

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	i
SOMMAIRE.....	ii
LISTE DES TABLEAUX	iii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
RESUME.....	vi
ABSTRACT.....	vi
FINTINA	vii
INTRODUCTION	1
1. MATERIELS ET METHODES	3
1.1 Zone d'étude.....	3
1.2 Description des sites expérimentaux	6
1.3 Dispositifs expérimentaux.....	6
1.4 Observations des indicateurs de la recherche.....	8
1.5 Analyse des données	11
2. RESULTATS.....	12
2.1 Effet des traitements de fertilisation et de gestion d'enherbement sur le développement du riz pluvial	12
2.2 Effets des traitements de fertilisation et de gestion d'enherbement sur les rendements et les composantes des rendements.....	17
3. DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	24
3.1 Effets des différents traitements.....	24
3.2 Performance des variétés.....	25
3.3 Analyses composantes de rendement.....	26
3.4 Recommandations	27
CONCLUSION.....	28
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	viii
ANNEXES.....	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques de tous les traitements comparés.....	7
Tableau 2 : Comparaisons des biomasses moyennes des variétés par date sur SM1 et SM2..	13
Tableau 3 : Comparaisons de biomasse moyenne des traitements par date sur SM1 et SM2.	14
Tableau 4 : Comparaisons des moyennes des LAI par variété sur SM1 et SM2.....	15
Tableau 5 : Comparaisons des moyennes de LAI par traitements sur SM1 et SM2.....	16
Tableau 6 : Comparaisons des moyennes de variétés sur les différentes composantes du rendement.....	20
Tableau 7 : Comparaisons des moyennes de traitement sur les différentes composantes du rendement.....	21
Tableau 8 : Matrice de corrélation de composantes du rendement	22



LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation géographique des sites d'intervention	3
Figure 2: Courbe ombrothermique de la station d'Andranomanelatra de l'année 2013-2018 ..	4
Figure 3: Caractéristiques pédologiques de la région d'intervention.....	5
Figure 4 : Evolutions des biomasses aériennes moyennes (feuilles + tiges) des 4 variétés sur les essais SM1 et SM2 jusqu'à floraison (kg.ha ⁻¹).....	12
Figure 5: Evolution de la moyenne de biomasse par traitement sur les quatre dates de suivi sur SM1 et SM2 (kg.ha ⁻¹)	13
Figure 6 : Evolutions des LAI des variétés sur SM1 et SM2.....	15
Figure 7 : Evolutions des LAI par traitements sur SM1 et SM2	16
Figure 8: Rendement en pailles par variétés sur SM1 et SM2 (kg.ha ⁻¹) (gauche) / Rendement en pailles par traitements sur SM1 et SM2 (kg.ha ⁻¹) (droite)	17
Figure 9: Rendements en grains par variété sur SM1 et SM2 (kg.ha ⁻¹) (gauche) et Rendements en grains par traitement sur SM1 et SM2 (kg.ha ⁻¹) (droite).....	19
Figure 10: Cercle de corrélation de composantes de rendement de SM1	23
Figure 11: Cercles de corrélation de composantes de rendement de SM2	23

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Etat d'art sur le riz	I
ANNEXE 2 : Température moyenne mensuelle du juillet 2012 à juin 2017 de la station d'Andranomanelatra	V
ANNEXE 3 : Moyenne de Précipitations mensuelles du juillet 2012 à juin 2017 de la station d'Andranomanelatra	V
ANNEXE 4 : Schéma du dispositif expérimental à Imerimandroso (à gauche) et Tombontsoa (à droite).....	VI
ANNEXE 5 : Caractéristiques de variétés utilisées	VII
ANNEXE 6 : Mode opératoire pour le prélèvement de la biomasse	VIII
ANNEXE 7 : Nombres des plants des neufs poquets sur SM1	X
ANNEXE 8 : Nombres des tiges des neufs poquets sur SM2.....	XII
ANNEXE 9 : Détermination des composantes de rendement	XIV
ANNEXE 10 : Les différents types de croissance selon Tanaka	XV
ANNEXE 11 : Analyses ANOVA de la biomasse aérienne sur SM1	XVI
ANNEXE 12 : Analyses ANOVA de la biomasse aérienne sur SM2.....	XVII
ANNEXE 13 : Analyses ANOVA de LAI sur SM1	XVII
ANNEXE 14 : Analyses ANOVA de LAI sur SM2	XVIII
ANNEXE 15 : Analyses ANOVA des rendements.....	XVIII
ANNEXE 16 : Analyses ANOVA des composantes de rendement de SM1	XIX
ANNEXE 17 : Analyses ANOVA des composantes de rendement de SM2	XX

LISTE DES ABREVIATIONS

ANOVA	: Analysis of variance
BD	: Bases des Données
CIRAD	: Centre de Coopération Internationale en Recherche pour le Développement
CPA	: Principal Component Analysis
DRAE	: Directions Régionales de l'Agriculture et de l'Élevage
EPIL	: Nombre d'épillets par panicules
EPM	: Enquête Périodique auprès des Ménages
FAO	: Food and Agriculture Organization
FAOSTAT	: Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database
FOFIFA	: Foibem-pirenena momba ny fikarohana ampiharina amin'ny fampandrosoana ny eny ambanivohitra (centre national de recherche appliqué au développement rural)
FTM	: Foiben-Taosarintanin'i Madagasikara (Institut Géographique et Hydrologique de Madagascar)
GP	: Pourcentage des grains pleins
JAL	Jour Après Levée
LAI	: Leaf Area Index
NPK	: Engrais minéraux Azote (N)-Phosphore (P)-Potassium(K)
PAN	: Nombre de panicules par poquets
PMG	: Poids de 1000 grains
RDTG	: Rendement
SM	: Site Modélisation
SPAD	: Système de Production d'Altitude et Durabilité
UPDR	: Unité de Politique de Développement Rural

RESUME

Dans la région Vakinankaratra, le recours à la pratique du riz pluvial est incontournable. La zone est très peuplée, les cultures vivrières sont dominantes et l'extension des surfaces de riziculture irriguée n'est plus possible. Or, les sols de tanety sont acides et de type ferrallitique caractérisé par une faible fertilité et très fragile d'où le rendement du riz pluvial est faible. C'est dans cette optique que les différents partenaires du dP-SPAD entreprennent des recherches pour l'amélioration des performances du riz pluvial. Cette étude vise à caractériser les performances de différentes variétés de riz pluvial soumises à différents traitements de fertilisation et de gestion de l'enherbement. Deux essais ont été mis en place à Andranomanelatra et à Tombontsoa en 2017-2018. Quatre variétés : Chhomrong Dhan, FOFIFA 172, FOFIFA 180 et FOFIFA 186 ont été utilisées avec à chaque fois six modalités de gestion combinant le traitement de fertilisation et de gestion d'enherbement. Des suivis du développement par la mesure de biomasse aérienne et des mesures de LAI au cours du cycle ont été effectués, et les rendements en pailles et en graines ont été déterminés. Les résultats montrent que le rendement est maximal avec la dose recommandée de NPK et d'Urée et l'utilisation de 50% de la dose recommandée permet d'obtenir 50% de gain de rendement. L'effet de la dolomie est marginal et mineur. De plus, la pression des adventices liée au retard du premier sarclage a des impacts sur le rendement.

Mots clés : Fertilisation, Adventices, Rendement, Biomasse aérienne, LAI.

ABSTRACT

In the Vakinankaratra region, the use of upland rice is mandatory. The population is increasing, food crops are dominant and extension of lowland paddy fields is no longer possible. However, tanety soils are acidic and ferrallitic type, characterized by a poor fertility and erosion sensibility, hence upland rice yields are low. In this context SPAD-dP partners are conducting researches in order to improve the performance of upland rice. The present study aims to characterize the performance of different varieties of upland rice submitted to different fertilization levels and weeds pressure. Two trials were set up in Andranomanelatra and Tombontsoa in 2017-2018. Four varieties: Chhomrong Dhan, FOFIFA 172, FOFIFA 180 and FOFIFA 186 were tested under six treatments combining 4 fertilization levels and 3 weeds management. Aboveground biomass and LAI were monitored and straw and grain yields were determined. Results show that yield was maximum when using the recommended dose of NPK and Urea, and that the use of 50% of this dose allows to obtain 50% yield gain. The effect of dolomite appears very small. In addition, a 10 days delay of first weeding had an important impact on yields.

Key words: Fertilization, Weeds, Yield, Aerial biomass, LAI

FINTINA

Tsy azo ihodivirana ny fanaovana vary an-tanety any amin'ny faritr'i Vakinakaratra. Ny vokatra ara-tsakafo no tena manan-danja indrindra any anefa efa tery loatra ny tany nohon'ny fahabetsahan' ny mponina ka sarotra ny fanitarana ny voly anaty rano. Etsy andaniny ihany koa, ratsy ny tany an-tanety sady masika no karakaina ka kely ny vokatra. Noho izay indrindra no nahatonga ny mpiara-miombon'antoka ao amin'ny dP SPAD hanao fikarohana momba ny vary an-tanety mba hanatsarana ny vokatra. Ka ny tanjona tamin'ity andrana ity dia ny hamaritry ny toetr'ireo karazam-bary manoloana ny fatra-jezika sy ahi-dratsy. Andrana roa no natao: tao Andranomanelatra sy Tombontsoa ny taom-pambolena 2017-2018 ary karazana vary efatra no nampiasaina tamin'izany: Chhomrong Dhan, FOFIFA 172, FOFIFA 180 ary FOFIFA 186. Ny fanarahamaso ny fitomboany tamin'ny alàlan'ny fandrefesana ny vary sy ny LAI nandritra ny taona ary ny mololo sy ny vokatra no fomba nentina nijery ny toetr'ireo karazam-bary tsirairay avy ireo. Ny valiny azo tamin'izany dia milaza fa ny fampiasana ny zezika minéraly NPK sy Orea amin'ny fatra antonony no nanome vokatra tsara indrindra. Antsarak'io vokatr'io kosa no azo raha toa ka antsak'io fatra io ny zezika ampiasaina. Tsy nivaingana kosa ny vokatra azo tamin'ny fampiasana dolomia. Ary ny fahataran'ny fihavana vary 10 andro monja dia efa mampihena ny vokatra.

Teny manan-danja: Zezika, Ahi-dratsy, Vokatra, Ravina sy tao, LAI

INTRODUCTION

Principale culture vivrière à Madagascar, le riz reste la culture prioritaire dans les activités agricoles. Il est cultivé sur tout le territoire malgache par environ 80% des exploitants agricoles (INSTAT, 2011), soit un peu plus de 2 millions d'exploitations, sur près de 1,2 millions d'hectares (soit 60% de la totalité des surfaces cultivées) (Jan Nijhoff, 2014). Il constitue la principale denrée alimentaire avec une consommation moyenne estimée à 165 kg par habitant au début des années 70, puis à 113,6 kg par habitant en 2005 et à 97 kg par habitant en 2010 (EPM pour 2005 et 2010). En outre, c'est également une source de revenu important des ménages (Minten *et al.*, 2006). La baisse de consommation annuelle par habitant s'explique par la diminution de la production nationale d'un côté, qui est passée de 4,7 millions de tonnes en 2010 à 3,8 millions de tonnes en 2016 (FAOSTAT, 2018) et de l'accroissement moyen annuel de la population de l'autre. Les importations essaient de combler les lacunes, les aliments de substitut comme le manioc qui est devenu le second aliment de base des malgaches, ou le maïs, sont de plus en plus consommés (FEWS NET, 2018) mais l'insécurité alimentaire persiste et concerne surtout les ménages les plus précaires.

Pour augmenter la production d'aliments, diverses stratégies sont développées par les exploitants agricoles malgaches et les chercheurs agricoles. Sur les Hautes Terres, à l'exemple de la région de Vakinankaratra, la forte pression démographique (plus de 77,5 habitants/km²) (Monographie Vakinankaratra, 2003) a entraîné le morcellement des rizières jusqu'à un tel point que la production de la riziculture irriguée n'arrivait plus à couvrir les besoins en riz de la famille, d'où l'expansion de la riziculture pluviale sur tanety.

En effet le riz pluvial apparaît comme une alternative à cette saturation, même si les versants des collines («tanety») sont fragiles et à faible fertilité (BOURGEAT et AUBERT, 1972) Les sols de tanety du Vakinankaratra sont en majorité de type ferrallitique et acide avec un pH de 4 à 5,5 (Rabeharisoa, 2004). Sous l'effet des basses températures, la matière organique évolue lentement et piège des éléments utiles pour les plantes (Chabanne *et al.*, 1996) Ainsi, actuellement, le rendement du riz pluvial en milieu paysans est limité à 1 à 2,5 t.ha⁻¹ du fait de fertilisations insuffisantes (Raboin *et al.*, 2013). Par ailleurs, cette culture est confrontée à différentes contraintes biotiques ou abiotiques liées au climat ou au sol. Ces contraintes sont accentuées par les mauvaises conditions socio-économiques des exploitants agricoles tels que le faible niveau d'équipement, le faible pouvoir d'achat, etc. Enfin la diversité variétale est très faible car une seule variété, Chhomrong Dhan, occupe plus de 80% des surfaces de riz pluvial du Vakinankaratra (Raboin *et al.*, 2013).

Pour trouver des solutions permettant d'améliorer les performances du riz pluvial, les différents partenaires du dP SPAD, tels que en particulier le FOFIFA, l'Université d'Antananarivo et le CIRAD, développent différents travaux de recherche. Parmi ces activités il y a un volet dont l'objectif est de comprendre les interactions entre les conditions et contraintes abiotiques et

biotiques du milieu et les caractéristiques des variétés, ce afin de pouvoir déterminer quelles sont les caractéristiques variétales les plus intéressantes. Dans le cadre de ce volet, les recherches concernant non seulement à observer ces interactions mais également à les modéliser à l'aide de modèle de simulation du développement des cultures. En effet la modélisation des cultures oblige à décrire les phénomènes mis en jeu et nous permet donc de savoir si notre compréhension des choses est correcte ou pas. Par ailleurs elle permet d'explorer de nouvelles situations en jouant sur les conditions climatiques ou de sol et sur les caractéristiques variétales. Mais la mise au point d'un modèle est un long travail qui implique de bien comprendre les effets individuels des différents facteurs du milieu sur les variétés, les réponses de ces dernières, les impacts des bioagresseurs, et toutes les interactions possibles entre tous ces éléments. C'est dans le cadre de ces travaux que le CIRAD a mis en place lors de la campagne 2017-2018 une série d'essais agronomiques sur les Hautes-Terres et dans le Moyen-Ouest du Vakinankaratra, avec à chaque fois 4 variétés de riz pluvial adaptées à leurs zones, conduites selon six modalités de gestion différentes combinant différentes quantités de fertilisant et différentes pressions d'adventices. Nous rendons compte ici des résultats des deux essais des Hautes-Terres menés dans la commune d'Andranomanelatra, auxquels nous avons participé d'octobre 2017 à juillet 2018.

Ainsi, la question de recherche se formule comme suit : « *Comment interagissent les caractéristiques variétales avec les facteurs fertilisation et gestion des mauvaises herbes sur le développement et la productivité du riz pluvial ?* ». L'objectif général est donc de caractériser les performances des différentes variétés de riz pluvial utilisées suivant les différents traitements de fertilisation et gestion de l'enherbement. Il s'agit plus précisément de déterminer les effets des différentes pratiques de fertilisation associées ou non à des pratiques de gestion des mauvaises herbes et d'identifier les variétés les plus performantes sur l'ensemble des différentes conduites de la culture. Cette étude va alors essayer de confirmer ou d'infirmer les trois hypothèses suivantes : la première (H1) énonce que les différentes pratiques de fertilisation et les pratiques de gestion des mauvaises herbes ont des effets très différents sur le développement et les rendements du riz ; la deuxième (H2) prévoit que la(les) variété(s) ayant une bonne production de biomasse au cours du cycle aura(auront) une bonne production de grains à la récolte ; enfin la troisième (H3) prédit que l'on aura des interactions importantes entre les variétés et les traitements.

Après cette introduction, ce document décrit les matériels et méthodes adoptés pour l'étude. Cette partie est subdivisée en quatre sous-parties dont la première présente la zone d'étude notamment le milieu naturel ; la seconde décrit les dispositifs expérimentaux ; la troisième parle des méthodes d'observations des différents indicateurs de la recherche ; et enfin la dernière indique les méthodes de traitement des données. Après la description des matériels et méthodes on présentera les résultats. Puis la partie suivante discutera ces résultats. Enfin une conclusion générale termine ce document.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1 Zone d'étude

1.1.1 Localisation géographique

L'étude a été menée dans la région Vakinankaratra, située sur les Hautes-Terres malgaches, entre 18°59' et 20°03' de latitude Sud et 46°17' et 47°19' de longitude Est. Elle est délimitée par les régions d'Alaotra-Mangoro et d'Atsinanana à l'Est ; de Menabe à l'Ouest ; d'Analamanga, d'Itasy et de Bongolava au Nord ; et d'Amoron'i Mania au Sud. Elle s'étend sur une superficie de 19205km² (DRAE de la région Vakinankaratra,2007). Concernant les sites expérimentaux, ils sont situés respectivement à Andranomanelatra plus précisément à Imerimandrosoa (47°07'58,7"W et 19°48'29,8"S) et à Tombontsoa (47°04'27,2"W et 19°49'32,5"S).

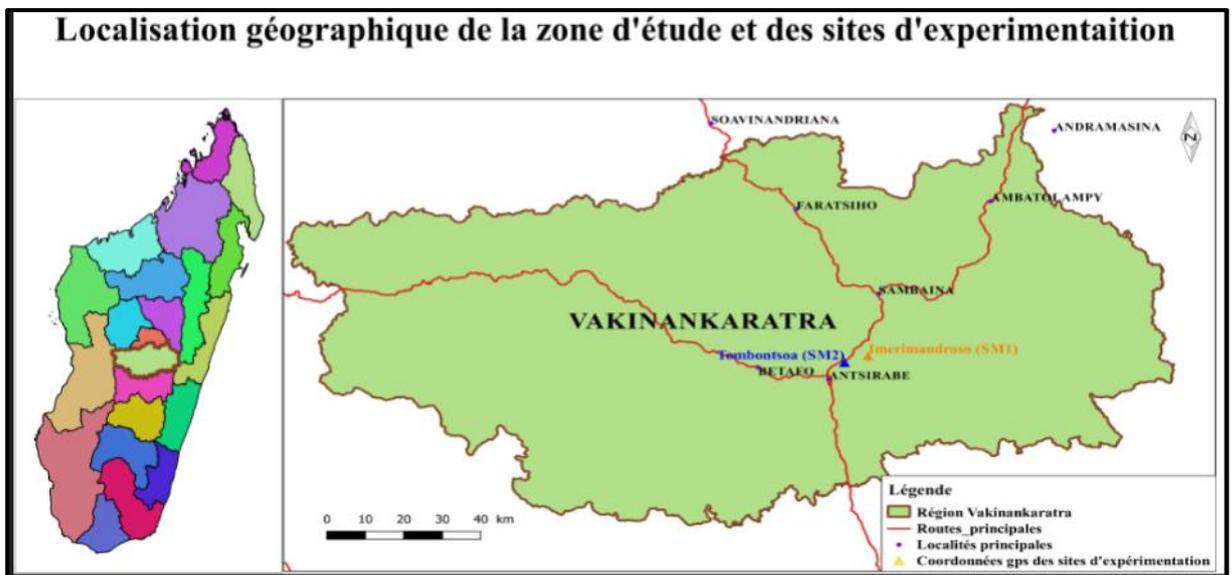


Figure 1: Localisation géographique des sites d'intervention (Source : BD 200 FTM)

1.1.2 Climat

Les données climatiques recueillies sur cinq ans de 2012 à 2017 sont présentées selon la courbe ombrothermique de Gaussen ($P \leq 2T$) (**Figure 2**: Courbe ombrothermique de la station d'Andranomanelatra de l'année 2012-2017). Le climat est du type tropical d'altitude, caractérisé par deux saisons bien distinctes : une saison humide et chaude qui dure environ sept mois, d'octobre à avril et une saison sèche et froide qui s'étend du mois de mai au mois de septembre. Pour l'ensemble de la période 2012-2017, la moyenne du cumul de précipitation et de la température

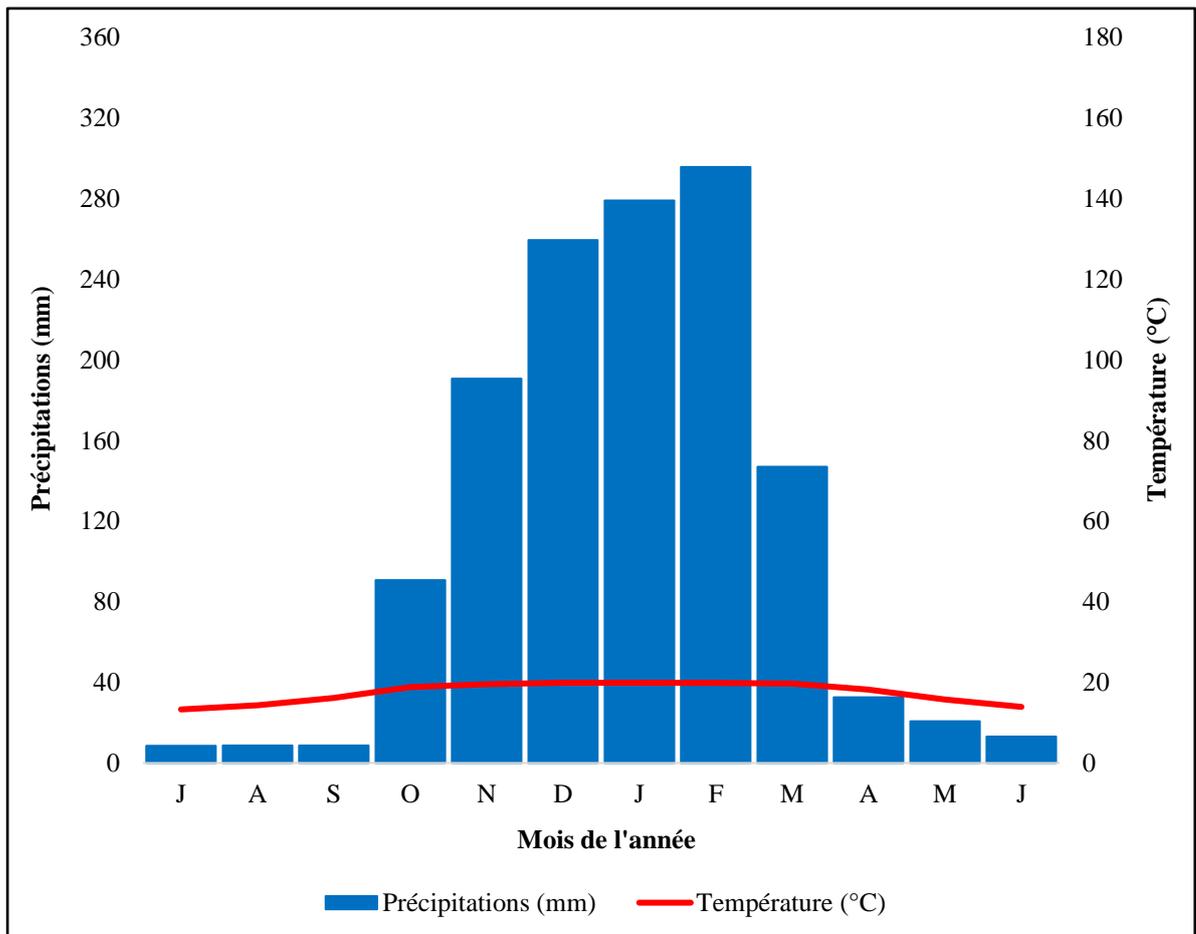


Figure 2: Courbe ombrothermique de la station d'Andranomanelatra de l'année 2012-2017

moyenne sont respectivement de 1355,5 mm et 17,5°C.

