

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
RESUME.....	ii
ABSTRACT	ii
TABLE DES MATIERES	iii
TABLE DES ILLUSTRATIONS	v
I. INTRODUCTION	1
I.1. Contexte général de l'étude	1
I.2. Problématique	1
I.3. Hypothèses	2
I.4. Objectifs de l'étude	2
II. MATERIELS ET METHODES	3
II.1. Description de la zone d'étude	3
II.1.1. Site d'étude	3
II.1.2. Conditions climatiques	3
II.1.3. Types du sol	4
II.1.4. Raison de choix du lieu d'expérimentation	5
II.2. Dispositif expérimental et traitements testés	5
II.2.1. Protocole de recherche	5
II.2.2. Les terrains d'expérimentation	6
II.3. Engrais organiques :	7
II.3.1. Le GUANOMAD	8
II.3.2. Le GUANOTSAR	9
II.4. Technique culturale	10
II.4.1. Préparation du sol	10
II.4.2. Semis : utilisation des germinoirs biodégradables	11
II.4.3. Décollement des GB et transplantation	12
II.4.4. Apport des différentes doses et entretiens des cultures	13
II.4.5. Récolte : collecte des données	15
a) Modalités de prélèvement des échantillons	16
b) Variables mesurées : Les composantes de rendement	17
II.5. Limites de l'essai	18

III. RESULTATS	19
III.1. Variation des rendements en paddy en fonction des engrais.....	19
III.2. Variation des rendements par rapport au témoin sans fertilisation	21
III.3. Courbes de réponse du riz	22
III.4. Aspect économique sur la pratique du SRI-GB	26
III.4.1. Aspect économique par l'utilisation de Guanotsar	26
III.4.2. Aspect économique par l'utilisation de Guanomad	28
IV. DISCUSSION.....	31
IV.1. Sur le cycle végétatif de la plante	31
IV.2. Sur les rendements en paddy.....	32
IV.3. Variation de rendement (ΔR) par rapport au témoin sans fertilisation (T1)	35
IV.4. Courbes de réponse du riz	36
IV.5. Aspect économique sur la pratique du SRI-GB	37
V. RECOMMANDATIONS.....	38
V.1. Sur le plan technique	38
V.2. Sur le plan expérimental.....	38
V.3. Sur la disponibilité des engrais.....	39
V.4. Sur la disponibilité des germoirs	40
VI. CONCLUSION GENERALE.....	41

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les différents traitements utilisés dans l'expérimentation	6
Tableau 2: Caractéristiques des éléments composants le bat guano	9
Tableau 3: Teneur en éléments constitutifs et caractéristiques du mélange de deux Guanos = Guanotsar	10
Tableau 4: Calcul de bénéfice net obtenu par utilisation du Guanotsar à doses croissantes....	24
Tableau 5: Calcul de bénéfice net obtenu par utilisation du Guanomad à doses croissantes...	26
Tableau 6: Calcul de la valeur ajoutée produite à l'hectare en cas de fertilisation du sol à 0,6 t/ha de Guanotsar	27
Tableau 7: Comparaison des valeurs ajoutées produites par l'utilisation du Guanotsar aux doses de 0 et 0,6 t/ha	28
Tableau 8: Calcul de la valeur ajoutée produite à l'hectare en cas de fertilisation du sol à 0,7 t/ha de Guanomad	29
Tableau 9: Comparaison des valeurs ajoutées produites par l'utilisation du Guanomad aux doses de 0 et 0,7 t/ha	30

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation du site d'expérimentation.....	3
Figure 2: Courbe ombrothermique de Gaussen.....	4
Figure 3: Dispositif expérimental (Source : Auteur).....	6
Figure 4: Dispositif des cadres diagonales pour l'échantillonnage (Source : Auteur).....	17
Figure 5: Courbe de réponse du riz au Guanotsar	20
Figure 6: Courbe de réponse du riz au Guanomad	20
Figure 7: Variation du rendement (ΔR) par rapport au témoin sans fertilisation (T1) pour le Guanotsar.....	21
Figure 8: Variation du rendement (ΔR) par rapport au témoin sans fertilisation (T1) pour le Guanomad	22
Figure 9: Courbe de réponse du riz au Guanotsar	23
Figure 10: Courbes de réponse du riz au Guanomad	25

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Dispositif des parcelles d'essai (Source : Auteur)	7
Photo 2: Engrais Guanotsar et Guanomad (Source : Auteur)	8
Photo 3: Travail du sol et confection des diguettes (Source : Auteur).....	11
Photo 4: Germe en papier groupés par 9 pots (Source : Auteur)	11
Photo 5: Décollement des GB et transplantation (Source : Auteur)	13
Photo 6: Sarclage 10 jours après repiquage (Source : Auteur)	14
Photo 7: Récolte du riz (Source : Auteur)	15
Photo 8: Bonne capacité de tallage du riz (variété utilisée FOFIFA 160)	31
Photo 9: Maturation du riz (source : Auteur)	33
Photo 10: Parcelle touchée par la toxicité ferreuse (Source : Auteur)	36

LISTE DES ABREVIATIONS

Ar	: Ariary
ESSA	: Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques
FOFIFA	: Foibem-pirenena momba ny Fikarohana Ampiharina amin'ny Fampanandroana ny eny Ambanivohitra
ONUDI	: Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel
GSRI	: Groupement des SRIistes Madagascar
SRA	: Système de Riziculture Améliorée ou Improved rice cropping system
SRI	: Système de Riziculture Intensive ou System of Rice Intensification
SRT	: Système de riziculture Traditionnelle ou Traditional rice cropping system
STOI	: Société Trading de l'Océan Indien
SARLU	: Société à Responsabilité Limitée Unipersonnelle
FFF	: Fambolena - Fiompiana – Famokarana
GB	: Germe Biodegradables
MINAGRI	: Ministère de l'Agriculture
ND	: Non Déterminé
ARS	: Association Rotarienne Servir
GCD	: Groupe Conseil Développement
MOJ	: Main d'œuvre journalière
VAN	: Valeur Ajoutée Nette

I. INTRODUCTION

I.1. Contexte général de l'étude

A Madagascar, la question riz revêt une importance stratégique. Non seulement les Malgaches, qui restent parmi les plus gros consommateurs mondiaux du riz ; y accordent une valeur hautement symbolique, mais le riz constitue de loin la première culture vivrière à Madagascar et il est cultivé dans toutes les situations et toutes les régions. L'immense majorité des paysans en cultive, que ce soit pour leurs propres besoins ou pour la commercialisation. Malheureusement, la filière stagne et la production malgache n'arrive plus à satisfaire la demande de la population. Entre 1960-2004, le nombre de la population a été multiplié par 3,2 tandis que la production alimentaire n'a été multipliée que par 2,1. En 1960, le nombre de la population malgache est de 5,5 millions, il passe de 17,9 millions en 2004 ; et il pourra atteindre 43,8 millions en 2050 (World Research Institute, 2007). Face à cette situation, la Grande Ile, avec ses 5.900.000 tonnes de production, doit importer près de 200000 tonnes de riz blanc chaque année pour assurer la consommation locale.

La présente étude est financée par le CODEGAZ, il fait partie du programme du Groupement des SRIstes à Madagascar ou GSRI (cf. Annexe 1) dans le cadre de développement des activités réalisées pour la promotion du SRI. Le GSRI, en collaboration avec l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques et ses Partenaires fournisseurs d'engrais, a réalisé un essai à doses croissantes de deux types de fumures organiques qui sont l'engrais biologique Guanomad et Guanotsar sur la SRI en particulier le SRI-GB. D'où l'intitulé de notre étude : « ***Contribution à l'étude économique de la fertilisation biologique du sol : cas de l'utilisation du Guanomad et du Guanotsar sur la culture de riz sur les hautes terres de Madagascar*** ».

Ce programme a pour objectif d'améliorer la production rizicole tout en garantissant l'intérêt de tous les acteurs du développement dans le domaine de l'agriculture, paysans, techniciens et opérateurs économiques par la définition et l'appropriation des bonnes pratiques qui traduisent les principes fondamentaux du système sous les différentes contraintes géographiques et socioéconomiques.

I.2.Problématique

Les conditions climatiques précaires, la pression démographique et la dégradation du sol ne permettent plus un maintien de l'équilibre entre l'exploitation faite par l'Homme des ressources naturelles et leur régénération dans le temps et dans l'espace.

D'ailleurs, les fortes pressions humaine et animale sur le sol, notamment, les pratiques culturales inadaptées ont contribué à l'aggravation du phénomène de dégradation et de la réduction de la fertilité du sol.

La gestion de la fertilité du sol consiste donc à préserver le plus longtemps possible son potentiel productif tout en adoptant un système efficace et durable basé sur le rétablissement et l'amélioration de la fertilité des sols et sur l'utilisation de dose économiquement rentable pour certains engrais et des variétés de riz plus performantes.

Alors pour l'utilisation de l'engrais Guanomad et Guanotsar, les fournisseurs de ces deux types d'engrais biologiques recommandent en riziculture des doses de 0,6 à 1,2 t/ha pour le Guanotsar et de 0,7 à 1,4 t/ha pour le Guanomad lors de la diffusion de leurs produits. Deux questions se posent donc :

- **Les quelles de ces doses ont plus d'effets sur la culture de riz avec une technique culturale préconisée ?**
- **Les doses recommandées pour les deux engrais biologiques Guanomad et Guanotsar sont-elles économiquement rentables en SRI ?**

I.3. Hypothèses

Ainsi pour répondre à cette problématique, les deux hypothèses suivantes sont à vérifier :

Hypothèse 1 : L'utilisation des deux engrais biologiques Guanomad et Guanotsar permet d'obtenir un surplus de rendement par rapport à la technique sans fertilisation.

