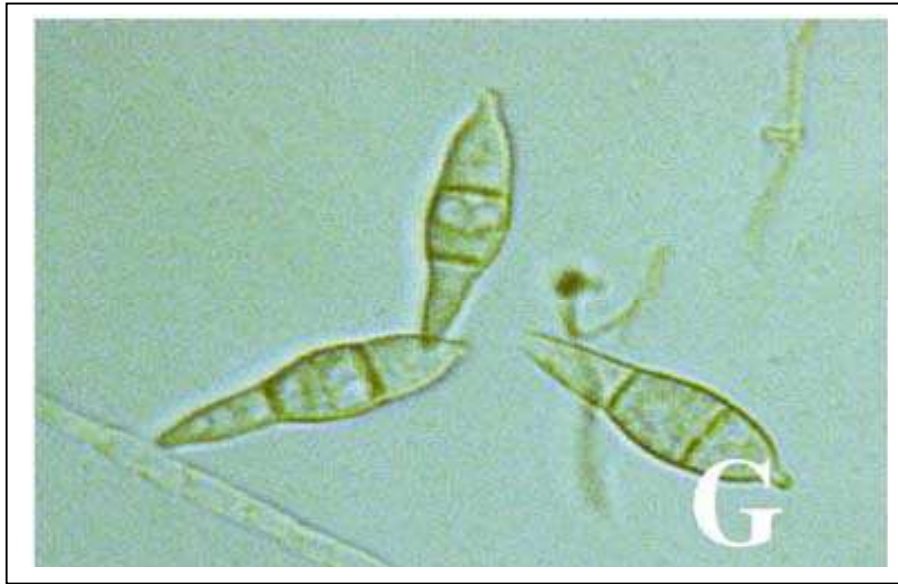


Photo 1: Spores de *Magnaporthe oryzae*.

Source : Jia and Gealy, 2008

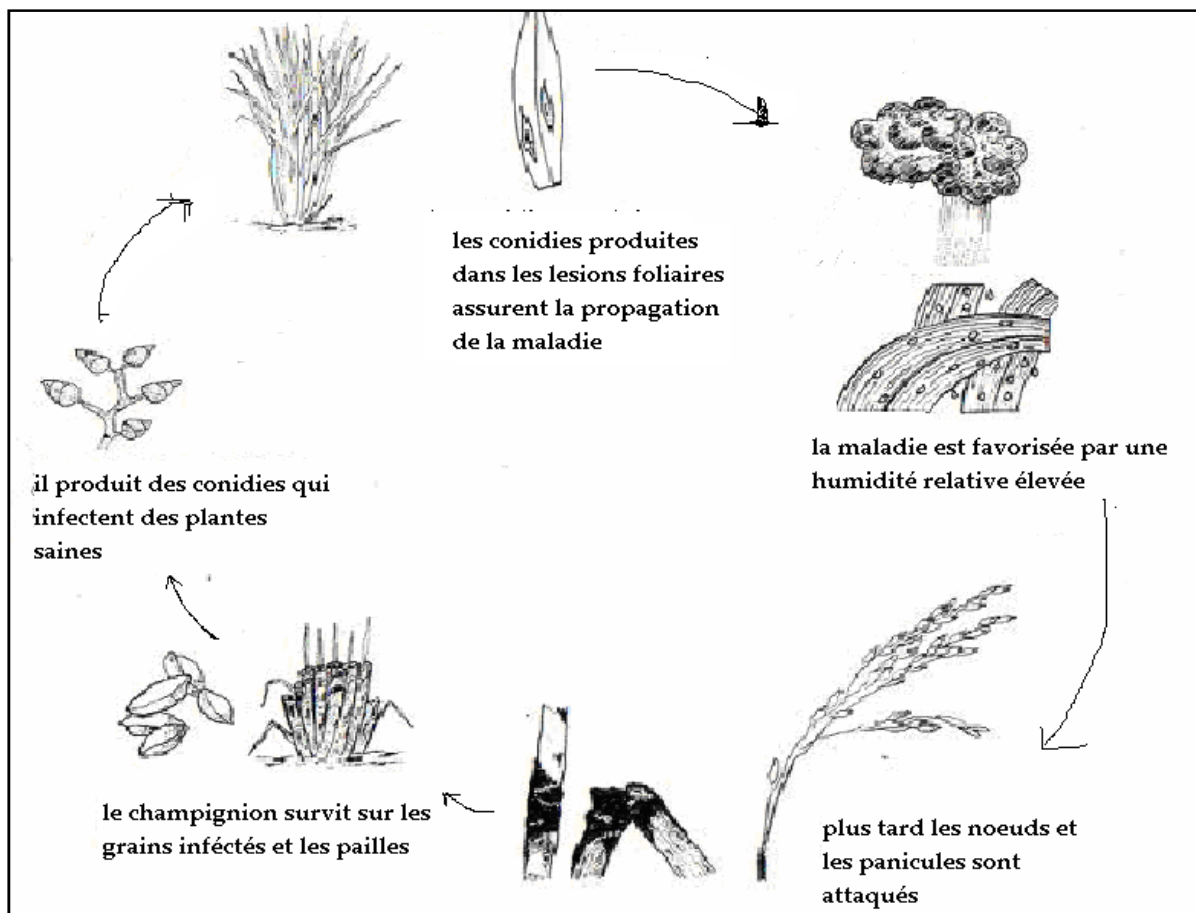


Figure 3: Cycle biologique de la pyriculariose du riz.

Source : FOFIFA/ SPV, 1990

L'intensité de la maladie est déterminée par l'abondance de l'inoculum, les conditions environnementales et la résistance de la plante hôte (61).

3.4. Conditions de développement de la maladie

Différents facteurs influencent largement l'épidémie :

- Le climat conditionnant l'hygrométrie et la température influence beaucoup la maladie (54) car de lui dépend l'apparition des conditions propices ou non au développement de l'agent pathogène. Une humidité relative élevée (humidité de l'air > 90%) et une durée prolongée de la rosée favorise la sporulation du champignon (17, 21, 37). Les températures basses (minimum 17°C, comprises entre 20°C à 25°C) sont également favorables au développement du champignon.

- Le sol conditionne la sensibilité de la plante. La richesse d'un sol en éléments nutritifs peut avoir des effets sur la résistance physique de la plante (parois cellulaires), sur la résistance biochimique (production de métabolites secondaires, systèmes d'alarme) et sur l'activité photosynthétique de la plante (22). Les éléments suivants auraient un lien direct avec le développement de la pyriculariose : azote (N), phosphore (P), potassium (K), magnésium (Mg), manganèse (Mn), zinc (Zn), cuivre (Cu), molybdène (Mo), nickel (Ni) et de la silice (Si). Le tableau suivant montre l'action des éléments cités précédemment sur la plante ou l'agent pathogène.

Tableau 1: Action de certains éléments minéraux sur la plante et sur l'agent pathogène de la pyriculariose du riz.

Elément	Action sur les barrières physiques de la plante	Action sur les mécanismes de résistance acquise de la plante	Action sur le champignon pathogène
C, H, O	Composant de la lignine et de la cellulose.		
Ca		Stimule la production de métabolites secondaires et d'anion superoxyde.	
Cu	Participe au processus de lignification.	Stimule la production de métabolites secondaires et d'anion superoxyde.	Perturbe le métabolisme.
Mn	Participe au processus de lignification.		
N	Affine la paroi si en excès par rapport à C.	Permet la production de phytoalexines et phénols.	
NH4+	Participe au processus de lignification.		
P	Permet la silification.		
S		Induit de la résistance + composant de phytoalexines et cystéine.	Perturbe le métabolisme.
Si	Renforce les parois par silification.		
Zn		Stimule la production de métabolites secondaires et d'anion superoxyde.	

Source : Huot, 2011

- Le choix du système de culture et du mode de gestion des sols influence de manière décisive la croissance du riz pluvial, sa résistance à la pyriculariose et son rendement (50). Par ailleurs, une fumure azotée trop importante favorise également la maladie (6) car celle-ci provoque un développement excessif de la plante et augmente son niveau de sensibilité.

La dispersion de l'agent pathogène est capitale pour le développement d'une maladie, en son absence il n'y aurait pas d'épidémie. Pour *Magnaporthe oryzae*, le facteur de dispersion principal est le vent ; les spores s'y trouvent à une concentration maximale pendant la nuit (7).

3.5. Symptômes et dégâts

3.5.1. Sur les feuilles (Pyriculariose foliaire)

La pyriculariose foliaire se caractérise par des lésions fusiformes ou ovales typiques sur les feuilles. En cas d'attaque sévère sur des individus sensibles, ces lésions peuvent fusionner et aboutir au dessèchement complet des feuilles (23). Les lésions sont constituées de taches à centre gris blanchâtres, à bord brun noir et avec une zone extérieure jaune (photo2). Ces taches sont plus ou moins grandes, plus ou moins nombreuses suivant la résistance ou la sensibilité des variétés (32) et l'agent pathogène peut parfois attaquer la gaine foliaire ce qui entraîne un brunissement de la jonction entre le limbe et la gaine, puis la mort de la feuille.

La pyriculariose foliaire diminue la capacité photosynthétique des feuilles, ce qui a pour conséquences une baisse du tallage et de la hauteur des plantes.

3.5.2. Sur la panicule (Pyriculariose paniculaire ou Pyriculariose du cou)

C'est la forme la plus grave de la maladie car elle est la plus dommageable pour les cultures (32, 39). La pyriculariose paniculaire se manifeste généralement au moment de la floraison et attaque la tige paniculaire, provoquant l'apparition d'un anneau noirâtre à la base de la panicule (8), de même les lésions peuvent aussi s'observer sur les épillets. La panicule devient blanche (grains vides), desséchée car les éléments nutritifs nécessaires au remplissage des grains sont bloqués à cause de la nécrose des tissus conducteurs. Dans certains cas, les tiges deviennent cassantes (photo 2).



Photo 2: Symptômes de la pyriculariose. a) Symptôme foliaire sous forme de tache fusiforme gris blanchâtre entouré d'un halo. b) Pyriculariose paniculaire, symptôme sur la tige paniculaire et panicule blanche. c) Cassure de la tige.

Source : FOFIFA/SPV, 1990

3.6. Moyens de lutte

En général, on lutte contre la pyriculariose par le biais de fongicides (5) qui sont non seulement d'un coût élevé, mais aussi nuisibles à l'environnement. Les paysans malagasy n'ont pas les moyens pour se procurer ces fongicides (52).

Les mesures prophylactiques restent les plus faciles et les plus accessibles aux paysans. Parmi celles-ci on note surtout les pratiques culturales comme l'incinération des résidus de la culture (pailles et chaumes), l'utilisation de semences saines et la limitation de la fertilisation azotée. Cependant, ces mesures sont rarement efficaces pour contrôler la maladie quand les conditions favorables à l'apparition de la maladie se présentent (53). Ainsi, la mise au point d'une stratégie de lutte intégrée combinant divers moyens de lutte serait très intéressante pour les paysans et les consommateurs (demande croissante en culture bio) en protégeant à la fois la culture et l'environnement en sachant que ce dernier point représente actuellement un enjeu très important sur le plan international. Comme moyen de lutte, les points suivants sont à considérer :

- la fertilisation doit favoriser la croissance du riz tout en renforçant sa capacité de résistance par le raisonnement de la fertilisation azotée (apport sous forme de NH_4^+ , apport fractionné (28, 31) diminue l'importance des symptômes foliaires ou par l'apport de minéraux tels que la silice, celle-ci entrant dans la composition de la membrane épidermique de la feuille qui constitue une barrière physique contre les insectes et les maladies (49).

- Le choix du système de culture influence également la résistance du riz (50). Récemment des études sur le système de culture sous couverture végétale (SCV) ont montré

que le riz cultivé avec ce système est moins touché par la pyriculariose que celui cultivé en labour (52).

-la lutte génétique par l'utilisation de variétés résistantes. Pourtant, face aux capacités d'adaptation de l'agent pathogène, la durée de vie des résistances est limitée et les programmes de sélection variétale sont contraints de produire régulièrement des nouvelles variétés porteuses de nouvelles résistances. Ces travaux sont longs et coûteux et sont d'autant plus compliqués lorsque d'autres critères doivent être pris en compte comme les capacités d'adaptation aux conditions de riziculture pluviales et la tolérance au froid pour les Hautes Terres. C'est pourquoi il est devenu indispensable de chercher des moyens pour maintenir ces variétés à leur niveau de résistance le plus longtemps possible, le mélange variétal est supposé être un de ces moyens.

4. Les mélanges variétaux

4.1. Généralités

Les mélanges variétaux ou associations variétales, comme leurs noms l'indiquent, consistent en la culture de plusieurs variétés différant par leurs gènes de résistance sur une même parcelle (56). Ils ont surtout fait leurs preuves dans la maîtrise des maladies foliaires disséminées par voie aérienne, en particulier sur les cultures des céréales (19, 35, 60).

Le mélange doit être composé de variétés ayant à la fois des gènes de résistance différents pour un pathogène donné et des critères agronomiques à peu près identiques (potentiel de rendement, maturation,...) (20). En général, le choix des variétés est orienté sur des multilignées, c'est-à-dire des lignées qui ne diffèrent que pour leurs résistances à une ou deux maladies (56). La complémentarité des résistances induit une résistance collective (figure 4) (58).

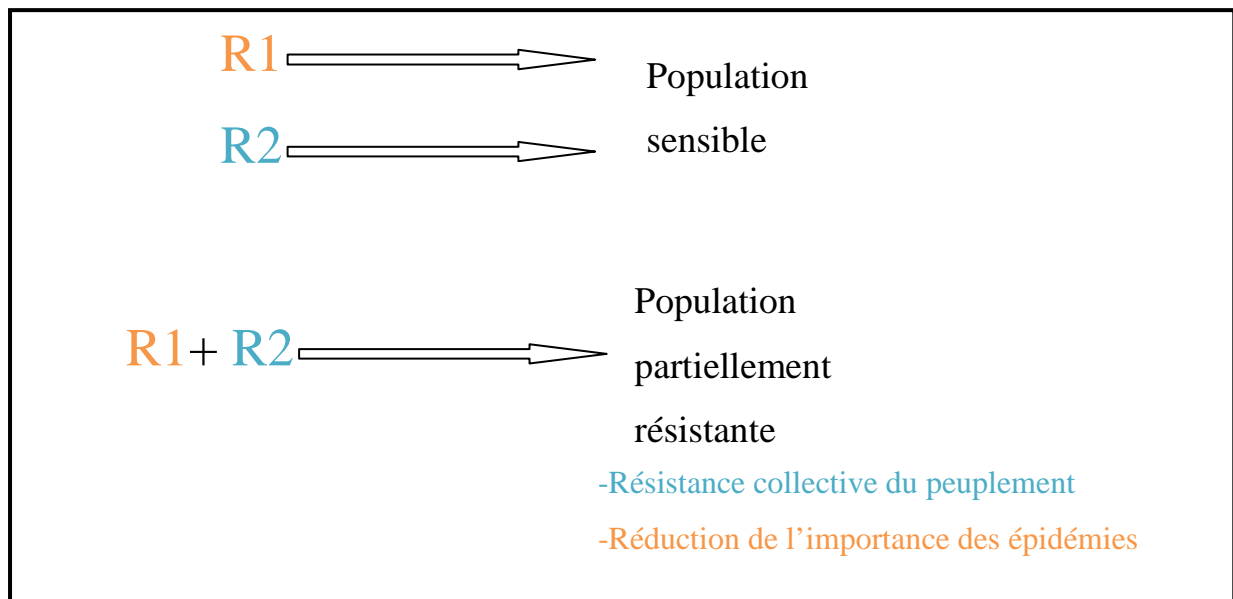


Figure 4: Principe du mélange variétal.

Source : Vallaveille-Pope, Lannou, 2008

4.2. Mécanismes d'action des mélanges variétaux

L'efficacité des mélanges repose sur la combinaison de différents effets :

La dilution de l'inoculum est considérée comme étant le principal facteur de réduction des épidémies (35). L'effet de dilution dans les mélanges est lié d'une part à la proportion de plantes sensibles : plus la densité de plantes sensibles à une race du parasite est faible, plus la propagation de l'épidémie est réduite (20, 56) et d'autre part au fait que les rangées de plantes sensibles sont intercalées par des rangées de variétés résistantes augmentant la distance entre les plants de même génotype (35).

Les plantes résistantes forment une barrière entre les plantes sensibles qui réduit la progression de la maladie: les plantes résistantes captent une partie de l'inoculum et freinent la dispersion des spores (58, 60).

En conséquence du mélange, l'inoculum multiplié sur l'un des composants du mélange peut être avirulent pour un autre composant et induire des réactions de résistance (57). Autrement dit, lorsqu'une spore qui n'est pas virulente est déposée sur une plante résistante, elle active des mécanismes de défense et protège contre une infection ultérieure par une race virulente qui est alors moins efficace (20). C'est l'effet de la résistance induite.

En outre, il est aussi à noter que la différence entre les variétés du mélange (hauteur, végétation,...) peut avoir un impact sur le microclimat au niveau de la température et/ou l'humidité qui peut créer des conditions hostiles à l'agent pathogène (30, 63).

4.3. Intérêts de l'utilisation des mélanges variétaux

Les mélanges variétaux permettent donc de créer une diversité au sein d'une culture car il est difficile de rassembler dans une même variété des gènes de productivité élevée et de résistance stable (57).

Les mélanges variétaux, de par leur diversité génétique, limitent le développement des épidémies et des ravageurs (20).

Les mélanges variétaux constituent un moyen pour faire face à la variabilité des populations parasites et pourrait être une solution pour maintenir une résistance durable des variétés.

Le mélange variétal permet de stabiliser les rendements. Le risque de pertes de rendement dues aux stress biotiques et abiotiques est plus limité dans un mélange que dans une culture pure (20). En outre, une variété sensible peut être satisfaisante si elle est utilisée avec d'autres variétés résistantes.

4.4. Les mélanges variétaux dans la pratique

L'association variétale est déjà en pratique dans plusieurs pays.

Durant les années 80, en Allemagne de l'est, la culture de variétés associées a été appliquée pour lutter contre l'oïdium (*Erysiphe graminis* f. sp. *Hordei*) de l'orge de printemps. L'incidence de l'oïdium a baissé de 50 % à moins de 10 %. Ceci a permis une réduction massive de l'utilisation de fongicides (réduction de 80%) (20, 56).

Les mélanges ont aussi fait leur preuve chez les arbres et arbustes. En Colombie, la plantation de variétés de caféier en mélange est pratiquée sur plus de 350 000ha et est utilisée pour lutter contre la rouille du caféier causée par *Hemileia vastatrix* (34).

En France, l'association d'une variété résistante à la tavelure du pommier (*Venturia inaequalis*) avec une variété sensible a permis de réduire l'incidence de la maladie de 75,1% sur les feuilles et de 69,7% sur les fruits (16).