1.1.3 Relief

La région se caractérise par une altitude élevée variant de 600 à 2600 m. Elle est séparée en deux parties par la chaîne de montagnes de l'Ankaratra, qui se trouve au centre de la région et culmine à 2644 m. Le versant oriental avec une altitude moyenne d'environ 1500 m, caractérisé par un massif montagneux d'origine volcanique présente de nombreux cratères et lacs, et une série d'effondrements favorisant la formation de dépressions à fond alluvial. Le versant occidental est constitué par une pénéplaine où l'altitude s'abaisse à 1000 m (Rollin, 1994).

1.1.4 Sols

La Région Vakinankaratra se caractérise par quatre types de sols. Des sols ferrallitiques humifères noirs ou andosols, caractéristiques des régions situées au-dessus de 2 000 m d'altitude et qui se distinguent par l'épaisseur de l'horizon supérieur humifère noir, limoneux, très poreux, gorgé d'eau (Monographie UPDR, 2003). Des sols ferrallitiques rouges bruns, caractérisés par une dissolution totale des minéraux primaires et une exportation des bases et de la silice à la concentration relative du fer et de l'aluminium (Rasambainarivo et Ranaivoarivelo, 2006) Ils sont lessivés, fortement désaturés, à faible capacité des éléments échangeables recouvrent la vaste pénéplaine et la chaîne de montagne, faible en matière organique, et en activité des microorganismes (Djeke *et al.*, 2011). Des sols hydromorphes des bas-fonds : ils sont étroits mais aménagés en rizières et des sols ferrugineux.

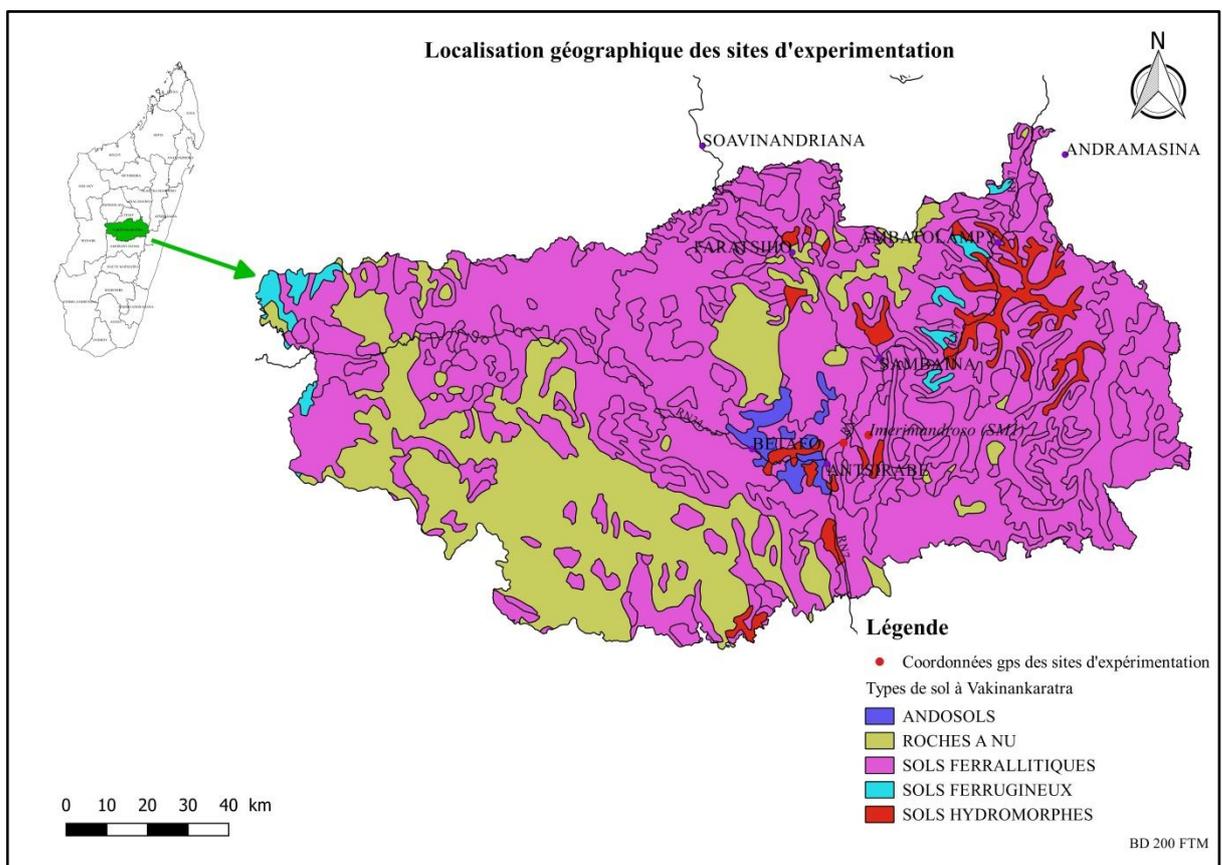


Figure 3: Caractéristiques pédologiques de la région d'intervention

1.1.5 Végétation

La végétation naturelle des Hautes-Terres est surtout constitué par la couverture herbacée (appelée localement « *bozaka* ») des collines dont les espèces les plus constantes sont *Aristida*, *Loudetia*, *Ctenium*, *Elionurus* et *Trachypogon*. Elles caractérisent des sols érodés et dégradés.

1.2 Description des sites expérimentaux

Les sites expérimentaux sont situés respectivement à Andranomanelatra plus précisément à Imerimandrosoa (47°07'58.7"W et 19°48'29.8"S) et à Tombontsoa (47°04'27.2"W et 19°49'32.5"S) (**Figure 1**)

1.2.1 Description de la parcelle d'Imerimandrosoa (Site modélisation 1 : « SM1 »)

Se trouvant à une altitude de 1600 m, le site d'Imerimandrosoa a un sol de type ferrallitique rouge et sans pente. Il s'agit d'une parcelle paysanne qui était en jachère avant l'année 2013 puis cultivée avec du maïs en 2014, du soja en 2015 et du riz (Chhomrong Dhan) en 2016. Ces cultures n'ont reçu aucun fertilisant minéral.

1.2.2 Description de la parcelle de Tombotsoa (Site modélisation 2 : « SM2 »)

La parcelle de Tombotsoa est à 1538 m d'altitude. Le sol est de type ferrallitique et la parcelle également bien plane et horizontale. Elle appartient à la ferme agricole luthérienne et était en jachère depuis cinq ans.

1.3 Dispositifs expérimentaux

1.3.1 Caractéristiques de chaque traitement comparé

- **T1** : traitement considéré comme un « **témoin faible** », avec un apport de 3 t.ha⁻¹ en matière sèche de fumier, les adventices sont contrôlées à 100%. En pratique, un apport de 6 t.ha⁻¹ de « **fumier frais** » a été effectué tout en sachant que l'on ne connaissait pas exactement son taux d'humidité mais qu'on l'estimait à environ 50%.
- **T2** : 3 t.ha⁻¹ en matière sèche de fumier, **plus 50% des doses recommandées de N₁₁P₂₂K₁₆** (250 kg.ha⁻¹) **et urée** (100 kg.ha⁻¹), soit 125 kg.ha⁻¹ de N₁₁P₂₂K₁₆ et 50 kg.ha⁻¹ d'urée (apportée en deux applications identiques au tallage et à début montaison), avec contrôle des adventices à 100%. Le riz est soumis à la condition acide du pH du sol avec un apport limité d'engrais. On peut considérer que le traitement T2 représente des agriculteurs qui ont certains moyens financiers. On le considèrera comme notre « **Témoin paysan fort** ».
- **T3** : les doses et les époques des apports des intrants sont les même que ceux en T2, mais avec un apport de **dolomie** à raison de **500 kg.ha⁻¹**, qui est la quantité que l'on recommande sur les Hautes Terres malgaches et également avec contrôle des adventices à 100%. En comparant T3 et T2 on peut en avoir l'effet de la dolomie et/ou de l'acidité du sol sur le riz pluvial dans les Hautes Terres malgaches.
- **T4** : 3 kg.ha⁻¹ en matière sèche de fumier, 500 kg.ha⁻¹ de dolomie, **100% des doses recommandées de N₁₁P₂₂K₁₆ et d'urée** (toujours en 2 apports identiques), avec contrôle d'adventices à 100%. Ce sera notre « **Témoin fort** ». Ce traitement est supposé comme des conditions optimales ou du moins très favorables au développement du riz.

- **T5** : identique à T4 mais avec moins de contrôle des mauvaises herbes en début de cycle : **retard du premier sarclage de 10 jours** par rapport à T4 : 1er sarclage pour T4 (et T1, T2 et T3) à 10 jours après levée, et 1er sarclage pour T5 à 20 jours après levée. Au final il y aura eu 4 sarclages durant le cycle sur T5 au lieu de 5 sur T1, T2, T3 et T4.
- **T6** : identique à T5 mais avec un premier sarclage encore plus tardif : **à 30 jours après levée**. Au final il n'y aura eu que 3 sarclages sur T6.

Le contrôle à 100 % des adventices signifie que l'on s'est efforcé de les contrôler du mieux possible, en effectuant de nombreuses opérations de sarclage, bien plus que ne pourraient le faire des paysans, pour avoir des parcelles très propres. L'objectif était de limiter au maximum (sur T1, T2, T3 et T4) les impacts potentiels des adventices sur les développements du riz. En pratique il y a eu bien entendu des adventices par moment sur T1 à T4, mais globalement elles ont été bien contrôlées alors que les conditions sur T5 et T6 ont été très différentes. Le **Tableau 1** récapitule les caractéristiques des six traitements comparés.

Tableau 1 : Caractéristiques de tous les traitements comparés

Traitements	Fumier (kg.ha ⁻¹)	Dolomie (kg.ha ⁻¹)	N ₁₁ P ₂₂ K ₁₆ (kg.ha ⁻¹)	Urée (kg.ha ⁻¹)	Date 1 ^{er} sarclage
T1	3000	0	0	0	10 JAL/5
T2	3000	0	125	50	10 JAL/5
T3	3000	500	125	50	10 JAL/5
T4	3000	500	250	100	10 JAL/5
T5	3000	500	250	100	20 JAL/4
T6	3000	500	250	100	30 JAL/3

1.3.2 Les variétés utilisées (Raboin LM *et al*, 2013)

Quatre variétés adaptées aux Hautes Terres à cause de leur résistance au froid, peu sensibles à la pyriculariose, et avec un certain potentiel productif, ont été utilisées pour que les principaux facteurs limitants de la capacité productive soient la fertilisation et les adventices. Ces quatre variétés sont :

- **Chhomrong Dhan (V1)** : variété la plus utilisée sur les Hautes Terres avec une durée de cycle environ de 165jours.
- **FOFIFA 172 (V2)** : même année de diffusion avec Chhomrong Dhan mais avec taux d'utilisation très faible caractérisée par un cycle court de 153jours.
- **FOFIFA 180 (V3)** : variété récente et peu diffusée dont la durée du cycle est environ de 160jours.
- **FOFIFA 186 (V4)** : variété récente avec un cycle un peu plus long de 165jours.

1.3.3 Dispositif expérimental proprement dit

Les dispositifs expérimentaux (**ANNEXE 4**) ont été mis en place en octobre 2017. Chaque dispositif expérimental a été organisé en split-plot avec quatre répétitions (4 blocs), avec les modalités de mode de gestion en premier facteur (parcelles principales) et les variétés en second

facteur (parcelles secondaires ou élémentaires). Chaque bloc comprenait 24 parcelles élémentaires (six modalités x quatre variétés) de 3 m de large et 5 m de long : (15 m²). Chaque parcelle contenait 15 lignes de 25 poquets de riz semé à des écartements de 20 cm x 20 cm. La distribution des modalités de gestion et des variétés était aléatoire et différente d'un essai à l'autre. Cependant, pour faciliter la gestion des opérations et mesures, et parce que cela ne pouvait pas avoir d'incidence sur les résultats, la position des variétés a été organisée dans l'essai d'Andranomanelatra.

1.3.4 Conduite de culture

Les dates de semis et de levée ont eu lieu respectivement les 30-31 octobre 2017 et 27 novembre 2017 pour le site d'Imerimandrosoa et les 06-07 novembre 2017 et 26 novembre 2017 pour le site de Tombontsoa. Les levées ont été retardées du fait du manque de pluie. La méthode de semis est réalisée selon celle des paysans avec un grand nombre de grains par poquet, soit environ 10 grains par poquet sur nos essais ; avec un écartement entre poquet de 20cm*20cm. L'application du fumier et de l'engrais N₁₁P₂₂K₁₆ a été effectuée au moment du semis et de façon localisée dans le même poquet que les grains : les engrais ont été placés en premier (donc au fond du poquet), suivis par le fumier, puis enfin par les semences qui sont ensuite recouvertes d'un peu de terre. En milieu paysan où les gens n'utilisent pas ou très peu d'engrais les gens mettent d'abord les semences et les recouvrent par le fumier puis un peu de terre. Les deux applications d'urée ont été faites en surface et localisées au pied des poquets, et ont été suivies d'un grattage et/ou sarclage du sol pour enfouir l'urée. Des désherbages fréquents selon le traitement ont aussi été effectués.

1.4 Observations des indicateurs de la recherche

1.4.1 Suivi du développement des biomasses aériennes

Le suivi du développement des biomasses aériennes a été réalisé en quatre (4) fois : trois observations entre la levée et la floraison (49, 80, 114 et 126 jours après semis ; correspondant environ aux stades début du tallage, 50% du tallage et pleine montaison), et une dernière observation juste avant la floraison, vers 110-120 jours (entre l'épiaison et la floraison), quand les biomasses sont maximales. Ces observations des biomasses (**ANNEXE 6**: Mode opératoire pour le prélèvement de la biomasse) sont complétées par les mesures des rendements en grains et biomasses à récolte. A chaque date ont été effectuées des mesures des biomasses aériennes et des surfaces foliaires ou LAI (Leaf Area Index).

1.4.2 Mesure du LAI (Leaf Area Index ou indice foliaire) au Sun Scan (DeltaT)

1.4.2.1 Définition du LAI

L'indice foliaire est défini comme la surface foliaire par unité de superficie au sol ; c'est le rapport de la surface totale des feuilles d'une plante sur la surface au sol couverte par cette plante. (Par exemple, si une plante avait seulement une couche de feuilles placée les unes à côté des autres, son LAI serait de 1, car la surface foliaire serait égale à la surface au sol couverte). Ce paramètre couramment exprimé en m² de feuilles par m² de sol est sans dimension. Les

valeurs de LAI sont très variables d'un couvert à l'autre : de 0 pour un sol nu et pouvant dépasser 15 pour des forêts tropicales très fermées ou des forêts de conifères (Schulze, 1982 ; Asner *et al.*, 2003 ; Duthoit, 2006). Dans les forêts tempérées le LAI atteint rarement plus de 8 ; il varie par exemple entre 2 à 6 pour des cultures annuelles (Beadle, 1993).

1.4.2.2 Intérêts de la mesure LAI

Le LAI constitue un important indice contrôlant les processus biologiques et physiologiques au niveau de la plante. Il intervient notamment dans des processus tels que l'interception du rayonnement, la photosynthèse et l'évapotranspiration. La vigueur d'une variété à occuper l'espace et à recouvrir le sol est donnée par la mesure de l'indice de sa surface foliaire (Watson, 1947 ; Bergamin Filho *et al.*, 1997 ; Bryson *et al.*, 1997 ; De Jesus Junior *et al.*, 2001 ; Robert *et al.*, 2004). Lorsque le couvert est fermé, il intercepte l'énergie lumineuse au maximum et le rendement photosynthétique de la culture devient alors optimal (Watson, 1947). Dimmock et Gooding (2002) montrent également que lorsque la durée de vie de la surface verte de la dernière feuille augmente, la durée de remplissage des grains et le rendement augmentent également.

1.4.2.3 Différentes méthodes de mesure LAI

Différentes méthodes de mesures directes et indirectes du LAI existent. Les premières méthodes d'estimation au sol du LAI étaient destructrices et consommatrices de temps. Les chercheurs coupaient les plantes comprises dans une surface unitaire au sol, séparaient les feuilles des autres parties de la plante et mesuraient la surface des feuilles individuelles pour obtenir la surface moyenne par plante. Le produit de la surface foliaire par plante et le nombre de plantes donnaient le LAI (Wilhelm *et al.*, 2000). Par la suite, cette méthode a été appliquée de manière non destructrice en déterminant la surface foliaire à partir de la mesure de la longueur et de la largeur des feuilles (Hopkins, 1939 ; Lal et Subba Rao, 1950 ; van Arkel, 1978). Une autre méthode directe de mesure consiste à utiliser un planimètre, instrument qui permet de connaître la surface foliaire à partir de l'obtention du contour de la feuille. Un grand nombre de méthodes indirectes d'obtention du LAI ont été développées, basés sur l'étude du rayonnement transmis et intercepté par le couvert. Campbell et Norman (1989), ainsi que Welles et Cohen (1996) ont résumé les théories et les équations existantes pour estimer le LAI à partir de la structure du couvert et de la fraction du rayonnement direct et/ou indirect intercepté par la culture. Ces relations ont mené au développement de différents appareils d'estimation du LAI à partir de la mesure du rayonnement direct, diffus et transmis au travers du couvert : Sunscan, Li-cor, etc...

Notre mesure des LAI a été effectuée à l'aide d'un SunScan (marque Delta-T). Il est composé de trois éléments : le premier élément est la sonde avec laquelle le RPA est mesuré sous les trois dernières feuilles de la culture. Cette sonde est une tige d'un mètre de long. Une mesure de RPA obtenue est le résultat d'une moyenne des mesures prises. L'extrémité par laquelle est manipulée la sonde est terminée par un boîtier avec une poignée et un bouton permettant de

déclencher la prise de mesures. Ce boîtier est relié aux deux autres éléments par deux câbles. Le deuxième élément, monté sur trépied, appelé capteur indépendant BF3 (Beam Fraction) permet de mesurer le Rayonnement Photosynthétiquement Actif (RPA) reçu par un sol nu au moment où la mesure du RPA est prise sous la culture. De cette manière le RPA incident direct et diffus peut être mesuré au même instant que celui de la prise de mesure sous la culture. Le troisième élément permet d'effectuer des réglages paramétriques, de visionner et d'enregistrer les données issues des mesures obtenues à l'aide des deux premiers éléments. Il se présente sous la forme d'une grosse calculatrice qui peut également être connectée à un ordinateur pour le transfert et le traitement des données.

Pour chaque parcelle une mesure moyenne est obtenue à partir de 6 mesures effectuées selon différents angles sous le couvert avec le SunScan. Il est disposé au sein de la parcelle, de manière sécante aux lignes de semis, de façon à éviter au maximum de mesurer le rayonnement direct dans l'interligne (recouvre en gros le carré de rendement). Les mesures ont été réalisées à quatre dates différentes.