Hypothèse 2 : Les doses recommandées par les fournisseurs pour ces deux engrais biologiques Guanomad et Guanotsar permettent d'avoir le maximum de bénéfice net sur la récolte.

I.4. Objectifs de l'étude

La présente étude a pour objectifs de :

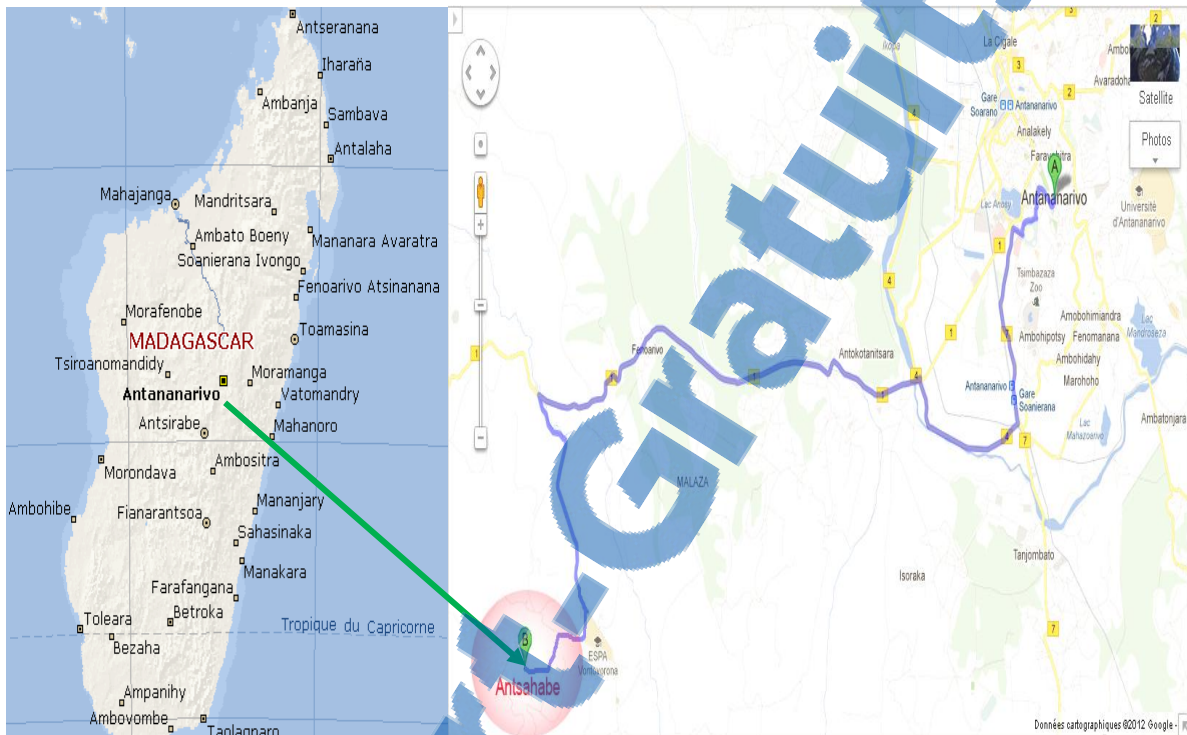
- démontrer aux riziculteurs la productivité sous le système intensif et l'importance de l'apport des deux fertilisants, et
- donner une recommandation sur l'utilisation de l'engrais biologique Guanomad et Guanotsar.

II. MATERIELS ET METHODES

II.1. Description de la zone d'étude

II.1.1. Site d'étude

L'étude a été entreprise dans le village d'Antsahabe - Région Itasy. Il est situé à 25 km de la capitale (à 19.075998 S et 46.580056 E quand on s'élève à 1459 m). L'altitude de cette zone varie de 1200 à 1500 m.



Source : Google Maps, 2012

Figure 1: Localisation du site d'expérimentation

II.1.2. Conditions climatiques

Le climat est de type tropical d'altitude, marqué par une alternance de deux saisons.

- ❖ Une saison sèche et fraîche ($P < 2T$) de mai en septembre : elle dure 5 mois dont la quantité de pluie reçue pendant cette période est de l'ordre de 62,9 mm, avec un nombre moyen de jours de pluies de $33/5=6,6$. La moyenne des températures minimales n'est que $11,12^{\circ}\text{C}$;
- ❖ Une saison chaude et pluvieuse ($P > 2T$) d'octobre en avril. Les précipitations sont abondantes et pouvant atteindre jusqu'à 195 mm (moyenne mensuelle).

La température moyenne maximale est de 25,57°C. Le nombre moyen de jours de pluies est élevé, d'environ: $03/7=14,7$.

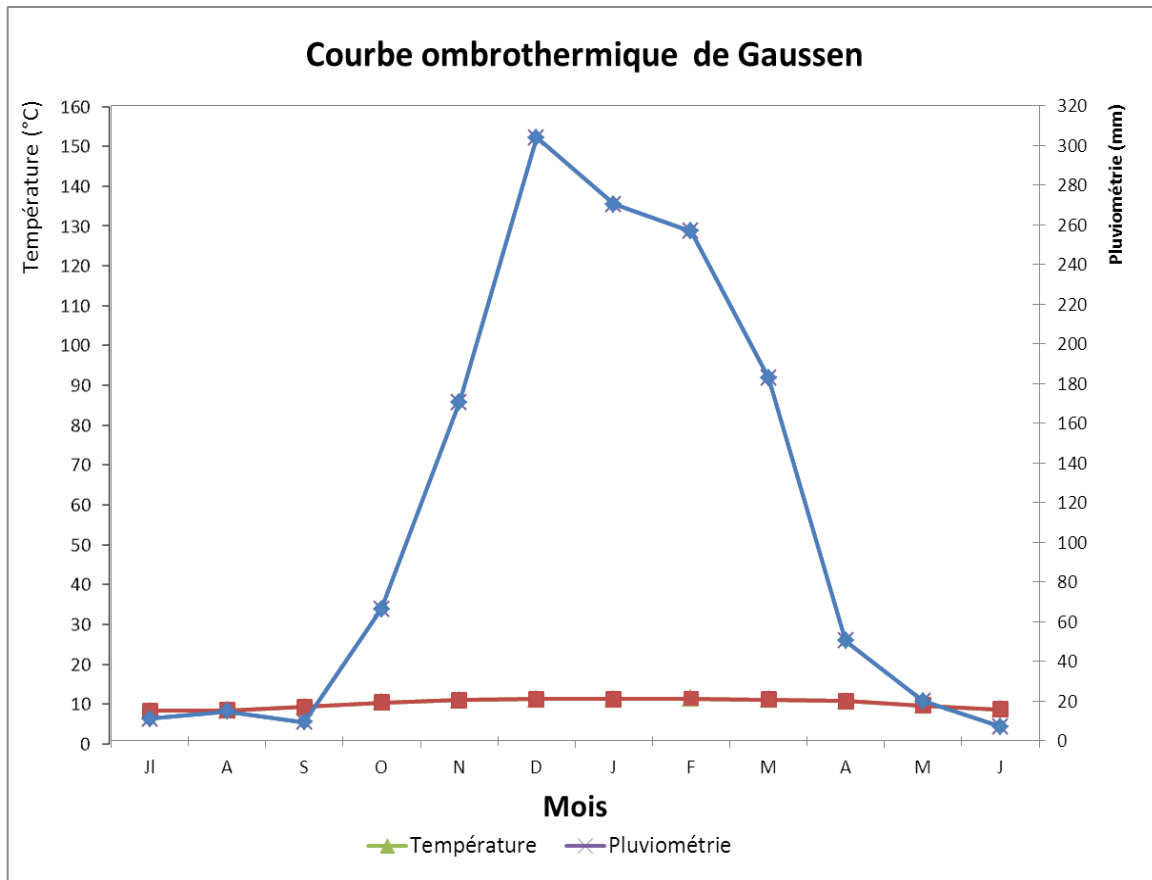


Figure 2: Courbe ombrothermique de Gaussen

Données météorologiques: Station Ivato (1961- 1990) (Détails Cf. Annexe 3)

II.1.3.Types du sol

L'analyse du sol n'est pas permise du fait de la contrainte de financement de l'étude donc on se réfère aux résultats des études antérieures. Ces derniers constituent un outil indispensable pour évaluer les caractères physico-chimiques du sol et renseignent sur l'état de fertilité de la parcelle expérimentale.

Le relief de cette zone est constitué par un ensemble de collines arrondies culminantes de faible altitude. Les pentes sont plus douces et se terminent par des vallées larges. Les sols des vallées sont moyennement acides (pH 5,5 à 6) et le taux de saturation sont faibles à moyens. Les sols sont donc constitués par des Gley à pseudo-Gley hydromorphes, des sols plus organiques, qui peuvent se poser les problèmes de minéralisation de la matière organique et ces sols sont chimiquement très carencés.

II.1.4. Raison de choix du lieu d'expérimentation

Ce présent lieu a été choisi pour effectuer l'expérimentation du fait qu'il possède des conditions favorables à la pratique envisagée telles que des systèmes d'irrigation permettant la maîtrise de l'eau nécessaire et indispensable à ce système de culture.

En 2010, suite à la constatation d'un problème lié à l'approvisionnement en eau dans le village, l'association ARS (Association Rotarienne Servir) implantée à Lille, a accepté de financer un barrage de retenue sur la rivière d'Andriamenakely qui a permis d'irriguer au total 30ha de rizières y compris des Tanety qui peuvent être transformés en rizières, ensuite en 2011, une extension (800m de canal en plus et 2 ouvrages de franchissements) qui bénéficient 20ha de plus.

Puis, à la suite de la construction du barrage à Antsahabe, il faut montrer que la maîtrise d'eau pour toute l'année a une importance capitale pour le développement agricole. Il y a alors la possibilité d'appliquer le SRI ainsi que les autres activités agricoles telles que la culture de contre saison, le compostage et l'intégration de l'agro élevage.