L'effet des mélanges sur la sévérité de la rouille du blé (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) et sur le rendement de la récolte d'une parcelle mélange (une variété sensible avec une variété résistante) a déjà fait l'objet de plusieurs études. Le résultat des mélanges ont été comparés avec celui des variétés en monoculture : en moyenne, les mélanges présentent une réduction de 53% de la sévérité de la maladie par rapport aux cultures pures (36).

4.5. Cas des mélanges variétaux pour la lutte contre la pyriculariose du riz pluvial à Madagascar

Les mélanges de variétés ont été appliqués avec succès à grande échelle dans le contrôle de la pyriculariose du riz irrigué en Chine. Le mélange était composé d'une ligne de variété sensible (riz gluant) pour 4 ou 6 lignes de variétés résistantes (riz non gluant). Il a permis de réduire l'incidence et la sévérité de la pyriculariose paniculaire sur le riz gluant de 90%, et sur le riz non gluant de 30 à 40% (62).

Depuis peu, des études sur les mélanges variétaux pour la lutte contre la pyriculariose du riz pluvial ont été menées dans la région Vakinankaratra. Durant l'année 2007, une expérience a été effectuée à la station de FOFIFA. Deux variétés ont été impliquées dans les mélanges : Fofifa 154 (très sensible) et Fofifa 172 (résistante). Trois arrangements du mélange entre ces deux variétés ont été réalisés : une ligne de variété sensible plantée en alternance avec une ligne de la variété résistante (1:1), une ligne de la variété sensible alternée avec 5 lignes de la variété résistante (1:5) et enfin un poquet de la variété sensible mélangé avec 5 poquets de la variété résistante (1:5). Les résultats obtenus ont montré que le mélange variétal a un effet significatif sur le ralentissement de l'épidémie de pyriculariose foliaire et paniculaire et que l'arrangement 1:5 apparaissait plus efficace que 1:1.

Durant la campagne 2008-2009, un essai a été réalisé à 4km de la station et a mis en jeu une gamme de trois variétés : Fofifa 154 (très sensible), Fofifa 152 (moyennement sensible) et Fofifa 161 (peu sensible) en mélange avec la variété résistante F 172. Le niveau de mélange qui a été testé était de 1 ligne de variété sensible pour 4 lignes de la variété résistante (1:4). L'incidence et la sévérité de la maladie se trouvent réduites aussi bien pour la pyriculariose foliaire que la pyriculariose paniculaire dans le mélange 1:4, le rendement des variétés sensibles cultivées en mélange était plus élevé que celui des parcelles monovariétales. Cette campagne a été meilleure que 2007.

Depuis ces cinq dernières années, les études concernant les variétés en mélange à Madagascar ont progressé. L'efficacité des mélanges dans la gestion de la maladie a été mise en évidence, toutefois certaines questions sont encore à élucider à savoir l'effet du sens du vent dans la dispersion de la maladie, l'utilisation de variétés résistantes ou de variétés tolérantes dans la composition du mélange, l'effet du niveau de sensibilité de la variété sensible, l'effet de compétition entre les variétés en mélange et s'il y aurait possibilité de transférer cette approche en milieu paysan. Notre étude s'est alors proposée à éclaircir les incertitudes citées précédemment.

5. Problématique de l'étude

5.1. Définition des objectifs

La riziculture pluviale est de plus en plus importante sur les Hautes-Terres de Madagascar et la pyriculariose du riz est un des principaux facteurs limitant la production. Cette étude a pour but de contribuer à mettre au point une stratégie de lutte intégrée contre cette maladie. L'approche envisagée est le mélange de variétés qui, est déjà connu pour son efficacité dans la réduction de l'impact de la pyriculariose sur une variété sensible. A Madagascar, la continuité de la recherche est encore une nécessité car les mécanismes mis en jeu restent encore à bien déterminer pour optimiser la méthode. Un certain nombre de questions doivent encore être abordées comme ::

- le sens des lignes par rapport au vent dominant joue t-il un rôle dans l'évolution de la maladie ? Pour avoir l'effet barrière, est-ce préférable que le sens des lignes soit perpendiculaire au vent ?

- le niveau de sensibilité des variétés à incorporer dans le mélange influencerait-il le résultat ? Une variété tolérante sera-t-elle aussi efficace que' une variété résistante ?

- du fait du mélange, existerait-il une compétition entre les variétés du mélange ? Quel serait son impact au niveau de la croissance de la plante et du rendement ?

- Serait-il possible de diffuser la technique en milieu paysan ? Comment peuvent être utilisés les mélanges en milieu réel ?

L'objectif de cette étude est donc de donner des réponses à ces questions en réalisant à la fois des essais contrôlés en station et des essais en milieu paysan. Les essais consistent en la comparaison d'une culture en mélange avec une culture monovariétale (pure) de riz pluvial. Faisant partie intégrante du thème « riziculture durable », cette étude entre dans le cadre du projet PARRUR qui sera présenté dans le paragraphe qui suit.

5.2. Cadrage de l'étude

5.2.1. Le projet GIPyri (65)

Notre stage est réalisé dans le cadre du projet GIPyri (Gestion Intégrée de la pyriculariose), financé par PARRUR ou PArtenariat et Recherche dans le secteur RURAl résultant d'une coopération franco-malgache, qui relève d'un financement du Fonds de solidarité prioritaire (FSP) du Ministère français des Affaires Etrangères et Européennes (MAEE). PARRUR a été mis sur pied dans le but d'améliorer, grâce à la recherche, les conditions socio-économiques des populations rurales de Madagascar. Tous les thèmes qu'il finance sont relatifs au développement rural Malgache. Parmi ces thèmes figure la

« riziculture durable » qui inclut l'objet de cette étude pour la recherche d'une stratégie de gestion intégrée de la pyriculariose du riz pluvial sur les Hautes Terres de Madagascar au moyen des mélanges variétaux. Les expérimentations au champ sont menées dans la région du Vakinankaratra vu que la culture du riz pluvial y est en plein essor et que la pyriculariose est fréquemment rencontrée. Le projet est réalisé par l'équipe de l'URP SCRiD et du FOFIFA.

5.2.2. L'URP SCRiD (70)

L'URP SCRiD ou Unité de Recherche en Partenariat sur les Systèmes de Culture et Rizicultures Durables a été créée en 2001. Il s'agit d'une coopération entre le FOFIFA, le CIRAD et l'Université d'Antananarivo. C'est une unité de recherche pluridisciplinaire qui vise à assurer l'accompagnement agronomique et économique de l'évolution de l'agriculture pluviale à Madagascar. Elle travaille sur un programme menant des recherches sur les systèmes de culture sous couverture végétale intégrant le riz pluvial et générant des technologies pour une agriculture performante, durable et protectrice de l'environnement. La lutte contre les bioagresseurs du riz pluvial est un des axes importants de recherche qui y sont développés.

5.2.3. Le FOFIFA (69)

Le FOFIFA (FOibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiarina amin'ny Fampanandrosoana ny Ambanivohitra) ou Centre Nationale de la Recherche Appliquée au Développement Rural a été créé en 1974. C'est un établissement public à caractère administratif placé sous la tutelle du Ministère de la Recherche Scientifique et c'est aussi la principale institution de recherche agricole à Madagascar qui a pour mission de mettre en œuvre la politique nationale de recherche en matière de développement rural.

5.2.4. Le CIRAD (66, 67)

Le CIRAD ou Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement a été créé en 1984. C'est un institut français de recherche agronomique au service du développement des pays du Sud et de l'outre-mer français. Il privilégie la recherche en partenariat c'est pourquoi il s'est implanté dans les pays tropicaux et sub-tropicaux. Le CIRAD a pour mission de contribuer au développement rural par des recherches et expérimentations, des actions de formation, d'information et d'innovation, et des expertises. Toutes ses recherches sont regroupées sous le thème de développement durable.

5.2.5. L'ISPM

L'I.S.P.M ou Institut Supérieur Polytechnique de Madagascar a été érigé par le Professeur Julien Amédée RABOANARY en 1993. C'est le premier Institut Privé d'Ingénieurs Polytechniques et a pour vocation à la fois académique et professionnelle, l'établissement est agréé par l'état suivant l'arrêté n°3275 du 19 Août 1994. L'école a pour devise : « Fahaizana-Fampandrosoana-Fihavanana » incitant chacun à la fraternité. L'I.S.P.M a pour objectif de former des jeunes ingénieurs de haut niveau capables d'affronter le monde du travail et ainsi se dévouer pour leur pays. Il compte 5 départements (l'informatique, la biotechnologie, le tertiaire, le génie industriel et génie civil, et le développement technique du tourisme) présentés dans la figure suivante (figure 5).

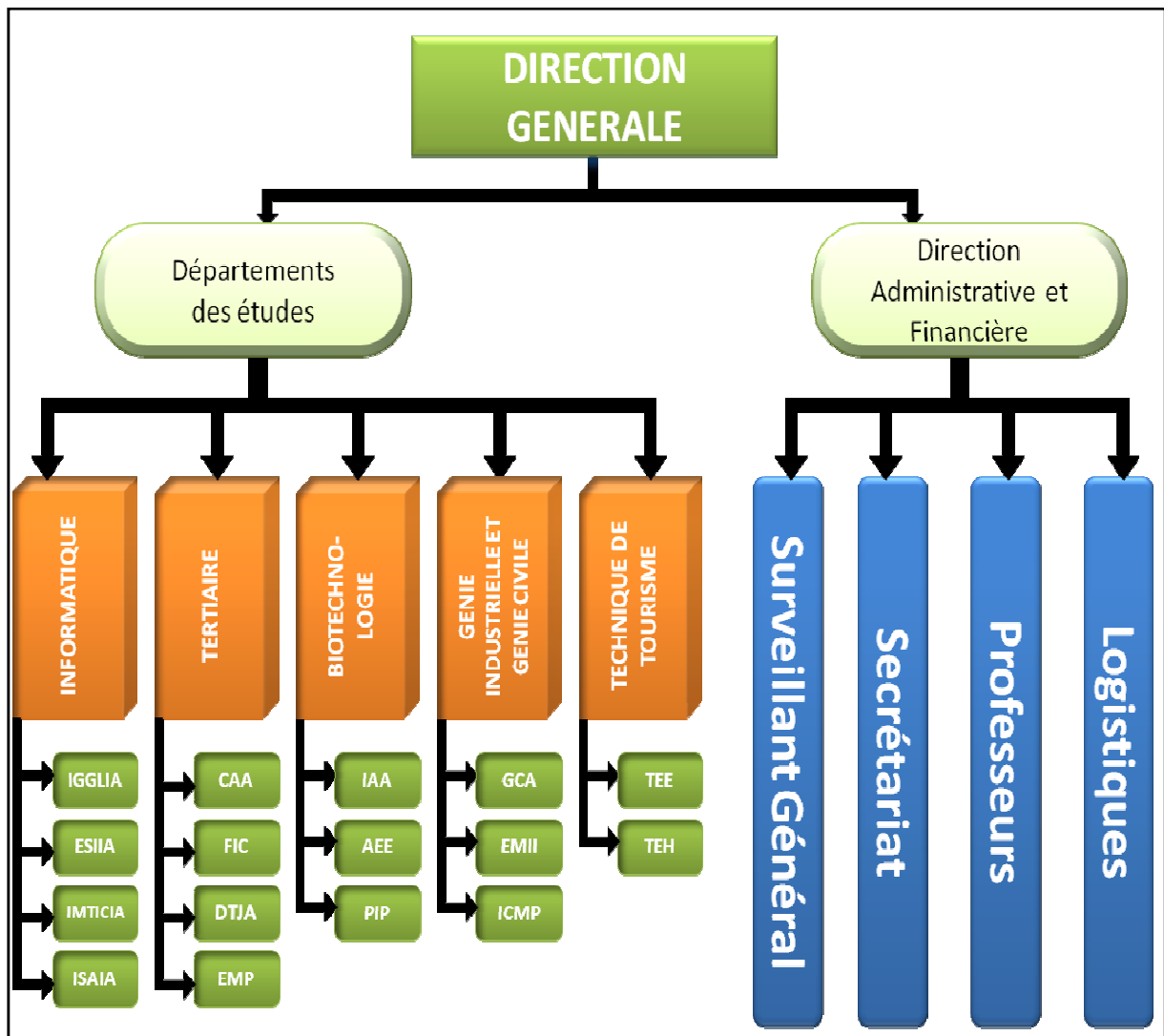


Figure 5: Organigramme de l'ISPM.

I.G.G.L.I.A : Informatique de Gestion, Génie Logiciel et Intelligence Artificielle,
E.S.I.I.A : Electronique, Système Informatique et Intelligence Artificielle,
I.M.T.I.C.I.A : Informatique, Multimédia de Technique de l'Information et de la Communication
I.S.A.I.A : Informatique Statistique Appliquée et Intelligence Artificielle
C.A.A : Commerce et Administration des Affaires,
F.I.C : Finance et Comptabilité
D.T.J.A : Droit Technique Juridique des Affaires
E.M.P : Economie Management de Projet
I.A.A : Industries Agro-Alimentaires
P.I.P : Pharmacologie et Industries Pharmaceutiques
A.E.E : Agriculture Et Elevage.
G.C.A : Génie Civil et Architecture,
E.M.I.I : Electromécanique et Informatique Industrielle
I.C.M.P : Industrie Chimique Minière Pétrolière
T.E.E : Tourisme et Environnement
T.E.H : Tourisme et Hôtellerie

Partie II : MATERIEL ET METHODES

1. Dispositif expérimental en milieu contrôlé

1.1. Matériel végétal

Le choix du matériel végétal tient compte du niveau de sensibilité des variétés. Le matériel biologique utilisé est constitué de 4 variétés de riz pluvial à différents niveaux de résistance à la pyriculariose. Fofifa152 (F152) et Fofifa154 (F154) sont des variétés de riz pluvial très appréciées mais particulièrement sensibles (et même très sensible pour F154). L'inoculation avec 100 isolats collectés à différents endroits et à différents moments dans l'île a montré que F152 et F154 présentent un spectre de résistance similaire mais aussi que F152 porte des gènes de résistance partielle que F154 n'a pas. Fofifa 172 (F172) est connue comme une variété résistante au champ et elle s'est montrée résistante vis-à-vis de 9 isolats du pathogène après inoculation en conditions contrôlées (42). Chhomrong Dhan (ChhD) est une variété tolérante originaire du Népal (43). Les trois premières variétés citées précédemment sont des variétés de riz pluvial, adaptées pour les hautes altitudes, développées par un programme réalisé entre le FOFIFA et le CIRAD dont les premières variétés diffusées sont F152 et F154 (tableau 2 et informations complémentaires en annexe III).

Tableau 2: Quelques caractéristiques des 4 variétés de riz pluvial utilisées dans l'étude.

Nom	Nom malgache	Résistance*	Type de grain	Cycle
F152	Meva	Sensible	Mi-long	Précoce
F154	Ravokatra	Très sensible	Long fin	Précoce
F172	—	Résistante	Rond	Précoce
ChhD	Tsipolitra	Tolérante	Rond	Tardif

*résistance à la pyriculariose

1.2. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été menée durant la campagne 2011-2012 sur des parcelles de la station de recherche FOFIFA située dans le village d'Andranomanelatra (région Vakinankaratra, 1635m d'altitude), à 150km au sud d'Antananarivo (19°47' S, 47°06' E) (annexe IV). L'évolution de la température et de la pluviométrie à Andranomanelatra durant le cycle cultural 2011-2012 est présentée dans la figure 6.

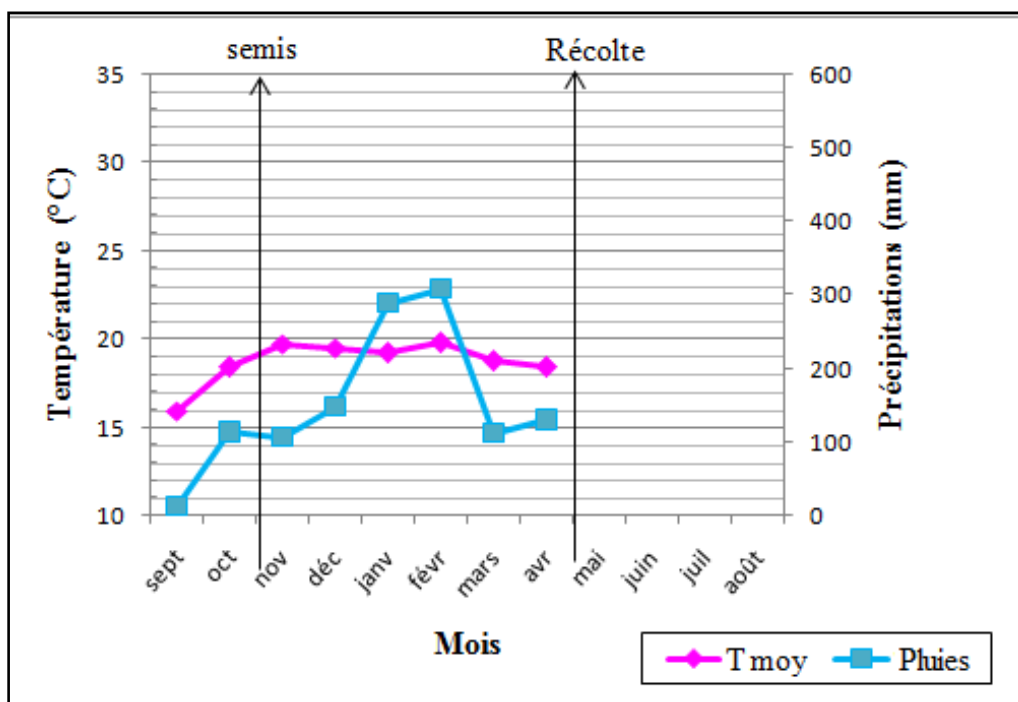


Figure 6: Evolution de la température et de la pluviométrie à Andranomanelatra pendant la campagne culturale 2011-2012.

Source : Station CIMEL de l'URP SCRID à Andranomanelatra.

1.3. Mise en place du dispositif

Le dispositif d'Andranomanelatra a pour objectif de mesurer l'impact des mélanges variétaux sur le contrôle de la pyriculariose du riz pluvial en milieu contrôlé tout en étudiant les conséquences de la compétition entre les variétés du mélange sur le rendement, et l'effet de l'orientation du mélange sur la dispersion de la maladie dans la parcelle. Il s'étend sur une surface de 5000m² et comporte 5 blocs regroupant 9 parcelles élémentaires de 25m² (5m x 5m) séparées les unes des autres par une bande de 5m de la variété résistante F172 (bordures) pour limiter les interactions entre parcelles élémentaires.

Avant d'être utilisées pour les mélanges variétaux, les parcelles des blocs 1, 2, 3, 4 ont été cultivées de haricot tandis que celles du bloc 5 sont à leur première année de culture en cette campagne 2011-2012. Elles étaient auparavant recouvertes de *bozaka*.

La préparation du terrain a été effectuée en août 2011. Le sol a été labouré manuellement à l'*angady* puis affiné et nivelé.