1.4.3 Mesure des rendements et des composantes des rendements

Les rendements en grains et en pailles (feuilles et tiges) sont déterminés à la récolte une fois que les grains sont à maturité. Non seulement les poids totaux de grains et de biomasse présents sur les carrés de rendement permettant de calculer les rendements en grains et en pailles sont déterminés, mais également, sur 10 poquets (emplacements déterminés préalablement au hasard sur un plan), toutes les composantes du rendement en grains, dont on sait que chacune est déterminée à un moment précis du cycle, que ce soit pendant la phase végétative, la phase reproductive ou la phase de maturation. Les différentes composantes du rendement sont :

- **Nombre de poquets par m² (nbr poq)** : il est déterminé tout au long du cycle mais surtout (sauf accidents) lors de la levée et des premières semaines
- **Nombre de panicules par poquet (nbr pan)** : fonction de la qualité du développement végétatif essentiellement (nombre de talles fertiles) et aussi des conditions au tout début de la phase reproductive (au moment des initiations paniculaires)
- Nombre total de « grains » par panicule ou plutôt **nombre total d'épillets par panicule (nbr épil)** : fonction des conditions lors de la phase reproductive « embryonnaire » allant de l'initiation paniculaire à l'épiaison (développement embryonnaire des panicules)
- **Pourcentage de grains pleins** (taux d'épillets qui ont donné un grain) (**%GP**) : fonction des conditions à épiaison (qualité de l'exertion) et à floraison (qualité de la pollinisation-fécondation)
- Poids moyen d'un grain plein : est déterminé lors de la phase de développement et remplissage du grain qui suit la fécondation ; on l'exprime par le « **poids de 1000 grains** » (**PMG**) ; en pratique nous l'avons déterminé sur un échantillon de 200 grains pleins.

L'équation des composantes du rendement (R) est la suivante :

$$\mathbf{R = (nbr\ poq \times nbr\ pan \times nbr\ épil \times \%GP \times PMG) / (superficie\ de\ prélèvement)}$$

Les différentes composantes du rendement sont déterminées précisément par des comptages et pesages des grains (pleins et vides) effectués sur les panicules des 10 poquets choisis au hasard pour cela. Les rendements moyens en grains et en pailles sont déterminés au niveau du carré de rendement dans son ensemble (le mode opératoire est détaillé en annexe).

1.5 Analyse des données

Tout au long de la campagne et après les différentes analyses au laboratoire pour quelques indicateurs, les données sont saisies dans le logiciel Microsoft Excel afin de faciliter leurs manipulations ultérieures. Ensuite les données ont été traitées à l'aide du logiciel R : nous avons réalisé en particulier des analyses ANOVA pour déterminer les effets des différents facteurs « fertilisation », « gestion de l'enherbement » et « variétés ».

2. RESULTATS

2.1 Effet des traitements de fertilisation et de gestion d'enherbement sur le développement du riz pluvial

2.1.1 Suivi du développement des biomasses aériennes

2.1.1.1 Suivi du développement de la biomasse aérienne en fonction des variétés

Les suivis de développement ont été réalisés (1) au début tallage ; (2) à 50% tallage ; (3) au moment de la montaison et (4) entre l'épiaison et la floraison. Les évolutions dans le temps des biomasses pour chaque variété dans les deux sites d'études sont montrées dans la **Figure 4**.

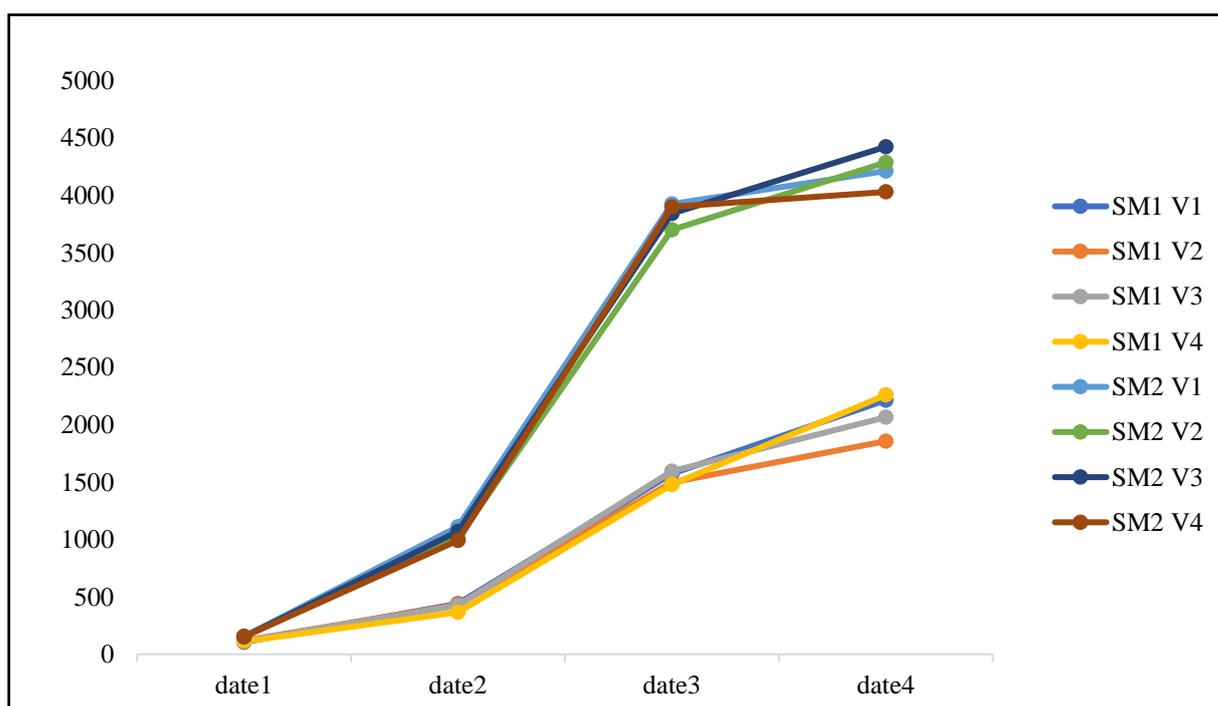


Figure 4 : Evolutions des biomasses aériennes moyennes (feuilles + tiges) des 4 variétés sur les essais SM1 et SM2 jusqu'à floraison (kg.ha^{-1})

C'est seulement au niveau début tallage que les biomasses de SM1 et SM2 sont comparables. A partir du 50% tallage, les biomasses de SM1 sont inférieures à celles de SM2 et cette différence devient très importante à la montaison et à la floraison. La croissance et le développement de la biomasse sont un peu lent jusqu'à 50% tallage, et à partir de ce stade jusqu'à la montaison des quantités importantes de biomasses sont formées. Donc, c'est la période qui définit les biomasses maximales. Après le développement se ralentit jusqu'à la floraison. Pour chaque site considéré individuellement les biomasses des variétés sont équivalentes : les comparaisons des biomasses moyennes des quatre variétés (**Tableau 2**) montrent que toutes les biomasses produites par date sont statistiquement identiques sur chaque site, même s'il y a des petites différences. On note que l'ordre des variétés n'est pas toujours le même sur les quatre dates et sur les deux sites, mais cela n'a pas d'importance car les différences

entre variétés sont non significatives. A noter que les interactions entre les traitements et les variétés à chaque date ne sont pas significatives.

Tableau 2 : Comparaisons des biomasses moyennes des variétés par date sur SM1 et SM2 (kg.ha⁻¹)

Essais	Variétés	Date1		Date2		Date3		Date4	
		Moy ± EC*	a						
SM1	V1	105±31	a	442±173	a	1575±597	a	2215±903	a
	V2	119±34	a	434±160	a	1500±627	a	1858±783	a
	V3	118±34	a	423±157	a	1596±483	a	2066±713	a
	V4	112±28	a	367±118	a	1478±525	a	2260±792	a
SM2	V1	155±51	a	1113±680	a	3926±1477	a	4213±1285	a
	V2	156±57	a	1011±520	a	3700±1392	a	4288±1686	a
	V3	152±42	a	1069±571	a	3843±1593	a	4424±1456	a
	V4	153±47	a	992±532	a	3901±1337	a	4030±952	a

*Moyenne±Ecartype

2.1.1.2 Suivi du développement de la biomasse aérienne en fonction des traitements

Les évolutions des biomasses varient selon les traitements mais elles suivent la même tendance générale (**Figure 5**). Les biomasses sont similaires au début tallage, et les différences commencent à être observé à 50% tallage. Aux stades montaison et floraison, les différences sont claires entre les traitements.

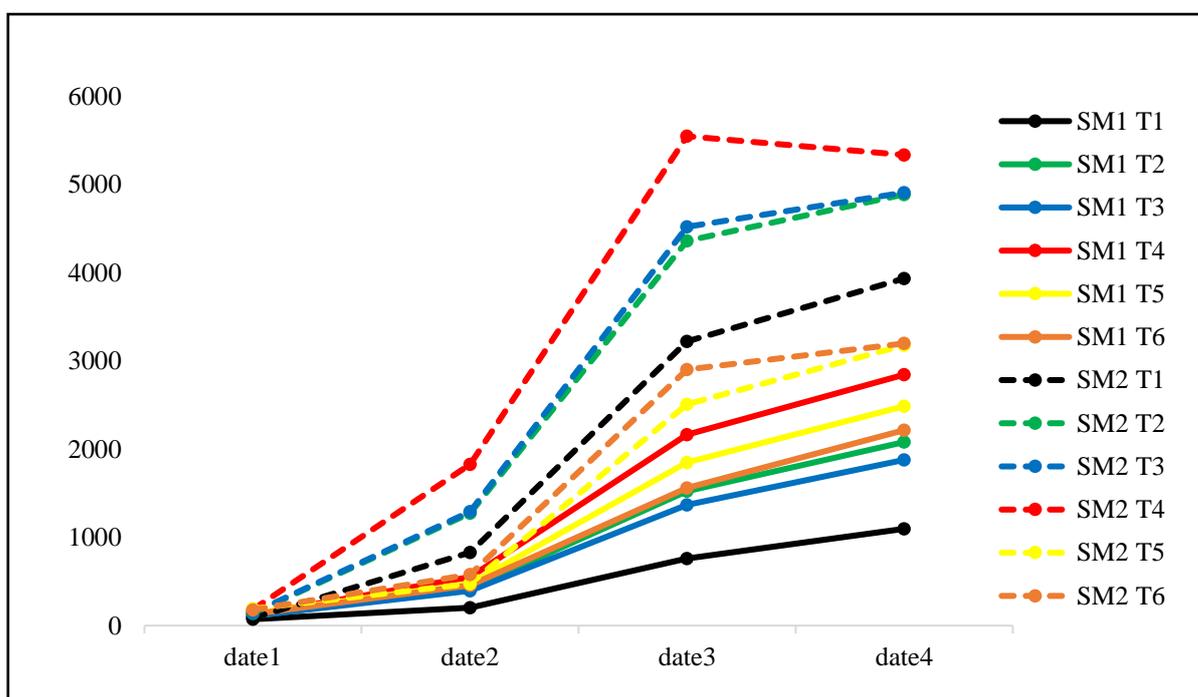


Figure 5: Evolution des biomasses moyennes par traitement sur les quatre dates de suivi sur SM1 et SM2 (kg.ha⁻¹)

Les différences statistiques entre les moyennes des traitements sont décrites au **Tableau 3**.

Tableau 3 : Comparaisons de biomasse moyenne des traitements par date sur SM1 et SM2 (kg.ha⁻¹)

Essais	Traitements	Date 1		Date 2		Date 3		Date 4	
		Moy ± EC*	A	Moy ± EC*	a	Moy ± EC*	d	Moy ± EC*	d
SM1	T1	72±9	A	205±23	a	760±178	d	1097±312	d
	T2	107±22	A	419±99	a	1524±344	bc	2080±585	c
	T3	111±27	A	395±86	a	1367±213	c	1878±390	c
	T4	124±27	A	550±135	a	2163±373	a	2843±725	a
	T5	137±29	A	475±154	a	1850±474	ab	2486±825	ab
	T6	131±29	A	455±99	a	1559±374	bc	2215±649	bc
SM2	T1	87±21	A	830±285	c	3221±751	c	3933±1023	c
	T2	139±48	A	1272±298	b	4361±700	b	4885±952	b
	T3	145±34	A	1292±362	b	4517±1046	b	4906±900	b
	T4	184±25	A	1829±538	a	5544±1187	a	5334±1340	a
	T5	191±41	A	474±185	c	2508±646	d	3178±768	d
	T6	179±28	A	579±207	c	2902±751	cd	3197±1362	d

*Moyenne±Ecartype

Sur SM1, les traitements n'ont pas d'effet significatif sur les biomasses jusqu'à 50% tallage. Aux stades montaison et floraison, les effets de chaque traitement sont très différents : les biomasses sont plus développées avec le traitement T4 puis avec T5, peu développées avec T6 et (T2), faibles avec (T2), T3 et très petites avec T1. En général, le traitement est dans l'ordre de T4 > T5 > T6 > T2 > T3 > T1.

Sur SM2, les traitements n'ont pas d'effets significatifs à la date 1. Par contre, à partir de la date 2, des différences entre les traitements sont bien marquées. C'est le traitement T4 qui est le plus productif, suivis respectivement par les traitements T3 et T2, T1 et enfin T5 et T6. A la date 2, les traitements T1-T5-T6 sont équivalents, à la date 3 ils ont tous d'effets différents et à la date 4, T5 et T6 sont inférieurs à T1. Mais, dans l'ensemble, on a l'ordre T4 > T3 > T2 > T1 > T5 > T6.

Les plus faibles performances en SM2 (T5 et T6) sont supérieures aux plus fortes de SM1 (T4). Pour les modalités de fertilisation, à partir de la date 2, T4 est toujours significativement supérieur aux autres et le T1 est significativement inférieur, et les T2 et T3 sont intermédiaires et de niveaux équivalents, avec soit T2 au-dessus de T3 (SM1), soit l'inverse (SM2). L'effet de la dolomie ne semble donc pas particulièrement marqué au cours de cette expérimentation.

Pour les modalités de gestion de l'enherbement, leurs effets ne sont pas bien visibles. Les impacts des sarclages tardifs sont très différents d'un essai à l'autre : très marqués sur SM2 où dès la date 2, T5 et T6 sont inférieurs à T1 ; et peu marqués sur SM1 où T5 et T6 sont juste en dessous de T4 mais au-dessus des autres traitements.

2.1.2 Suivi du développement des LAI

2.1.2.1 Développement des LAI selon les variétés

Les mesures des LAI ont été faites aux mêmes dates que celles des biomasses, notés lai1, lai2, lai3 et lai4. Il n’y a pas eu de mesure de LAI en SM2 à la date 1 (**Figure 6**).

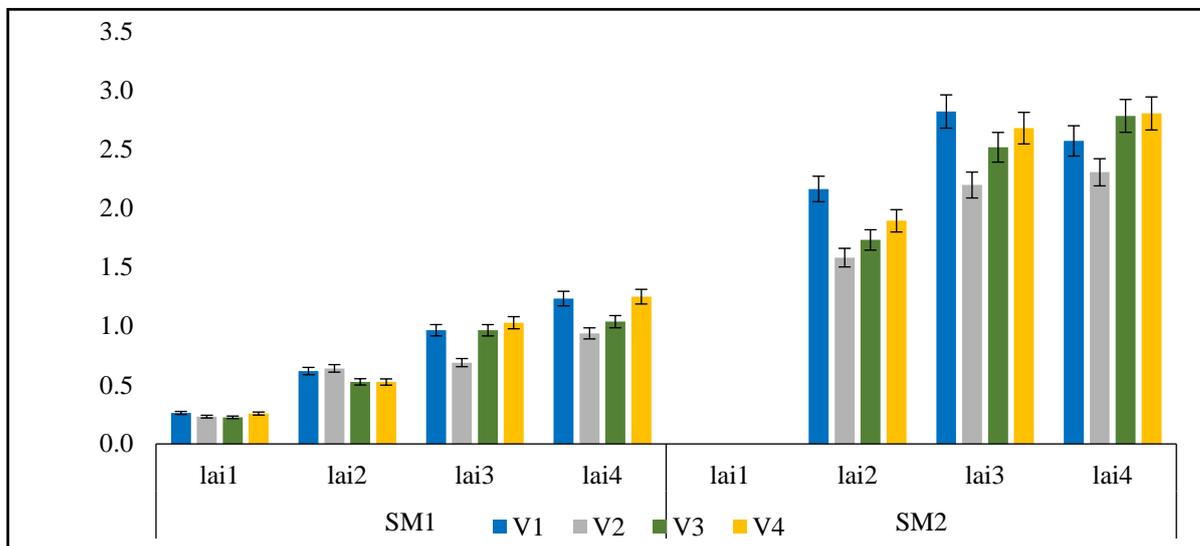


Figure 6 : Evolutions des LAI des variétés sur SM1 et SM2

Durant toutes les mesures du 50% tallage à la floraison, une grande différence peut être observée entre les deux sites : les valeurs de SM1 sont toutes inférieures à celles de SM2, comme cela était le cas pour les biomasses. On constate des petites différences entre les classements des variétés d’une date à l’autre, mais de façon générale V1 et V4 sont supérieures par rapport aux autres et V2 est toujours inférieure.

L’évolution de LAI est un peu constante d’une date à l’autre. Sur le **Tableau 4**, les valeurs de LAI sont bien visualisées et montrent que les variétés ont des effets significatifs sur les LAI sauf à la date 1 par contre l’interaction traitements-variétés n’est pas significative.

Tableau 4 : Comparaisons des moyennes des LAI par variété sur SM1 et SM2

Essais	Variétés	Lai 1		Lai 2		Lai 3		Lai 4	
		Moy±EC*		Moy±EC*		Moy±EC*		Moy±EC*	
SM1	V1	0,3±0,1	a	0,6±0,2	a	1±0,7	a	1,2±0,7	a
	V2	0,2±0,1	a	0,6±0,3	a	0,7±0,4	b	0,9±0,5	b
	V3	0,2±0,1	a	0,5±0,3	b	1±0,5	a	1±0,5	b
	V4	0,3±0,1	a	0,5±0,2	b	1±0,6	a	1,3±0,7	a
SM2	V1			2,2±1,2	a	2,8±0,8	a	2,6±1	ab
	V2			1,6±0,8	c	2,2±0,8	c	2,3±1	b
	V3			1,7±0,8	bc	2,5±0,8	b	2,8±0,9	a
	V4			1,9±1	b	2,7±0,9	ab	2,8±1,1	a

*Moyenne±Ecartype

Sur SM1, les LAI des quatre variétés sont équivalentes au début tallage. Mais à 50% tallage, les LAI de V1 et V2 sont supérieurs à ceux de V3 et V4 à 50% tallage. A la montaison, seulement V2 est significativement inférieure aux autres et à la floraison, les V1 et V4 ont des LAI supérieurs à V2 et V3. Sur SM2, au cours des deux premières mesures (à 50% tallage et à la montaison), la variété V1 a le LAI le plus élevé puis vient celui de V4, puis de V3 et V2 est la plus faible. Cependant, à la mesure à la floraison, les variétés V4 et V3 dépassent V1.

2.1.2.2 Développement des LAI selon les traitements

Comme le montre la **Figure 7**, l'évolution de LAI d'une date à l'autre est presque constante sauf de lai 1 à lai 2. Les LAI à la date 1 sont très petits. Les LAI de SM1 sont tous inférieures à ceux de SM2. Les valeurs de LAI par traitements sont différentes et la hiérarchie générale entre traitements est un peu différente entre les deux essais : T4>T5>T6>T3>T2>T1 sur SM1 et T4>T2>T3>T1>T5>T6 sur SM2. Ces ordres sont les mêmes que ceux des biomasses.