Par ailleurs ce village dispose des infrastructures d'irrigation fonctionnelles et bien gérées, qui est parmi des facteurs indispensables à la pratique de la technique culturale intensive.

II.2. Dispositif expérimental et traitements testés

II.2.1. Protocole de recherche

Pour chacun des deux engrais organiques, les traitements consistent à tester quatre doses croissantes : T1, T2, T3, T4 et chaque traitement correspond à une parcelle élémentaire. Les doses recommandées par les fournisseurs de ces engrais biologiques entrent dans les traitements comprises entre : 0.6 à 1,2 t/ha pour le Guanotsar et 0.7 à 1,4 t/ha pour le Guanomad. Les parcelles à traitement T1 (sans apport de fertilisation) serviraient de témoins.

Le dispositif statistique choisi est en bloc de Fischer (bloc simple) car on étudie un seul facteur qui marque les doses d'engrais biologiques (Cours expérimentation agricole, 5ème année ESSA, Département Agriculture).

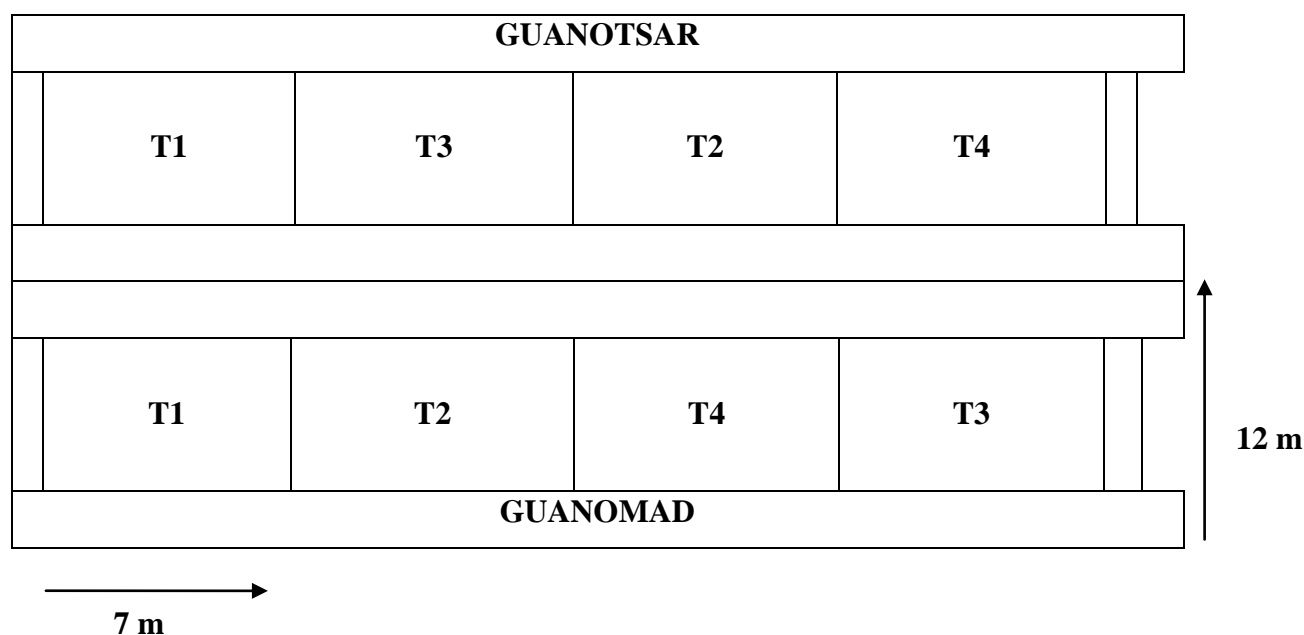


Figure 3: Dispositif expérimental (Source : Auteur)

Les différents traitements sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 1: Les différents traitements utilisés dans l'expérimentation

Engrais testés	Traitement	Doses utilisées (T/ha)
GUANOTSAR	T1	0
	T2	0.6
	T3	1.2
	T4	1.8
GUANOMAD	T1	0
	T2	0.7
	T3	1.4
	T4	2.1

Source : Auteur

II.2.2. Les terrains d'expérimentation

La parcelle d'expérimentation appartient à Mr Jean Claude (chef quartier) avec une superficie totale de 690 m². Les parcelles élémentaires ont les mêmes précédents cultureux caractérisés par une succession de riz et de culture de contre saison telle que la courgette.

En effet, l'homogénéité des caractéristiques des parcelles d'essais, en particulier la fertilité du sol, la topographie, le régime hydrique ainsi que l'exposition à la lumière doit être considérée (Cours d'expérimentation agricole, 5^{ème} année ESSA, Département Agriculture).

Les parcelles élémentaires ont la forme rectangulaire, une parcelle élémentaire est de 7m de large et 12m de longueur c'est-à-dire elle possède une dimension de 84 m² dont 672m² pour toutes les parcelles élémentaires. Elles sont toutes séparées par des petits canaux de dimension 8 cm de large et que la longueur varie en fonction de la dimension de chaque parcelle élémentaire. La randomisation est indispensable c'est-à-dire que les traitements sont répartis au hasard à l'intérieur du site d'expérimentation pour équilibrer l'hétérogénéité de la fertilité du sol pour chaque groupe de parcelle.



Photo 1: Dispositif des parcelles d'essai (Source : Auteur)

II.3. Engrais organiques :

Le GSRI et la société Guanomad sont partenaires. L'étude se repose surtout à la détermination d'une dose d'engrais économiquement rentable dans une culture de riz plus évoluée, c'est pour cette raison que l'engrais étudié est fournis par cette société. Il s'agit de Guanomad et de Guanotsar.

Les engrais en question sont des engrais, totalement inodores et de fine texture, 100 % naturels et organiques qui conviennent parfaitement aux exigences de l'agriculture biologique, attestés par ECOCERT.

Leur surdosage ne peut être toxique aux plantes, donc ils peuvent être mis directement en contact avec des racines. Ces deux engrais contiennent tous les deux une flore microbienne vivante qui s'incorpore dans le sol et agit sur les matières organiques de telle façon que les plantes puissent absorber les nutriments.

Les deux engrais Guanotsar et Guanomad sont disponibles en sacs de 2,5 kg, 5 kg, et 50 kg. Ils peuvent être utilisés pour toutes sortes de culture (vivrières, maraîchères, forestières, fruitières, fleurs et plantes ornementales, ...).



Photo 2: Engrais Guanotsar et Guanomad (Source : Auteur)

II.3.1. Le GUANOMAD

Guanomad, le Bat Guano de Madagascar, issue de l'accumulation des fientes de chauve-souris. Il est composé de N P K (azote, phosphore, potassium) d'origine organique avec un taux très élevé en Phosphore, d'un pourcentage élevé de matière organique et d'autres éléments minéraux (Calcium, Magnésium, Manganèses,...).

Tableau 2: Caractéristiques des éléments composants le bat guano

Principaux éléments actifs	
Principaux éléments	Valeurs
Azote total	3-5 °/°
Anhydride Phosphorique(P ₂ O ₅)	11-15 °/°
Oxyde de potassium(K ₂ O)	0,94-1,96°/°
Oxyde de calcium(CaO)	17,1- 28,50°/°
Oxyde de magnésium(MnO)	0,40 -1,83°/°
Rapport C/N	2,98-3,2
pH 4,5	4,5-6,1
Matières Organiques(MO)	19,4-25,7°/°
Flore microbienne	25 x 10 ³ -1,8 x10 ⁶ u.f.c/gr

Source: w.w.w.guanomad.com

II.3.2. Le GUANOTSAR

Le Guanotsar, issu d'un subtil mélange de déjections de chauve-souris (bat guano) et de phosphate naturel de guano marin, plus riche et plus équilibré, il répond aux nouvelles exigences des consommateurs, d'origine organique. Les compositions de Guanotsar sont obtenues à partir d'une formule enrichie et plus équilibrée, il surpasse les engrais organiques existants. Il possède une teneur plus élevée en matière organique, en azote, en phosphore et en Calcium, c'est un subtil mélange de Bat Guano de très haute qualité et de Phosphate naturel.

Tableau 3: Teneur en éléments constitutifs et caractéristiques du mélange de deux Guanos = Guanotsar

Phosphate naturel	
Éléments	Valeurs
Anhydride Phosphorique(P ₂ O ₅)	20-35 °/°
Oxyde de calcium(CaO)	31- 33°/°
pH	6,4-6,6
Bat guano	
Éléments	Valeurs
Azote (N)	5-7°/°
Anhydride Phosphorique(P ₂ O ₅)	5-10 °/°
Oxyde de potassium(K ₂ O)	1,50°/°
Matières Organiques(MO)	30-40°/°
pH	5,5-6,1

Source: w.w.w.guanomad.com

II.4. Technique culturale

II.4.1.Préparation du sol

Le début de la préparation du sol est fait un peu avant la mise en place de la pépinière, c'est-à-dire 15 jours avant le repiquage. Cette préparation est souvent faite par hersage de la rizière préalablement inondée avec une herse trainée par des bœufs. Le hersage a pour but de faucher et d'enfouir les herbes et de transformer en fluide les rizières en boue. Ensuite, un émottage à l'angady des parcelles élémentaires le suit, mais ce mécanisme peut se faire à la herse vu que ces dernières sont en grande dimension.

Le planage est assuré par des matériels en bois construits par les paysans concernés. Il faut faire cette opération pour chaque parcelle élémentaire pour que la surface de la rizière soit plane, boueuse, sans mauvaise herbes, et prête à être repiqué.