Les parcelles ont été semées manuellement le 21 octobre 2011 et les bordures le 22 octobre. L'écartement entre poquets est de 20cm, avec une densité de 80kg/ha soit 5 à 8 graines par poquet. Les semences ont été préalablement traitées à l'Insector T45WS 4g/kg de semences. Au moment du semis, du Carbofuran 10kg/ha a été appliqué pour protéger les semences des attaques des vers blancs. De même, c'est également au moment du semis que la

fumure de base (fumier 5t/ha) et la dolomie 500kg/ha ont été apportées localement à chaque poquet. La levée a été observée vers 13 JAS.

Toutes les parcelles ont reçu un entretien identique tout au long du cycle cultural:

- un apport d'urée 30kg/ha à 66 JAS,
- deux sarclages manuels : à 33 JAS et 61 JAS;
- des traitements insecticides localisés contre les vers blancs (2 fois par semaine)

1.4. Les traitements comparés

Neuf traitements sont comparés dans le dispositif ; 4 parcelles monovariétales de l'une des 4 variétés citées précédemment, qui sont dites « pures » et 5 parcelles contenant une association d'une des variétés sensibles avec l'une des variétés résistante ou tolérante : ces parcelles sont simplement appelées « mélanges ». Le plan du dispositif est présenté ci-après (figure 7).

- 1- mélange F154/ChhD
- 2- mélange F152/ChhD
- 3- mélange F154/F172 1 :5
- 4- mélange F152/F172 1 :5
- 5- F154 pure
- 6- F152 pure
- 7- mélange F154/F172 1 :5 sens du vent
- 8- ChhD pure
- 9- F172 pure

Chaque parcelle possède 25 lignes de semis. Dans les mélanges (1 :5), une ligne de variété sensible est semée toutes les 4 lignes (figure 8). Afin d'étudier l'effet du vent dans la dispersion de la maladie, une des parcelles de mélange a sa ligne de semis dans le même sens que celui du vent dominant (1 : 5 sens du vent).

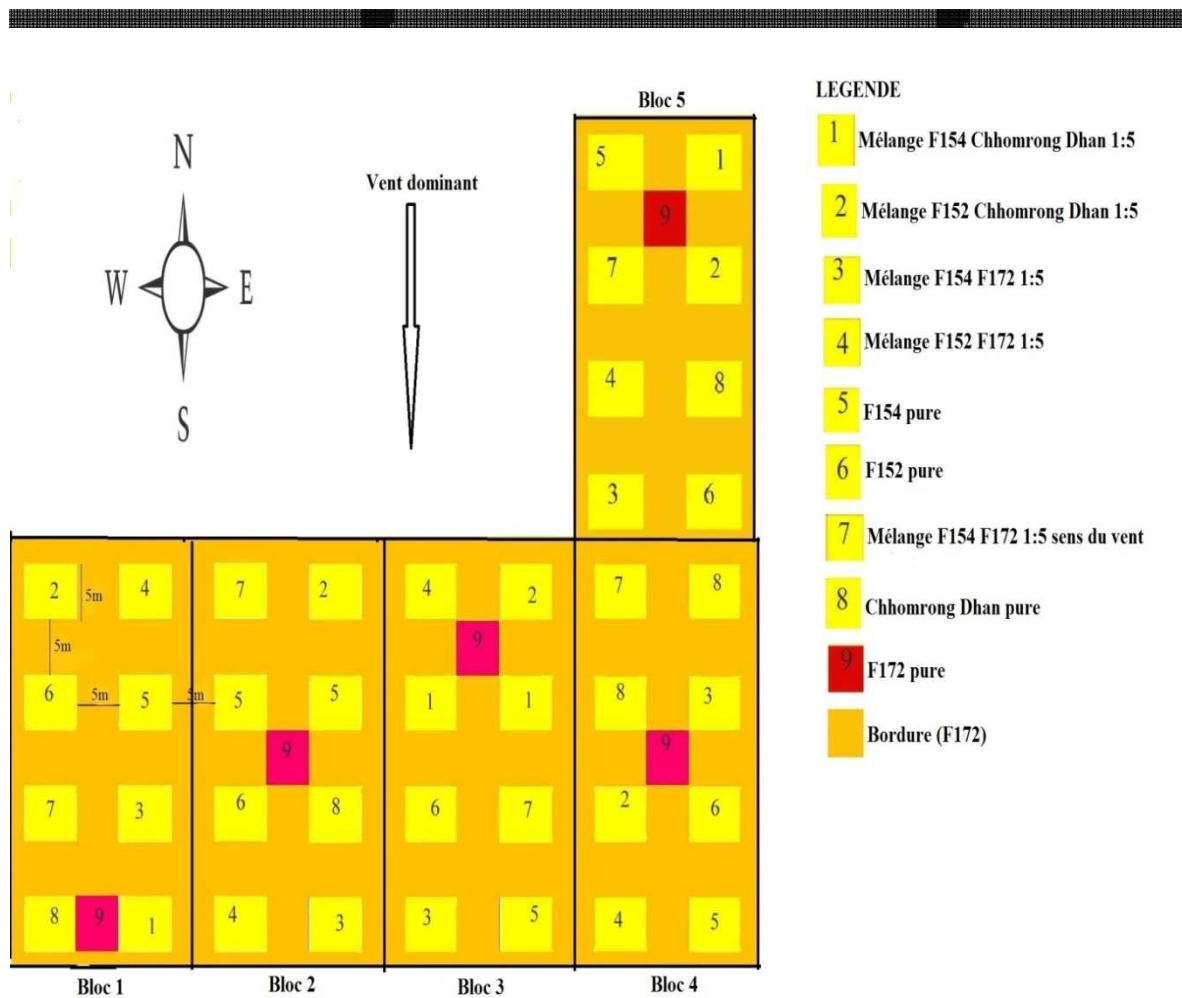


Figure 7: Plan du dispositif mélange variétal.

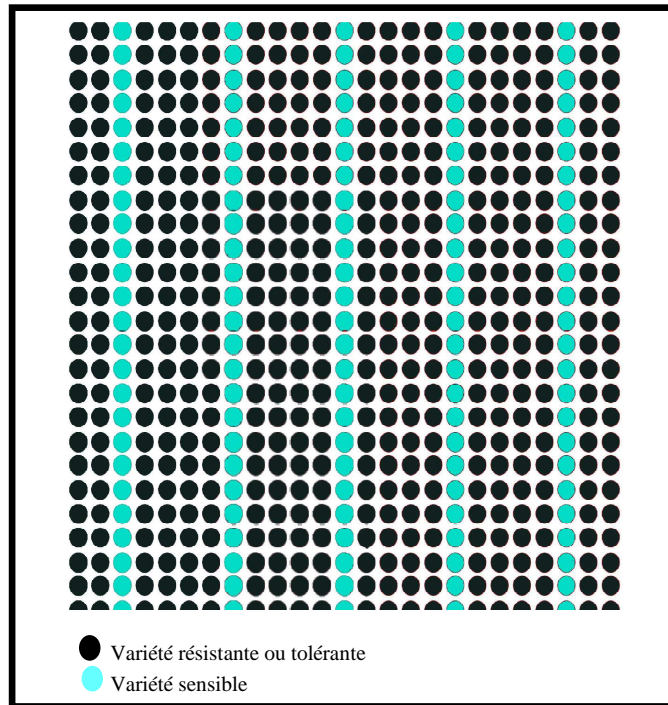


Figure 8: Disposition d'une parcelle mélange 1:5. Une ligne de variété sensible est suivie de 4 lignes de variété résistante.

2. Mesures et suivis expérimentaux effectués sur les parcelles

2.1. Suivi de la compétition entre les plants

A partir de 38 JAS, un suivi dynamique de la croissance des plantes par le comptage du nombre de plantes, du nombre de talles et la mesure de la hauteur totale des plantes est réalisé tous les 15 jours jusqu'à la floraison. Le suivi s'effectue sur 5 poquets pris sur la diagonale de chaque parcelle des 5 blocs (figure 9). Les poquets sont repérés par des piquets fixes car on a suivi la même touffe tout au long de la campagne. Sur les parcelles en mélange, le suivi de la croissance s'est fait à la fois sur la variété sensible et sur la variété résistante. La hauteur de la plante est mesurée à l'aide d'une règle sur le brin maître (ou sur le talle le plus long) à partir du niveau du sol, c'est-à-dire du collet, jusqu'à la pointe de la feuille la plus longue ou à l'extrémité des panicules (photo 3).

Le suivi dynamique de la croissance constitue un moyen de caractériser la compétition entre les plantes des mélanges sans réaliser de prélèvement destructif.

En tout, durant cette campagne, 7 points de suivi de la croissance des plants ont été réalisés.

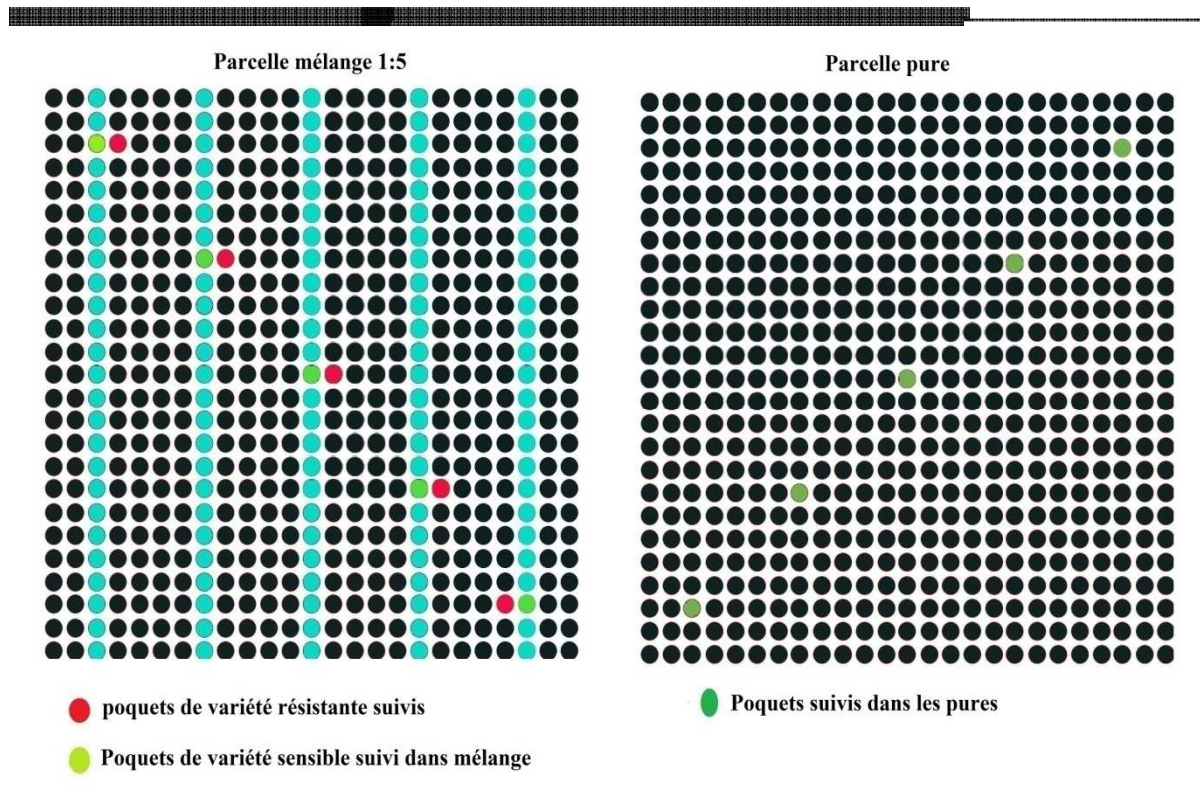


Figure 9: Disposition des 5 poquets choisis pour les suivis. Dans les mélanges, 5 poquets de la variété sensible et 5 poquets de la variété résistante se trouvent côte à côte ont été pris.



Photo 3: Comptage du nombre de talles et mesure de la hauteur d'une touffe de riz.

2.2. Suivis de la pyriculariose

Le développement de la pyriculariose a été suivi de façon hebdomadaire à partir du 81^{ème} jour après semis (première notation, période pendant laquelle la maladie est apparue dans les parcelles) afin de suivre l'évolution de la maladie et de pouvoir comparer sa différence entre les traitements. Le suivi (notation) s'effectue sur tous les traitements et sur 10

poquets répartis le long de la diagonale de chaque parcelle élémentaire dont le sens est changé toutes les semaines. Pour les mélanges, 10 poquets de variétés sensibles et 10 poquets de variétés résistantes se trouvant côte à côte ont été notés (figure 10).

Pour la pyriculariose foliaire, la notation des symptômes foliaires a été effectuée sur 10 poquets de chaque parcelle. Pour chaque poquet, le nombre total de talles et le nombre de talles infectés ont été comptés. Et pour trois talles malades, pour les feuilles les plus hautes, le pourcentage de surface foliaire attaquée a été estimé. La lecture des symptômes foliaires a été effectuée à quatre reprises : 81 JAS, 88 JAS, 95 JAS et 102 JAS.

Pour la pyriculariose paniculaire, sur chacun des 10 poquets, le nombre total de panicules et le nombre de panicules malades ont été également comptés. Et pour 5 panicules malades, le pourcentage de grains atteints a été évalué. Le suivi de la pyriculariose paniculaire s'est fait à six reprises : toutes les semaines à partir du 118 JAS jusqu'au 152 JAS.

Les mesures réalisées ont permis d'évaluer l'incidence et la sévérité de la maladie et de suivre leur évolution au cours du temps. L'incidence de la maladie est le pourcentage de talles infectées (ou de panicules malades). La sévérité exprime le degré d'une attaque ; elle représente le pourcentage de surface foliaire malade sur les talles infectées en cas de pyriculariose foliaire et le pourcentage de grains malades sur les panicules infectées en cas de pyriculariose paniculaire. L'incidence et la sévérité de la maladie se calculent comme suit :

- **Incidence en % = (nombre de talles malades ou nombre de panicules malades) / nombre de talles total ou nombre de panicules total) × 100**
- **Sévérité en % = (surface foliaire malade ou nombre de grains malades / surface foliaire totale ou nombre de grains total) × 100**

Le produit incidence x sévérité reflète la sévérité globale de la maladie dans la parcelle.

Sévérité globale en % de la parcelle = (Incidence en % × Sévérité en %) × 100

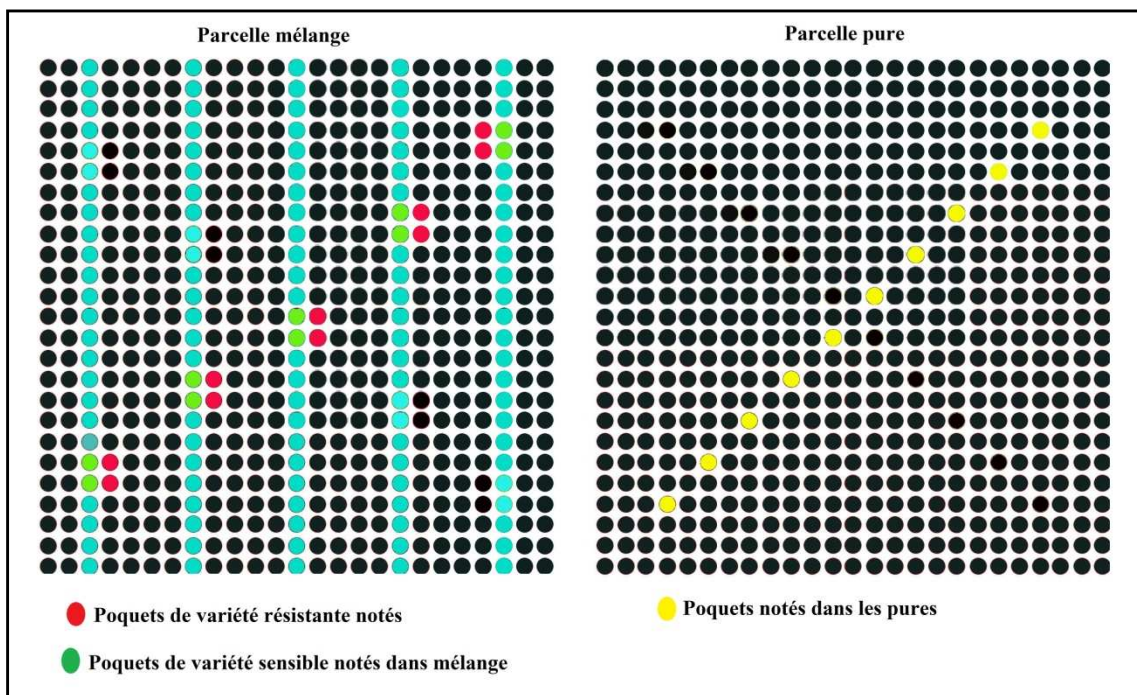


Figure 10: Méthode d'échantillonnage des plants à observer dans une parcelle. Les notations de la pyriculariose se font sur l'une des deux diagonales de la parcelle en alternance.



Photo 4: Notation sur une parcelle.

3. Evaluation du rendement et de ses composantes à la récolte

La récolte a été effectuée manuellement. Les plants nécessaires pour évaluer les composantes du rendement ont été récoltés à 165 JAS: 10 poquets, répartis le long de la diagonale de la parcelle, ont été arrachés (photo 5). Pour les mélanges, les plants de 10 poquets de variétés sensibles (S), 10 poquets de variétés résistantes se trouvant à côté des sensibles (RS) et 10 poquets de variété résistante à l'intérieur de la parcelle (RR) ont été arrachés (figure 11). Sur ces 10 poquets, le nombre de plants, le nombre de tiges et le nombre de panicules ont été comptés. Les panicules issues de ces poquets sont ensuite égrenées afin de séparer les grains vides des grains pleins. Pour pouvoir évaluer le poids d'un grain, 200 grains vides et 200 grains pleins ont été mis de côté pour chaque traitement puis pesés après un séchage au soleil.

Après les prélèvements des poquets nécessaires pour l'évaluation des composantes du rendement, les parcelles élémentaires ont été récoltées en totalité à 172 JAS. La récolte ainsi obtenue est séchée au soleil puis pesée pour pouvoir estimer le rendement.