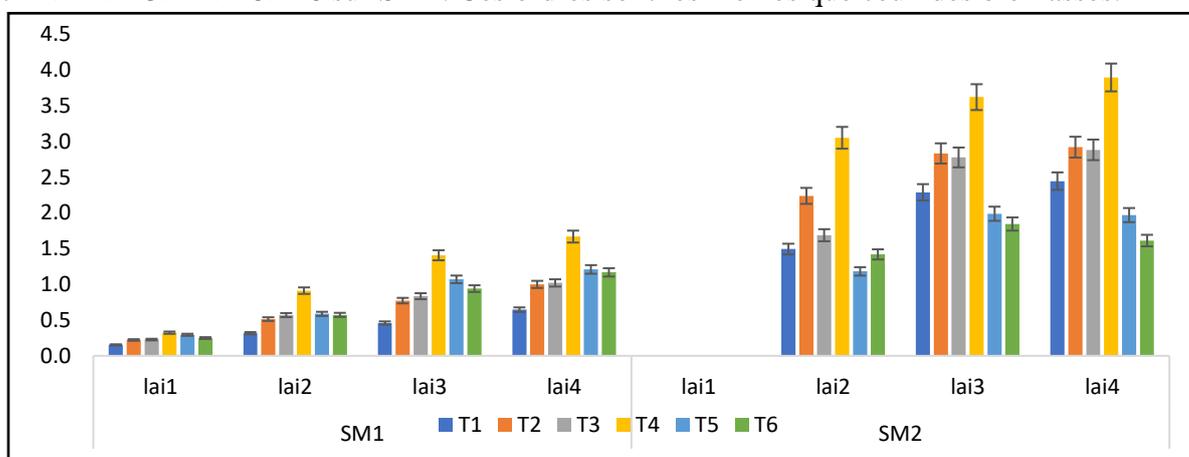


Figure 7 : Evolutions des LAI par traitement sur les deux essais

Le tableau 5 montre les comparaisons des moyennes de LAI par traitements sur SM1 et SM2

Tableau 5 : Comparaisons des moyennes de LAI par traitements sur SM1 et SM2

Essais	Traitements	Lai 1		Lai 2		Lai 3		Lai 4	
		Moy ± EC*		Moy ± EC*		Moy ± EC*		Moy ± EC*	
SM1	T1	0,2±0,1	a	0,3±0,1	c	0,5±0,3	c	0,6±0,4	c
	T2	0,2±0,1	a	0,5±0,2	bc	0,8±0,4	b	1±0,6	bc
	T3	0,2±0,1	a	0,6±0,2	b	0,8±0,4	b	1±0,4	bc
	T4	0,3±0,1	a	0,9±0,2	a	1,4±0,7	a	1,7±0,6	a
	T5	0,3±0,1	a	0,6±0,2	b	1,1±0,5	b	1,2±0,8	ab
	T6	0,2±0,1	a	0,6±0,3	b	0,9±0,5	b	1,2±0,4	b
SM2	T1			1,5±0,7	cd	2,3±0,6	c	2,4±0,7	bc
	T2			2,2±0,6	b	2,8±0,6	b	2,9±0,6	b
	T3			1,7±0,3	c	2,8±0,5	b	2,9±0,9	b
	T4			3,1±1,3	a	3,6±0,7	a	3,9±0,8	a
	T5			1,2±0,5	d	2±0,4	c	2±0,6	cd
	T6			1,4±0,4	cd	1,8±0,1	c	1,6±0,1	d

*Moyenne±Ecartype

Sur SM1, les six traitements ont des valeurs de LAI équivalentes au début tallage. Aux lai2 et lai3 le traitement T4 a la valeur de LAI plus forte suivi des T5-T2-T6 puis du T3 et enfin du T1. Et lors de lai4, le traitement T2 a le LAI égal à celui du T3.

Sur SM2, à la date 2, c'est toujours le T4 qui a la valeur plus élevée suivi du T2, puis du T3, ensuite des T1-T6 et enfin du T5. A la date 3, les T2 et T3 ont une même valeur de LAI ainsi que les trois traitements T1-T5-T6. A la date 4, les T2 et T3 ont toujours une même valeur de LAI suivis du T1, puis du T5 et enfin du T6.

Le LAI maximal de SM1 (T4) n'est pas loin de celui du minimal de SM2 (T6). Entre les modalités de fertilisation sur les deux essais c'est toujours le T4 qui a le LAI le plus élevé et le T1 qui a le LAI le plus faible, les T3 et T2 ont une valeur entre les deux. On n'a pas pu noter d'effet de la dolomie puisque T2 dépasse T3 à la date 2 sur SM2 et ils sont équivalents sur toutes les autres mesures. Et entre les modalités de gestion d'enherbement, le LAI de T5 est toujours supérieur à celui de T6 sauf sur une mesure (lai2 de SM2). Les effets des sarclages tardifs sont marqués sur SM2 mais le sont beaucoup moins sur SM1 où les LAI de T5 et T6 sont juste en dessous de celui de T4.

2.2 Effets des traitements de fertilisation et de gestion d'enherbement sur les rendements et les composantes des rendements

2.2.1 Effet des traitements sur les biomasses à récolte

Comme pour les valeurs mesurées au cours des cycles les valeurs observées sur SM2 sont bien supérieures à celles de SM1 (**Figure 8**).

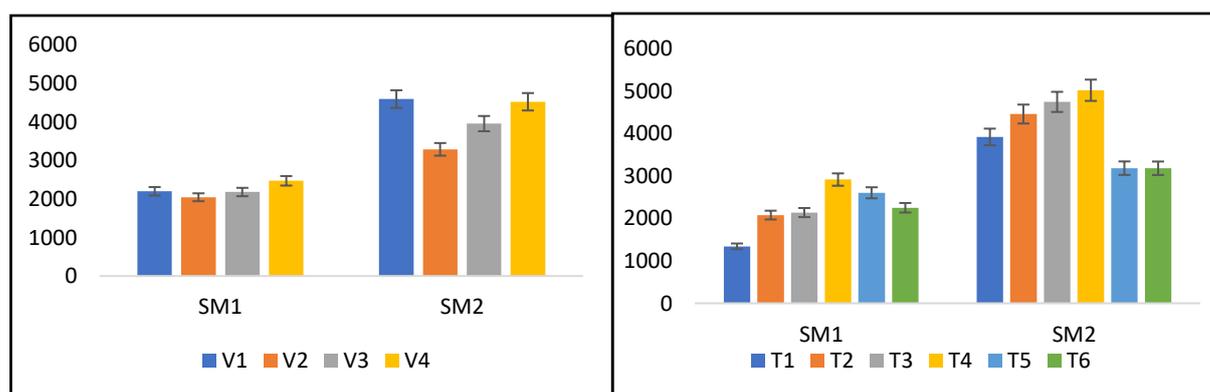


Figure 8: Rendement en pailles par variétés sur SM1 et SM2 (kg.ha⁻¹) (gauche) / Rendement en pailles par traitements sur SM1 et SM2 (kg.ha⁻¹) (droite)

On note aussi que les classements sont peu différents entre les essais : c'est V4>V1>V3>V2 pour SM1 tandis que sur SM2 il est V1>V4>V3>V2. Entre les traitements, la valeur maximale des moyennes sur SM1 (T4) est inférieure à celle de la plus petite de SM2 (T6). La variation de cette moyenne est dans l'ordre de T4>T5>T6 >T3>T2>T1 pour SM1 et de T4>T3>T2>T1>T5>T6 pour SM2. Les comparaisons des moyennes (**Tableau 6**) indiquent qu'il

y a des différences significatives entre les variétés et entre les traitements sur les deux essais. Par contre l'interaction traitement-variété n'est pas significative sur les biomasses à récolte.

Tableau 6 : Comparaisons des moyennes biomasses à récolte de SM1 et SM2 ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Facteurs	Modalités	SM1		SM2	
		Moy \pm EC*		Moy \pm EC*	
Variétés	V1	2199 \pm 937	ab	4591 \pm 1560	a
	V2	2044 \pm 989	b	3287 \pm 773	c
	V3	2180 \pm 820	ab	3955 \pm 957	b
	V4	2471 \pm 973	a	4522 \pm 1215	a
Traitements	T1	1343 \pm 518	d	3923 \pm 1054	c
	T2	2080 \pm 725	c	4464 \pm 1116	b
	T3	2140 \pm 648	c	4750 \pm 1244	ab
	T4	2918 \pm 950	a	5025 \pm 1316	a
	T5	2606 \pm 1072	ab	3187 \pm 620	d
	T6	2253 \pm 831	bc	3185 \pm 1068	d

*Moyenne \pm Ecartype

Les biomasses récoltées au niveau de V4 sont les plus élevées sur SM1, suivies de celles de V1 et V3 qui sont de même niveau et intermédiaires entre V4 et V2. Sur SM2, V1 et V4 sont les plus productives et mêmes niveau, suivies par V3 et V2 qui sont différentes. La différence entre les moyennes des variétés va jusqu'à plus de $2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ entre les deux essais et le rendement de V4, le plus élevé sur SM1 est encore inférieur à celui du plus faible de SM2 (V2) avec une différence de $0,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Et à propos des six traitements comparés, statistiquement ils sont divisés en cinq groupes bien distincts sur SM1 et SM2 mais le classement est différent selon les sites. Sur SM1, le T4 qui a le rendement en pailles le plus élevé est suivi par T5 puis T6 et ensuite par T3 et T2 qui sont semblables et enfin par T1. Par contre sur SM2, si T4 est encore le meilleur, il est suivi de près par T3 puis par T2, puis par T1 et enfin les plus faibles rendements sont trouvés avec les T5 et T6.

En résumé, la variété la plus productive en biomasse au moment de récolte est la V4 sur SM1 et ce sont V1 et V4 pour SM2, la production issue de la variété V3 est à un niveau intermédiaire et celle de la V2 est toujours la plus faible. L'effet de la fertilisation est très marqué : le rendement en pailles est toujours le plus élevé avec T4 et le plus faible avec T1, et les T3 et T2 sont intermédiaires et T3 toujours supérieur au T2. On voit donc bien l'effet de la dolomie, L'effet des sarclages tardifs est également concret : le T5 a un rendement plus élevé que T6. Cependant, les T5 et T6 sont justes après T4 sur SM1 mais ils sont les derniers sur SM2.

2.2.2 Effet des traitements sur les rendements en grains

Les moyennes de rendements en grains par variété et par traitement des deux essais sont présentées sur la figure **Figure 9**.

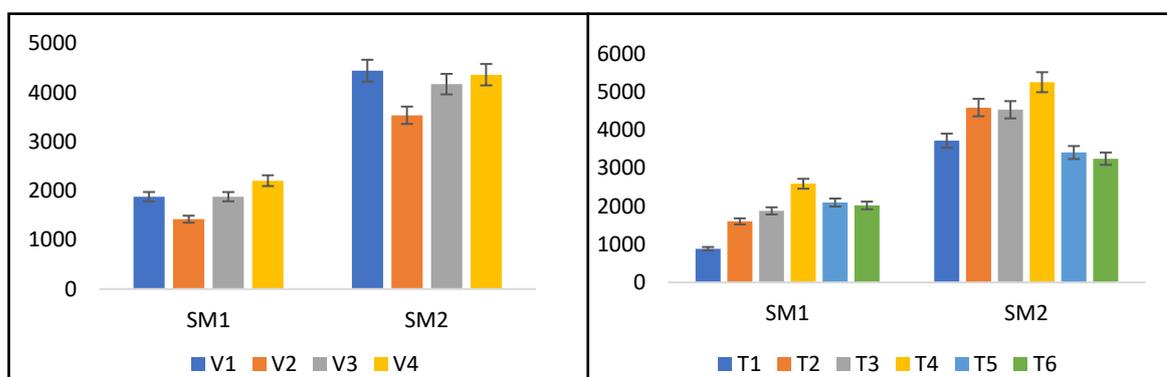


Figure 9: Rendements en grains par variété sur SM1 et SM2 (kg.ha⁻¹) (gauche) et Rendements en grains par traitement sur SM1 et SM2 (kg.ha⁻¹) (droite)

Comme pour le rendement en pailles, SM2 est plus performant que SM1 en production de grains. La hiérarchie générale entre les variétés est V4>V1>V3>V2 sur SM2 et V1>V4>V3>V2 sur SM1. Pour les traitements on retrouve des différences entre SM1 et SM2 concernant T5 et T6 : l'ordre est T4>T5>T6>T3>T2>T1 pour SM1 et T4>T3>T2>T1>T5>T6 pour SM2.

L'interaction entre les traitements et les variétés n'est pas significative. Cependant, les traitements aussi que les variétés sont significativement différentes. Les comparaisons des moyennes de rendement en graines par variétés et par traitements sont présentées dans le **Tableau 7**.

Tableau 7 : Comparaisons des moyennes de rendement en graines de SM1 et SM2 (kg.ha⁻¹)

Facteurs	Modalités	SM1		SM2	
		Moy ± EC*		Moy ± EC*	
Variétés	V1	1881±854	b	4445±969	a
	V2	1422±684	c	3537±1009	b
	V3	1880±644	b	4171±1101	a
	V4	2206±781	a	4363±1041	a
Traitements	T1	887±308	d	3723±1061	c
	T2	1604±463	c	4535±794	b
	T3	1880±647	bc	4593±1020	b
	T4	2592±647	a	5259±642	a
	T5	2099±812	b	3412±615	c
	T6	2022±599	b	3251±658	c

*Moyenne±Ecartype

Sur SM1, la variété V4 classée première est différente des V1-V3 et très différente de V2. Les variétés V1 et V3 ont de même rendement. Alors que sur SM2, les trois variétés V1, V4 et V3 sont classées de même rendement et elles sont différentes de V2. La différence de rendement

par variété est à peu près le même avec la différence de rendement en pailles mais la différence entre le rendement maximal de SM1 avec le minimal de SM2 est de l'ordre de 1,3 t.ha⁻¹.

Pour les traitements, le meilleur rendement est obtenu au niveau du T4, suivi respectivement des T5-T6, du T3, du T2 et enfin du T1 sur SM1. Les traitements T5 et T6 ont de même rendement. Or, sur SM2, après le T4 ce sont les T3-T2 et enfin les trois autres. Les traitements T2 et T3 ont un même niveau de rendement ainsi que les T1, T5 et T6.

En somme la variété V4 a le meilleur rendement sur SM1 et elle est même classement avec V4 voire V3 sur SM2. La variété V2 est toujours la plus faible. Le T4 est toujours le meilleur, T1 est toujours le plus faible, T3 a un rendement supérieur à celui du T2 et T6 est en dessous de T5, donc les effets de fertilisation, de la dolomie et des sarclages sont tous visibles. Et comme on l'a vu pour les développements et les biomasses, les T5 et T6 ont un rendement juste en dessous de T4 sur SM1 mais ils sont les plus faibles sur SM2.

Sur l'ensemble des mesures, les analyses par date de la biomasse montrent une absence de différence significative, mais que ce soit sur SM1 ou SM2, la variété V1 est plus productive que la variété V4. Ainsi, lors des mesures de LAI, la variété V1 a une moyenne supérieure à celle de V4. Donc, V1 est la plus productive au cours du développement. Par contre, sur les rendements finaux (pailles et grains), la variété V4 est significativement plus productive que V1 sur SM1, et sur SM2, V1 lui est légèrement supérieure mais sans différence significative. La variété V3 est en troisième position juste en-dessous de V4 pendant le suivi du développement, et elle garde ce classement à la récolte sur les deux sites. La variété V2 est toujours faible durant toutes mesures. Pour les traitements, les mêmes ordres sont toujours observés dans toutes les mesures : T4>T5>T6>T3>T2>T1 pour SM1 et T4>T3>T2>T1>T5>T6 pour SM2.

2.2.3 Effet des traitements sur les composantes du rendement

2.2.3.1 Effet des facteurs variétés sur les composantes du rendement

Entre les deux sites, seulement le pourcentage de grains pleins de SM1 est supérieur à la valeur de SM2. Les valeurs de toutes les autres composantes sont plus basses sur SM1.

Tableau 6: Comparaisons des moyennes de variétés sur les différentes composantes du rendement

Essais	Facteurs	Nb,Pan/Pq		Nb,Epil/Pan		%GP		PMG	
		Moy±EC*		Moy±EC*		Moy±EC*		Moy±EC*	
SM1	V1	12±4	a	37±10	a	0,91±0,03	a	24,4±1,5	a
	V2	11±3	a	22±7	c	0,89±0,01	a	24,4±1,5	a
	V3	12±2	a	25±8	b	0,86±0,01	a	24,5±1	a
	V4	12±2	a	39±11	a	0,84±0,01	a	24,5±0,9	a
SM2	V1	13±3	b	60±12	a	0,81±0,01	a	27,1±1,6	ab
	V2	14±2	b	37±9	d	0,79±0,01	a	27,8±0,7	ab
	V3	18±3	a	40±5	c	0,77±0,01	a	28±0,8	a
	V4	14±3	b	58±7	b	0,74±0,01	a	26,6±1,1	b

*Moyenne±Ecartype

Et entre les quatre variétés, elles ont les mêmes composantes du rendement sur SM1 sauf le nombre d'épillets par panicules qui est le même pour V1 et V4 et très supérieur à ceux de V2 et V3. Sur SM2 il n'y a que pour la composante « pourcentage de grains pleins » qu'il n'y a pas de différence significative entre les variétés. La variété V3 donne un nombre de panicules par poquets élevé qui est différent des trois autres variétés. Les quatre valeurs d'épillets par panicules sont toutes significativement différentes. Et enfin, V3 a un poids de 1000 grains plus élevé, significativement supérieur à celui de V4, et V1 et V2 sont équivalents entre eux et intermédiaires entre V3 et V4.

2.2.3.2 Effet des facteurs traitements sur les composantes du rendement

De même que pour les variétés, les valeurs de composantes du rendement de SM1 sont inférieures à celles de SM2, sauf le pourcentage de grains pleins (**Tableau 7**).

Tableau 7: Comparaisons des moyennes de traitement sur les différentes composantes du rendement

Essais	Facteurs	Nb,Pan/Pq		Nb,Epil/Pan		%GP		PMG	
		Moy±EC*		Moy±EC*		Moy±EC*		Moy±EC*	
SM1	T1	10±2	c	21±10	d	0,87±0,03	a	23,3±1,4	a
	T2	11±1	bc	28±8	c	0,88±0,03	a	24,4±0,9	a
	T3	12±3	ab	29±10	c	0,88±0,03	a	24,5±1,1	a
	T4	14±4	a	37±10	a	0,88±0,04	a	24,9±1	a
	T5	13±3	ab	36±13	a	0,88±0,03	a	24,9±1,4	a
	T6	11±3	bc	33±10	b	0,88±0,03	a	24,6±0,9	a
SM2	T1	14±3	a	49±21	bc	0,78±0,03	a	27,2±1,3	a
	T2	15±3	a	50±11	b	0,78±0,03	a	27,2±1,5	a
	T3	14±3	a	49±11	bc	0,78±0,03	a	27,4±1,5	a
	T4	16±3	a	55±15	a	0,78±0,03	a	27,1±1,1	a
	T5	15±3	a	47±13	c	0,78±0,03	a	27,8±1,1	a
	T6	15±3	a	42±13	d	0,78±0,03	a	27,6±0,9	a

*Moyenne±Ecartype

Les six traitements n'ont pas d'effet significativement différent sur les composantes « pourcentage de grains pleins » et « poids de 1000 grains » sur les deux essais, ni sur « le nombre de panicules par poquets » sur SM2. C'est donc seulement au niveau du nombre d'épillets par panicules que les traitements présentent des effets différents sur SM2 : le traitement T4 est supérieur et différent de tous les autres traitements, les traitements T1-T3 ont un même nombre d'épillets qui est intermédiaire de ceux du T2 et du T5. Et Sur SM1, le nombre de panicules par poquets avec le traitement T4 est différent de celui donné par les traitements T1, T2 et T6 mais pas tout à fait différent de ceux des T2 et T5. Et les épillets par panicules trouvés avec T4 et T5 sont les plus nombreux, ensuite avec T6 puis avec les T2 et T3 qui ont de même nombre et enfin T1 a le nombre le plus faible.

C'est seulement sur la composante « nombre d'épillets par panicules » que les ordres vus entre les traitements et les variétés pendant toutes les mesures sont respectés. Mais le nombre d'épillets par panicules de V4 est supérieur à celui du V1 sur SM1 et inversement sur SM2.

2.2.3.3 *Corrélation entre le rendement et ses composantes*

Sur SM1, toutes les composantes du rendement sont corrélées positivement avec le rendement mais c'est la valeur de r qui fait la différence au niveau de cette corrélation. C'est le nombre d'épillets par panicules qui est le plus fortement corrélés au rendement sur les deux sites. Ensuite il n'y a que sur SM1 que l'on observe une certaine corrélation entre « le nombre de panicules par poquets » et le rendement et « le poids de 1000 grains » et le rendement (**Tableau 8**).

Tableau 8: Matrice de corrélation de composantes du rendement

SM1					
Composantes de rendement	RDTG	PAN	EPIL	GP	PMG
RDTG	1				
PAN	0,57	1			
EPIL	0,75	0,26	1		
GP	0,02	0,12	0,09	1	
PMG	0,52	0,33	0,43	0,08	1
SM2					
Composantes de rendement	RDTG	PAN	EPIL	GP	PMG
RDTG	1				
PAN	0,1	1			
EPIL	0,48	-0,34	1		
GP	-0,1	-0,2	0,04	1	
PMG	0,11	0,06	-0,24	0,03	1

RDTG : Rendement

PAN : Nombre de panicules/poquet

EPIL : Nombre d'épillets/panicule

GP : Pourcentage de grains pleins

PMG : Poids de 1000 grains

Les cercles de corrélation suivants (**Figure 10**, **Figure 11**) illustrent ces affiliations de ces composantes à des dimensions. Sur SM1, le rendement, le nombre d'épillets par panicules et le poids de 1000 grains sont plus affectés à la dimension 1, ils sont corrélés. Le pourcentage de grains pleins est plus écarté, il est fortement lié à la dimension 2. Et enfin la dimension 3 exprime le nombre de panicules par poquets. Mais sur SM2, il n'y a seulement que le nombre d'épillets par panicule qui est corrélé avec le rendement, ils sont liés à la dimension 1.