Photo 3: Travail du sol et confection des diguettes (Source : Auteur)

II.4.2. Semis : utilisation des germoirs biodégradables

Pépinière sur germe biodégradable, c'est une nouvelle méthode des cultures à semences en général. Il a été découvert en 2008 après que le gérant fondateur de SARLU FFF Juslain Raharinaivo a fait des essais tâtonnés depuis 1998 sur plusieurs méthodes et produits pour faciliter le repiquage de géranium et surtout de l'Artémisia annua L.

C'est un petit pot sans fond de forme carrée qui mesure 4 x 4 cm. Son inventeur a imaginé des germeoirs groupés par 9 pots collés les uns aux autres avec de la fécule additionnée d'eau et un seul pot vaut 2 Ar.



Photo 4: Germeoirs en papier groupés par 9 pots (Source : Auteur)

- **Préparation des semences : triage et pré germination**

Par cette technique culturale, la quantité des semences est réduite, il est évident d'utiliser des semences améliorées à prix couteux. La variété utilisée est le FOFIFA 160, reconnu par le centre de recherche FOFIFA en 2000, apte en riziculture irriguée (SRI), résistante à la Pyriculariose, à la verse et offre un rendement moyen de 4-5 t/ha en SRA. La dose utilisée est de 4 kg à l'hectare alors pour la réalisation de cet essai, la semence utilisée est de 1/4kg pour 672m².

Faire le triage, c'est de choisir les bons grains tout en éliminant les grains vides. L'embryon et la plantule de riz vivent des réserves du paddy durant 20 jours environ. Donc réveiller le germe, recours au pré germination du riz avant de le semer sur pépinière.

- **Rebouchage des germoirs**

Le fondateur de GBD conseille de reboucher les germoirs avec le mélange du fumier, des terres rouges et des cendres blanches pour aider les plants à lutter contre plusieurs maladies. Le mélange doit se faire moitié/ moitié donc pour remplir 680 GB, 2 seaux de fumier+2 seaux de terres rouges+1/2 seau de cendre (pas trop nécessaire selon le technicien SARLU FFF).

Avant de passer au semis, l'arrosage est nécessaire pour garder l'humidité.

Le grain de paddy pré germé est placé dans un germoir et ainsi de suite, soit deux grains par pot pour assurer l'obtention des plants. Après avoir placé les grains sur les germoirs, on les recouvre ensuite par la terre fine mélangée de terreau ou de fumier.

Suivant la chaleur qu'il fait, on couvre de paille ou non la pépinière, après avoir pris les précautions de protéger les bordures contre des prédateurs et contre le glissement de la terre de la pépinière.

II.4.3. Décollement des GB et transplantation

Plants âgés de 15 jours, cet âge ne correspond pas à celui du SRI classique (plants âgés de 8 jours) car avec la technique en SRI-GB, la date de la transplantation peut être reportée jusqu'aux 22 ème jours après le semis. Donc, Le calendrier de transplantation est extensible avant que les racines sortent des pots.

La manipulation facile des germoirs est constatée pendant cette opération, ils se détachent aisément les uns des autres grâce à l'humidité. Alors la manipulation des jeunes plants devient plus facile, peu de temps perdu et la quantité de la main d'œuvre est limitée.

Le SRI est basé sur les plants de riz étalés, non serrés, avec plus d'espace pour grandir. Lorsque le riz a plus d'espace pour pousser, leurs racines deviennent plus fortes et aptes à puiser les nutriments du sol. Pour y parvenir, les plants sont alors repiqués en ligne au

carré, écartés de 33 cm x 33 cm, donc la densité est de 9 plants au m². Cette opération contraint à l'utilisation des cordes marquées c'est-à-dire des cordes nouées tous les 33 cm. Ce qui fixe le nombre de pieds à 84 par parcelle élémentaire. Il faut également faire attention au bon alignement dans les deux sens, bien perpendiculaire, pour pouvoir passer la sarclouse facilement et dans les deux sens.



Photo 5: Décollement des GB et transplantation (Source : Auteur)

II.4.4. Apport des différentes doses et entretiens des cultures

- **Epandage des engrais**

L'engrais localisé à l'intérieur des pots lors de la préparation de la pépinière ne suffit pas pour assurer la croissance des plants de riz jusqu'à la récolte. L'amendement par la fumure de fonds est toujours recommandé pour assurer la croissance de plants de riz jusqu'à la moisson. Pour arriver à l'objectif de cette expérimentation, l'épandage se fait pendant le premier sarclage (10 jours après repiquage).

Avant l'épandage des engrais, le sol doit avoir suffisamment d'eau pour activer les microorganismes contenus dans les engrais organiques (champignons, bactéries,...).

- **Lutte contre les mauvaises herbes : Sarclages**

Le sarclage a deux objectifs principaux : éliminer la concurrence entre le riz et les adventices vis-à-vis des fertilisants, de l'eau et de la lumière, et aérer les racines par le

travail superficiel réalisé par la houe. La sarcleuse utilisée par les paysans est la sarcleuse à hélices, poussée et roule dans la boue. Le mécanisme se fait de manière précoce selon la technique SRI. Il débute dix jours après le repiquage et se termine au moment où il n'y plus d'espace libre pour circuler faute de fort tallage par exemple. Lors de l'essai, trois sarclages mécaniques se sont effectués et sont des complétés par des sarclages manuels pour éviter que les mauvaises herbes n'aient le temps d'exercer leur action néfaste.

Le sarclage est donc un élément important dans la détermination de nombre de talles car la présence des mauvaises herbes influe sur le tallage. Il permet aussi d'aérer le sol pour permettre aux racines des jeunes plants d'avoir accès à l'oxygène. L'oxygénation est indispensable pour éliminer la toxicité ferreuse provenant du sol.



Photo 6: Sarclage 10 jours après repiquage (Source : Auteur)

- **Maîtrise d'eau**

Même procédure que dans le SRI classique. Dans son itinéraire technique, après le repiquage, la rizière doit irriguer au minimum. L'irrigation au minimum permet d'aérer le sol et de laisser aux plants de s'enraciner. En plus, le sol trop inondé contient moins d'oxygène et s'acidifie. La maîtrise de l'eau est une des conditions pour avoir une augmentation considérable de production (RAZAFIMAHATRATRA, 2003).

En fait, le SRI préconise un régime de succession d'irrigations-assèchements au début du tallage. Ceci permettra aux racines de bénéficier d'un maximum d'oxygénation. Entre les sarclages et donc durant la phase de tallage, on maintient l'humidité dans le sol.

Ensuite, 3 à 4 cm de lame d'eau est appliquée à partir du fin de tallage jusqu'à la maturité pour assurer la formation des panicules et la montée des sèves vers les graines.

Deux semaines (15 jours environ) avant la moisson, l'eau doit sortir de la rizière pour homogénéiser la maturation du riz.

II.4.5. Récolte : collecte des données

Récolter en bon état de maturité, tenir compte de l'état de maturité des grains. Les travaux de récolte comprennent : la coupe (30 à 50 cm sous la panicule), le battage et le séchage. Pour une bonne conservation et pour le respect de la norme commerciale, il faut abaisser la teneur en eau du paddy à 14%. Donc pour assurer le contrôle de l'humidité, on a utilisé de l'humidimètre.



Photo 7: Récolte du riz (Source : Auteur)

- **Observation directe du comportement cultural**

Le suivi est toujours indispensable dans le but de suivre de plus près le déroulement du cycle cultural. Cela est très important quand on parle d'une étude expérimentale. Il s'agit essentiellement des observations périodiques pour apprécier le comportement extérieur de la culture : la couleur du feuillage, la vigueur, la longueur des différents stades de croissance, le développement des organes de reproduction et l'observation de l'état sanitaire et des dégâts éventuels causés par les ennemis de la culture, ... Ces observations demeurent un outil disponible pour identifier la cause d'un quelconque déséquilibre sur la plante (RANDRIANARISON L.B, 2011).

L'organisation dans la collecte des données nécessaires pour les analyses a été effectuée par la connaissance des stades de développement de la plante de riz. Les observations

concernant la végétation sont notées dans une fiche. Les paramètres de suivi concernent les points suivants :

- Caractéristiques phénologiques de la variété, la succession dans le temps des différents stades du développement de la culture : tallage, montaison, épiaison, floraison, maturation.
- La croissance et le développement de la culture: hauteur de la plante à la montaison et au moment de la récolte, état de la végétation, existence des symptômes des maladies, présence des ravageurs.
- Formation de rendement : nombre de talles par pied, nombre de panicule par touffe, pourcentage des grains remplis, rendement.

- **Prélèvement des échantillons**

- a) Modalités de prélèvement des échantillons**

Pour tout type de variable à mesurer, la méthode d'échantillonnage s'avère incontournable. La prise des échantillons est très délicate du fait qu'il devrait être réellement représentatif de toute la population. L'opération exige alors une certaine objectivité et des techniques définies au préalable.

Ainsi pour notre expérimentation, pour apprécier la réponse du riz en termes de composantes de rendement à la fin du cycle cultural, cinq échantillons ont été prélevés sur chaque parcelle élémentaire en délaissant tous les plants sur les lignes de bordure.