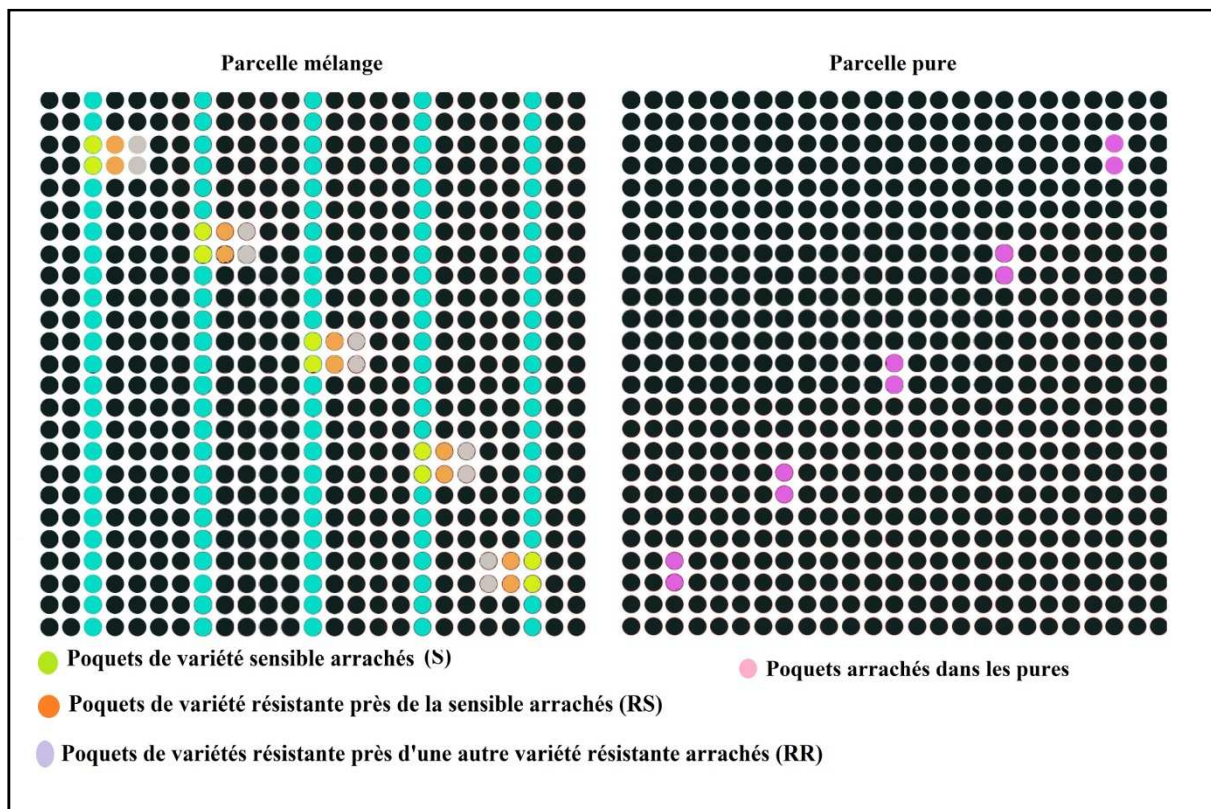


Figure 11: Placement des échantillons de récolte. Dix poquets de chaque parcelle ont été arrachés pour l'évaluation des composantes de rendement.



Photo 5: Arrachage des poquets nécessaires pour l'évaluation des composantes du rendement.

Partie III : RESULTATS ET ANALYSES

1. Effet du mélange variétal sur la pyriculariose

1.1. Effet sur la pyriculariose foliaire

Les figures 12 et 13 présentent pour chaque traitement et chaque date de notation les moyennes de la sévérité de la pyriculariose foliaire.

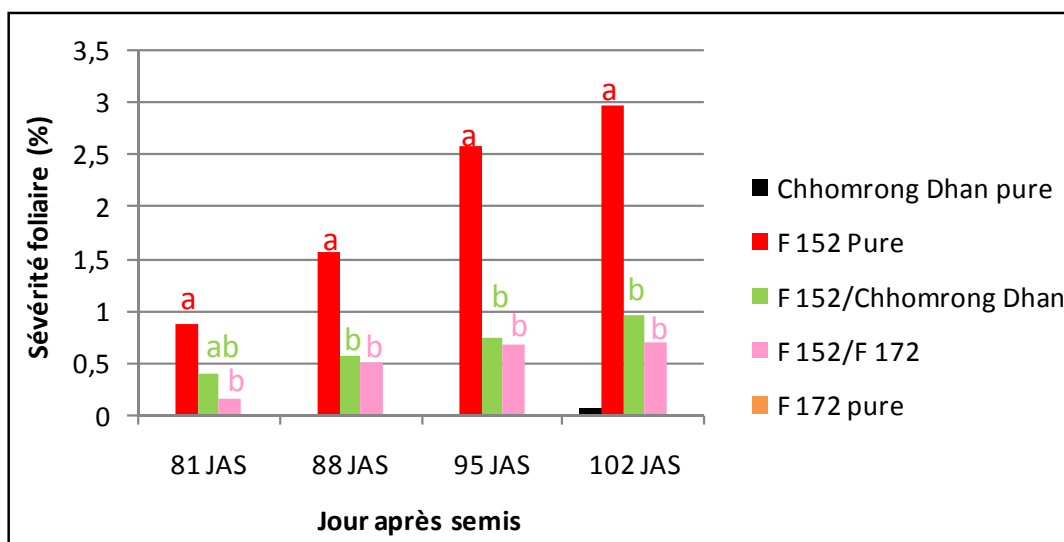


Figure 12: Evolution de la sévérité de la pyriculariose foliaire pour la variété F152 cultivée en culture pure ou en mélange. Pour chaque date, les moyennes avec la même lettre ne sont pas statistiquement différentes.

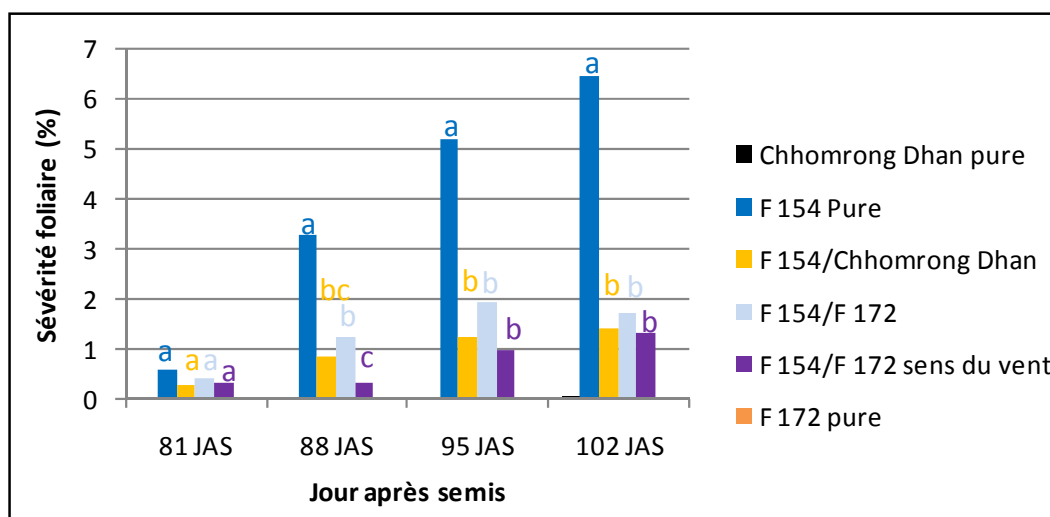


Figure 13: Evolution de la sévérité de la pyriculariose foliaire pour la variété F154 cultivée en culture pure ou en mélange. Pour chaque date, les moyennes avec la même lettre ne sont pas statistiquement différentes.

NB.: Les variétés résistantes F172 et Chhomrong Dhan n'ont été évaluées qu'à la dernière notation 102 JAS.

Le tableau 3 montre les effets significatifs des différentes modalités du mélange (traitement) sur la sévérité de la maladie au stade foliaire.

Tableau 3: Analyse statistique de l'effet des différentes modalités de mélange sur la sévérité de la pyriculariose foliaire sur les variétés sensibles (F152 et F154). Les cases sont colorées lorsque le facteur traitement, bloc ou l'interaction a un effet significatif.

		Dates de notation			
		81 JAS	88 JAS	95 JAS	102 JAS
F152	Traitement	0.0454	0.0001	<.0001	<.0001
	Bloc	0.0004	<.0001	0.0089	<.0001
	Traitement*bloc	0.0365	<.0001	<.0001	0.0001
F154	Traitement	0.4765	<.0001	<.0001	<.0001
	Bloc	0.6731	0.0012	0.0016	<.0001
	Traitement*bloc	0.0423	<.0001	0.1075	<.0001

P<0.05 : effet significatif

Pour F152, l'effet traitement (différentes modalités de mélange) a un effet significatif sur l'intensité de la maladie dès les premières dates de notation. L'analyse des groupes homogènes (test t dont les résultats sont reportés sur la figure 12) montre que la sévérité de la pyriculariose foliaire est significativement plus faible dans les mélanges (avec F172 ou Chhomrong Dhan) que dans les parcelles de sensible pure mais les mélanges ne sont pas significativement différents entre eux.

Pour F154, l'effet traitement est significatif à partir de la deuxième date de notation, à 88 JAS. La culture pure est toujours significativement plus attaquée que les autres. Le mélange dans le sens du vent est significativement moins attaqué que les autres traitements à 88 JAS mais cet effet disparaît ensuite et les niveaux de pyriculariose dans tous les mélanges avec F154 sont ensuite équivalents, et significativement inférieurs au niveau de pyriculariose en culture pure (figure 13).

L'effet de la variété sur la pyriculariose foliaire est montré dans le tableau qui suit.

Tableau 4: Analyse de l'effet variétale sur la sévérité de la pyriculariose foliaire. Les moyennes avec la même lettre ne sont pas statistiquement différentes.

	Dates de notation			
	81 JAS	88 JAS	95 JAS	102 JAS
F152	0.8580 a	1.5629 b	2.5623 b	2.9681 b
F154	0.5827a	3.2688 a	5.1691 a	6.4361 a
F172				0.0000 c
ChhD				0.0543 c

P<0.05 : effet significatif

Sur la comparaison entre variétés, on constate que l'effet de la variété n'apparaît qu'à partir de 88 JAS (tableau 4). A la première notation, F152 et F154 ont la même incidence de maladie mais à partir de 88 JAS la pression de maladie sur F154 devient significativement plus élevée que sur F152 qui semble moins sensible que F154. A 102 JAS, la notation a été effectuée sur toutes les variétés. Cette notation confirme la résistance de F172 et la forte tolérance de Chhomrong Dhan à la pyriculariose. F172 et Chhomrong Dhan ne sont pas significativement différents entre eux bien que Chhomrong Dhan présente quelques lésions.

1.2. Effet sur la pyriculariose paniculaire

Les figures 14 et 15 présentent pour chaque traitement et chaque date de notation les moyennes de la sévérité de la pyriculariose paniculaire.

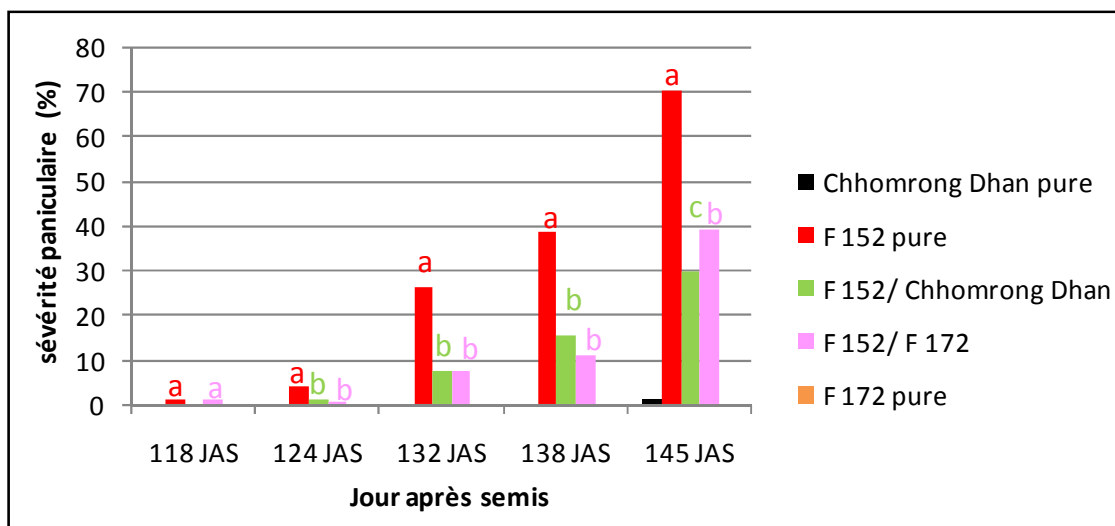


Figure 14: Evolution de la sévérité de la pyriculariose paniculaire sur F 152 pure ou en mélange. Les moyennes avec la même lettre ne sont pas statistiquement différentes.

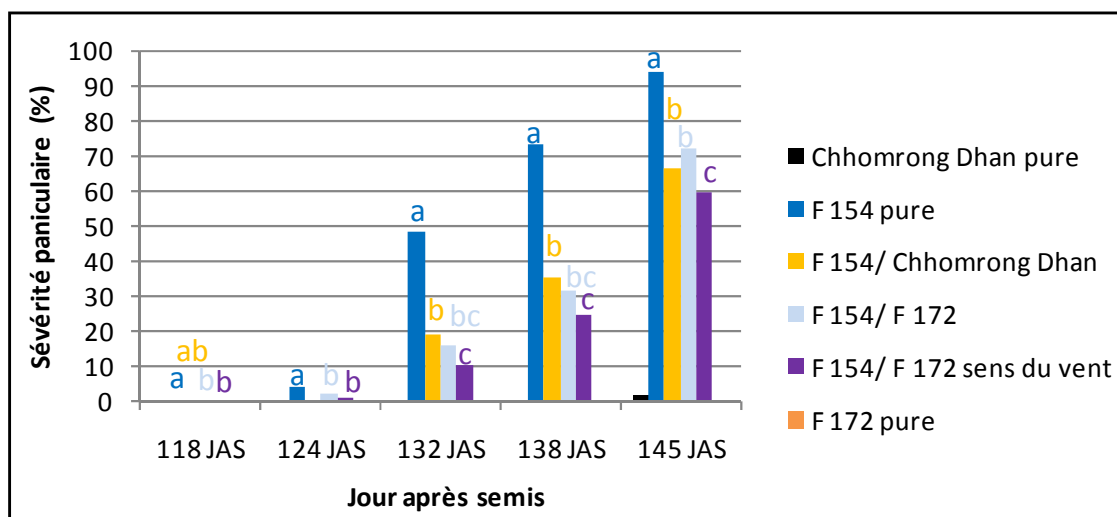


Figure 15: Evolution de la sévérité de la pyriculariose paniculaire sur F154 pure ou en mélange. Les moyennes avec la même lettre ne sont pas significativement différentes.

NB.: Les variétés résistantes F172 et Chhomrong Dhan n'ont été évaluées qu'à la dernière notation 145 JAS.

Le tableau 5 montre l'effet significatif des différentes modalités de mélange sur la sévérité globale de la maladie au stade paniculaire.

Tableau 5 : Analyse statistique de l'effet des différentes modalités de mélange sur la sévérité de la pyriculariose paniculaire sur les variétés sensibles (F152 et F154). Les cases sont colorées lorsque le facteur traitement ou bloc a un effet significatif.

		Dates de notation				
		118 JAS	124 JAS	132JAS	138 JAS	145 JAS
F152	Traitement	0.7187	0.0002	<.0001	<.0001	<.0001
	Bloc	0.0329	0.0212	0.0010	<.0001	<.0001
	Traitement*bloc	0.6466	0.0892	0.0050	<.0001	<.0001
F154	Traitement	0.0676	0.0006	<.0001	<.0001	<.0001
	Bloc	0.2894	0.5027	<.0001	<.0001	<.0001
	Traitement*bloc	0.4637	0.5174	0.5243	0.0572	<.0001

P<0.05 : effet significatif

Au stade paniculaire, l'effet traitement n'apparaît qu'à partir de 124 JAS.

Pour F152, la culture en mélange a un niveau de pyriculariose significativement plus faible que celui en culture pure. Le niveau de la maladie n'est pas différent entre les mélanges avec F172 ou les mélanges avec Chhomrong Dhan sauf pour la dernière date (145 JAS) où

F152 en mélange avec F172 est significativement plus atteinte que F152 avec Chhomrong Dhan.

Pour F154, la culture pure est toujours significativement plus attaquée que les mélanges. Le niveau de maladie n'est pas différent entre les mélanges avec F 172 et les mélanges avec Chhomrong Dhan sauf pour la première date (118 JAS) mais à cette date le niveau de maladie est encore très faible. Le mélange dans le sens du vent est toujours significativement moins attaqué que les autres mélanges sauf durant les deux premières dates de notation.

La moyenne de la sévérité de la pyriculariose paniculaire de chaque variété en culture pure correspondant aux différentes dates de notations est affichée dans le tableau 6.

Tableau 6: Comparaison de la sévérité de la pyriculariose paniculaire entre les différentes variétés en culture pure. Les variétés ayant des cases contenant la même lettre ne sont pas statistiquement différentes. Les cases colorées indiquent un effet significatif.

	Dates de notation				
	118 JAS	124 JAS	132JAS	138 JAS	145 JAS
F152	0.8479 a	4.102 a	26.302 b	38.641 b	70.358 b
F154	0.4546 a	4.196 a	48.571 a	73.043 a	93.492 a
F172					0.044 c
ChhD					0.953 c

P<0.05 : effet significatif

L'effet de la variété n'apparaît qu'à partir de 132 JAS. Pareillement au stade foliaire, F154 apparaît comme plus sensible que F152. Comme pour les notations sur feuille, la résistance de F172 et la forte tolérance de Chhomrong Dhan à la pyriculariose paniculaire est encore confirmée. F172 et Chhomrong Dhan sont plus résistantes que F152 et F154 et elles ne présentent pas de différences significatives pour le niveau de pyriculariose paniculaire.

2. Effet de la compétition sur la croissance des plantes

2.1. Evolution du nombre de talles

La figure 16 présente l'évolution du nombre de talles des 4 variétés suivant le traitement.