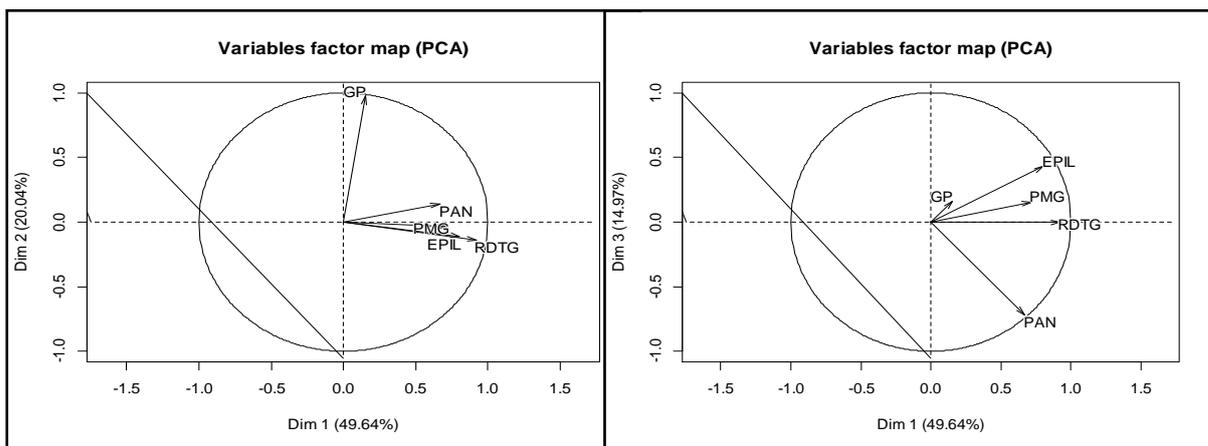


Figure 10: Cercle de corrélation de composantes de rendement de SM1

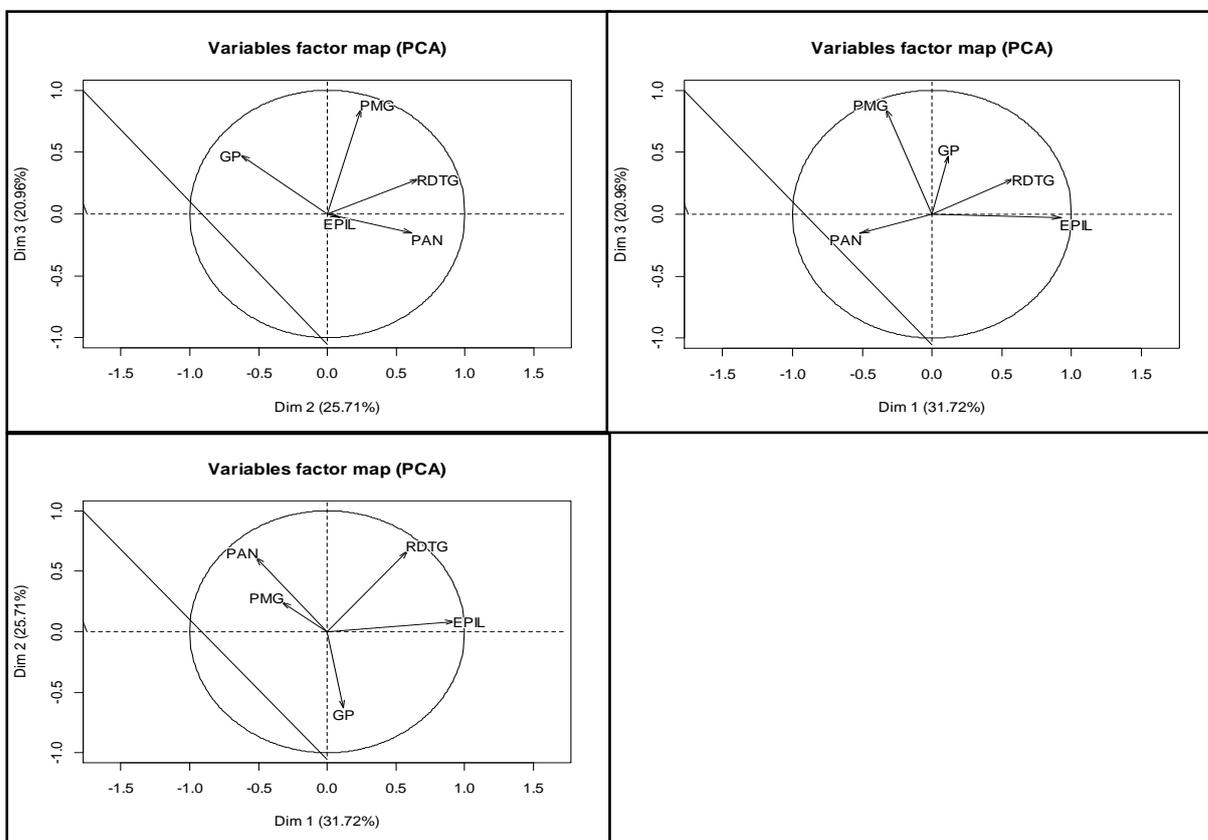


Figure 11: Cercles de corrélation de composantes de rendement de SM2

3. DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

3.1 Effets des différents traitements

3.1.1 Effet de la dose croissante de la fertilisation

L'apport de matière organique « fumier à raison de 6 t.ha⁻¹ » (T1) sans apports minéraux sur riz pluvial des Hautes Terres, utilisé par la majorité des paysans qui n'ont pas les moyens financiers pour l'achat des engrais minéraux, a entraîné une croissance lente et continue sur SM1. Cette faible croissance est due à l'insuffisance de nutrition selon le modèle de Tanaka (Cité par Moreau, 1987) et une croissance lente au début puis devient forte sur SM2. Le rendement avec ce traitement est très faible voire inférieure à 1 t.ha⁻¹ sur SM1. Ce rendement est très inférieur à celui d'un essai mené à Andranomanelatra dans une même condition d'apport en 2005 qui était de 3,5 t.ha⁻¹ (Ramanandraivonona, 2005) et inférieur au rendement en milieu paysan qui est de 1 à 2,5 t.ha⁻¹ (Raboin *et al*, 2013). Par contre, le rendement de SM2 qui est de 3,7 t.ha⁻¹ est très proche de ce résultat.

L'utilisation de la demi-dose d'engrais minéraux, utilisés par des agriculteurs qui ont certains moyens financiers, a des effets sur le développement et le rendement du riz. Elle a favorisé une croissance lente au départ puis forte sur SM1 et forte durant tout le cycle sur SM2 et permet d'avoir un gain de rendement d'ordre de 800 kg.ha⁻¹ par rapport au fumier seul.

L'application des doses optimisées entraîne une même croissance avec la demi-dose sur SM1 et une croissance vigoureuse au départ puis faible en fin de cycle sur SM2, sans doute due à l'alimentation azotée excessive en début de cycle, et un rendement très satisfaisant avec un gain de plus de 1,5 t.ha⁻¹ par rapport au T1. Le rendement sur SM1 (2,6 t.ha⁻¹) est toujours inférieur aux résultats antérieurs qui était de 4,5 t.ha⁻¹ (Ramanandraivonona, 2005). Et sur SM2, le rendement arrive jusqu'à 5,3 t.ha⁻¹.

L'effet de la fertilisation minérale et croissante est très marqué sur le développement et le rendement final. La différence de rendement entre les deux sites pourrait être due aux effets des antécédents culturaux et ou aux caractéristiques des sols. Les éléments minéraux sur SM1 auraient été exportés par l'antécédent riz sur SM1 alors que sur SM2, beaucoup d'éléments seraient stockés et disponibles suite aux cinq ans de jachère.

3.1.2 Efficience de la dolomie

L'effet supposé de la dolomie sur la croissance et le développement du riz n'est pas très visible. L'effet de la dolomie sur le rendement en grains est apparu marginal dans beaucoup de cas. L'amendement de dolomie a augmenté le rendement de 0,05 t.ha⁻¹ sur SM1 et de 0,28 t.ha⁻¹ sur SM2. C'est un gain mineur, mais comparable à celui observé sur un essai mené à Antsoantany en 2012-2013, qui était de l'ordre de 0,1 t.ha⁻¹ (Yamaguchi, 2013) et il a affirmé que l'application de dolomie affecte à peine le rendement de grain lorsque le riz est cultivé avec de la matière organique.

3.1.3 Effet de la pression des adventices

Par rapport à la riziculture irriguée, le riz pluvial est en général un peu délaissé au niveau du travail d'entretien. En effet le sarclage peut être retardé ou irrégulier en fonction de la disponibilité de main d'œuvre. Un retard de 10 jours de premier sarclage a entraîné déjà une perte de rendement de 19% sur SM1 et de 34% sur SM2, et une perte 22% sur SM1 et 38% sur SM2 sur 20 jours de retard. Cette période permet l'invasion des adventices qui vont prélever une partie importante des éléments minéraux avant leur arrachage. Les adventices sur SM1 sont principalement des Cypéracées et celles de SM2 sont des Cypéracées et des dicotylédones. Les biomasses des mauvaises herbes sont très importantes sur SM2 du fait du taux de grains des mauvaises herbes stockés lors de la jachère et des conditions en apparence favorables du milieu compte tenu des développements et rendements. L'effet des mauvaises herbes qui concurrencent le riz dans ses besoins minéraux est irréversible et elles deviennent des facteurs limitants des rendements. L'apport de fertilisation minérale avec envahissement des mauvaises herbes dû au retard du premier sarclage n'est qu'un gaspillage (cas sur SM2 : les rendements avec T5 et T6 sont inférieures à celui du T1). De cela, l'hypothèse (H1) est confirmée : tous les traitements de fertilisation et gestion d'enherbement ont des effets différents sur le développement et le rendement du riz.

3.2 Performance des variétés

Chhomrong Dhan (V1) est la variété la plus utilisée selon les enquêtes réalisées en 2012 (Raboin *et al*, 2013). La variété Chhomrong Dhan occupe plus de 80% des surfaces de riz pluvial du Vakinankaratra. Elle est rapidement et largement diffusée, appréciée par les paysans pour son goût, son rendement relativement élevé et stable qui est autour de 2 t.ha⁻¹ en milieu paysan, son rendement en pailles utilisés comme source de fourrages (Randriambololona, 2012), Cette appréciation est confirmée par les essais, Chhomrong Dhan est la variété la plus productive en biomasses aériennes et ayant la valeur de LAI la plus forte qui est liée à la vigueur de la plante en début du cycle et à la photosynthèse à la floraison jouant ainsi un rôle sur les remplissages des grains (Andrianjafy, 2004). De plus, elle a un cycle tardif ce qui lui permet d'avoir plus de tallage et donc après plus de rendement. Sur les rendements finaux, Chhomrong est cependant dépassé par FOFIFA 186 sur l'essai d'Andranomanelatra, FOFIFA 186 semble très proche de Chhomrong Dhan au niveau des performances.

FOFIFA 172 (V2) est un croisement impliquant Jumli Marshi, Chhomrong et Jumli Marshi sont d'origine népalaise introduites au milieu des années 1990 et sont sélectionnés dans l'élargissement de la base génétique vues leurs caractéristiques très intéressantes (Vales et Razafindrakoto, 1997). FOFIFA 172 est très résistante à la pyriculariose. Les deux variétés Chhomrong et FOFIFA 172 ont commencé à être diffusée la même année en 2006. En campagne 2008-2009, elles ont utilisé comme témoin dans l'essai variétal et avait un rendement de 4,9 t.ha⁻¹ pour Chhomrong et de 4,7 t.ha⁻¹ pour FOFIFA 172 (Raboin et Ramanantsoanirina,

2009). Dans nos essais, V2 est la plus faible parmi les quatre variétés utilisées. Elle est très faible en production que ce soit biomasse ou graines dans toutes les conditions conduites de culture et présente la valeur de LAI la plus basse (variété naine et à cycle court). Ce qui est différent de résultat disant que FOFIFA 172 ont de meilleur rendement en conditions optimisées par rapport aux Chhomrong Dhan (Randriambololona, 2012). Le rendement moyen inscrit dans la fiche variétale est de $4,3 \text{ t.ha}^{-1}$ or il est de $1,4 \text{ t.ha}^{-1}$ sur SM1 et de $3,5 \text{ t.ha}^{-1}$ sur SM2.

FOFIFA 180 (V3) résulte du croisement de Chhomrong Dhan (V1) et de FOFIFA 172 (V2). C'est une variété récemment diffusée. La croissance et le développement de V3 sont proches de V4. Son rendement est au même niveau que celui de Chhomrong Dhan (V1) sur les deux sites et que celui de FOFIFA 186 (V4) sur SM2. Son rendement est toujours inférieur au rendement moyen inscrit dans sa fiche technique : $1,9 \text{ t.ha}^{-1}$ sur SM1, $4,2 \text{ t.ha}^{-1}$ sur SM2 et $4,7 \text{ t.ha}^{-1}$ dans la fiche.

FOFIFA 186 (V4) qui est le croisement de Chhomrong Dhan et Sucupira, et qui commence à être diffusée, a un développement similaire à celui de Chhomrong Dhan, voire supérieur en biomasses récoltes sur SM1 et en valeurs de LAI à la floraison. Cette capacité à produire de la biomasse vient d'une part de son parent Chhomrong Dhan et d'autre part, de son cycle long. Ainsi, son rendement en grains dépasse celui de V1 sur SM1. Le rendement enregistré dans la fiche ($4,6 \text{ t.ha}^{-1}$) n'est pas loin de celui de SM2 ($4,3 \text{ t.ha}^{-1}$) par contre il est de $2,2 \text{ t.ha}^{-1}$ sur SM1.

L'hypothèse (H2) est confirmée : les variétés les plus performantes sont les plus productives en pailles et en grains.

3.3 Analyses composantes de rendement

Seule la composante « nombre d'épillets par panicules » est très corrélée avec le rendement. L'ordre décroissant de la variété ayant le plus d'épillets par panicules est le même que celui de la plus productive à la moins productive (V1, V4, V3 et V2). La fertilité du sol au moment de la phase reproductrice semble très importante, les besoins en éléments minéraux de la plante sont alors au maximum. C'est ainsi que le nombre d'épillets suit la suite logique d'effet du traitement de fertilisation et de gestion d'enherbement, le plus élevé c'est avec T4 et le plus petit c'est avec T1 pour SM1 et T6 pour SM2.

Un petit nombre de panicules par poquets n'est plus compensé par un nombre élevé d'épillets par panicules. Les phases de tallage jusqu'à la floraison sont cruciales pour l'obtention de bons rendements. Il faut que la plante soit dans sa condition optimale en particulier son alimentation minérale, hydrique et l'absence des adventices. Après la fécondation dans des meilleures conditions, le rendement final est déjà réalisé, tout travail dans la parcelle (désherbage, fertilisation) n'aura qu'en effet très limité à nul sur le rendement final car il ne reste que le remplissage des graines : transfert de substance de la plante vers les graines (Marc Lacharme, 2001).

Normalement, les composantes de rendement élaborées pendant cette période cruciale doivent être corrélées avec le rendement. Ce sont le nombre de panicules par poquets et le nombre d'épillets par poquets qui se définissent du tallage à la floraison. Le nombre de panicules par poquets sur SM1 est moyennement corrélé avec le rendement mais sur SM2, la valeur de coefficient de corrélation r pour ces deux est très faible. Ainsi, le poids de 1000 grains sur SM1 a un coefficient de corrélation significatif or cette composante est mesurée en dehors de cet intervalle.

3.4 Recommandations

3.4.1 Sur plan méthodologique

Concernant les dispositifs expérimentaux, il faut minimiser dès que possibles les facteurs non contrôlés (propriétés spécifiques du sol, microclimat des sites...) pour bien distinguer les effets exacts des facteurs étudiés.

Il s'agit d'un projet de recherche. Les essais en milieu paysan s'avèrent très importants pour bien comparer les résultats de la recherche avec ceux des paysans. Ceci facilite la persuasion des agriculteurs et favorisera par la suite la diffusion des innovations.

Chercheurs et agriculteurs doivent s'entendre sur les indicateurs qui définissent la performance d'une variété donnée ou d'un traitement. Cette uniformisation des points de vue débute par l'intégration des agriculteurs dans une démarche participative de recherche.

3.4.2 Sur le plan des résultats

Nous pouvons recommander le maintien de la variété Chhomrong Dhan pour les exploitations agricoles ayant peu de possibilité d'acquérir des engrais minéraux et/ou des problèmes de disponibilité en mains d'œuvre. Cette variété sera également très prisée par les éleveurs bovins pour sa biomasse paille très importante.

Cependant, pour les exploitations agricoles qui disposent d'un fort pouvoir d'achat en engrais et/ou ayant des mains d'œuvre, nous pouvons recommander la variété FOFIFA 186.

Également, l'introduction de cette variété chez les paysans minimisera déjà la propagation de la pyriculariose car il y aura élargissement de la diversité génétique.

CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons pu étudier les effets de traitements de fertilisation et de gestion d'enherbement sur les différences de quantités de biomasses produites au cours des cycles, sur les LAI et surtout sur les rendements. La conséquence d'un non apport minérale est bien visible, l'effet d'une demi-dose d'engrais minéraux est très remarqué, l'effet de la dolomie sur l'acidité du sol est clair (surtout au niveau du rendement) et bien évidemment l'effet de la dose optimale de matière organique et minérale est remarquable que ce soit au niveau de la biomasse aérienne ou du rendement. L'effet de la dolomie est marginal sur le rendement. Concernant la pression des adventices, le retard du premier sarclage a influencé le rendement et les conséquences s'accroissent avec le temps de retard du premier sarclage. Des fois, cette concurrence des adventices vis-à-vis des éléments minéraux avec le riz est très grave, allant jusqu'à l'épuisement total des apports effectués. Sarcler à temps et en nombre suffisant de fois est très important sur le riz pluvial. De ce fait, on a pu vérifier l'hypothèse (H1).

Tout au long du cycle, on a pu comprendre les performances de chaque variété. De façon générale Chhomrong Dhan (notre variété « V1 ») a été la plus productive en biomasse aérienne et en grains. Elle est réputée pour être peu exigeante en matière de fertilisants et résistante à la pression des adventices. FOFIFA 186 (notre « V4 ») lui a été très proche. FOFIFA 172 (« V2 ») s'est révélée comme la moins performante. Notre hypothèse (H2) « les variétés les plus productives en biomasse » ont les meilleurs rendements » a été vérifiée.

Enfin nous n'avons pas constaté d'interaction entre les variétés et les traitements, ce qui infirme notre troisième hypothèse.

Comme perspectives, ce travail devrait faire l'objet d'une vitrine ou d'une publication en milieu paysan afin de les en faire bénéficier. Également, nous proposons de mener la même expérimentation sur d'autres variétés qui s'avèrent être intéressantes en sélection variétale afin d'enrichir encore plus la diversité variétale du riz pluvial en milieu paysan et de limiter ainsi la vulnérabilité face aux diverses maladies.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDRIANJAFY Lala Herizo, 2004. Etudes et évaluation de la capacité d'installation de variétés de riz pluvial dans la région du vakinankaratra. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques. Université d'Antananarivo – Madagascar. 91p.
- Asner G.P., Scurlock J.M.O., et Hicke J., 2003. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. *Global Ecology and Biogeography* 12, 191-205.
- Beadle C.L., 1993. Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual. In: Hall (Ed.) *Growth Analysis*. London: Chapman & Hall. pp. 36-46.
- Bergamin Filho, A., Carneiro, S.M.T.P.G., Godoy, C.V., Amorim, L., Berger, R. D. and Hau, B. 1997. Angular leaf spot of *Phaseolus* beans: Relationships between disease, healthy leaf area, and yield. *Phytopathology* 87, 506-515.
- BOURGEAT F. et AUBERT G. 1972. Centre National de la recherche Scientifique et de l'Association des Géographes de Madagascar. Les sols ferrallitiques à Madagascar. 24p.
- Bryson R.J., Paveley N.D., Clark W.S., Sylvester-Bradley, R. et Scott, R.K., 1997. Use of in-field measurements of green leaf area and incident radiation to estimate the effects of yellow rust epidemics on the yield of winter wheat. *European Journal of Agronomy* 7, 53-62.
- Campbell G.S. et Norman J.M. 1989. The description and measurement of plant canopy structure. In G. Russell et al. (eds.). *Plant canopies: Their growth, form and function*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1-19.
- Chabanne A., Seguy L., Razakamiamanana, 1996. Gestion de la fertilité des rizières d'altitude à Madagascar, exemple de la plaine de Vinaninony (1875 m). In Actes du séminaire riziculture d'altitude pp. 187-196, 29 mars-05 avril 1996. Antananarivo Madagascar, Eds Poisson C, Rakotoarisoa J 1997 CIRAD Montpellier 272 p
- De Jesus, W.C. Jr., Ribeiro do Vale X., Coelho R.R. et Costa, L.C., 2001. Comparison of two methods for estimating leaf area index on common Bean. *Agronomy Journal* 93, 989-991.
- Dimmock J.P.R.E. et Gooding M.J., 2002. The effects of fungicides on rate and duration of grain filling in winter wheat in relation to maintenance of flag leaf green area. *Journal of Agricultural Science* 138, 1-16.
- Djeke M., Angui P., et Kouadio J., 2011. Décomposition des broyats de coques de cacao dans les sols ferrallitiques de la zone d'Oumé. Centre-ouest de la Côte d'Ivoire : effets sur les caractéristiques chimiques des sols, *Biotechnology Agronomy Society and Environment*, 15(1) :109-117