Plants du riz

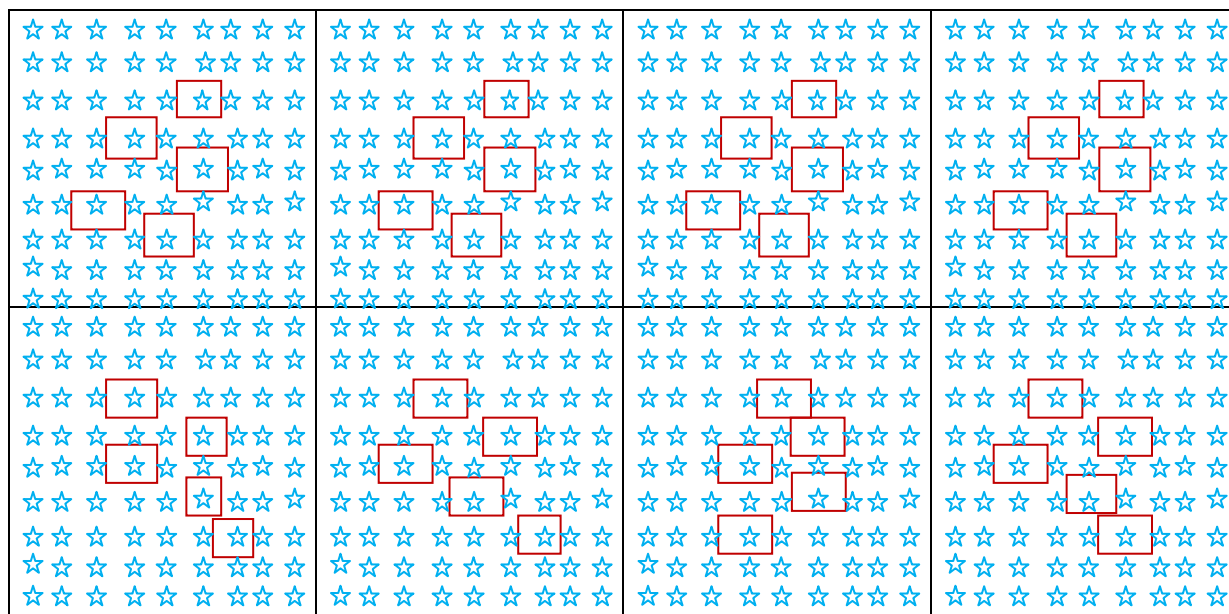


Figure 4: Dispositif des cadres diagonaux pour l'échantillonnage (Source : Auteur)

b) Variables mesurées : Les composantes de rendement

Les variables retenues pour l'expérimentation sont les cinq différentes composantes de rendement à savoir:

- Le nombre de plants par m²

Comme l'écartement optimal entre deux plants est de 33cm x 33cm, la densité est donc de 9 plants au m².

- Le nombre de panicules par touffe :

Etant l'une des premières composantes du rendement, sa connaissance permet une estimation plus précise du niveau de rendement et de la capacité potentielle de production.

- Le nombre de grains par panicule :

Ici, on a choisi la panicule du brin maître, c'est à dire la plus haute panicule de chacun des plants pris comme échantillons, les grains portés par cette panicule ont été comptés.

- Pourcentage de grains pleins par panicule :

Les grains pleins sont séparés des grains vides par la méthode de l'eau salée, puis les graines sont comptées pour avoir le pourcentage de remplissage des grains. C'est le pourcentage des grains entièrement développés par panicule. Pour se faire, les grains pleins sont séparés des grains vides et par calcul, on obtient le pourcentage des grains pleins par rapport au nombre total de grains par panicule.

- Poids de 1000 grains :

8 échantillons de 1000 grains sont prises pour sécher et peser après pour avoir le poids de 1000 grains. Il est à noter que tous les pesages sont effectués à 14% d'humidité du paddy. Ce taux a été obtenu après séchage au soleil pendant 3 jours environ.

- Le rendement :

Le rendement d'une culture de riz est la production en grains de paddy par unité de surface. Il est généralement donné en tonnes par hectare (t/ha). Ce rendement peut être décomposé en différentes composantes dont la formule est la suivante :

$$\text{RDT} = \text{Pl}/\text{m}^2 \times \text{Pan}/\text{t} \times \text{Gr}/\text{pan} \times \% \text{GP}/\text{pan} \times \text{P}_{1000\text{G}} \times 10^{-7}$$

Avec:

RDT	Rendement
Pl. /m ²	Nombre de plants au m ²
Pan/t	Nombre de panicules par touffe
Gr/pan	Nombre total de grains par panicule
%GP/pan	Pourcentage de grains pleins par panicule
P _{1000G}	Poids de 1000 grains pleins
10 ⁻⁷	Constante de conversion.

II.5. Limites de l'essai

Des contraintes plus ou moins inévitables ont été rencontrées au cours de la réalisation pratique de l'expérimentation. Pourtant, l'effet du passage de certain cyclone au site d'expérimentation a entraîné une éventuelle perturbation de la fertilisation apportée au sol ;

En tout cas, le protocole d'expérimentation établi dans cet essai a été destiné pour trois sites différents avec trois paysans expérimentateurs pour pouvoir obtenir des résultats fiables et comparables. Dans ce même prétexte (retard de l'intervention), l'installation de parcelles d'essai dans les trois zones choisies n'a pas pu être faite puisque toutes les rizières y sont déjà occupées. Par conséquent, les analyses statistiques n'ont pas permises.

Nos données sur le rendement réel parcellaire sont donc incomplètes pour évaluer la potentialité réelle des engrais.

En conséquence, l'évaluation du rendement à partir de ces composantes ne reflète pas vraiment la potentialité réelle des engrais c'est-à-dire la comparaison avec les résultats antérieurs

III. RESULTATS

III.1. Variation des rendements en paddy en fonction des engrais

Le rendement d'une variété est déterminé dans son environnement écologique par le pourcentage des grains pleins qui est fonction de sa capacité d'adaptation dans son milieu de culture. C'est un élément important au point de vue connaissance des variétés. Il est mesuré à partir du semis jusqu'à la maturité.

La durée du cycle peut être modifiée très sensiblement par les conditions naturelles et les façons culturales. Les conditions naturelles regroupent le lieu de culture (altitude, climat,...) et la saison de culture (durée d'insolation, régime hydrique, la température,...).

La productivité d'une variété est conditionnée surtout par sa potentialité agronomique (surtout le nombre de talles fertiles et le nombre de grains par panicule) et sa capacité d'adaptation aux conditions climatiques du milieu (pourcentage de remplissage des graines). Ce dernier influe beaucoup plus sur le rendement dans la combinaison de toutes les composantes du rendement.

A partir de la formule mentionnée ci-dessus, des rendements ont été obtenus, la valeur des différentes composantes de rendement a été utilisée pour effectuer les calculs de rendement, par ce dernier et on arrive à déterminer les moyennes des rendements en paddy. Les courbes ci-après montrent leur évolution sous l'utilisation des engrais à doses croissantes.

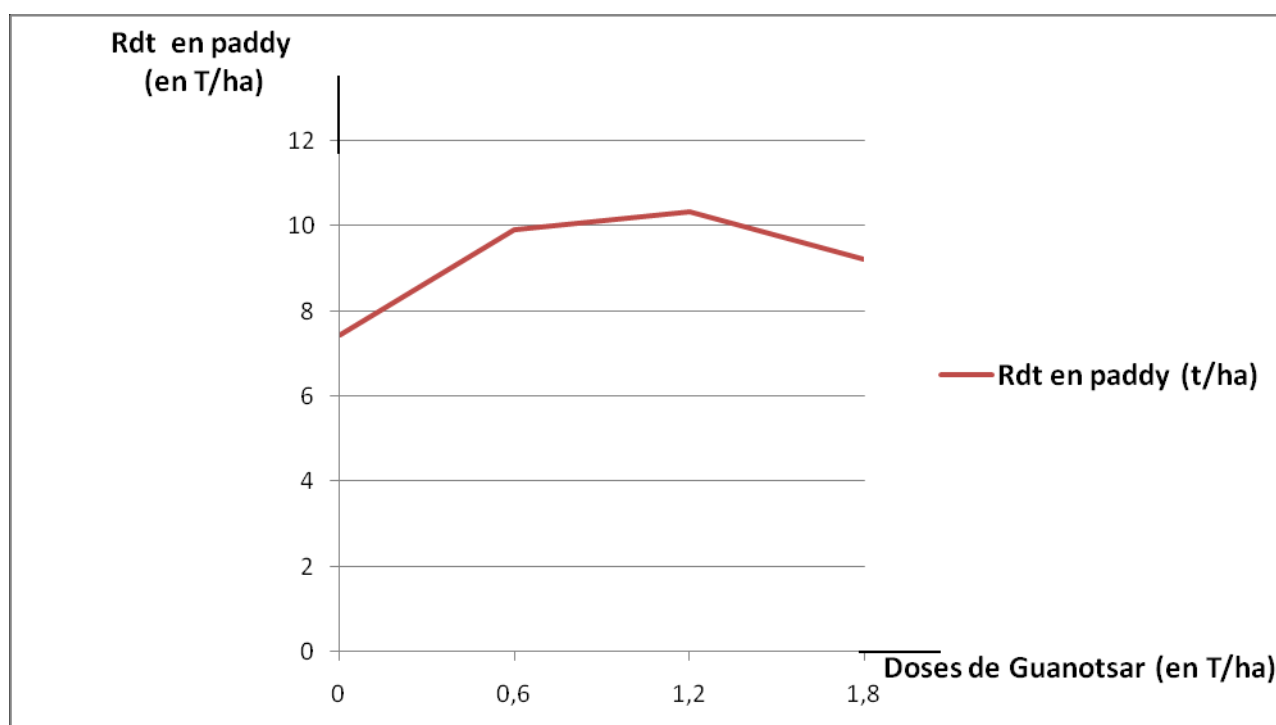


Figure 5: Courbe de réponse du riz au Guanotsar

(Cf. Annexe 5 : Détails sur le calcul des rendements à partir des composantes de rendement)