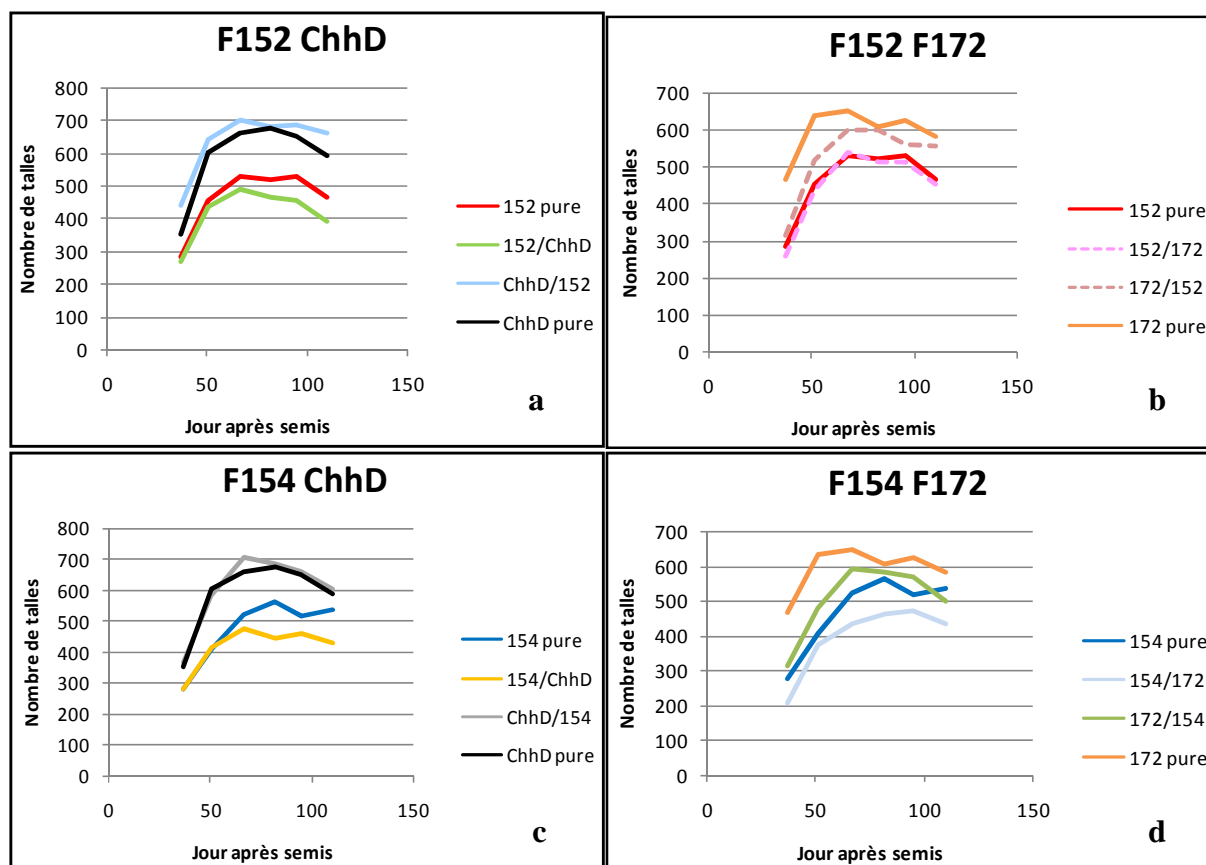


Figure 16: Evolution du nombre de talles suivant les variétés et les traitements.

L'effet de la compétition est perceptible sur l'évolution du nombre de talles (annexe V).

La variété F152 subit l'effet de la compétition quand elle est en mélange avec Chhomrong Dhan. Etre mélangée avec F172 lui est indifférent, l'évolution de son nombre de talles tout au long du cycle reste presque le même que pour celle cultivée en pure (figure 16 a et b).

La variété F154 talle plus quand elle est cultivée en culture pure qu'en mélange quelle que soit la variété associée (F172 ou ChhD) (figure 16 c et d).

La variété F172 talle moins en mélange tandis qu'au contraire, Chhomrong Dhan produit plus de talles en mélange.

2.2. Suivis dynamiques de la hauteur des plants

La figure 17 présente l'évolution de la hauteur des touffes des 4 variétés suivant le traitement.

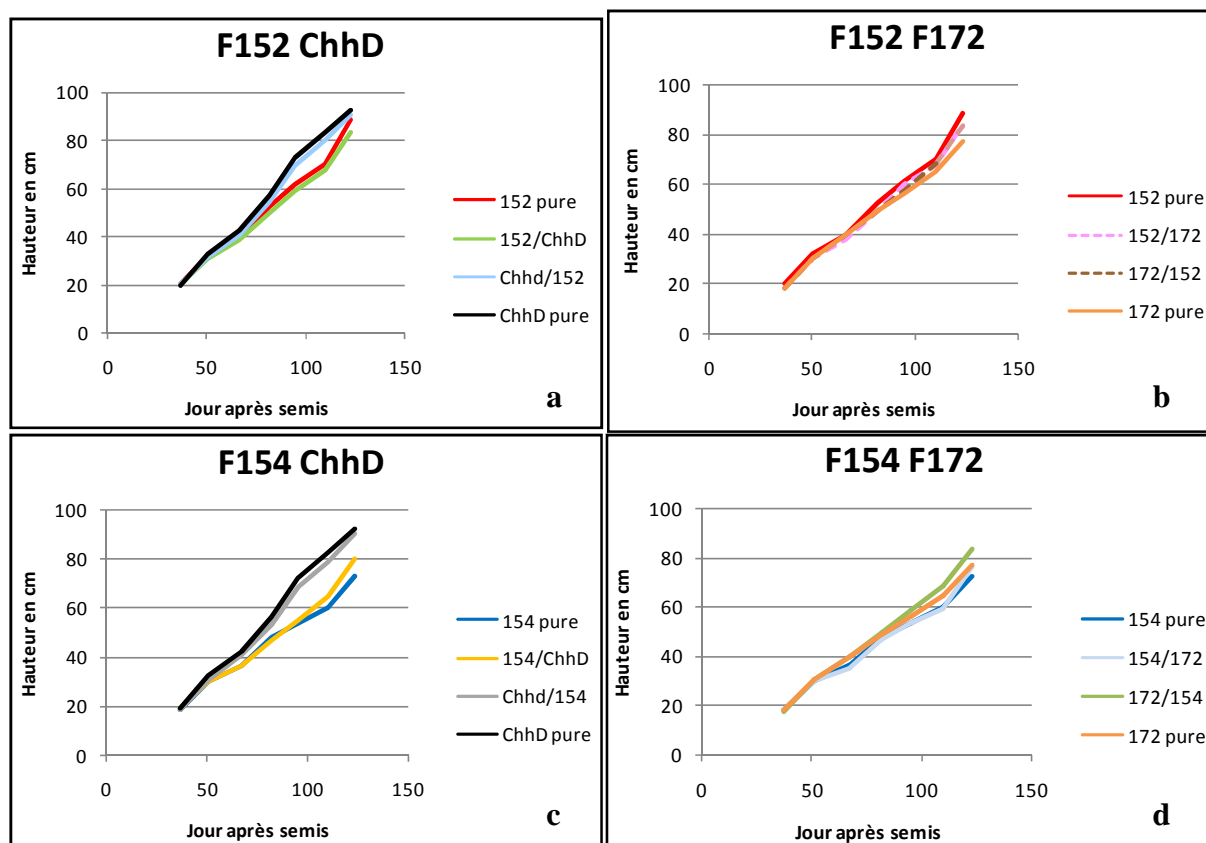


Figure 17: Evolution des hauteurs suivant les variétés et les traitements : **a)** comparaison des cultures pure et des mélanges F152 avec ChhD, **b)** comparaison F152 et F172, **c)** comparaison F154 et ChhD, **d)** comparaison F154 et F172.

La figure 17 montre que la hauteur n'est pas très différente entre les variétés cultivées pures ou cultivées en mélange que ce soit avec Chhomrong Dhan ou avec F172. La compétition ne semble pas jouer de façon nette sur la hauteur des plantes. En effet, dans le mélange avec F 172 (figure 17 b et d), on constate que F152, F154 et F172 évoluent de façon très similaire. ChhD a un comportement un peu différent, principalement avec F154 (figure 17 c) et aux deux dernières dates de mesure, F154 apparaît plus petite que ChhD. La compétition, en revanche, ne semble pas avoir d'effet particulier puisque F154 pure et F154 en mélange ont une dynamique d'évolution de la hauteur très comparable, et ChhD pure et ChhD dans le mélange évoluent également de façon très similaire.

3. Les composantes du rendement et le rendement

3.1. Les composantes du rendement

3.1.1. Effet du mélange variétal sur les composantes du rendement.

L'effet du mélange sur les composantes du rendement pour chaque variété sensible est donné dans le tableau 7.

Tableau 7: Résultats de l'effet traitement sur les composantes du rendement de F152. Les cases colorées indiquent que l'effet traitement est significatif et celles ayant la même lettre ne sont pas très différentes.

	F152 pure	F152/F172	F152/ChhD
Nbr plts/m²	145.00 a	136.00 a	130.00 a
Nbr pan/ m²	348.50 a	347.50 a	264.00 b
Nbr pan/ plts	2.3917 a	2.5958 a	2.0577 a
Nbr ep/ pan	44.607 a	47.916 a	46.656 a
Nbr ep/ m²	15796 a	16729 a	12212 a
%GP	35.576 a	53.796 a	52.550 a
Nbr GP/m²	5491 a	9104 a	6509 a
PMG	23.1400 a	24.4800 a	23.4300 a

Pour la variété F152, le nombre de panicule par m² est plus élevé dans les parcelles pures et les parcelles en mélange avec F172 que dans les parcelles en mélange avec Chhomrong Dhan. Ce résultat illustre l'effet de la compétition exercée par Chhomrong Dhan sur F152 qui limite son tallage au profit de Chhomrong Dhan.

Tableau 8: Résultats de l'effet traitement sur les composantes du rendement de F154.

	F154 pure	F154/F172	F154/ChhD
Nbr plts/m²	154.50 a	132.00 a	128.50 a
Nbr pan/ m²	430.00 a	366.00 ab	302.00 b
Nbr pan/ plts	2.8608 a	2.7716 a	2.3465 a
Nbr ep/ pan	30.522 a	41.545 a	40.014 a
Nbr ep/ m²	12985 a	14948 a	11724 a
%GP	6.725 b	24.100 a	27.088 a
Nbr GP/m²	909.4 b	3740.0 a	3180.0 a
PMG	20.573 a	20.710 a	24.220 a

Pour F 154, le nombre de grains pleins par m² et le pourcentage de grain plein (Fertilité) des mélanges ne présentent pas de différence significative entre eux mais sont largement plus élevé par rapport à ceux des parcelles pures. Ceci serait lié à l'atténuation de l'impact de la pyriculariose dans les mélanges : F154 y est plus ou moins protégée contre la maladie par les variétés résistantes. Cette tendance existe aussi pour F 152 (tableau 8) mais elle n'est pas statistiquement significative

Pour la variété F154, le nombre de panicules par m² est plus élevé dans les parcelles pures et les parcelles en mélange avec F172 que dans les parcelles en mélange avec Chhomrong Dhan. Ce résultat illustre l'effet de la compétition exercée par Chhomrong Dhan sur F154.

3.1.2. Effet de la compétition sur les composantes du rendement

Les composantes du rendement des variétés résistantes que ce soit en mélange ou en pure sont données dans le tableau suivant.

Tableau 9: Analyse statistique de l'effet de la compétition sur les composantes de rendement de F172. Une case colorée indique que l'effet est significatif ($P < 0.05$). Les traitements ayant des cases contenant la même lettre ne présentent pas de différence significative.

	F152/F172**	F152/F172 RS*	F154/F172**	F154/F172 RS*	F172 pure
Nbr plts/m²	176.50 ab	188.00 ab	172.00 ab	157.50 b	207.00 a
Nbr pan/m²	475.50 a	525.00 a	436.50 a	426.50 a	534.00 a
Nbr pan/plts	2.7147 a	2.7949 a	2.5260 a	2.6934 a	2.6098 a
Nbr ep/pan	44.581 ab	47.675 a	44.505 ab	44.431 ab	34.808 b
Nbr ep/m²	21189 a	25417 a	20075 a	19141 a	18665 a
%GP	91.4844 a	92.8333 a	92.2710 a	91.6293 a	92.4377 a
Nbr GP/m²	19377 a	23533 a	18612 a	17562 a	17237 a
PMG	26.4000 a	26.1600 a	25.5600 a	27.4200 a	25.9300 a

*plants se trouvant à côté de la ligne de variété sensible

**plants de F172 se trouvant à côté d'une autre F172

Tableau 10: Analyse statistique de l'effet de la compétition sur les composantes de rendement de Chhomrong Dhan.

	F152/ChhD**	F152/ ChhD RS*	F154/ChhD**	F154/ ChhD RS*	ChhD pure
Nbr plts/m²	151.50 a	169.50 a	161.50 a	150.00 a	157.00 a
Nbr pan/m²	464.00 a	475.50 a	468.00 a	499.50 a	442.00 a
Nbr pan/plts	3.2091 a	2.8140 a	2.8998 a	3.3376 a	2.8513 a
Nbr ep/pan	70.932 a	71.847 a	71.684 a	65.787 a	67.312 a
Nbr ep/m²	32897 a	34248 a	33437 a	32300 a	29693 a
%GP	69.372 a	66.954 a	65.128 a	53.774 a	67.268 a
Nbr GP/m²	22460 a	22686 a	21907 a	18909 a	19781 a
PMG	24.4300 a	24.9600 a	24.7000 a	24.3400 a	24.7900 a

*plants se trouvant à côté de la ligne de variété sensible

**plants de ChhD se trouvant à côté d'une autre ChhD

L'effet de la compétition n'est pas significatif sur les variétés résistantes (F172 et Chhomrong Dhan) qu'elles soient cultivées en pure ou en mélange. On constate que les résultats de F172 en mélange avec F152 ne sont pas différents de ceux de F172 en mélange avec F154 et de F172 en pure (tableau 10). De même, Chhomrong Dhan en mélange avec F152 ou F154 ne présentent pas de différence significative avec Chhomrong Dhan pure (tableau 11). Dans ces deux cas, les composantes du rendement des plants de la variété résistante se trouvant à côté de la ligne sensible (F152/ F172 RS*, F154/ F172 RS*, F152/ ChhD RS*, F154/ ChhD RS*) ne sont pas différents statistiquement que ceux des plants à l'intérieur des lignes 1 :5 c'est-à-dire ceux plantés près d'une autre variété résistante (F152/F172**, F154/F172**, F152/ChhD**, F154/ ChhD**).

Les parcelles de référence pour F 172 pure ont été définies dans les bordures de 5 m autour des parcelles élémentaires et par conséquent n'ont pas été semées dans les mêmes conditions que les autres parcelles élémentaires (décalage de la date de semis mais en revanche même itinéraire cultural). Cette différence peut expliquer le biais observé sur le nombre de plants /m² ainsi que sur le Nombre d'épillets /m² pour ces parcelles.

3.1.3. Effet du sens du vent sur les composantes du rendement

La comparaison entre F154/F172 ayant ses lignes de semis perpendiculaires au sens du vent et F154/F172 sens du vent est donnée dans le tableau ci-après.

Tableau 11: Comparaison entre F154/F172 et F154/F172 sens du vent. Les cases colorées indiquent un effet significatif, celles ayant la même lettre ne sont pas statistiquement différentes.

	F154/F172	F154/F172 sdv
Nbr plts/m²	132.000 a	137.500 a
Nbr pan/ m²	366.00 a	392.00 a
Nbr pan/ plts	2.7716 a	2.8522 a
Nbr ep/ pan	41.545 a	46.709 a
Nbr ep/ m²	14948 a	18297 a
%GP	24.100 a	31.815 a
Nbr GP/m²	3740 a	5690 a
PMG	20.710 b	24.990 a

L'effet du sens du vent n'est pas significatif sur les composantes du rendement sauf pour le PMG. C'est d'ailleurs un résultat qu'il est difficile à interpréter. Par ailleurs il n'y a pas d'effet significatif sur le niveau de stérilité (tableau 11).

3.2. Le rendement

3.2.1. Effet du mélange variétal sur le rendement

La figure 18 présente les rendements de chaque variété selon les traitements.

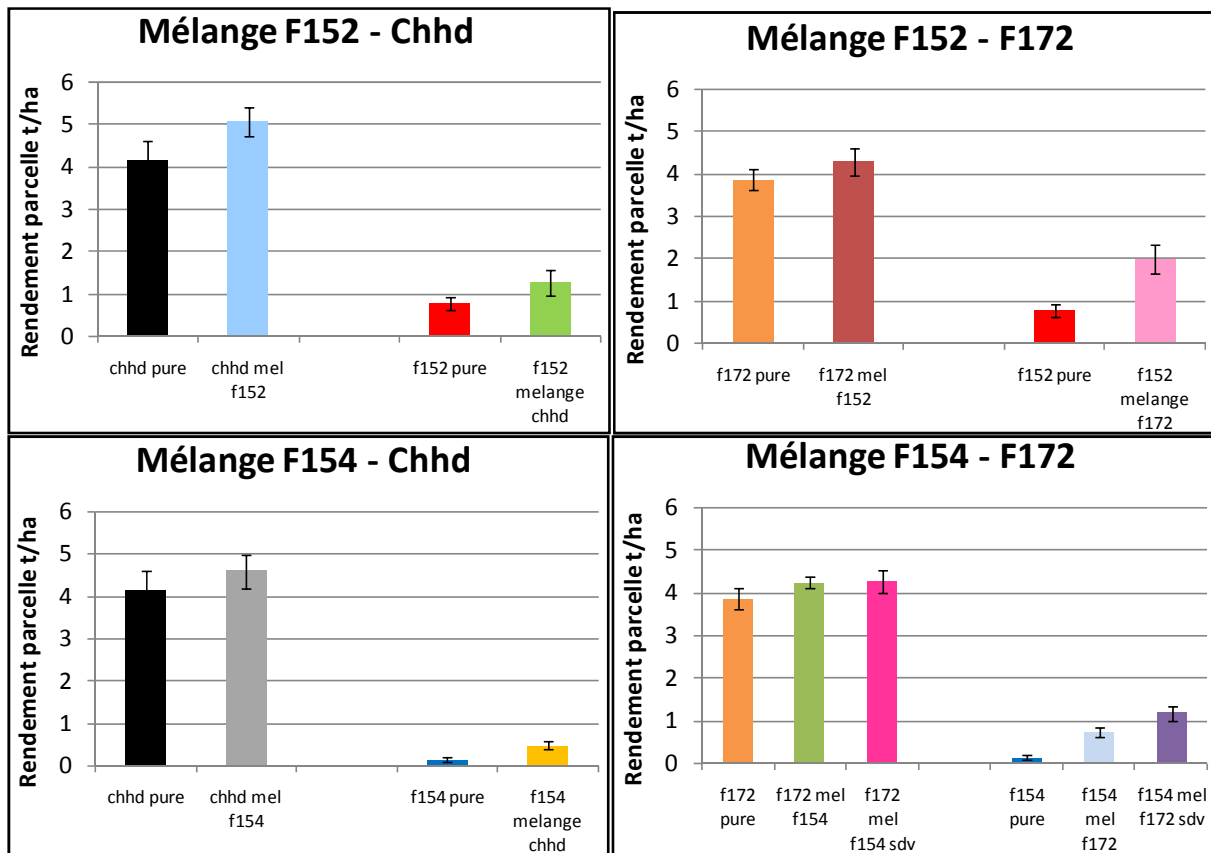


Figure 18: Rendements sur les parcelles.

L'effet du mélange sur le rendement pour chaque variété sensible est donné dans le **tableau 12**.

Tableau 12: Récapitulatif des différences significatives des moyennes du rendement. Les cases colorées indiquent que l'effet traitement est significatif et celles ayant la même lettre ne sont pas très différentes.