- Duthoit S., 2006. Prise en compte de l'agrégation des cultures dans la simulation du transfert radiatif : importance pour l'estimation de l'indice foliaire (LAI), de la parcelle au paysage. Ph.D. thesis, Université Toulouse III – Paul Sabatier, Toulouse, France.
- EPM, 2005. Ministère de l'économie, de la finance et du budget : Rapport principal. Juin 2006. Enquêtes Périodiques auprès des Ménages.238p.
- FAO/UPDR, 2000. Diagnostic et perspectives de développement de la filière riz à Madagascar. Rapport final. Projet FAO TCP/MAG/8821. Antananarivo.
- FEWS NET, 2018. Prévisions de l'offre et du marché (Madagascar). Rapport d'études, USAID. 10p
- Hopkins J.W. 1939. Estimation of leaf area in wheat from linear dimensions. *Canadian Journal of Research* 17, 300-304.
- INSTAT, 2011. Enquête périodique auprès des Ménages 2010. Ministère de l'Economie et de l'Industrie.
- Jan Nijhoff, 2014. Opportunités et défis pour une croissance inclusive et résiliente. Recueil de notes politiques pour Madagascar. L'agriculture. 324p.
- Lal K.N. et Subba Rao M.S. 1950. A rapid method for estimation of leaf area in growing maize plants. *Current Science* 19,179-180.
- Marc Lacharme, 2001. Mémento Technique de Riziculture. Le plant de riz ,Données morphologiques et cycle de la plante.22p.
- Minten B, Randrianarisoa C, et Barrett C, 2006. Productivity in Malagasy Rice Systems: WealthDifferentiated Constraints and Priorities, Invited panel paper prepared for presentation at the International Association of Agricultural Economists Conference, Gold Coast, Australia, Août 12-18, 2006
- Monographie de la région de Vakinankaratra, 2003. Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche. Unité de Politique de Développement Rural. Juin 2003. 108p
- MOREAU Didier, 1987. L'analyse de l'élaboration du rendement du riz : Les outils de diagnostic. GRET. 125p
- PADR, 2007, Plan d'Action pour le développement rural, Groupe de Travail pour le Développement Rural. Vakinkaratra. 157p
- RABEHARISOA R.L., 2004. Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar. These de doctorat d'Etat. Université d'Antananarivo
- RABOIN L. M., et RAMANANTSOANIRINA A., 2009. Amélioration génétique du riz pluvial, Hautes Terres Moyen Ouest-Sud Est. Campagne 2008-2009.91 p
- Raboin L.M., Ramanantsoanirina A., Dzido J.L., Frouin J., Radanielina T., Tharreau D., Dusserre J., Ahmadi N., 2013.Création variétale pour la riziculture pluviale d'altitude à Madagascar : bilan de 25 années de sélection. Cah Agric 22 : 450-8

- RAMANANDRAIVONONA Jeannick Aimé, 2015. Elaboration du rendement du riz pluvial, Relations entre composantes du rendement sous différents systèmes de culture et niveaux de fertilisation azotée. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques. Université d'Antananarivo – Madagascar.93p
- RANDRIAMBOLOLONA Tahiry, 2012. Etat actuel de la diffusion de la riziculture pluviale dans la région du Vakinankaratra (Hautes Terres malgaches). Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques. Université d'Antananarivo – Madagascar.47p
- Rasambainarivo J.H., et Ranaivoarivelo N., 2006, *Country pasture/forage resource profiles in Madagascar*. FAO. Rome, Italy. 23pp
- Robert, C., Bancal, M.O., Nicolas, P., Lannou, C. and Ney, B. 2004. Analysis and modelling of effects of leaf rust and *Septoria tritici* blotch on wheat growth. *Journal of Experimental Botany*, 55, 1-16.
- ROLLIN D., 1994, Des rizières aux paysages : Eléments pour une gestion de la fertilité dans les exploitations agricoles du Vakinankaratra et du Nord Betsileo (Madagascar). Thèse de Doctorat en Géographie. Université de Paris X Nanterre. Département de Géographie. 323 p
- Schulze E.D., 1982. Plant life forms and their carbon, water and nutrient relations. *In* : Physiological plant ecology II. *Encyclopedia of Plant Physiology, New series*, vol. 1 2B. pp. 616-667.
- UPDR/FAO, 2003. Diagnostic et perspectives de développement de la filière riz à Madagascar, Antananarivo : Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche –FAO,
- Vales M., Razafindrakoto J., 1997. De la précocité népalaise pour le riz d'altitude malgache. In: Poisson C, Rakotoarisoa J, eds, Rice for highlands, Proceeding of the international conference on rice for highlands, 29/03-05/04/1996, Antananarivo (Madagascar). Montpellier (France): Cirad
- Van Arkel H. 1978. Leaf area determinations in sorghum and maize by the length-width method. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 26, 170-180.
- Watson, D.J. 1947. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany* 11, 41-76
- Welles J.M., et Cohen S. 1996. Canopy structure measurement of gap fraction analysis using commercial instrumentation. *Journal of Experimental Botany* 47, 1335-1342.
- Wilhelm W.W., Ruwe K. et Schlemmer M.R., 2000. Comparison of three leaf area index meters in a corn canopy. *Crop Science* 40, 1179-1183

- Yamaguchi, 2013. Projet d'Amélioration de la Productivité Rizicole sur les hautes terres Centrales de Madagascar (PAPRiz), Evaluation de l'effet du Sulfate d'Ammonium sur la production du riz à Madagascar. 23p

Webographie :

FAOSTAT, 2018 : <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC> (consulté le 22/07/2018, 17 : 30)

ANNEXES

ANNEXE 1: Etat d'art sur le riz

Origine et description botanique

Le riz est une plante monocotylédone de la famille des graminées et du genre *Oryza*. Le genre *Oryza* comprend de nombreuses espèces sauvages et deux espèces cultivées : *Oryza sativa* et *Oryza glaberrima*. Ces deux espèces viennent de deux zones géographiques différentes. *O. sativa* a été domestiquée quelques parts en Chine ou en Inde tandis qu'*O. glaberrima* a été domestiquée dans l'ancien delta du fleuve Niger au Mali. La première espèce est cultivée à Madagascar et dans les autres pays rizicoles du monde tandis que la deuxième espèce est en régression. Actuellement, il existe un très grand nombre de variétés. Elles sont généralement regroupées en deux types : le type indica et le type japonica. Le type indica regroupe les variétés à grains plutôt longs et asymétriques. Ce sont des variétés de climat tropical par contre le type japonica regroupe les variétés à grains plutôt ronds et symétriques. Ce sont des variétés de climat subtropical et tempéré (Arrauveau. 1998)

Le riz est une plante herbacée annuelle avec un cycle moyen de 80 à 180 jours. A Madagascar. Le riz est cultivé partout. Même à des altitudes supérieures à 2000 m. Il est une plante autogame. diploïde $2n = 12$ ou polyploïde ou $2n = 24 ; 36$ selon les nombres des chromosomes et les variétés (BRINK et BALEY. 2006)

Classification du riz

Le riz appartient au :

Règne	:	VEGETAL
Embranchement	:	SPERMATOPHYTES
Sous embranchement	:	ANGIOSPERMES
Classe	:	MONOCOTYLEDONE
Sous classe	:	COMMELINIDAE
Ordre	:	CYPERALES
Famille	:	POACEAE
Sous famille	:	POOIDAE
Tribu	:	ORYZAE
Genre	:	ORYZA

Morphologie du riz

Le riz est une plante herbacée annuelle, à port dressé. Une fois germée. La graine émet une racine principale qui dégénère rapidement pour être remplacée par des racines adventives. Les racines adventives se développent à partir du collet en se ramifiant sur le plan horizontal et en profondeur. Les tiges sont de formes cylindriques et portent des nœuds sur lesquels s'insèrent les feuilles. Les feuilles sont linéaires, à nervations parallèles, engainantes enveloppant la tige

avant de s'étaler en limbe. Les feuilles se développent l'une après l'autre et leur répartition est alternée sur la tige. Au début de la croissance, un plant de riz émet des talles. L'ensemble tige-feuilles constitue la talle. Les talles sont disposées en touffe et portent à maturité la panicule. La panicule est ramifiée et porte les fleurs. Les fleurs appelées épillets donnent des graines regroupées en inflorescences. Les épillets sont à la fois des fleurs mâles et femelles, après autofécondation, elles produisent des grains. Un grain est constitué d'un caryopse enveloppé dans deux glumelles adhérentes, l'ensemble est appelé paddy ou grain de paddy (Arraudeau. 1998). Les graines sont aristées suivant les variétés, de couleur jaunes ou orangés ou parfois teintées de noir. Elle est formée par le caryopse oblong, de 8 à 15 mm de long qui comporte trois parties : le tégument, l'albumen, l'embryon (LEGENDRE. 1935 ; BOSSER. 1969 ; RICE ALMANACH. 1998).

Ecologie du riz

Comme les autres plantes, le riz a des besoins en température, en lumière, en eau pour accomplir normalement son cycle. Ainsi, son optimum de développement est caractérisé par :

- **La température** : l'optimum se situe entre 25 et 30°C mais les besoins varient selon le stade de croissance.
- **La lumière** : le riz est une plante de pleine lumière. Un faible éclairage entraîne l'élongation des jeunes plantes. En culture pluviale, l'insolation mensuelle doit être comprise entre 200 et 250 heures.
- **Le vent** : il détermine l'évapotranspiration. Un vent léger accélère la transpiration tandis qu'un vent trop fort entraîne la verse et cause des dommages sur les panicules au moment de l'épiaison.
- **L'eau** : les besoins en eau s'élèvent et croissent avec l'âge de la plante. En culture pluviale, il faut 160 à 300 mm par mois pendant la période végétative ; soit de 1000 à 1800 mm pour la totalité de celle-ci. Les fortes pluies sont nuisibles à l'épiaison et en période de moisson tandis que la déficience en eau au cours d'une phase du cycle du riz peut entraîner des conséquences négatives pour le rendement.
- **Le sol** : en culture pluviale, le riz nécessite un sol riche et meuble.

Cycles physiologiques et élaboration du rendement

Le cycle du riz est le plus souvent compris entre 110 et 150 jours. La longueur du cycle est variable suivant la variété et l'environnement. La vie d'un plant de riz se divise en trois phases : la phase végétative de la germination à l'initiation paniculaire, la phase reproductive de l'initiation paniculaire à la floraison et la phase de maturation de la floraison à la maturité. Au cours de chaque phase, des composantes participent l'une après l'autre à l'élaboration du rendement. (Moreau. 1987).

La phase végétative

La phase végétative a une durée variable suivant les variétés et les conditions agro-climatiques. Elle commence par la germination qui dure 3 à 5 jours, puis la feuille primaire émerge à la surface du sol, c'est la levée. A partir de la troisième semaine, les plantules commencent à émettre des talles, puis l'élongation des entre-nœuds de la tige fait augmenter la hauteur de la plante. Elle est caractérisée par la formation des talles et des feuilles et par l'augmentation de la surface foliaire. Les composantes élaborées sont le nombre de poquets par unité de surface et le nombre de panicules par poquet. Elles permettent l'obtention du nombre de panicules par unité de surface.

La phase reproductive

La phase reproductive dure environ 35 jours. Elle commence par un gonflement de la partie basale de la talle (montaison), puis la panicule sort hors de la gaine foliaire (épiaison). Juste après l'épiaison, les glumelles s'ouvrent (floraison) et la pollinisation commence suivie de la fécondation. Pendant cette phase, une déficience hydrique est particulièrement dommageable. Le nombre d'épillets par panicule et le pourcentage de grains pleins sont les composantes élaborées pendant la phase de reproduction.

La phase de maturation

La phase de maturation dure environ 30 jours. L'état de maturité du grain se définit par l'état de dureté aux différents étages de la panicule. Les grains passent par 3 stades successifs : laiteux, pâteux et mûre. A maturité, les grains peuvent être farineux ou vitreux. Le poids moyen d'un grain est une caractéristique variétale dépendant de la taille de l'enveloppe (poids maximum atteint par les grains) et du remplissage du grain. Le poids de mille grains est calculé avant de déduire le poids moyen d'un grain.

Besoins de production du riz pluvial

En système pluvial, les besoins azotés restent le principal facteur limitant de la croissance et de la production. Le riz puise ses éléments nutritifs dans la solution du sol qui au dépend du régime hydrique (pluviométrie) et de la porosité définissent une disponibilité variable pour la plante. L'exportation du riz pluvial en fonctions des parties récoltées s'estime comme suit : la fertilisation d'un système pluvial doit donc contribuer à l'amélioration de la structure physique et de la capacité de rétention en eau du sol. Les corrections de la capacité d'échange varient par contre suivant le type de sol cultivé (richesse).

Le riz pluvial à Madagascar

Le riz cultivé à Madagascar comporte de nombreuses variétés locales et quelques variétés améliorées. La superficie rizicole malgache est estimée à 1.330.000 hectares dont environ 20%

est en système pluvial (MAEP. 2005). Le riz pluvial est généralement cultivé sur des terrains plats, légèrement onduleux et même sur des pentes de plus de 30% ne présentant pas d'accumulation d'eau superficielle. Le développement du riz pluvial à Madagascar est surtout lié à la pression démographique et à la rareté des terres aménageables pour la riziculture aquatique. Sur les Hautes Terres, le riz pluvial est en plein essor grâce aux variétés adaptées à l'altitude. Toutefois, la base génétique de ces variétés reste très étroite. Une grande partie est issue de parents extraits d'une population locale « *Latsika* », mondialement reconnue comme l'une des plus tolérantes au froid (Dzido *et al.*, 2004). Par ailleurs, le riz pluvial est d'habitude cultivé sur des sols ferrallitiques des collines. Ce type de sol est caractérisé par une dissolution totale des minéraux primaires, et une exportation des bases et de la silice à la concentration relative du fer et de l'aluminium (Legros. 2007). Le sol en question est donc pauvre en base échangeable et en silice. En outre, il a une teneur élevée en fer et en aluminium qui sont des éléments susceptibles d'être toxiques. A cela s'ajoute un pH acide. Toutes ces conditions pédologiques soumettent le riz à un état de fragilité qui le rend plus sensible aux maladies.

Contraintes de la production du riz pluvial

Contraintes relatives au sol

Elles sont à la fois chimiques et physiques. En effet, la rétention d'humidité du sol dépend de l'eau de pluie. Alors, les sols grossiers et peu profonds ayant une faible capacité au champ réduisent la quantité d'eau dans le sol. Dans les topographies onduleuses, les fortes pluies accélèrent considérablement l'érosion entraînant le décapage de la couche arable et l'appauvrissement du sol en éléments nutritifs. En outre, la plupart des sols de la riziculture pluviale sont acides et peu riches en azote, en phosphore, en soufre et en fer et les fortes pluies lessivent les bases et rendent les sols acides (Pande. 1997).

Contraintes liées au climat

La quantité et la variabilité des pluies sont deux paramètres importants dans la production de riz pluvial. Le riz résiste mal au stress hydrique affectant l'élaboration du rendement lorsqu'il intervient pendant le développement de la panicule et le remplissage des grains. Il est aussi néfaste pendant la levée et la floraison. Dans les zones agricoles d'altitude, les écarts brusques de température peuvent affaiblir la plante. Les températures basses (14 à 18°C) ont donc des effets négatifs pendant l'initiation florale, la méiose et le développement du pollen (Pande. 1997).

Contraintes biologiques

Le riz irrigué est plutôt bien protégé par l'eau d'irrigation et bénéficie des avantages du repiquage. De son côté, le riz pluvial souffre durement des attaques des ravageurs dont les insectes, les maladies, les nématodes et les rongeurs (Jacquot et Courtois. 1983). En outre, les

adventices constituent une contrainte sérieuse et nécessite une lutte constante. Ils sont des concurrents importants pour les éléments nutritifs, l'eau et la lumière. Ainsi, sans un travail laborieux de désherbage mécanique ou manuel, l'utilisation d'herbicides est incontournable. La base génétique des variétés qui ont permis l'extension de la riziculture à l'agrosystème pluvial d'altitude est très étroite. Cette variété est bien tolérante au froid mais très sensible à la pyriculariose (Dzido *et al.*, 2004).

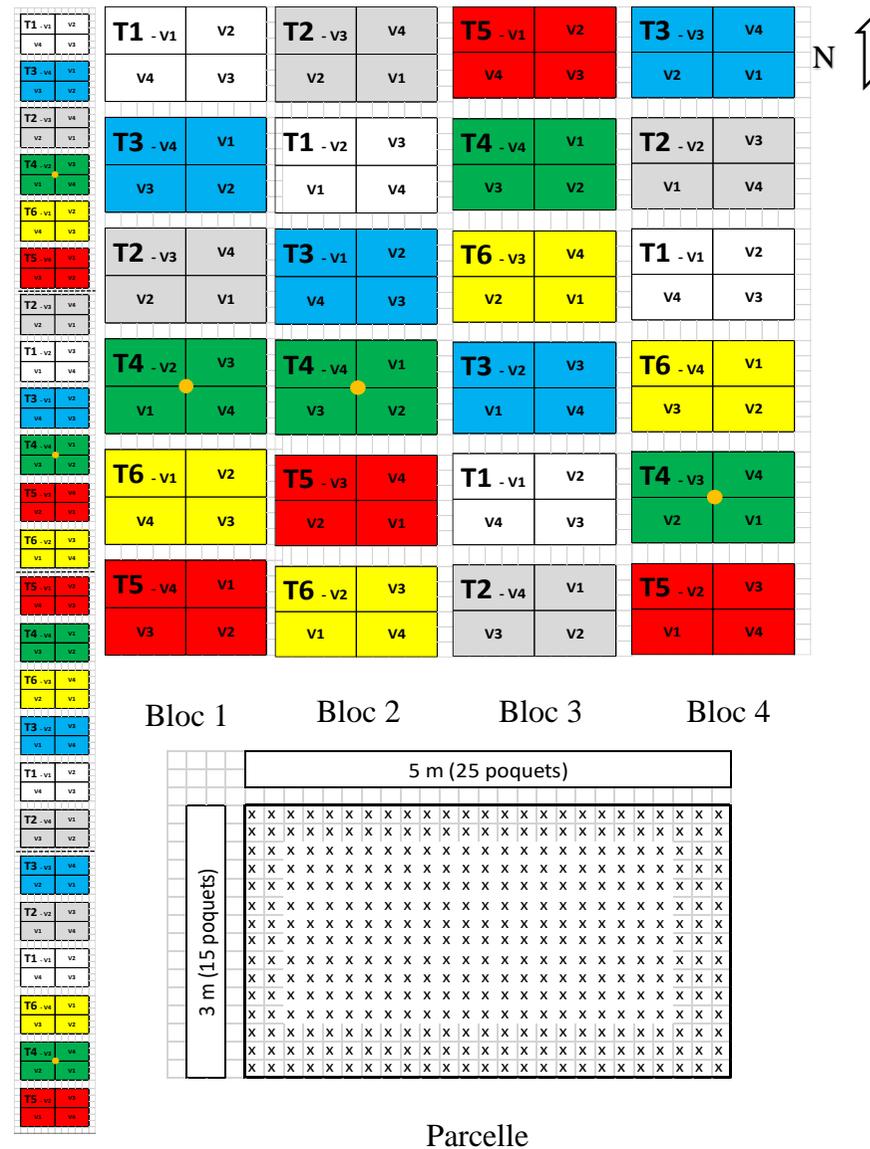
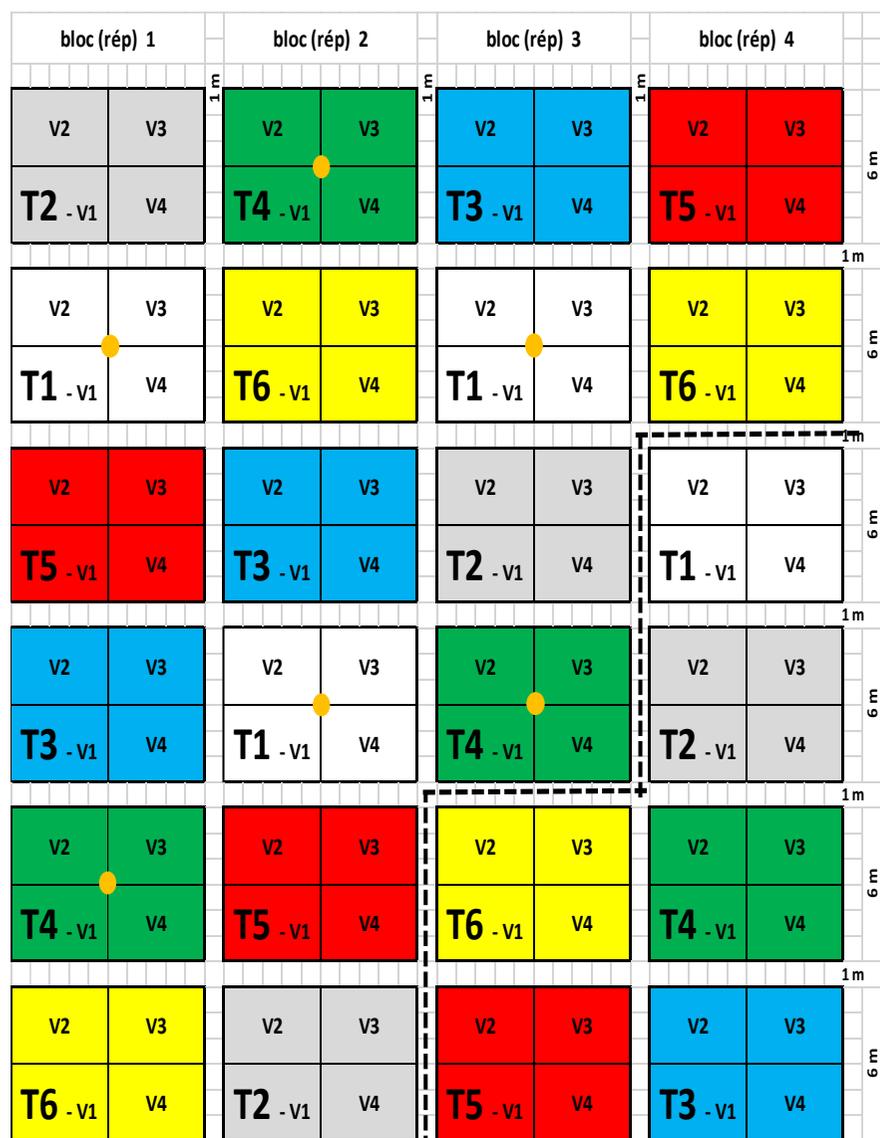
ANNEXE 2: Température moyenne mensuelle du juillet 2012 à juin 2017 de la station d'Andranomanelatra