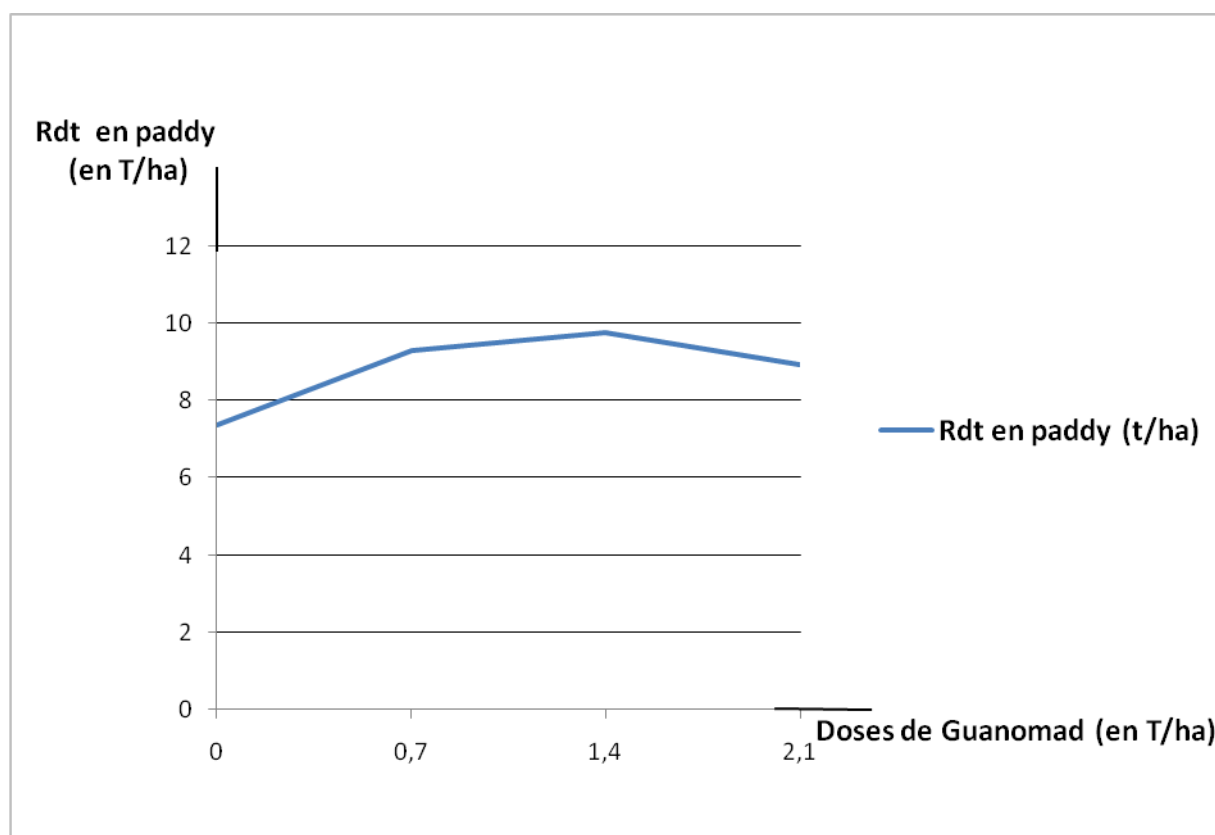


Figure 6: Courbe de réponse du riz au Guanomad

(Cf. Annexe 5: Détails sur le calcul des rendements à partir des composantes de rendement)

D'après ces deux courbes, pour le Guanotsar, le traitement témoin sans fertilisation (T1) offre un rendement moyen en paddy de 7,45 t/ha. Pour le Guanomad, cela est de 7,38t/ha. Ces chiffres reflètent la potentialité agronomique de l'emploi des germoirs sur la production du riz étant donné qu'il n'y a que l'apport de fumier et de terre rouge.

Pour chacun des deux fumures organiques, le rendement accroît progressivement au fur et à mesure que la dose augmente jusqu'à une dose critique et puis après, il diminue. Pour le Guanotsar, le rendement augmente de 7,45 à 10,34 t/ha quand on utilise la dose de 0 à 1,2 t/ha de Guanotsar. Et ensuite il diminue jusqu'à 9,22 t/ha avec la dose de 1,8 t/ha. De même pour le Guanomad, le rendement passe de 7,38 à 9,75 t/ha quand on utilise les doses croissantes de 0 à 1,4 t/ha. Et puis, diminue jusqu'à 8,92 t/ha avec la dose de 2,1 t/ha.

III.2. Variation des rendements par rapport au témoin sans fertilisation

Les deux histogrammes suivants justifient les gains de rendement obtenus par l'utilisation des différentes doses d'engrais par rapport au rendement obtenu sur les parcelles témoins, sans apport de fertilisation. (Cf. Annexe 6 : Détails sur les rendements moyens et variations de rendement par rapport au témoin sans fertilisation par utilisation des deux engrais organiques à doses croissantes).

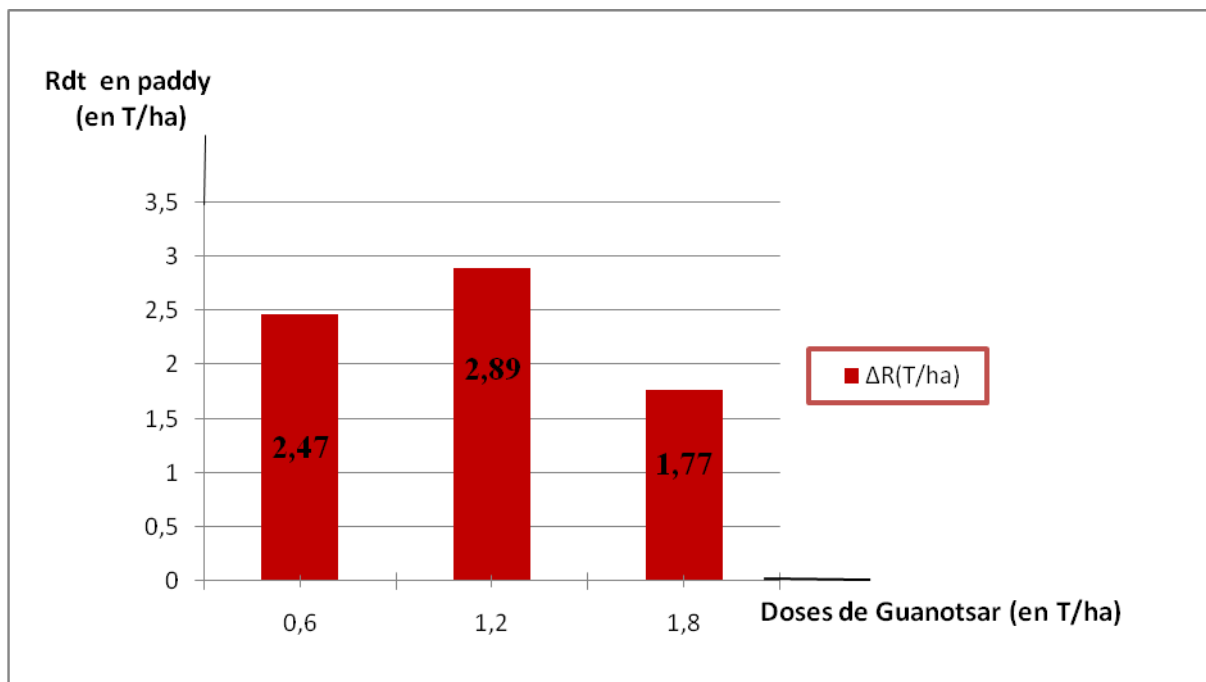


Figure 7: Variation du rendement (ΔR) par rapport au témoin sans fertilisation (T1) pour le Guanotsar

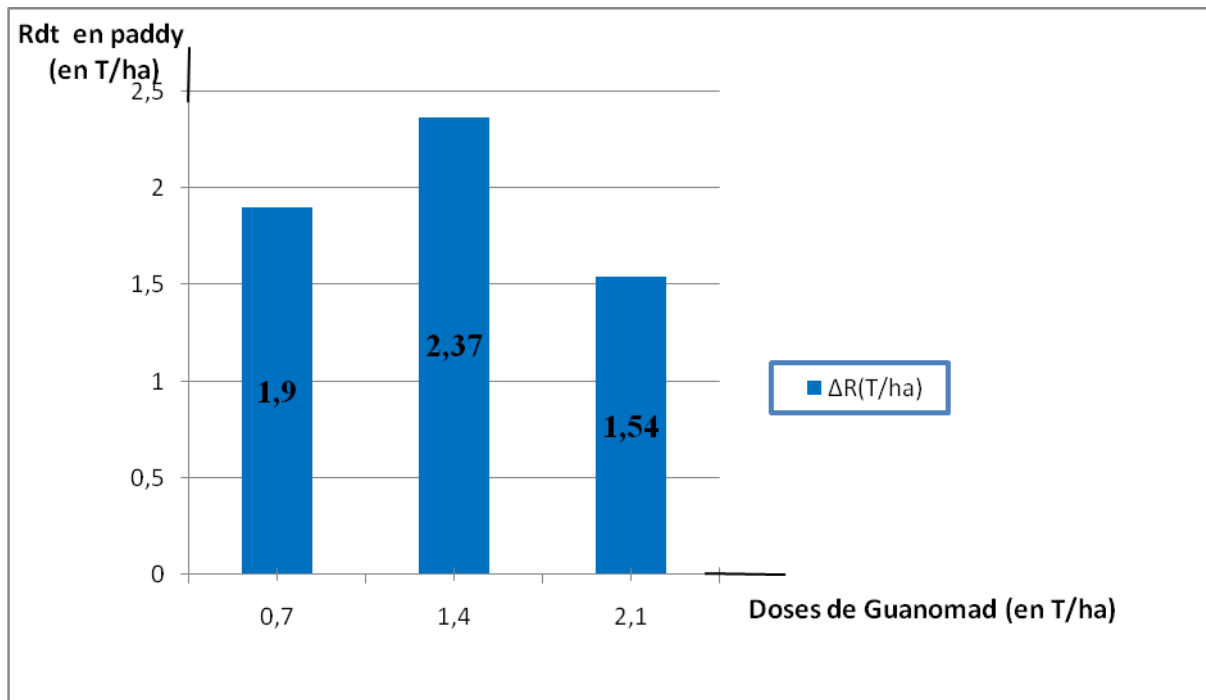


Figure 8: Variation du rendement (ΔR) par rapport au témoin sans fertilisation (T1) pour le Guanomad

Ces deux histogrammes montrent la variation ou gain de rendement obtenu par l'utilisation des différentes doses croissantes d'engrais par rapport au rendement de la parcelle témoin sans fertilisation. Ces surplus correspondent aux rendements dus à l'apport d'engrais uniquement que ce soit du Guanotsar ou du Guanomad.