		Rendement
F152	F152 pure	0.7576 b
	F152/F172	1.9875 a
	F152/Chhd	1.2785 ab
F154	F154 pure	0.14653 c
	F154/F172	0.73791 a
	F154/Chhd	0.48411 b

L'effet du mélange est significatif sur le rendement de chaque variété sensible : on obtient un meilleur rendement sur les parcelles mélanges que sur les parcelles avec la variété sensible cultivée en pure (figure 18 et tableau 12). Pour F152, les mélanges (F152/F172 et F152/ChhD) ont des rendements équivalents mais significativement supérieurs à F152 pure. Pour F154, les trois modalités de traitement sont toute différentes du point de vue rendement : la variété en pure a le rendement le plus médiocre (0.14653t/ha) qui peut être lié à une forte pression de pyriculariose, suivi de F154/ChhD (0.48411t/ha) et le meilleur rendement est observé sur F154 en mélange avec F172 (0.73791 t/ha) (tableau 12). Ces classements reflètent bien la combinaison de l'effet de protection vis-à-vis de la pyriculariose dû au mélange (qui est sensiblement du même ordre avec Chhomrong Dhan ou avec F 172 comme on l'a vu précédemment) et de l'effet défavorable de la compétition qui est plus fort avec la variété Chhomrong Dhan qu'avec la variété F 172.

L'effet de la compétition sur le rendement des variétés résistantes que ce soit en mélange ou en pure est donné dans les tableaux suivants (tableau 13 et 14).

Tableau 13: Récapitulatif des différences significatives des moyennes de rendement de F172. Une case est colorée si l'effet est significatif. Les traitements ayant des cases contenant la même lettre ne présentent pas de différence significative.

	F152/F172	F154/F172	F172 pure
Rendement	4.2857 a	4.2401 a	3.8565 a

Tableau 14: Récapitulatif des différences significatives des moyennes de rendement de Chhomrong Dhan.

	F152/ChhD	F154/ ChhD	ChhD pure
Rendement	5.0531 a	4.5856 a	4.1572 a

D'après ces tableaux, on constate que l'effet compétition n'est significatif ni sur le rendement de F172 ni sur celui de Chhomrong Dhan. Du point de vue rendement, les pures (F172 pure ou ChhD pure) ont des rendements semblables aux mélanges. Néanmoins il faut relever que les rendements les plus faibles sont toujours dans les parcelles pures ce qui semble indiquer que la composante résistante bénéficie des relations de compétition avec la composante sensible des mélanges.

Le tableau 15 montre l'effet du sens du vent sur le rendement.

Tableau 15: Résultats de l'effet du sens du vent sur le rendement. L'effet est significatif là où les cases sont colorées. Les moyennes de rendement possédant la même lettre ne sont pas différentes.

	F154 pure	F154/F172	F154/F172 sdv
Rendement	0.1465 c	0.7379 b	1.1846 a

D'après le tableau 15, l'effet sens du vent est significatif sur le rendement. On constate que le rendement de F154 diffère d'un traitement à un autre : le mélange F154/F172 parallèle au sens du vent a le meilleur rendement avec 1.1846t/ha, puis F154/F172 est moyen (0.7379t/ha) et enfin F154 pure est le plus bas avec seulement 0.1465 t/ha.

3.2.2. Effet de la pyriculariose sur le rendement

La figure suivante montre l'impact de la pyriculariose paniculaire sur le rendement de la parcelle.

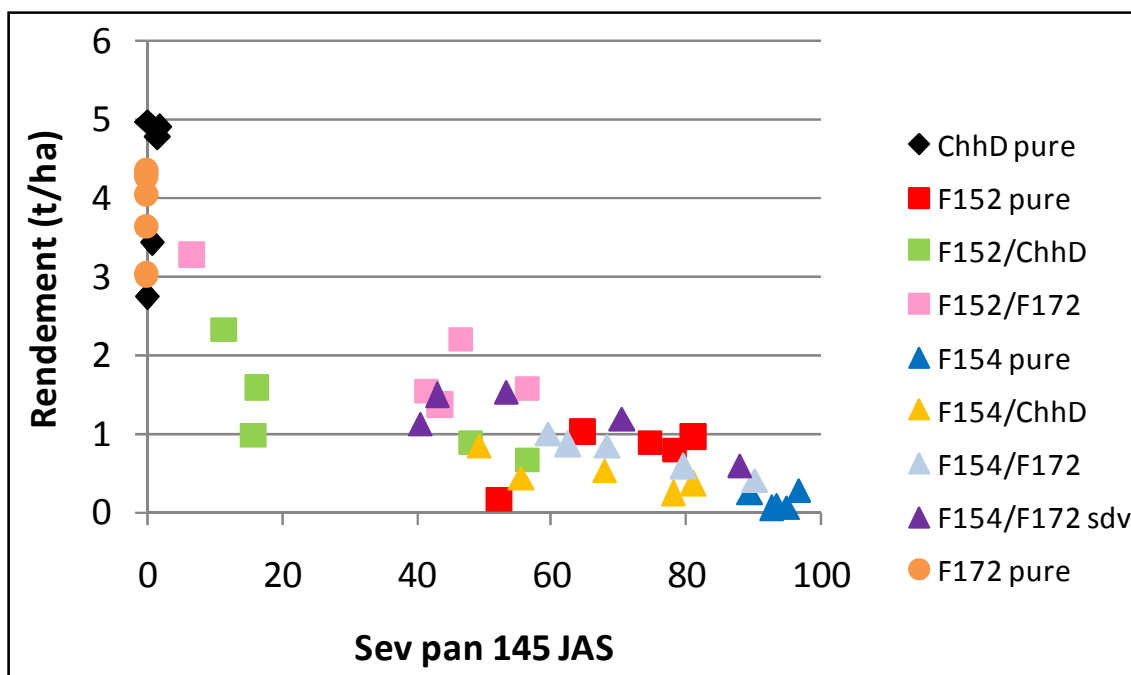


Figure 19: Corrélation de la pyriculariose paniculaire sur le rendement de la parcelle.

On constate que la corrélation est bonne: plus la moyenne de la sévérité de la maladie est élevée, plus le rendement de la variété est médiocre.

Partie IV : DISPOSITIF EN MILIEU PAYSAN

1. Contexte

Plusieurs dispositifs de mélange variétal ont été installés sur des parcelles paysannes afin de tester l'efficacité du mélange variétal dans la lutte contre la pyriculariose du riz pluvial face aux conditions du milieu réel. Les essais en milieu paysan ont été menés grâce à un partenariat entre l'URP SCRiD et d'autres organismes tels BVPI/SDmad et FIFAMANOR. L'URP-SCRiD assure les suivis épidémiologiques tandis que les organismes partenaires offrent leurs réseaux de paysans et leur assistance technique pour l'installation des dispositifs.

2. Le dispositif expérimental

2.1. Milieu d'étude

Durant cette campagne, 20 dispositifs simplifiés ont été installés dans des parcelles d'agriculteurs de plusieurs communes de la région Vakinankaratra : 1 à Andranomanelatra, 1 à Imerimandroso, 1 à Antsapanimahazo, 1 à Antsoatany, 1 à Antsahamaina, 1 à Begoaika, 2 à Verezambola, 1 à Belazao, 1 à Antsahamanitra, 6 à Tsaratanana, 1 à Ambaniandrefana, 1 à Antsira, 2 à Mahaimandry.

2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est composé de 2 variétés de riz pluvial : la variété sensible Fofifa 154 (F154) et la variété résistante Fofifa 172 (F172).

2.3. Traitements

Il y a deux types de dispositifs en milieu paysan : il s'agit soit d'un essai à « dispositif simple » soit d'un essai en « grande parcelle ». Parmi les 23 essais, 3 sont sur des dispositifs « grande parcelle ».

Un dispositif simple comprend une parcelle mélange et une parcelle de F154 pure ayant chacune une surface de 25m² (5x5) (figure 20). La première est cultivée d'un mélange de la variété sensible (F154) et de la variété résistante (F172) en proportion d'une ligne de la variété sensible pour quatre lignes de la variété résistante. Les lignes de semis sont perpendiculaires à la direction du vent dominant de manière à limiter la propagation des spores sur les lignes des variétés sensibles. La deuxième parcelle élémentaire est cultivée uniquement avec la variété sensible (F154). Cette parcelle servira de témoin. Les bordures et l'espace entre les deux parcelles élémentaires sont cultivés uniquement de la variété résistante (F172).

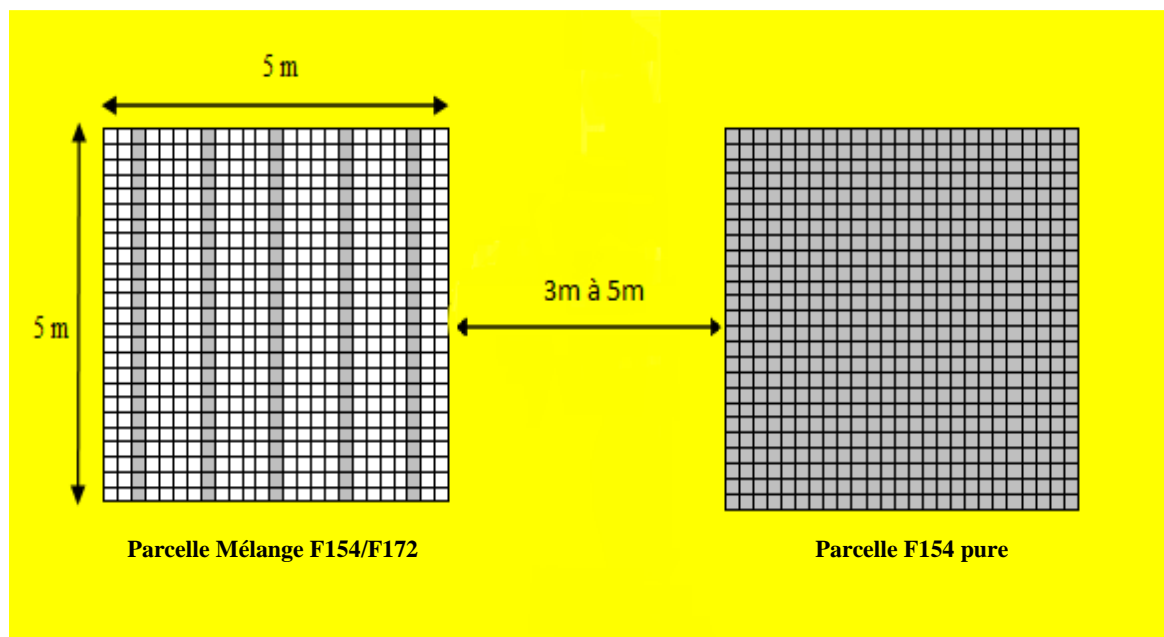


Figure 20: Schéma standard du dispositif simple en milieu paysan.

Source : Rafenomanjato, 2011-2012

3. Mesures et suivis expérimentaux effectués sur les parcelles

3.1. Suivi de la pyriculariose

La notation de la pyriculariose foliaire et paniculaire a été réalisée sur toutes les parcelles des dispositifs infectés. Les mesures ont été faites sur la variété sensible en prenant un échantillon de 10 poquets choisis au hasard dans chaque parcelle élémentaire. L'objectif est d'évaluer l'impact de la maladie à une date donnée afin de comparer la performance des deux systèmes (mélange et pure).

Le système de notation est le même que celui utilisé en milieu contrôlé que ce soit pour la pyriculariose foliaire ou pour la pyriculariose paniculaire.

3.2. Evaluation du rendement

Le rendement est obtenu par pesage direct du paddy pendant la récolte. Les composantes du rendement sont estimées à l'aide d'échantillon de cinq poquets. Ces poquets sont arrachés puis transportés dans la salle de stockage ou sont effectué le comptage et pesage des grains. Les paramètres mesurés sont : poids de 200 grains pleins, poids de 200 grains vides, le poids des grains pleins restants et le poids des grains vides restants. C'est à partir de ces données que nous calculons le pourcentage de grains pleins et le poids de milles grains. Ces données doivent permettre donc d'évaluer l'impact de la maladie sur la productivité des variétés sensibles dans les deux systèmes de culture étudiés. Les composantes du rendement sont mesurées uniquement sur les dispositifs infectés.

4. Résultats, analyses et discussion :

Le tableau 17 affiche la synthèse des résultats sur tous les dispositifs.

Tableau 16 : Synthèse des résultats sur les dispositifs en milieu paysan.

N° dispositif	site	système	% de surface foliaire nécrosée	% de grains malades	rendement (t/ha)	%GP	PMG (g)
1	Andranomanelatra	mélange	0,000	0,258	3,260	73,5	30,2
		pure	0,011	11,639	1,796	72,6	30,9
2	Imerimandroso	mélange	0,001	0,090	4,700	61,5	29,3
		pure	0,058	0,713	6,520	75,3	29,8
3	Antsapanimahazo	mélange	0,000	0,000	1,240		
		pure	0,000	0,000	2,320		
4	Antsoatany	mélange	0,000	0,000	2,500		
		pure	0,000	0,000	2,140		
5	Antsahamaina	mélange	0,000	0,000	3,900		
		pure	0,000	0,000	3,000		
6	Begoaika	mélange	0,001	0,537	2,400	58,6	30,3
		pure	0,099	15,206	2,308	52,6	21,0
7	Verezambola	mélange	1,218	34,928	1,300	42,6	25,4
		pure	3,154	75,800	0,940	48,9	23,3
8	Verezambola	mélange	0,002	0,068	0,624	28,8	29,6
		pure	0,014	1,148	1,228	34,3	26,8
9	Belazao	mélange	0,000	0,000	3,640		
		pure	0,000	0,000	4,884		
10	Antsahamanitra	mélange	0,000	0,000	0,380		
		pure	0,000	0,000	0,360		
11	Tsaratana	mélange	0,001	0,095	3,600	76,6	33,4
		pure	0,008	0,542	3,200	83,8	30,8
12	Tsaratana	mélange	0,015	0,893	3,600	70,8	31,0
		pure	0,516	6,083	3,480	64,8	29,9
13	Tsaratana	mélange	0,002	0,283	3,000	45,1	26,2
		pure	0,493	20,253	3,120	53,0	26,5
14	Tsaratana	mélange	0,000	0,000	3,000		
		pure	0,000	0,000	2,800		
15	Tsaratana	mélange	0,000	0,000	2,000		
		pure	0,000	0,000	2,600		
16	Tsaratana	mélange	0,000	0,000	3,600		

		pure	0,000	0,000	3,000		
17	Ambaniandrefana	mélange	0,000	0,000	3,000		
		pure	0,000	0,000	3,200		
18	Antsira	mélange	0,005	0,161	2,800	68,5	32,1
		pure	0,222	7,064	3,200	68,9	30,4
19	Mahaimandry	mélange	0,000	0,000	0,364		
		pure	0,000	0,000	0,504		
20	Mahaimandry	mélange	0,000	0,020	0,300	64,4	30,1
		pure	0,065	0,783	0,260	8,3	17,3

Source : Rafenomanjato, 2011-2012

Ce tableau indique que dans certains sites de l'expérimentation, l'attaque de la pyriculariose est inexistante ou sinon elle est assez faible.

4.1. Effet du mélange variétal sur la pyriculariose

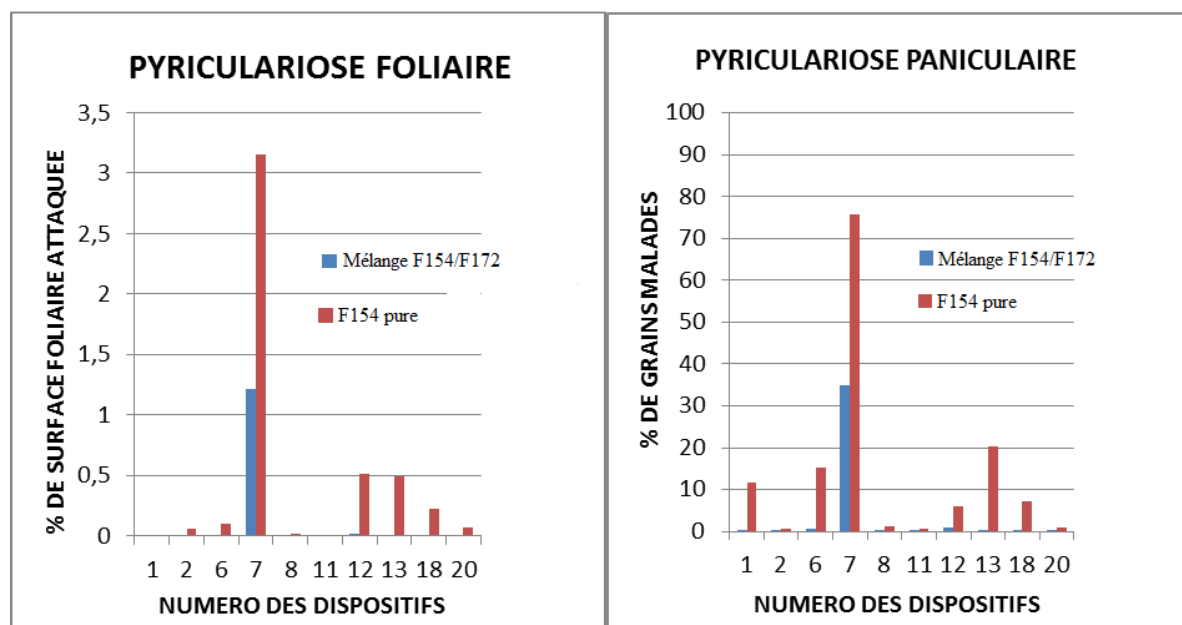


Figure 21: Evolution de la sévérité de la pyriculariose sur les dispositifs paysans.

Source : Rafenomanjato, 2011-2012

Si nous observons la figure 21, nous pouvons constater que sur le système mélange, les niveaux d'attaque de la pyriculariose (foliaire ou paniculaire) sont nettement plus faibles que sur le système pure, celui du dispositif 7 sis à Verezambola ayant le maximum. Le pourcentage moyen des surfaces foliaires attaquées ainsi que le pourcentage de grains malades sur les dispositifs contaminés montre des différences significatives entre les deux systèmes ($p = 0,028$ pour la pyriculariose foliaire et $p = 0,029$ pour la pyriculariose

paniculaire). Nous pouvons ainsi dire que le mélange variétal permet une diminution de l'infestation de pyriculariose sur une variété sensible.