Année/Mois	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
2012-2013	13,2	14,6	16,2	19,2	19,2	19,5	19,9	19,8	19,5	18,1	15,9	12,6
2013-2014	-	13,6	16,3	18,2	20,0	19,8	20,0	19,9	19,2	17,5	15,6	14,3
2014-2015	13,4	14,4	16,0	19,4	20,0	20,0	19,9	19,5	19,5	18,8	16,4	14,8
2015-2016	13,8	14,3	16,7	18,9	19,2	20,3	20,2	20,3	20,8	18,9	14,6	13,4
2016-2017	12,8	14,8	15,6	18,5	19,5	20,0	19,6	19,8	19,5	17,9	16,2	14,5
Moyenne	13,3	14,3	16,2	18,8	19,6	19,9	19,9	19,9	19,7	18,2	15,8	13,9

ANNEXE 3: Moyenne de Précipitations mensuelles du juillet 2012 à juin 2017 de la station d'Andranomanelatra

Année/Mois	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
2012-2013	4,0	4,5	3,0	65,5	196,0	114,5	240,5	228,0	159,0	21,5	15,5	4,5
2013-2014	3,0	3,0	20,5	201,0	269,0	223,5	241,5	233,0	66,0	10,5	6,0	8,5
2014-2015	24,0	4,0	15,5	4,5	133,0	405,0	390,0	339,5	171,5	47,5	19,5	5,0
2015-2016	4,0	28,5	2,0	126,0	170,0	367,0	260,5	359,0	119,5	19,5	57,0	21,0
2016-2017	7,5	3,5	2,5	56,5	186,0	188,0	263,5	320,0	219,0	64,0	5,5	26,5
Moyenne	8,8	3,5	2,5	163,5	190,8	320	390	285	148	64	31,5	13

ANNEXE 4 : Schéma du dispositif expérimental à Imerimandroso (à gauche) et Tombontsoa (à droite)



Variétés	Chhomrong Dhan	FOFIFA 172	FOFIFA 180	FOFIFA 186
Identification Identifiée par/Crée par : Année d'inscription : Origine géographique : Structure génétique :	FOFIFA/CIRAD 1995 Népal Variété locale	FOFIFA/CIRAD 2006 Madagascar Lignée pure	FOFIFA/CIRAD 2014 Madagascar Lignée pure	FOFIFA/CIRAD 2015 Madagascar Lignée pure
Caractéristiques d'adaptation Groupe morphologique : Cycle semis-floraison : Cycle semis-maturité : Aire de culture : Vocation culturale :	<i>O, Sativa SS, Japonica</i> 130j 165j 100-1800m Pluviale	<i>O, Sativa SS, Japonica</i> 119j 153j 1200-1650m Pluviale	<i>FOFIFA 172 x Chhomrong Dhan</i> 120j 160j 1200-1800m Pluviale	<i>O, Sativa SS, Japonica</i> 126j 165j 1200-1650m Pluviale
Caractéristiques végétatives Hauteur moyenne de la plante : Port de la plante Longueur et largeur des feuilles : Longueur de la panicule :		81cm Moyenne Ouvert 17cm * 1cm 17cm	87cm Erigé, feuilles en bas couvrantes 21cm * 1,1 cm 16 cm	105cm Ouvert 19cm * 1,2cm 19 cm
Caractéristiques agronomiques Verse : Egrenage : Pyriculariose du cou : Pyriculariose foliaire : Résistance au froid : Rendement maximum (essai) : Rendement moyen (essai)		Résistante Sensible Résistante Résistante Très bonne (92%) 5,8 t.ha ⁻¹ 4,3 t.ha ⁻¹	Résistante Moyennement résistante Tolérante Tolérante Très bonne (91%) 6,6 t.ha ⁻¹ 4,7 t.ha ⁻¹	Résistante Moyennement résistante Tolérante Tolérante Moyenne (84%) 7 t.ha ⁻¹ 4,6 t.ha ⁻¹
Points forts		Précocité, tallage, aspect sanitaire du grain, bonne résistance au froid	Précocité, résistance à la haute altitude, résistance aux maladies, grain rouge	Bonne production de paille et productivité, décorticage facile
Points faibles		Sensible de l'égrenage, exige une bonne fertilisation	Exige un terrain suffisamment fertile ou fertilisation chimique	Non recommandé pour la très haute altitude (<1650m)

ANNEXE 5 : Caractéristiques de variétés utilisées

ANNEXE 6: Mode opératoire pour le prélèvement de la biomasse

Sur les 9 poquets ciblés, le nombre des poquets définitivement présents est compté ($NbPq ; \leq 9$), Ceux-ci sont ensuite prélevés et pesés sans les racines (PFTPq) et une aliquote constituée a ensuite été pesée (PFAI), Après, on sépare les tiges et feuilles de l'aliquote et on les met dans des enveloppes séparées et on les sèche à l'étuve à 60°C pendant 3j pour avoir un poids sec, Pour les dates 3 et 4, le poids de panicules plus les biomasses ont également été contrôlés, sont obtenus ainsi les poids secs des tiges (PSTAI) et feuilles (PSFAI) de l'aliquote, et donc son poids sec total (PSAI), et aussi le poids sec total de toutes les panicules (PSTPan), Par suite, le poids sec total des 9 poquets (PSTPq) pourrait être déterminé ainsi que les poids secs des feuilles (PSTF), des tiges (PSTT) et des panicules (PSTPan) suivant les équations ci-dessous:

Poids sec total	Formules de calcul
Poids sec aliquote	$PSAI = PSTAI + PSFAI$
Poids sec total des neuf (9) poquets	$PSTPq = PSAI / PFAI * PFTPq$
Poids sec total des feuilles	$PSTF = PSFAI \times PFTPq / PFAI$
Poids sec total des tiges	$PSTT = PSTAI \times PFTPq / PFAI$

De là, les biomasses sèches totales (Biom), de tiges (BiomT), de feuilles (BiomF) et de panicules (BiomP) à l'hectare et/ou au m² peuvent être déterminées,

$$Biom (g/m^2) = PSAI / PFAI \times PFTPq / (NbPq)$$

$$\begin{aligned} Biom () &= ((PSAI / PFAI \times PFTPq / (NbPq)) / 1000) / (0.04 / 10.000) \\ &= (PSAI / PFAI \times PFTPq / (NbPq)) / 1000 \times 10.000 / 0.04 \\ &= PSAI / PFAI \times PFTPq / (NbPq) \times 10 / 0.04 \end{aligned}$$

Si le nombre de poquets manquants est de 1 à 2, les calculs sont corrigés en ne tenant compte que des poquets réellement présents car ces manquants sont considérés comme des aléas non représentatifs : c'est-à-dire que on se ramène à la surface des seuls poquets présents, Dans le cas où ces manquants sont supérieurs à 4 et répétés sur plusieurs parcelles, ils sont considérés comme reflétant une réalité venant d'une ou de différentes contraintes, et les valeurs des biomasses ne sont pas corrigées, à savoir que on se rapporte à la surface des 9 poquets,

Le prélèvement de biomasse se fait sur les 3 placettes « a, b et c » de dimension 70 cm*30 cm par parcelle comprenant 3 poquets de riz à prélever, Pour le rendement le prélèvement pour la mesure est prévu dans un carré de rendement montré par la figure ci-après

ANNEXE 7: Nombres des plants des neufs poquets sur SM1

Essai	Date	Obs	Parcelle	Bloc	Trait	Var	NbrPq	NbrPlants
SM1	2018-01-18	date2	B1T1V1	B1	T1	V1	9	70
SM1	2018-01-18	date2	B1T2V1	B1	T2	V1	9	84
SM1	2018-01-18	date2	B1T3V1	B1	T3	V1	8	62
SM1	2018-01-18	date2	B1T4V1	B1	T4	V1	9	72
SM1	2018-01-18	date2	B1T5V1	B1	T5	V1	8	55
SM1	2018-01-18	date2	B1T6V1	B1	T6	V1	8	57
SM1	2018-01-18	date2	B2T1V1	B2	T1	V1	9	79
SM1	2018-01-18	date2	B2T2V1	B2	T2	V1	9	
SM1	2018-01-18	date2	B2T3V1	B2	T3	V1	7	
SM1	2018-01-18	date2	B2T4V1	B2	T4	V1	9	99
SM1	2018-01-18	date2	B2T5V1	B2	T5	V1	9	
SM1	2018-01-18	date2	B2T6V1	B2	T6	V1	9	
SM1	2018-01-18	date2	B3T1V1	B3	T1	V1	9	83
SM1	2018-01-18	date2	B3T2V1	B3	T2	V1	9	100
SM1	2018-01-18	date2	B3T3V1	B3	T3	V1	9	90
SM1	2018-01-18	date2	B3T4V1	B3	T4	V1	8	87
SM1	2018-01-18	date2	B3T5V1	B3	T5	V1	8	54
SM1	2018-01-18	date2	B3T6V1	B3	T6	V1	8	81
SM1	2018-01-18	date2	B4T1V1	B4	T1	V1	9	80
SM1	2018-01-18	date2	B4T2V1	B4	T2	V1	8	
SM1	2018-01-18	date2	B4T3V1	B4	T3	V1	8	
SM1	2018-01-18	date2	B4T4V1	B4	T4	V1	9	93
SM1	2018-01-18	date2	B4T5V1	B4	T5	V1	9	
SM1	2018-01-18	date2	B4T6V1	B4	T6	V1	9	
SM1	2018-01-18	date2	B1T1V2	B1	T1	V2	9	75
SM1	2018-01-18	date2	B1T2V2	B1	T2	V2	9	82
SM1	2018-01-18	date2	B1T3V2	B1	T3	V2	9	63
SM1	2018-01-18	date2	B1T4V2	B1	T4	V2	9	90
SM1	2018-01-18	date2	B1T5V2	B1	T5	V2	9	92
SM1	2018-01-18	date2	B1T6V2	B1	T6	V2	9	78
SM1	2018-01-18	date2	B2T1V2	B2	T1	V2	9	47
SM1	2018-01-18	date2	B2T2V2	B2	T2	V2	9	
SM1	2018-01-18	date2	B2T3V2	B2	T3	V2	9	
SM1	2018-01-18	date2	B2T4V2	B2	T4	V2	9	62
SM1	2018-01-18	date2	B2T5V2	B2	T5	V2	9	
SM1	2018-01-18	date2	B2T6V2	B2	T6	V2	9	
SM1	2018-01-18	date2	B3T1V2	B3	T1	V2	9	101
SM1	2018-01-18	date2	B3T2V2	B3	T2	V2	9	87
SM1	2018-01-18	date2	B3T3V2	B3	T3	V2	9	85
SM1	2018-01-18	date2	B3T4V2	B3	T4	V2	9	58
SM1	2018-01-18	date2	B3T5V2	B3	T5	V2	9	67
SM1	2018-01-18	date2	B3T6V2	B3	T6	V2	8	69
SM1	2018-01-18	date2	B4T1V2	B4	T1	V2	9	73
SM1	2018-01-18	date2	B4T2V2	B4	T2	V2	9	
SM1	2018-01-18	date2	B4T3V2	B4	T3	V2	9	
SM1	2018-01-18	date2	B4T4V2	B4	T4	V2	9	84
SM1	2018-01-18	date2	B4T5V2	B4	T5	V2	9	
SM1	2018-01-18	date2	B4T6V2	B4	T6	V2	9	
SM1	2018-01-18	date2	B1T1V3	B1	T1	V3	9	91
SM1	2018-01-18	date2	B1T2V3	B1	T2	V3	9	85
SM1	2018-01-18	date2	B1T3V3	B1	T3	V3	9	70
SM1	2018-01-18	date2	B1T4V3	B1	T4	V3	9	87
SM1	2018-01-18	date2	B1T5V3	B1	T5	V3	9	104
SM1	2018-01-18	date2	B1T6V3	B1	T6	V3	8	43
SM1	2018-01-18	date2	B2T1V3	B2	T1	V3	9	88
SM1	2018-01-18	date2	B2T2V3	B2	T2	V3	8	
SM1	2018-01-18	date2	B2T3V3	B2	T3	V3	9	

Essai	Date	Obs	Parcelle	Bloc	Trait	Var	NbrPq	NbrPlants
SM1	2018-01-18	date2	B2T4V3	B2	T4	V3	9	77
SM1	2018-01-18	date2	B2T5V3	B2	T5	V3	9	
SM1	2018-01-18	date2	B2T6V3	B2	T6	V3	9	
SM1	2018-01-18	date2	B3T1V3	B3	T1	V3	9	97
SM1	2018-01-18	date2	B3T2V3	B3	T2	V3	9	71
SM1	2018-01-18	date2	B3T3V3	B3	T3	V3	9	72
SM1	2018-01-18	date2	B3T4V3	B3	T4	V3	9	97
SM1	2018-01-18	date2	B3T5V3	B3	T5	V3	9	93
SM1	2018-01-18	date2	B3T6V3	B3	T6	V3	9	81
SM1	2018-01-18	date2	B4T1V3	B4	T1	V3	9	78
SM1	2018-01-18	date2	B4T2V3	B4	T2	V3	9	
SM1	2018-01-18	date2	B4T3V3	B4	T3	V3	9	
SM1	2018-01-18	date2	B4T4V3	B4	T4	V3	9	65
SM1	2018-01-18	date2	B4T5V3	B4	T5	V3	9	
SM1	2018-01-18	date2	B4T6V3	B4	T6	V3	9	
SM1	2018-01-18	date2	B1T1V4	B1	T1	V4	9	88
SM1	2018-01-18	date2	B1T2V4	B1	T2	V4	9	67
SM1	2018-01-18	date2	B1T3V4	B1	T3	V4	9	86
SM1	2018-01-18	date2	B1T4V4	B1	T4	V4	9	70
SM1	2018-01-18	date2	B1T5V4	B1	T5	V4	9	76
SM1	2018-01-18	date2	B1T6V4	B1	T6	V4	9	69
SM1	2018-01-18	date2	B2T1V4	B2	T1	V4	9	83
SM1	2018-01-18	date2	B2T2V4	B2	T2	V4	9	
SM1	2018-01-18	date2	B2T3V4	B2	T3	V4	9	
SM1	2018-01-18	date2	B2T4V4	B2	T4	V4	9	79
SM1	2018-01-18	date2	B2T5V4	B2	T5	V4	9	
SM1	2018-01-18	date2	B2T6V4	B2	T6	V4	9	
SM1	2018-01-18	date2	B3T1V4	B3	T1	V4	9	98
SM1	2018-01-18	date2	B3T2V4	B3	T2	V4	9	83
SM1	2018-01-18	date2	B3T3V4	B3	T3	V4	9	102
SM1	2018-01-18	date2	B3T4V4	B3	T4	V4	8	106
SM1	2018-01-18	date2	B3T5V4	B3	T5	V4	8	66
SM1	2018-01-18	date2	B3T6V4	B3	T6	V4	9	77
SM1	2018-01-18	date2	B4T1V4	B4	T1	V4	9	93
SM1	2018-01-18	date2	B4T2V4	B4	T2	V4	8	
SM1	2018-01-18	date2	B4T3V4	B4	T3	V4	9	
SM1	2018-01-18	date2	B4T4V4	B4	T4	V4	9	84
SM1	2018-01-18	date2	B4T5V4	B4	T5	V4	9	
SM1	2018-01-18	date2	B4T6V4	B4	T6	V4	9	

ANNEXE 8: Nombres des tiges des neufs poquets sur SM2

Essais	Date	Obs	Parcelle	Bloc	Trait	Var	NbPq (9)	NbPlants
SM2	2018-01-19	date2	B1T1V1	B1	T1	V1	9	43
SM2	2018-01-19	date2	B1T2V1	B1	T2	V1	9	59
SM2	2018-01-19	date2	B1T3V1	B1	T3	V1	9	63
SM2	2018-01-19	date2	B1T4V1	B1	T4	V1	9	54
SM2	2018-01-19	date2	B1T5V1	B1	T5	V1	9	35
SM2	2018-01-19	date2	B1T6V1	B1	T6	V1	9	52
SM2	2018-01-19	date2	B2T1V1	B2	T1	V1	9	51
SM2	2018-01-19	date2	B2T2V1	B2	T2	V1	9	
SM2	2018-01-19	date2	B2T3V1	B2	T3	V1	8	
SM2	2018-01-19	date2	B2T4V1	B2	T4	V1	9	73
SM2	2018-01-19	date2	B2T5V1	B2	T5	V1	8	
SM2	2018-01-19	date2	B2T6V1	B2	T6	V1	9	
SM2	2018-01-19	date2	B3T1V1	B3	T1	V1	9	37
SM2	2018-01-19	date2	B3T2V1	B3	T2	V1	9	43
SM2	2018-01-19	date2	B3T3V1	B3	T3	V1	9	50
SM2	2018-01-19	date2	B3T4V1	B3	T4	V1	9	64
SM2	2018-01-19	date2	B3T5V1	B3	T5	V1	7	30
SM2	2018-01-19	date2	B3T6V1	B3	T6	V1	9	90
SM2	2018-01-19	date2	B4T1V1	B4	T1	V1	9	66
SM2	2018-01-19	date2	B4T2V1	B4	T2	V1	9	
SM2	2018-01-19	date2	B4T3V1	B4	T3	V1	9	
SM2	2018-01-19	date2	B4T4V1	B4	T4	V1	9	144
SM2	2018-01-19	date2	B4T5V1	B4	T5	V1	9	
SM2	2018-01-19	date2	B4T6V1	B4	T6	V1	9	
SM2	2018-01-19	date2	B1T1V2	B1	T1	V2	9	93
SM2	2018-01-19	date2	B1T2V2	B1	T2	V2	9	42
SM2	2018-01-19	date2	B1T3V2	B1	T3	V2	9	73
SM2	2018-01-19	date2	B1T4V2	B1	T4	V2	9	69
SM2	2018-01-19	date2	B1T5V2	B1	T5	V2	9	39
SM2	2018-01-19	date2	B1T6V2	B1	T6	V2	9	40
SM2	2018-01-19	date2	B2T1V2	B2	T1	V2	9	55
SM2	2018-01-19	date2	B2T2V2	B2	T2	V2	9	
SM2	2018-01-19	date2	B2T3V2	B2	T3	V2	9	
SM2	2018-01-19	date2	B2T4V2	B2	T4	V2	9	97
SM2	2018-01-19	date2	B2T5V2	B2	T5	V2	8	
SM2	2018-01-19	date2	B2T6V2	B2	T6	V2	9	
SM2	2018-01-19	date2	B3T1V2	B3	T1	V2	8	43
SM2	2018-01-19	date2	B3T2V2	B3	T2	V2	9	47
SM2	2018-01-19	date2	B3T3V2	B3	T3	V2	8	48
SM2	2018-01-19	date2	B3T4V2	B3	T4	V2	9	61
SM2	2018-01-19	date2	B3T5V2	B3	T5	V2	8	33
SM2	2018-01-19	date2	B3T6V2	B3	T6	V2	9	51
SM2	2018-01-19	date2	B4T1V2	B4	T1	V2	9	55
SM2	2018-01-19	date2	B4T2V2	B4	T2	V2	9	
SM2	2018-01-19	date2	B4T3V2	B4	T3	V2	8	
SM2	2018-01-19	date2	B4T4V2	B4	T4	V2	9	89
SM2	2018-01-19	date2	B4T5V2	B4	T5	V2	7	
SM2	2018-01-19	date2	B4T6V2	B4	T6	V2	8	
SM2	2018-01-19	date2	B1T1V3	B1	T1	V3	9	82
SM2	2018-01-19	date2	B1T2V3	B1	T2	V3	8	44
SM2	2018-01-19	date2	B1T3V3	B1	T3	V3	8	54
SM2	2018-01-19	date2	B1T4V3	B1	T4	V3	9	64
SM2	2018-01-19	date2	B1T5V3	B1	T5	V3	8	48
SM2	2018-01-19	date2	B1T6V3	B1	T6	V3	9	32
SM2	2018-01-19	date2	B2T1V3	B2	T1	V3	9	53
SM2	2018-01-19	date2	B2T2V3	B2	T2	V3	9	
SM2	2018-01-19	date2	B2T3V3	B2	T3	V3	9	