Pour le Guanotsar, on trouve des valeurs positives quelle que soit la dose utilisée. C'est dans l'utilisation de la dose de 1,2 t/ha de Guanotsar qu'on a trouvé le surplus de rendement le plus élevé atteignant 2,87 t/ha.

Pour le cas de Guanomad, toutes les valeurs sont aussi positives. La dose de 1,4 t/ha offre le maximum de gain de rendement égal à 2,37 t/ha.

III.3. Courbes de réponse du riz

Les courbes suivantes illustrent les réponses du riz, en termes de rendements moyens en paddy, aux doses croissantes des deux engrais organiques Guanotsar et Guanomad :

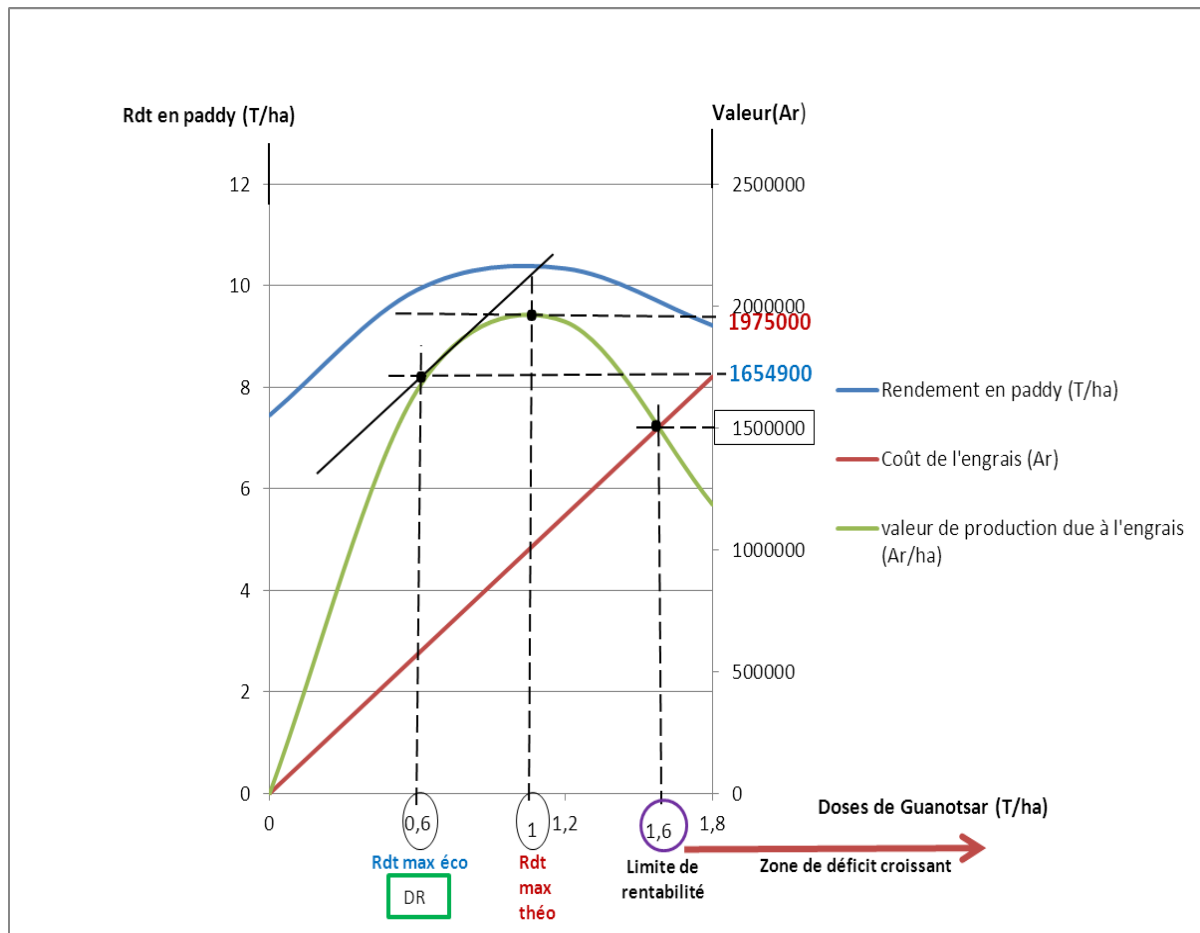


Figure 9: Courbe de réponse du riz au Guanotsar

Dans ce graphe, on distingue trois courbes distinctes :

- La première correspond à l'évolution du rendement en paddy suivant la dose croissante de Guanotsar apportée ;
- La seconde correspond à l'évolution de la valeur de la production due à l'engrais ;
- La troisième correspond à l'évolution du coût de l'engrais utilisé.

L'étude économique de la fertilisation relève surtout de l'interprétation des deux dernières courbes. La courbe de l'évolution de la valeur de la production due à l'engrais croît progressivement avec la dose croissante de Guanotsar, atteint son maximum avec la dose de 1t/ha (valeur lue sur la courbe car on n'a pas utilisé la dose de 1 t/ha lors de l'expérimentation) et puis après, diminue lorsque la dose devient de plus en plus élevée. Ainsi la dose de 1 t/ha permet d'obtenir le maximum de rendement théorique.

D'autre part, les courbes représentant l'évolution du coût de l'engrais Guanotsar est une droite croissante. L'écart entre ces deux courbes donnera la valeur du bénéfice net sur la récolte.

D'après ce graphe, c'est la dose de 0,6 t/ha qui donne l'écart le plus élevé, donc c'est cette dose qui offre le rendement maximum économique. Ce sera alors la dose à recommander ou DR pour la culture de riz en SRI-GB. La dose de 1,6 t/ha correspond à la limite ou seuil de rentabilité, au-delà de laquelle il y a un risque de se trouver dans la zone de déficit croissant. Le tableau suivant permet de vérifier par calcul ce qu'on a vu sur le graphique dans la figure

Tableau 4: Calcul de bénéfice net obtenu par utilisation du Guanotsar à doses croissantes

Dose Guanotsar (T/ha)	Valeur du ΔR (Ar)	Coût de l'engrais (Ar)	Bénéfice net (Ar/ha)/ (V-C)	Test Valeur/Coût (V/C)
0	0	0	0	-
0,6	1654900	570000	1084900	2,9
1	1975000	1000000	975000	1,97
1,2	1936300	1140000	796300	1,69
1,6	1500000	1500000	0	1
1,8	1185900	1710000	-524100	0,69

Source : Auteur

(Cf. Annexe 7: Détails sur les calculs de bénéfice net obtenu par utilisation des deux engrais organiques à doses croissantes)

Notons que le prix du paddy est de 670Ar/kg et celui du Guanotsar est de 950Ar/kg.

Le bénéfice net augmente suivant la dose croissante de Guanotsar. Il atteint son maximum de 1084900 Ar/ha à la dose de 0,6 t/ha, puis diminue progressivement et prend une valeur nulle à la dose de 1,6 t/ha qui correspond au seuil de rentabilité. Au-delà de cette dose, l'écart prend une valeur négative, ce qui signifie qu'il n'y a plus que des pertes si on continue à augmenter la dose de Guanotsar. En somme, c'est la dose de 0,6 t/ha qui sera la dose à recommander ou DR en SRI-GB pour le Guanotsar.

Par ailleurs, le résultat du test rapport Valeur/Coût sur l'emploi de la dose optimale de 0,6 t/ha qui est de 2,9 montre que l'emploi du Guanotsar est assez intéressant car la valeur de la production due à l'engrais de 1 654 900 Ar est presque trois fois du coût de Guanotsar utilisé de 570 000 Ar.