4.2. Effet du mélange variétal sur le rendement

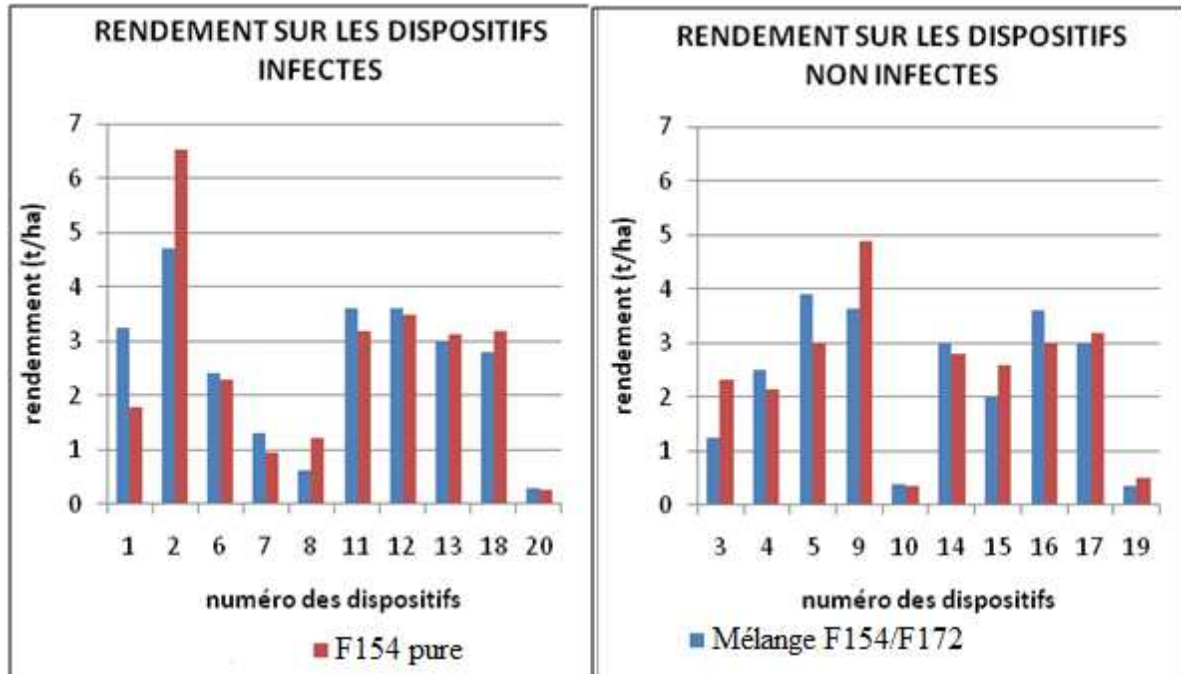


Figure 22: Rendements des dispositifs paysans.

Source : Rafenomanjato, 2011-2012

La figure 22 nous montre que le rendement est très variable avec ou sans attaque de pyriculariose.

4.3. Relation entre rendement et niveau de pyriculariose paniculaire

La figure ci-après montre la corrélation entre rendement et le niveau de la pyriculariose paniculaire.

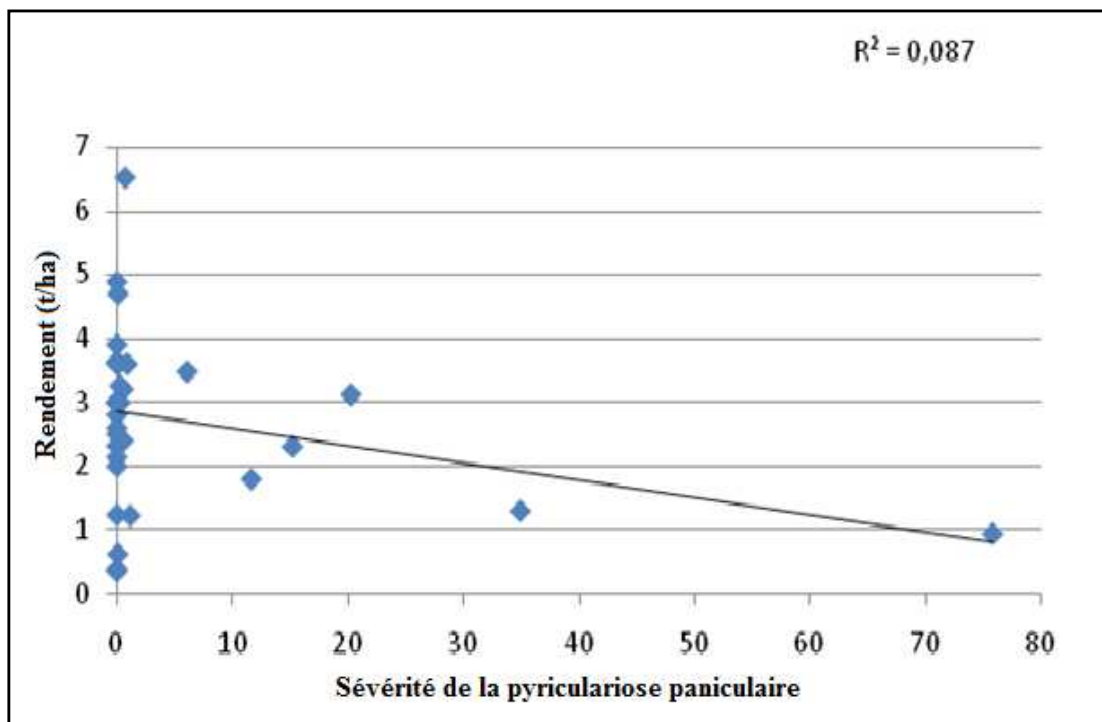


Figure 23: Relation entre rendement et niveau de pyriculariose paniculaire.

Source : Rafenomanjato, 2011-2012

Dans les conditions paysannes, on fait face à une extrême variabilité des rendements même en l'absence de pyriculariose. Néanmoins il est possible de visualiser l'effet des infestations de pyriculariose quand elles sont suffisamment fortes.

PARTIE V : DISCUSSIONS

Les résultats des essais ont montré que le niveau de maladie dans les mélanges est moins important que celui des cultures pures. La variété F154 cultivée en mélange (avec 172 ou ChhD) a un pourcentage de grains pleins (%GP) et un nombre de grains pleins par m² (Nbr GP/ m²) beaucoup plus élevé que lorsqu'elle est cultivée pure. L'action des mélanges sur le ralentissement de l'épidémie pourrait être à l'origine de ce phénomène : la variété sensible se trouve plus ou moins protégée des attaques de l'agent pathogène par la variété résistante. Comme les lésions de la maladie provoquent une diminution de l'activité photosynthétique de la plante au stade foliaire ainsi que le blocage du transport des éléments nutritifs nécessaire pour le remplissage des grains au stade paniculaire, la réduction de l'importance de la maladie grâce au mélange minimise ainsi les pertes de rendement. Mais c'est surtout en agissant directement sur la diminution de la maladie au stade paniculaire, comme nous l'avons encore confirmé dans cette expérimentation, que les mélanges permettent de limiter les pertes de rendement de la variété sensible.

Il a été montré que la pyriculariose foliaire ou paniculaire est plus sévère dans le mélange F154/F172 avec les lignes perpendiculaires au sens du vent que dans F154/F172 avec les lignes parallèles au sens du vent. Ce phénomène pourrait s'expliquer par plusieurs hypothèses. La première est que le vent sur la parcelle a pu être très variable avec des bourrasques et des directions variables. Ainsi, le sens du vent dominant ne serait pas du tout l'unique sens du vent en jeu et la dispersion a pu se faire aussi facilement dans les deux directions. La seconde est que l'efficacité des mélanges n'est pas due à la dispersion entre plantes sensibles qui est bloquée mais plus à un effet de dilution qui, lui, ne dépend pas du sens du vent. La troisième est que les lignes dans le sens du vent ont pu être plus séchées que les lignes perpendiculaires au sens du vent avec un effet sur le microclimat qui peut avoir énormément d'impact sur la maladie en créant une condition hostile au développement du champignon (63).

D'après les essais, l'effet de la compétition joue surtout sur les variétés sensibles (F152 et F154) en mélange avec ChhD. F152/ChhD a moins de panicules/m² que F152/F172. De même, F154/ChhD a un rendement moins élevé que F154/F172. On suppose que ces différences sont dues aux caractéristiques de ChhD qui est une variété vigoureuse assez « envahissante » de part sa hauteur et son fort tallage. Dans la mise au point des mélanges, l'impact de la compétition entre variétés est un facteur à prendre en compte. Une partie des gains obtenus par la diminution de la maladie sur la variété sensible peuvent être effacés par les effets négatifs de la compétition exercée par la ou les autres composantes du mélange.

Les essais menés sur des parcelles paysannes ont confirmé encore une fois l'efficacité des mélanges dans le contrôle de la pyriculariose du riz pluvial. Par contre l'impact du mélange sur le rendement n'est pas assez évident à mettre en évidence en milieu réel. Ceci doit être lié aux pratiques culturales qui sont variables suivant les paysans, mais aussi à la variabilité de la qualité du sol entre les parcelles. Pour les dispositifs numéro 10 (Antsahamanitra) et 20 (Mahaimandry), le faible rendement obtenu peut s'expliquer par une mauvaise maîtrise des adventices qui doivent avoir concurrencé le riz tant en lumière qu'en éléments nutritifs. Pour le dispositif numéro 19 (Mahaimandry), le problème est surtout lié au sol ; il s'agit d'un sol sableux avec une mauvaise rétention d'eau. Dans cette expérimentation nous ne pouvons pas conclure l'effet du mélange sur le rendement car l'influence des facteurs non contrôlés semble être trop importante.

PARTIE VI : PROGRAMMATION INFORMATIQUE

Cette dernière partie présentera un logiciel créé à l'aide de Microsoft Visual Basic. C'est un outil qui permet de rechercher une variété de riz pluvial et ensuite d'afficher les informations correspondantes.

1. Capture d'écran et programmation de la fenêtre principale

La figure suivante montre la fenêtre principale du logiciel.



Figure 24 : Fenêtre principale du logiciel.

```
Public Sub Annuler_Click()  
End  
End Sub
```

2. Capture d'écran et programmation de l'affichage des résultats

La figure ci-après présente la fenêtre qui affiche le résultat de la recherche..



Figure 25 : Fenêtre affichant les informations sur la variété F152

```

Public Sub Command1_Click()
If Text1.Text = "" Or Text1.Text = "" Then
Call Resultats.Form_Load
Public Sub Form_Load()
Resultats.Show
parent.Caption = "Latsidahy/Fofifa 62"
grain.Caption = "Mi-long"
aristation.Caption = "Mutique"
hauteur.Caption = "80"
Cycle.Caption = "Précoce (150)"
productivité.Caption = "Très bonne (67)"

```

PointsForts.Caption = "Précocité, Goût apprécié, Tallage, Certaine rusticité"

PointsFaibles = "Sensibilité à la pyriculariose"

End Sub

End If

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les essais de contrôle de la pyriculariose du riz pluvial de Vakinankaratra durant cette campagne 2011-2012 par le biais du mélange variétal nous ont permis de déduire certains points assez importants concernant cette méthode de lutte.

Nous avons pu constater que le mélange variétal est efficace dans la réduction du niveau de maladie des variétés sensibles et permet ainsi de réduire les pertes de rendement par rapport à la culture pure.

Les résultats ont aussi montré que les variétés sensibles (F152 et F154) ont tendance à subir un effet de compétition lorsqu'elles sont cultivées en mélange avec Chhomrong Dhan. Le mélange avec F172 est plus équilibré de ce point de vue mais dans F172 est une variété exigeante en azote qui peut se comporter mal en milieu paysan sans intrants.

L'influence de l'orientation des lignes de semis (perpendiculaire ou parallèle au sens du vent) ne semble pas jouer un rôle très significatif dans l'efficacité de l'association variétale. Ce serait donc surtout l'effet de dilution du mélange qui jouerait un rôle plus important que l'effet de barrière. C'est déjà ce que suggérait l'absence de différence marquée entre les dilutions 1:5 en ligne et les dilutions 1:5 randomisées observée en 2007.

Pour ce qui est du rendement et de ses composantes, il a été mis en évidence que les variétés sensibles en mélanges sont largement plus productives que celles en culture pure. De ce fait, on peut supposer donc que l'association variétale serait une solution alternative pour pouvoir réutiliser des variétés sensibles ou des variétés résistantes déjà contournées présentant des caractéristiques agronomiques intéressantes mais qui sont moins productives en culture monovariétale.

Pour pouvoir valider l'efficacité des mélanges en milieu paysan, des essais doivent encore se poursuivre. Les suivis écophysiologicals devraient s'effectuer sur plus de poquets (>5) pour que les résultats soient plus fiables et précis. En outre, F152 en mélange aussi pourrait faire l'objet de certains essais en milieu réel. De même, comme dit précédemment, le remplacement de F172 par Chhomrong Dhan pourrait également être intéressant vu que cette variété est vraiment appréciée par les paysans de la région. Par ailleurs, il serait mieux de repérer les sites contaminés par la pyriculariose avant de mettre en place les dispositifs paysans en faisant des enquêtes auprès des paysans par exemple.

A l'issue de cette étude, nous avons pris conscience de l'importance de continuer la recherche sur la lutte contre les maladies du riz, notamment de la pyriculariose, afin de promouvoir la sécurité alimentaire à Madagascar. L'approche « mélange variétal » représente une perspective intéressante pour le contrôle de la pyriculariose (dans le cadre d'une lutte

intégrée) respectant l'environnement tout en étant d'une application facile et accessible aux paysans malagasy.

BIBLIOGRAPHIE

COURS DISPENSES A L'ISPM

- 1-RAZAKAMANANA Harisoa, Phytopathologie, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème} année, 2008-2011
- 2-VELOMBOLA Second Modeste, Expérimentation et biométrie, 4^{ème} année, 2009-2010
- 3-VELOMBOLA Second Modeste, Cultures vivrières, 4^{ème} année, 2009-2010
- 4-RANDRIAMANANJARA Valisoa, Visual Basic, 2^{ème} année, 2007-2008

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 5-ADRAO, 2003, Le centre du riz pour l'Afrique
- 6-ARRAUDEAU, 1998, Le riz irrigué, Collection Le technicien d'agriculture tropicale, Edition Maisonneuve et Larousse, 322p
- 7-AYLOR, The role of wind in dispersal disease, 1990, Annual review phytopathology 28: 73-92
- 8-BERRUYER, 2003, Etude des interactions riz-*Magnaporthe grisea* : caractérisation et clonage du gène de résistance Pi 33, Thèse de doctorat.- Montpellier, 342p
- 9-C.N.R.A. Bambey, 1982, Typologie des rizières-Caractéristiques des variétés de riz (*Oryza sativa*) actuellement recommandées au Sénégal, Collection Etudes techniques, Document n°82/109
- 10-CHABROLIN, 1965, La riziculture de tavy à Madagascar, L'agronomie tropicale, extrait document O.R.S.T.O.M, 9-23
- 11-CIRAD, FOFIFA, 1993, Riziculture pluviale d'altitude à Madagascar, 4p
- 12-Coalition for African Rice Development (CARD), 2009, Stratégie nationale de développement de la riziculture-Madagascar (SNDR), Document PDF, 26p
- 13-COUCH and KOHN, 2002, A multilocus gene genealogy concordant with host preference indicates segregation of a new species, *Magnaporthe oryzae*, from *M. grisea*. Mycologia 94: 683-693
- 14-COURTOIS Brigitte, 2007, Une brève histoire du riz et de son amélioration génétique, Cirad, France, 13p
- 15-DABAT Marie-Hélène, Analyse de la filière riz à Madagascar, document du CIRAD, 15p
- 16-DIDELOT *et al.*, 2007, Effects of cultivar mixtures on scab control in apple orchards, Plant Pathology 56: 1014–1022
- 17-DOBELMANN, 1976, Riziculture pratique 1-riz irrigué, Techniques vivantes, 220p

- 18-EBBOLE, 2007, *Magnaporthe* as a Model for Understanding Host-Pathogen Interactions, *Phytopathology* 45: 437-456
- 19-FINCKH *et al.*, 1999, Host frequency and density effects on powdery mildew and yield in mixtures of barley cultivars, *Plant Pathology* 48, 807–816
- 20-FINCKH *et al.*, 2000, Cereal variety and species mixtures in practice, with emphasis on disease resistance, *Agronomie* 20, 813-837
- 21-FOFIFA/SPV, 1990, Pyriculariose du riz, Fiche technique de la protection des cultures, n°2
- 22-HUOT, 2011, Etude des facteurs influençant la pyriculariose du riz pluvial d'altitude des Hautes-Terres de Madagascar, Rapport de stage, AgroParisTech, 71p
- 23-IRRI, 1985, Problèmes en riziculture guide d'identification, 2ème édition.-Philippines, 172p
- 24-JACQUOT *et al.*, 1997, Le riz, L'amélioration des plantes tropicales, CIRAD-ORSTOM, 533-559
- 25-JIA and GEALY, 2008, Carolina foxtail susceptibility and suitability as an alternative host to rice blast Disease, *Plant disease*, Vol. 92, n°4, P504-507
- 26-JOHNSON, 1987, Les adventices en Afrique de l'Ouest, ADRAO, 304p
- 27-KATO, 2001, Rice blast disease *Pesticide Outlook* 12, 23–25
- 28-KÜRSCHNER *et al.*, 1991, Effects of Nitrogen timing and split application on Blast Disease in upland rice, *Plant Disease* 76: 384-389
- 29-LACHARME Marc, 2001, Le plant du riz : données morphologiques et cycle de la plante
- 30-LEUNG *et al.*, 2003, Using genetic diversity to achieve sustainable rice disease management. *Plant Disease* 87:1156-1169
- 31-LONG, LEE, TEBEEST, 2000, Effect of Nitrogen Fertilization on Disease Progress of Rice Blast on Susceptible and Resistant Cultivars, *Plant Disease* 84: 403-409
- 32-MEURILLON André, Fiches phytopathologiques de quelques plantes cultivées à Madagascar, 1989, les maladies du riz, ESSA Département Agriculture, 1-36
- 33-MOREAU, 1987, L'analyse de l'élaboration du rendement du riz : les outils de diagnostic, Rapport du GRET, 126p
- 34-MORENO-RUIZ, CASTILLO-ZAPATA, 1990, The variety Colombia: a variety of coffee with resistance to rust (*Hemileia vastatrix*) Cenicafe Chinchina -Caldas-Colombia Technical Bulletin 9: 1-27.
- 35-MUNDT, 2002, Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management, *Annual Review of Phytopathology* 40: 381-410.