Essais	Date	Obs	Parcelle	Bloc	Trait	Var	NbPq (9)	NbPlants
SM2	2018-01-19	date2	B2T4V3	B2	T4	V3	9	54
SM2	2018-01-19	date2	B2T5V3	B2	T5	V3	9	
SM2	2018-01-19	date2	B2T6V3	B2	T6	V3	9	
SM2	2018-01-19	date2	B3T1V3	B3	T1	V3	9	62
SM2	2018-01-19	date2	B3T2V3	B3	T2	V3	9	48
SM2	2018-01-19	date2	B3T3V3	B3	T3	V3	9	50
SM2	2018-01-19	date2	B3T4V3	B3	T4	V3	9	57
SM2	2018-01-19	date2	B3T5V3	B3	T5	V3	9	45
SM2	2018-01-19	date2	B3T6V3	B3	T6	V3	9	50
SM2	2018-01-19	date2	B4T1V3	B4	T1	V3	8	65
SM2	2018-01-19	date2	B4T2V3	B4	T2	V3	9	
SM2	2018-01-19	date2	B4T3V3	B4	T3	V3	9	
SM2	2018-01-19	date2	B4T4V3	B4	T4	V3	9	65
SM2	2018-01-19	date2	B4T5V3	B4	T5	V3	8	
SM2	2018-01-19	date2	B4T6V3	B4	T6	V3	9	
SM2	2018-01-19	date2	B1T1V4	B1	T1	V4	9	51
SM2	2018-01-19	date2	B1T2V4	B1	T2	V4	9	88
SM2	2018-01-19	date2	B1T3V4	B1	T3	V4	9	56
SM2	2018-01-19	date2	B1T4V4	B1	T4	V4	9	93
SM2	2018-01-19	date2	B1T5V4	B1	T5	V4	9	46
SM2	2018-01-19	date2	B1T6V4	B1	T6	V4	7	27
SM2	2018-01-19	date2	B2T1V4	B2	T1	V4	9	94
SM2	2018-01-19	date2	B2T2V4	B2	T2	V4	9	
SM2	2018-01-19	date2	B2T3V4	B2	T3	V4	9	
SM2	2018-01-19	date2	B2T4V4	B2	T4	V4	8	41
SM2	2018-01-19	date2	B2T5V4	B2	T5	V4	9	
SM2	2018-01-19	date2	B2T6V4	B2	T6	V4	9	
SM2	2018-01-19	date2	B3T1V4	B3	T1	V4	9	49
SM2	2018-01-19	date2	B3T2V4	B3	T2	V4	9	58
SM2	2018-01-19	date2	B3T3V4	B3	T3	V4	8	34
SM2	2018-01-19	date2	B3T4V4	B3	T4	V4	9	63
SM2	2018-01-19	date2	B3T5V4	B3	T5	V4	9	34
SM2	2018-01-19	date2	B3T6V4	B3	T6	V4	9	50
SM2	2018-01-19	date2	B4T1V4	B4	T1	V4	9	70
SM2	2018-01-19	date2	B4T2V4	B4	T2	V4	9	
SM2	2018-01-19	date2	B4T3V4	B4	T3	V4	9	
SM2	2018-01-19	date2	B4T4V4	B4	T4	V4	9	77
SM2	2018-01-19	date2	B4T5V4	B4	T5	V4	7	
SM2	2018-01-19	date2	B4T6V4	B4	T6	V4	9	

ANNEXE 9: Détermination des composantes de rendement

- Les 10 poquets définis pour les composantes du rendement (NbrPq) sont coupés, toutes leurs tiges (NbrT), et toutes leurs panicules (NbrPan) sont comptées. Ce qui donne les nombres moyens de tiges et de panicules par poquet:

$$\text{Nbr T/Pq} = \text{NbrT/NbrPq} \quad \text{NbrPan/Pq} = \text{NbrPan/NbrPq}$$

- Les panicules et les biomasses sont séparément mises dans des enveloppes et pesées (BiomCDR) suivi d'une aliquote pour la biomasse (BiomAl).
- Dès que les 10 poquets des CDR ont été enlevés, les poquets absents (≥ 10) au niveau du carré de rendement (NbrPqmanq) sont notés, tous les poquets présents sont coupés au ras du sol, Donc le nombre de poquet exact dans le carré de rendement se sera :

$$\text{Nbr poq} = \text{NbrTPq} - \text{NbrPqmanq}$$

- Les grains (grains pleins et vides mélangés avec des débris) ont été récupérés après la batteuse et pesés (PTG) avec un échantillon aliquote représentatif (PGAl) que l'on a pesé et mis dans une enveloppe pour vannage, séchage et pesage en sec.

$$\text{BiomST} = \text{BiomSCDR}/(\text{Biom CDR}) \times \text{BiomT}$$

- Les biomasses (BiomT) sont aussi notées pour survenir à un poids sec de la biomasse totale.

Plus tard :

- Les échantillons de biomasse sont passés à l'étuve et séchés, et peuvent être gardés pour des analyses éventuelles (BiomSAI), D'après ce poids sec, on peut obtenir le poids sec de la biomasse CDR selon l'équation suivante :

$$\text{BiomSCDR (g/m}^2\text{)} = \text{BiomSAI/BiomAl} \times \text{BiomCDR/NbrPq}$$

$$\text{BiomSCDR (kg/ha)} = \text{BiomSAI/BiomAl} \times \text{BiomCDR/NbrPq} \times 10.000/0.04$$

- Ce qui conduit à calculer la biomasse sèche totale du carré de rendement ou rendement moyen en pailles :

$$\text{BiomST (g/m}^2\text{)} = \text{BiomSCDR/BiomCDR} \times \text{BiomT}/(\text{Nbr poq})$$

$$\text{BiomST (kg/ha)} = \text{BiomSCDR}/\text{BiomCDR} \times \text{BiomT}/(\text{Nbr poq}) \times 10.000/0.04$$

- Les grains pleins « bons grains » ont été obtenues après vannage de cet échantillon. Cette dernière a été pesé (PGP) avec un aliquote (PGPAL) qui est passé à l'étuve, dont son poids sec est PGPSAI, pour avoir le pourcentage des grains pleins, le poids sec de l'aliquote (PSGPAL) et donc l'humidité de graines (Hum) selon les équations suivantes :

$$\%GP = \text{PGP}/\text{PTG} \qquad \text{HumG\%} = (\text{PGAL} - \text{PSGAL})/\text{PGAL}$$

- Les panicules des 10 poquets des CDR (PoidsPan) sont pesées, tous les grains (vides et pleins) sont triés manuellement et ont été pesés, (PGP) pour les grains pleins et (PGV) celles des grains vides).
- Un échantillon de 200 grains pleins a été fait (P200GP), et la même chose avec un échantillon de 200 grains vides (P200GV) (si pas 200 grains vides alors on compte et on prend tous les grains vides), et un 3^{ème} avec le reste des grains pleins (PRG), Ces échantillons ont été passés à l'étuve pour leur poids secs (PS200GP, PS200GV et PSRG).

$$\text{PMG} = \text{P200G} \times 5$$

Et on a le poids de 1000grains :

- Le nombre des graines par panicules a été obtenu selon les équations suivantes :

$$\text{Nbr graines/pan} = (\text{nbrGP} + \text{nbrGV})/\text{NbPq}$$

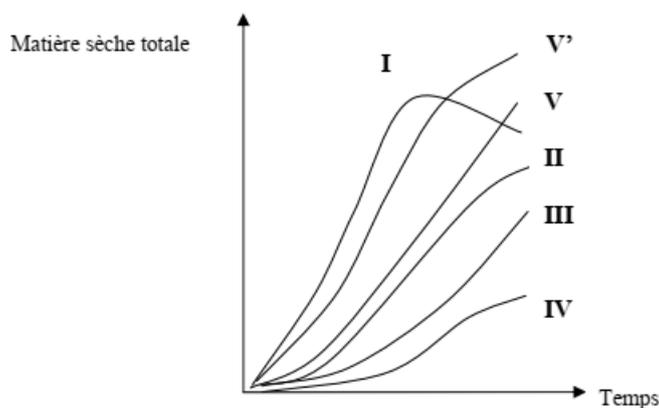
$$\text{Nbr graines/pan} = ((200 + \text{RGP}) + (200 + \text{RGV}))/\text{NbPq}$$

$$\text{Nbr graines/pan} = ((200 + (200 * \text{PRGP})/\text{P200GV}) + (200 + (200 * \text{PRGP})/\text{P200GV}))/\text{NbPq}$$

ANNEXE 10: Les différents types de croissance selon Tanaka

- Type I : Croissance vigoureuse au départ puis faible en fin de cycle, Ce type est rencontré en cas de fortes températures ou bien d'alimentation azotée excessive en début de cycle. Les caractéristiques variétales peuvent également favoriser ce schéma de croissance.
- Type II, V et V' : Croissance modérée (II) à forte (V et V') durant tout le cycle, Un bon équilibre a été trouvé entre la phase végétative et la phase reproductive, Le type V correspond à de forts rayonnements durant la maturation et à un poids de mille grains élevé.

- Type III : Croissance faible au départ puis forte avec une croissance végétative prolongée, Ce type, outre les caractéristiques variétales, se retrouve en cas de faibles températures en début de cycle.
- Type IV : Croissance lente et continue, Les conditions de nutrition sont insuffisantes ou les conditions de croissance sont difficiles.



Modèle de Tanaka, 1971(Cité par Moreau, 1987)

ANNEXE 11: Analyses ANOVA de la biomasse aérienne sur SM1

		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Date1	Bloc	3	5312	1770,6	1,4436	0,269627	
	Trait	5	42082	8416,5	6,8622	0,001619	**
	Ea	15	18397	1226,5			
	Var	3	3527	1175,8	3,0626	0,035721	*
	Trait:Var	15	6396	426,4	1,1106	0,369735	
	Eb	54	20732	383,9			
Date2	Bloc	3	231023	77008	4,2113	0,023905	*
	Trait	5	1219115	243823	13,3338	0,000045	***
	Ea	15	274290	18286			
	Var	3	99667	33222	5,5189	0,002222	**
	Trait:Var	15	115516	7701	1,2793	0,247234	
	Eb	54	325063	6020			
Date3	Bloc	3	3733763	1244588	8,6664	0,001415	**
	Trait	5	18741512	3748302	26,1005	0,000001	***
	Ea	15	2154159	143611			
	Var	3	289413	96471	1,4223	0,246313	
	Trait:Var	15	654934	43662	0,6437	0,825187	
	Eb	54	3662723	67828			
Date4	Bloc	3	13535353	4511784	11,4494	0,000367	***
	Trait	5	27773899	5554780	14,0962	0,000032	***
	Ea	15	5910935	394062			
	Var	3	2105111	701704	3,8751	0,013944	*
	Trait:Var	15	1972535	131502	0,7262	0,747547	
	Eb	54	9778376	181081			

ANNEXE 12 : Analyses ANOVA de la biomasse aérienne sur SM2

		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Date1	Bloc	3	12272	4090,6	2,2368	0,126	
	Trait	5	122359	24471,7	13,3815	0,00004	***
	Ea	15	27432	1828,8			
	Var	3	882	293,9	0,3048	0,8218	
	Trait:Var	15	11580	772	0,8007	0,6716	
	Eb	54	52061	964,1			
Date2	Bloc	3	444664	148221	1,6562	0,2188	
	Trait	5	21071782	4214356	47,0909	0,00000001	***
	Ea	15	1342412	89494			
	Var	3	220327	73442	0,5725	0,6355	
	Trait:Var	15	1082145	72143	0,5624	0,8903	
	Eb	54	6926923	128276			
Date3	Bloc	3	7655290	2551763	2,0924	0,1442	
	Trait	5	128583150	25716630	21,0869	0,000003	***
	Ea	15	18293314	1219554			
	Var	3	2422974	807658	1,2905	0,287	
	Trait:Var	15	5895476	393032	0,628	0,839	
	Eb	54	33796722	625865			
Date4	Bloc	3	9989356	3329785	3,5279	0,041	*
	Trait	5	69873079	13974616	14,8062	0,00002	***
	Ea	15	14157490	943833			
	Var	3	1936536	645512	0,5636	0,6414	
	Trait:Var	15	17077299	1138487	0,994	0,4746	
	Eb	54	61850240	1145375			

ANNEXE 13 : Analyses ANOVA de LAI sur SM1

		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Date1	Bloc	3	0,12762	0,042542	2,8364	0,073494	,
	Trait	5	0,48175	0,09635	6,424	0,002219	**
	Ea	15	0,22497	0,014998			
	Var	3	0,02404	0,008014	3,0867	0,034731	*
	Trait:Var	15	0,05901	0,003934	1,5152	0,132661	
	Eb	54	0,1402	0,002596			
Date2	Bloc	3	1,18661	0,39554	2,1509	0,13651	
	Trait	5	0,42537	0,08507	0,4626	0,79798	
	Ea	15	2,75837	0,18389			
	Var	3	0,26869	0,08956	3,2795	0,02774	*
	Trait:Var	15	0,36294	0,0242	0,886	0,58287	
	Eb	54	1,47474	0,02731			
Date3	Bloc	3	3,2909	1,09696	2,5306	0,096382	,
	Trait	5	13,8437	2,76875	6,3874	0,002279	**
	Ea	15	6,5021	0,43347			
	Var	3	1,8005	0,60015	10,7572	0,00001	***
	Trait:Var	15	1,9654	0,13103	2,3486	0,011319	*
	Eb	54	3,0127	0,05579			
Date4	Bloc	3	3,15	1,04999	1,0725	0,390393	
	Trait	5	11,7957	2,35915	2,4098	0,085662	,
	Ea	15	14,685	0,979			
	Var	3	1,742	0,58066	10,3704	0,00002	***
	Trait:Var	15	2,3171	0,15447	2,7589	0,003236	**
	Eb	54	3,0236	0,05599			

ANNEXE 14 : Analyses ANOVA de LAI sur SM2

		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Date2	Bloc	3	17,422	5,8073	5,1351	0,012157	*
	Trait	5	38,024	7,6049	6,7245	0,001785	**
	Ea	15	16,964	1,1309			
	Var	3	4,488	1,4959	12,7076	0,000002	***
	Trait:Var	15	2,363	0,1575	1,3381	0,212896	
	Eb	54	6,357	0,1177			
Date3	Bloc	3	3,41	1,1368	2,9097	0,06896	,
	Trait	5	34,492	6,8984	17,657	0,00001	***
	Ea	15	5,86	0,3907			
	Var	3	5,197	1,7323	8,5611	0,00010	***
	Trait:Var	15	2,369	0,1579	0,7804	0,69264	
	Eb	54	10,927	0,2023			
Date4	Bloc	3	5,399	1,7998	3,0411	0,06157	,
	Trait	5	52,003	10,4006	17,5737	0,00001	***
	Ea	15	8,877	0,5918			
	Var	3	3,904	1,3015	3,5829	0,01951	*
	Trait:Var	15	3,332	0,2222	0,6116	0,85252	
	Eb	54	19,616	0,3633			

ANNEXE 15 : Analyses ANOVA des rendements

		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Rendement en pailles (SM1)	Bloc	3	20065061	6688354	9,7805	0,0008003	***
	Trait	5	22903597	4580719	6,6985	0,0018186	**
	Ea	15	10257678	683845			
	Var	3	2302368	767456	1,7851	0,1609484	
	Trait:Var	15	3495959	233064	0,5421	0,904275	
	Eb	54	23215392	429915			
Rendement en pailles (SM2)	Bloc	3	18454046	6151349	7,9001	0,00215	**
	Trait	5	49795559	9959112	12,7903	0,0001	***
	Ea	15	11679648	778643			
	Var	3	26417701	8805900	15,2226	0,0000	***
	Trait:Var	15	9866477	657765	1,1371	0,34813	
	Eb	54	31237632	578475			
Rendement en graines (SM1)	Bloc	3	12466921	4155640	18,8527	2,38E-05	***
	Trait	5	26096410	5219282	23,6781	0,0000	***
	Ea	15	3306402	220427			
	Var	3	7486724	2495575	20,9632	0,000000004	***
	Trait:Var	15	2803088	186873	1,5698	0,114	
	Eb	54	14825900	274554			
Rendement en graines (SM2)	Bloc	3	21854915	7284972	15,0372	0,0001	***
	Trait	5	49719631	9943926	20,5256	0,0000	***
	Ea	15	7266964	484464			
	Var	3	12171700	4057233	14,7776	0,0000	***
	Trait:Var	15	4153113	276874	1,0085	0,4608	
	Eb	54	14825900	274554			

ANNEXE 16 : Analyses ANOVA des composantes de rendement de SM1

		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
RDTG	Bloc	3	16137163	5379054	16,6937	0,000048	***
	Trait	5	29640299	5928060	18,3975	0,000006	***
	Ea	15	4833307	322220			
	Var	3	8943781	2981260	15,8757	0,0000002	***
	Trait:Var	15	5083955	338930	1,8049	0,05809	,
	Eb	54	10140556	187788			
PAN	Bloc	3	120,115	40,038	5,3055	0,0108	*
	Trait	5	168,927	33,785	4,4769	0,01073	*
	Ea	15	113,198	7,547			
	Var	3	21,615	7,205	1,3059	0,28197	
	Trait:Var	15	100,198	6,68	1,2107	0,2927	
	Eb	54	297,938	5,517			
EPIL	Bloc	3	1385,8	461,93	8,1156	0,0019073	**
	Trait	5	2835,3	567,07	9,9628	0,0002363	***
	Ea	15	853,8	56,92			
	Var	3	5066,4	1688,79	54,6996	0,00000000	***
	Trait:Var	15	464,7	30,98	1,0034	0,465568	
	Eb	54	1667,2	30,87			
%GP	Bloc	3	0,006825	0,002275	12,1333	0,000272	***
	Trait	5	0,001146	0,0002292	1,2222	0,346447	
	Ea	15	0,002812	0,0001875			
	Var	3	0,072033	0,0240111	123,3389	0,00000000	***
	Trait:Var	15	0,005804	0,0003869	1,9876	0,033781	*
	Eb	54	0,010512	0,0001947			
PMG	Bloc	3	12,934	4,3113	2,8266	0,07413	,
	Trait	5	27,004	5,4007	3,5409	0,02589	*
	Ea	15	22,879	1,5252			
	Var	3	0,421	0,1404	0,124	0,94551	
	Trait:Var	15	14,936	0,9958	0,8796	0,5895	
	Eb	54	61,132	1,1321			

ANNEXE 17 : Analyses ANOVA des composantes de rendement de SM2

		Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
RDTG	Bloc	3	22083812	7361271	11,8161	0,0003118	***
	Trait	5	51045683	10209137	16,3874	0,000013	***
	Ea	15	9344787	622986			
	Var	3	15898955	5299652	11,1498	0,000008	***
	Trait:Var	15	5984589	398973	0,8394	0,6313161	
	Eb	54	25666906	475313			
PAN	Bloc	3	15,53	5,177	0,718	0,5565	
	Trait	5	51,22	10,244	1,4207	0,273	
	Ea	15	108,16	7,21			
	Var	3	267,78	89,26	11,3263	0,000007	***
	Trait:Var	15	111,91	7,46	0,9467	0,5211	
	Eb	54	425,56	7,881			
EPIL	Bloc	3	345,2	115,1	1,151	0,36086	
	Trait	5	1417,1	283,4	2,8348	0,05369	,
	Ea	15	1499,7	100			
	Var	3	10462,9	3487,6	38,3363	0,00000000	***
	Trait:Var	15	1186,5	79,1	0,8695	0,59998	
	Eb	54	4912,6	91			
%GP	Bloc	3	0,004692	0,0015639	194,1379	0,00000000	***
	Trait	5	0,000288	0,0000575	7,1379	0,001336	**
	Ea	15	0,000121	0,0000081			
	Var	3	0,072033	0,0240111	2206,9787	0,0000000	***
	Trait:Var	15	0,000079	0,0000053	0,4851	0,93811	
	Eb	54	0,000588	0,0000109			
PMG	Bloc	3	36,023	12,0076	14,9422	0,000089	***
	Trait	5	6,023	1,2046	1,499	0,2484	
	Ea	15	12,054	0,8036			
	Var	3	29,68	9,8934	11,4129	0,000007	***
	Trait:Var	15	14,482	0,9654	1,1137	0,3671	
	Eb	54	46,811	0,8669			

BIBLIOGRAPHIES DES ANNEXES

- Arraudeau M., 1998 - Le riz irrigué, Collection Le technicien d'agriculture tropicale. Edition Maisonneuve et Larousse. 322 pages.
- LEGENDRE, 1935. La Botanique des Céréales. Les Céréales, biologie et application, Collecte. Armand Collin. Paris pp. 3-8.
- RICE ALMANACH, 1997. 2nd edition IRRI (International Rice Research Institute). Los Banos, ou Manila Philippines
- BOSSER J., 1969. Les graminées de pâturages et des cultures à Madagascar. ORSTOM. Paris. 439p.
- BRINK M., BAILEY G., 2006. Céréale et légumes secs, Ressource Végétale de l'Afrique Tropicale 1. Foundation PROTA. CTA Wageningen. Pays Bas.328p.
- Dzido J. L., Vales M., Rakotoarisoa J., Chabanne A., and Ahmadi N 2004. Upland rice for the highlands: New varieties and sustainable cropping systems to face food security. Promising prospects for the global challenges of rice production the world will face in the coming years FAO RICE CONFERENCE. Rome. 12-13 February 2004.
- Moreau D., 1987 - L'analyse de l'élaboration du rendement du riz GRET 126pages
- Déchanet R., Razafindrakoto J., Valès M., 1997. Résultats de l'amélioration variétale du riz d'altitude Malgache. In: Poisson C, Rakotoarisoa J, eds, Rice for highlands, Proceeding of the international conference on rice for highlands. 29/03-05/04/1996. Antananarivo (Madagascar). Montpellier (France) : Cirad.
- Dzido J. L., Vales M., Rakotoarisoa J., Chabanne A. and Ahmadi N., 2004. Upland rice for the highlands: New varieties and sustainable cropping systems to face food security. Promising prospects for the global challenges of rice production the world will face in the coming years FAO RICE CONFERENCE. Rome, 12-13 February 2004.
- Pande H.K., 1997 - Systèmes améliorées de riziculture pluviale. DPV.121p.