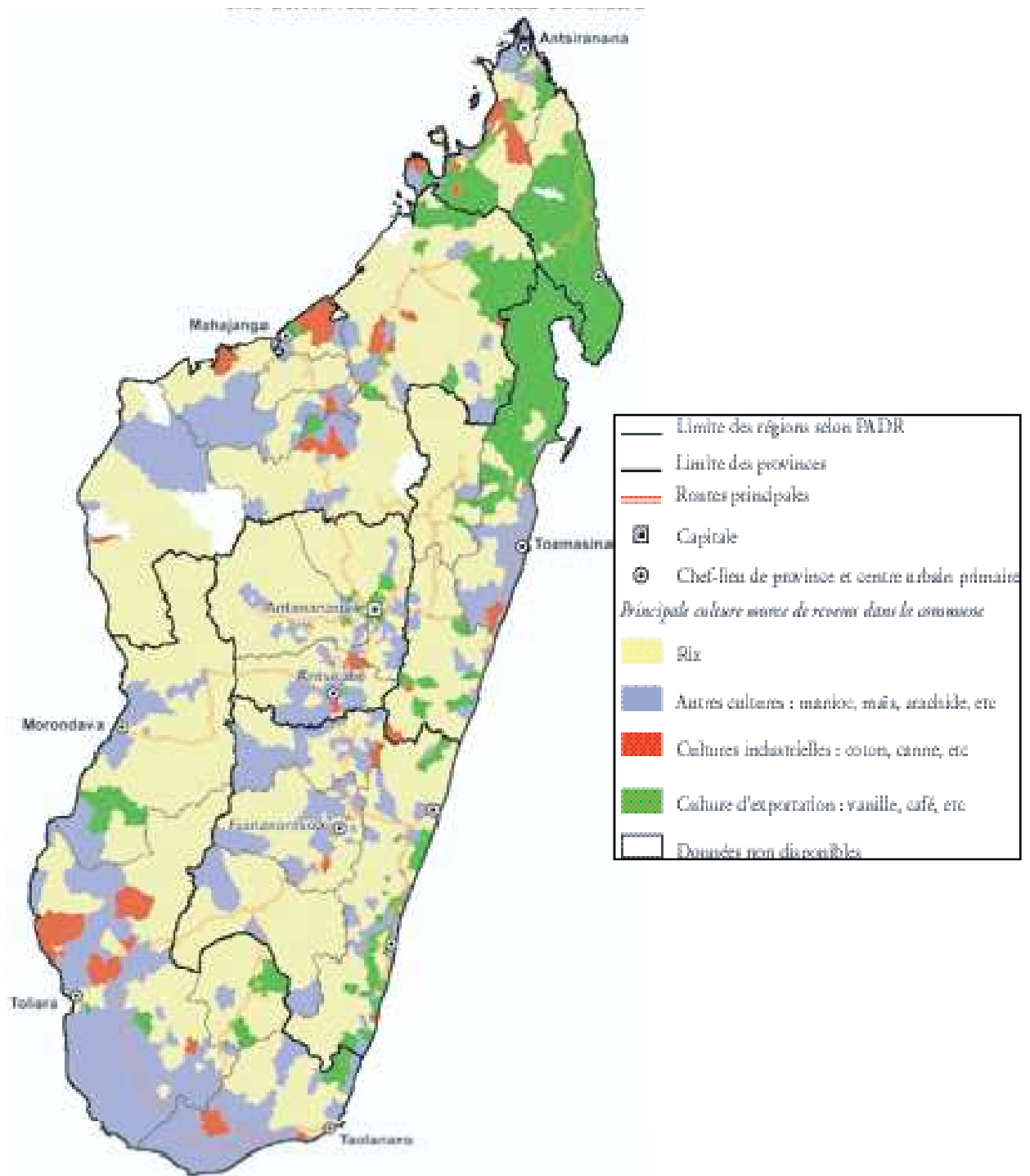
- 36-MUNDT, BROPHY, SCHMITT, 1995, Choosing crop cultivars and mixtures under high *versus* low disease pressure: a case of study with wheat, *Crop Protection* 14: 509-15
- 37-MUÑOZ, 2008, The effect of temperature and relative humidity on the airborne concentration of *Pyricularia oryzae* spores and the development of rice blast in southern Spain, *Spanish Journal of Agricultural Research*, 61-69
- 38-NEBIE, 1995, Etude des facteurs agro-pédologiques déterminant la production du riz irrigué dans la vallée du Kou au Burkina Faso, Thèse, Université nationale de Côte d'Ivoire, 191p
- 39-NOTTEGHEM et BAUDIN, 1981, Principales maladies du riz en Afrique de l'Ouest, 33 p
- 40-OU, 1985, Rice Diseases, 2nd ed. Commonwealth Agricultural Bureaux, Kew, 380p
- 41-PENOT *et al.*, 2009, Rôle et place du riz pluvial dans les exploitations du Vakinankaratra (Hauts Plateaux et Moyen Ouest, Document de travail BV lac n° 19, 34p.
- 42-RABOIN *et al.*, 2012, Two-component cultivar mixtures reduce rice blast epidemics in an upland agrosystem, *Plant pathology*, 8p
- 43-RABOIN et RAMANANTSOANIRINA, 2010, Catalogue de variétés issues du programme d'amélioration génétique du riz pluvial, Collection BVPI/SCRiD/FOFIFA/TAFA, 25p
- 44-RADANIELINA, 2010, Diversité génétique du riz (*Oryza sativa* L.) dans la région de Vakinankaratra : Structuration, distribution éco-géographique & gestion *in situ*, Thèse, Agro Paris Tech, 162p
- 45-RAKOTOARISOA., 2004. Les systèmes de cultures rizicoles à Madagascar et les stratégies de la recherche pour l'intensification rizicole. *Revue de la recherche agricole à Madagascar* 22 : 5-8
- 46-RANDRIANARISOA J.C., Analyse spatiale de la production rizicole malgache, *Revue de la recherche agricole à Madagascar* 22 : 34-37
- 47-RASOLOFO, RAZAFINDRAMAMBA, RALIARISON, 1986, Les maladies des cultures à Madagascar, Division de pathologie végétale, 182 p
- 48-RATSIMBA, 2005, La pyriculariose du riz dans la région du Vakinankaratra : incidence et contrôle, Master thesis, Athénée Saint Joseph Antsirabe (ASJA), 63p.
- 49-SEEBOLD *et al.*, 2004, Effects of silicon and fungicides on the control of leaf and neck blast in upland rice, *Plant Disease* 88: 253-258
- 50-SEGUY, BOUZINAC, PACHECO, 1989, Les principaux facteurs qui conditionnent la productivité du riz pluvial et sa sensibilité à la pyriculariose sur sols rouges ferrallitiques d'altitude, Goiânia, Centre-Ouest brésilien, CIRAD & Ministère de l'Agriculture brésilien

- 51-SERE *et al.*, 1996, Manuel de formation en pathologie du riz, ADRAO, 76p
- 52-SESTER *et al.*, 2008, Toward an integrated strategy to limit blast disease in upland rice, ENDURE International Conference
- 53-SKAMNIOTI and GURR, 2009, Against the grain: safeguarding rice from rice blast disease, Trends in biotechnology, vol27, n°3: 141-150
- 54-SUZUKI, 1975, Meteorological factors in the epidemiology of rice blast, Annual Review Phytopathology 13: 225-239
- 55-UPDR/FAO, 2001, Diagnostic et perspectives de développement de la filière riz à Madagascar, FAO/RAFP, Antananarivo.
- 56-VALLAVIEILLE- POPE *et al.*, 2005, Les associations de variétés: accroître la biodiversité pour mieux maîtriser les maladies, Dossier de l'environnement de l'INRA 30 : 101-109
- 57-VALLAVIEILLE-POPE, Effets épidémiologiques de la structure génétique des populations-hôtes, INRA, 201-208
- 58-VALLAVIEILLE-POPE, LANNOU, 2008, Mélanges variétaux : intégration dans un itinéraire technique, Séminaire "durabilité des résistances», INRA Grignon
- 59-VERGARA, 1992, Le manuel du riziculteur, 2ème édition, 219p
- 60-WOLFE, 1985, The current status and prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease resistance, Annual Review of Phytopathology 23: 251-273.
- 61-YONG KYU HAN, 2001, Epidemiological study on spore dispersion of *Pyricularia grisea*, Master Thesis, Faculty of the graduate school of Seoul national university, 49p
- 62-ZHU *et al.*, 2000, Genetic diversity and disease control in rice, Nature 406: 718-722
- 63-ZHU *et al.*, 2005, Panicle blast and canopy moisture in rice cultivar mixtures, Phytopathology 95:433-438

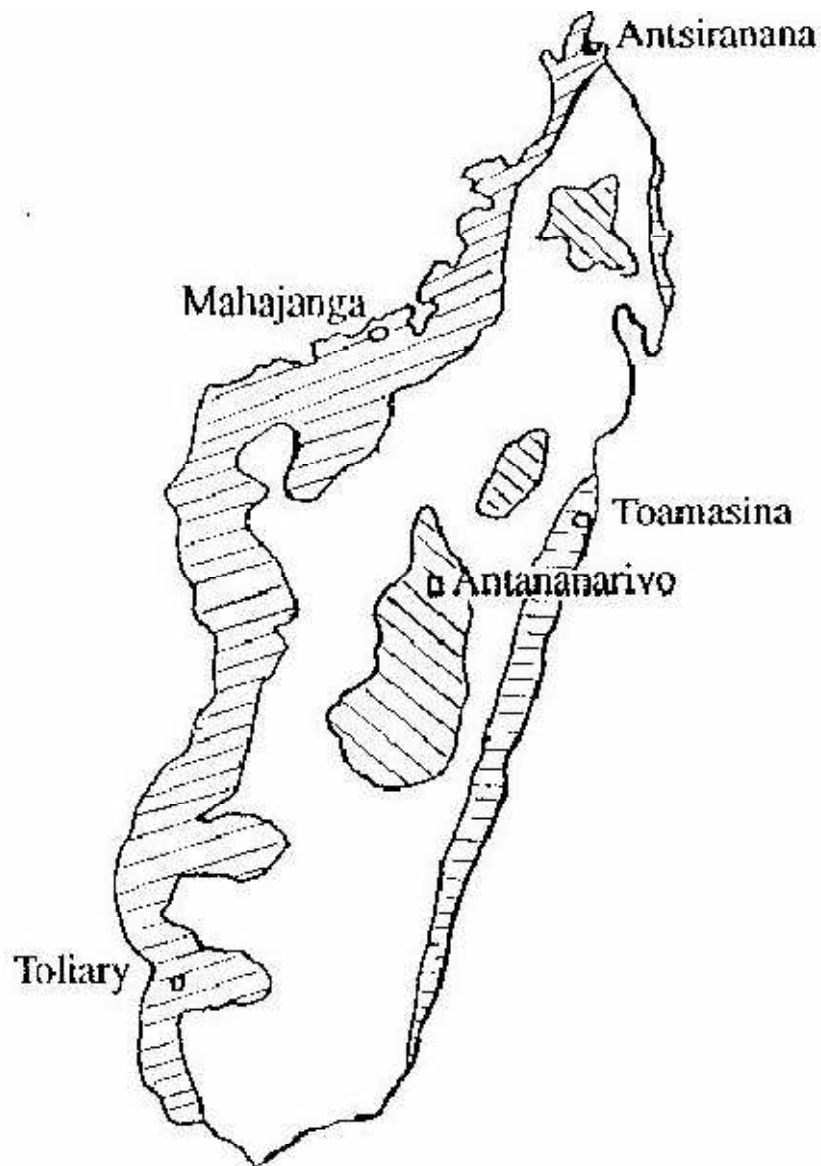
SITES WEB

- 64-<http://fr.wikipedia.org/wiki/Pyriculariose>
- 65-<http://www.cersae.mg/>
- 66-<http://www.cirad.fr/>
- 67-<http://www.cirad.fr/qui-sommes-nous/le-cirad-en-bref>
- 68-<http://www.fao.org/rice2004/fr/factsheets.htm>
- 69-<http://www.fofifa.mg/index.html>
- 70-http://www.fofifa.mg/pcp_scriid.htm
- 71-<http://www.irri.org/science/ricestat/data/may2008/WRS2008-Table30.pdf>

Annexe I: Répartition de la culture du riz à Madagascar



Annexe II : Répartition de la pyriculariose du riz à Madagascar

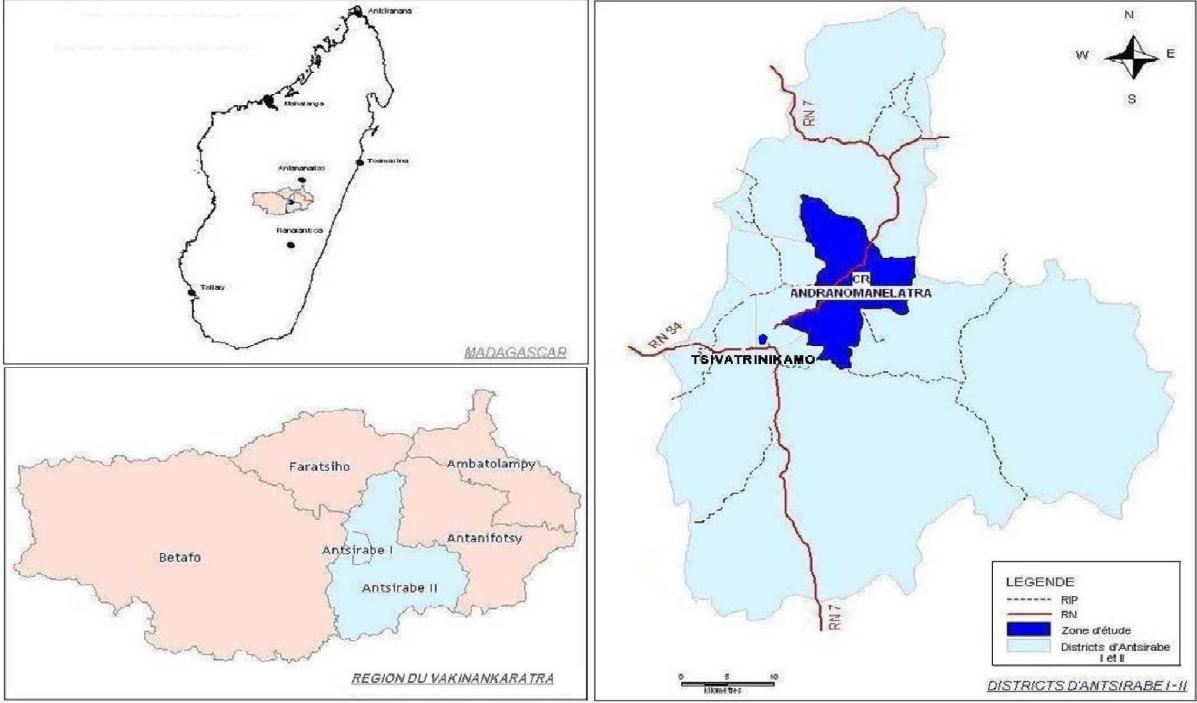


- ≡ : Maladie très importante
\\ : Maladie importante
/// : Moindre importance

Annexe III : Fiche des caractéristiques des variétés de riz pluvial F152, F154, F172, Chhomrong Dhan.

Nom	Fofifa 152	Fofifa 154	Fofifa 172	Chhomrong Dhan
Parents	Latsidahy Fofifa 62	Latsibavy Fofifa 62	IRAT 265 Jumli marshi	Origine Népal
Type grain	Mi-long	Long fin	Rond	Rond
Aristation	Mutique	Barbu	Barbe brune courte	Aristulé
Hauteur (cm)	80	75	85	125
Cycle (jr)	Précoce (150)	Intermédiaire (162)	Précoce	Tardif
Productivité (maximum observé en q/ha)	Très bonne (67)	Très bonne (90)	Bonne (50)	Bonne (68)
Points forts et/ou intéressants	Précocité Goût apprécié Tallage Certaine rusticité	Grain long et fin très apprécié Productivité Goût Tallage	Résistance aux maladies Adaptation à la haute altitude Grains rouge Précocité Tallage Aspect sanitaire du grain Port couvrant du feuillage	Résistance aux maladies Adaptation à la haute altitude Grande panicule Grains rouge Production masse végétale Fertilité Bon « stay- green »
Points faibles et/ou génants	Sensibilité à la pyriculariose	Sensibilité à la pyriculariose De la stérilité à haute altitude	Sensible égrenage Pyriculariose à surveiller	Sensible à la verse Sensible au stress hydrique

Annexe IV : Localisation de la zone d'étude : région de Vakinankaratra, commune Andranomanelatra.



Annexe V : Analyse statistique de l'effet compétition sur les composantes du rendement.

----- VAR=F 172 -----

The GLM Procedure

Student-Newman-Keuls Test for Nbr_plts_m

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate under the complete null hypothesis but not under partial null hypotheses.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	16
Error Mean Square	616.9375

Number of Means	2	3	4	5
Critical Range	33.300206	40.53461	44.943615	48.127466

Means with the same letter are not significantly different.

SNK Grouping	Mean	N	Traitement
A	207.00	5	f172 pure
A			
B A	188.00	5	f152/f172RS
B A			
B A	176.50	5	f152/f172
B A			
B A	172.00	5	f154/f172
B			
B	157.50	5	f154/f172RS

RESUME

Le riz est de loin la culture la plus dominante à Madagascar. La culture aquatique prend l'avantage sur les autres types de culture ; toutefois ces dernières années, la riziculture pluviale devient de plus en plus pratiquée, surtout sur les Hautes-terres. Dans un souci de mettre en avant le thème « développement durable », cette étude s'est portée sur le mélange variétal utilisé en lutte intégrée pour le contrôle de l'épidémie de la pyriculariose du riz pluvial dans la région Vakinankaratra. La pyriculariose est un des facteurs limitant la production dans cette région.

L'effet d'un mélange de deux variétés à niveau de sensibilités différentes pour le contrôle de la pyriculariose du riz a été étudié dans des essais conduits sur milieu contrôlé et sur des parcelles paysannes. Dans une parcelle mélange, une variété sensible est semée après 4 lignes d'une variété résistante. Le niveau d'attaque de ces parcelles est ensuite comparé avec celui des parcelles pures de chaque variété. En plus de l'effet du mélange sur l'incidence et la sévérité de la pyriculariose, l'effet du sens du vent et aussi de la compétition des mélanges sur les paramètres de rendements au moment de la récolte ont également fait l'objet de cette recherche.

Les résultats ont démontré que les mélanges permettent de réduire significativement l'épidémie de pyriculariose, et que grâce à cela les variétés sensibles (F152 et F154) produisent plus en mélanges qu'en pure. Le mélange variétal constitue une stratégie intéressante dans le contexte de stabilisation des rendements. Il est d'une application facile pour les paysans malagasy dont toutes les opérations agricoles se font manuellement.

Mots-clés : riz pluvial, pyriculariose du riz, mélanges variétaux, diversité génétique

Nombre de figures : 25

Nombre de tableaux : 17

Nombre de photos : 5

ABSTRACT

Rice is one of the main staple crops in Madagascar. Irrigated or rainfed lowland rice is more used than the other form of rice growing. But recently, upland rice becomes increasingly practiced, especially in the Madagascar Highlands. With the aim of highlighting "Sustainable Development", this study focused on cultivar mixtures used in integrated pest management to control rice blast in upland rice of Vakinankaratra, rice blast is one of the factors limiting production in this region.

The effect of two-component cultivar mixtures with different sensitivity levels on the control of rice blast disease was studied in trials in controlled environment and on farmer's fields. In the mixture, susceptible cultivars were sown after every 4 row of resistant cultivars. Disease level of them was compared with each cultivar grown in a pure stand. In addition to the effect of these mixtures on the incidence and severity of rice blast, the effect of wind direction and competition on yield and yield components t harvest time had observed.

The results demonstrated that mixtures effect reduced significantly epidemic of rice blast, and thanks to that yields of susceptible cultivar (F152 and F154) grown in mixtures were higher than those of their respective pure stands. Cultivar mixtures are an interesting strategy in the context of stabilization of yields. It is easy to apply for Malagasy farmers which all agricultural operations are performed manually.

Keywords: upland rice, rice blast, cultivar mixtures, genetic diversity

Number of figures: 25

Number of tables: 17

Number of photos : 5