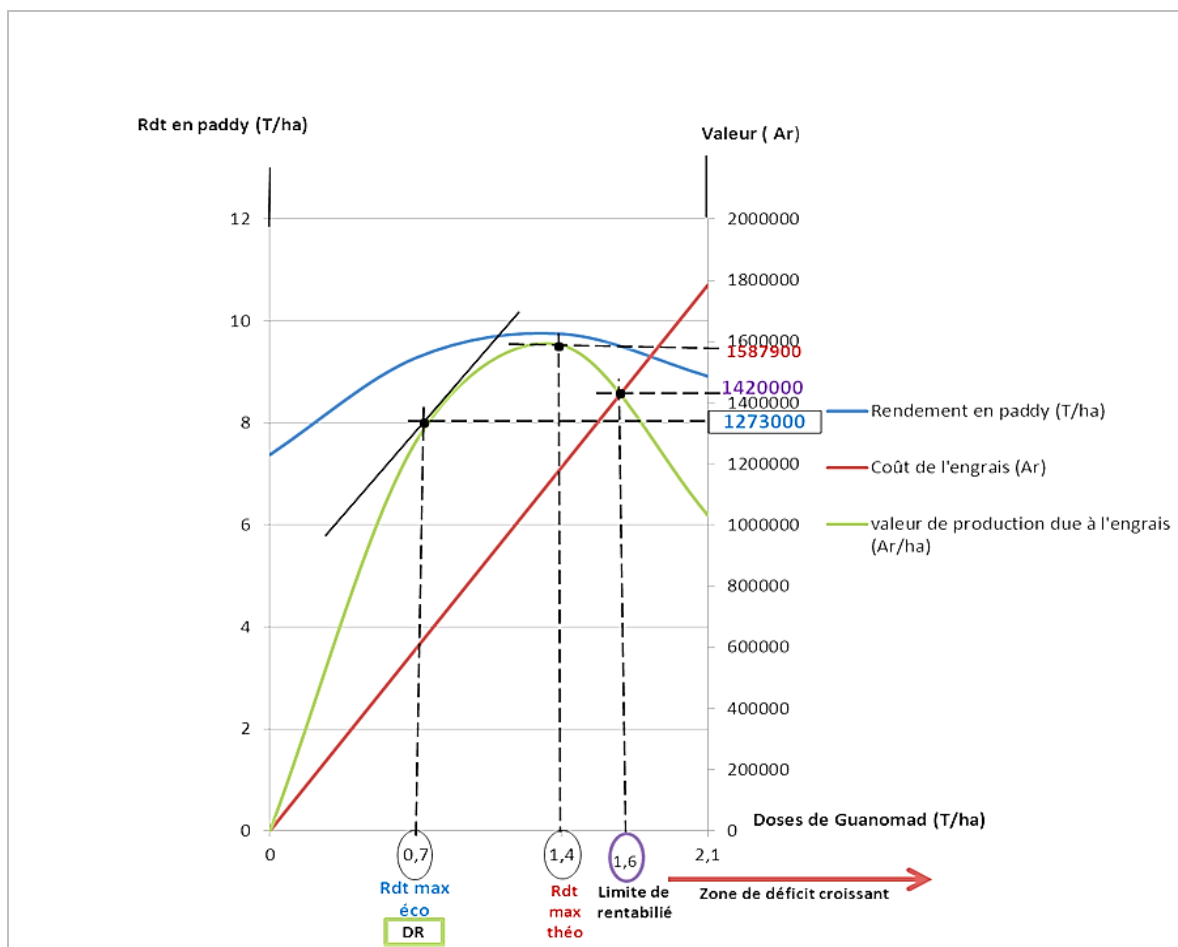


Figure 10: Courbes de réponse du riz au Guanomad

Pour le cas du Guanomad, les courbes ont presque la même allure que celles du Guanotsar. La valeur de la production due à l'engrais augmente progressivement suivant la dose croissante, atteint son maximum avec la dose de 1,4 t/ha et diminue après. Ainsi, la dose de 1,4 t/ha recommandée par le fournisseur permet d'avoir le rendement maximum théorique. Le rendement maximum économique est obtenu avec l'utilisation de la dose de 0,7 t/ha (valeur lue sur la courbe), celle-ci permet d'avoir le maximum de bénéfice net à la récolte. Ainsi, 0,7 t/ha seront la dose de Guanomad à recommander sur la culture de riz en SRI-GB. Le seuil de rentabilité correspond à la dose de 1,6 t/ha, là où il y a intersection entre les deux courbes et où il n'y a ni bénéfice ni perte. Au-delà de cette dose, il n'y a plus bénéfice, il n'y a que des pertes.

Le tableau ci-après permet également de vérifier ce qu'on a trouvé sur le graphique dans la figure :

Tableau 5: Calcul de bénéfice net obtenu par utilisation du Guanomad à doses croissantes

Dose Guanomad(T/ha)	Valeur du ΔR (Ar)	Coût de l'engrais (Ar)	Bénéfice net (Ar/ha)	Test Valeur/Coût (V/C)
0	0	0	0	0
0,7	1273000	595000	678000	2
1,4	1587900	1190000	397900	1,33
1,6	1420000	1420000	0	1
2,1	1031800	1785000	-753200	0,57

Source: Auteur

Le maximum de bénéfice net à la récolte de 678000 Ar est obtenu avec la dose de 0,7 t/ha et puis diminue progressivement pour prendre une valeur nulle à la dose de 1,6 t/ha au-delà de laquelle il n'est plus nécessaire d'apporter des doses supérieures parce qu'il n'y aura plus de bénéfices.

Le résultat du test rapport Valeur/Coût avec l'utilisation de la dose économiquement rentable de 0,7 t/ha qui est de 2 montre que l'emploi de Guanomad s'avère très intéressant. En effet, la valeur de la production due à cet engrais qui est de 1273000 Ar est deux fois supérieure au coût de l'engrais utilisé qui est de 595000Ar.

III.4. Aspect économique sur la pratique du SRI-GB

Cette étude a été réalisée particulièrement sur les parcelles où on a utilisé les doses optimales sur la culture de riz en SRI- GB qu'on vient de déterminer, c'est-à-dire les doses à recommander de 0,6 t/ha pour le Guanotsar et 0,7 t/ha pour le Guanomad. Ainsi, pour mener à bien cette étude, on est contraint à prendre la quantité de mains d'œuvre qui reflète beaucoup plus la réalité c'est-à-dire des chiffres provenant des études antérieures : « Contribution à l'étude économique de la fertilisation du sol sur culture de riz en SRI : cas de l'utilisation du compost Tananamadio et du Taroka dans la commune rurale de Behenjy, Août 2011, réalisé par RANDRIANARISON Lara.B ».

III.4.1. Aspect économique par l'utilisation de Guanotsar

La valeur ajoutée correspond à la différence entre la valeur de toute la production obtenue et le coût de production, c'est-à-dire la valeur de toutes les charges relatives à l'exploitation notamment les dépenses en mains d'œuvres (MO), en semences, en germoirs et en engrais.

Le tableau suivant montre la valeur ajoutée produite à l'hectare en utilisant le Guanotsar à la dose de 0,6t/ha :

Tableau 6: Calcul de la valeur ajoutée produite à l'hectare en cas de fertilisation du sol à 0,6 t/ha de Guanotsar

OPERATIONS CULTURALES	QUANTITE	COÛT UNITAIRE (Ar)	COÛT TOTAL (Ar)
Préparation pépinière	12 MOJ	3000	36 000
Rebouchage	25 MOJ	3000	75 000
Semis	23 MOJ	3000	69 000
Labour	30 MOJ	3000	90 000
Hersage	6 MOJ	3000	18 000
Planage	7 MOJ	3000	21000
Repiquage	45MOJ	3000	135 000
Sarclages	35MOJ	3000	105 000
Epannage d'engrais	15MOJ	3000	45000
Récolte	40MOJ	3000	120000
Battage	20MOJ	3000	60 000
SOUS-TOTAL	258MOJ	3000	774 000
CONSOMMATIONS INTERMEDIAIRES			
Semences	4kg	2000	8000
Germoirs	90000 pots	2	180 000
Guanotsar	600 kg	950	570 000
SOUS-TOTAL			758 000
Coût de production par ha			1 532 000
Production en paddy	9920kg	670	6 646 400
Valeur de la production à l'ha			6 646 400
Valeur Ajoutée Nette (VAN)			5 114 400
Productivité de travail (Ar/MOJ)			19 823
Coût de production d'1kg			154

Source de la quantité de mains d'œuvre: « Contribution à l'étude économique de la fertilisation du sol sur culture de riz en SRI : cas de l'utilisation du compost Tananamadio et du Taroka dans la commune rurale de Behenja, Août 2011, réalisé par RANDRIANARISON Lara.B ».

Ce tableau donne le résultat de l'exploitation ou la valeur ajoutée procurée à l'hectare si on utilise le Guanotsar avec la dose économiquement rentable de 0,6 t/ha qu'on vient de déterminer dans la partie précédente. On constate que la dépense en mains d'œuvre durant le cycle cultural est égale à 258 mains d'œuvre journalières (MOJ) par hectare dont 1MOJ vaut 3000 Ar. Le prix du Guanotsar est de 950 Ar/kg (prix sur le marché) et le prix du paddy est de

670Ar/kg. Ainsi, on obtient une valeur ajoutée de 5 114 400 Ar/ha. Le tableau suivant montre la comparaison des valeurs ajoutées produites par l'utilisation du Guanotsar aux doses de 0 t/ha (sans apport d'engrais) et 0,6 t/ha :

Tableau 7: Comparaison des valeurs ajoutées produites par l'utilisation du Guanotsar aux doses de 0 et 0,6 t/ha

Doses de Guanotsar	0t/ha	0,6t/ha
Coût de production à l'ha	917 000	1 532 000
Valeur de la production	4 991 500	6 646 400
Valeur ajoutée nette	4 074 500	5 114 400
Productivité de travail	15 792	19 823
Coût de production d'1kg de paddy	123	154

Source : Auteur

Pour le cas des parcelles témoins auxquelles on n'a pas apporté du Guanotsar (0 t/ha), en enlevant les dépenses relatives à l'engrais (coût de l'engrais et de son épandage), la valeur ajoutée sera égale à 4 074 500 Ar/ha. Ainsi, en utilisant le Guanotsar à la dose de 0,6 t/ha, on pourra avoir un surplus de valeur ajoutée de 5 114 400Ar/ha par rapport à celle obtenue avec le SRI-GB uniquement, sans apport d'engrais.

En ce qui concerne la productivité du travail, comme le nombre total de mains d'œuvre nécessaires durant la campagne culturale est de 258, une main d'œuvre qui coûte 3000 Ar rapporte donc 19 823Ar. Pour le cas des parcelles témoins sans fertilisation, cette productivité de travail devient 15 792Ar/journée de travail.

Et enfin, concernant le coût de production d'un kilo de paddy, le traitement sans fertilisation offre le coût de 123 Ar/kg, tandis que la dose optimale de 0,6t/ha du Guanotsar donne une valeur de 154Ar/kg de paddy. En outre, l'utilisation de la dose optimale de Guanotsar permet augmenter le coût de production d'un kilo de paddy.

III.4.2. Aspect économique par l'utilisation de Guanomad

Pour l'utilisation du Guanomad à la dose de 0,7 t/ha, la valeur ajoutée produite à l'hectare est présentée dans le tableau ci-après :

Tableau 8: Calcul de la valeur ajoutée produite à l'hectare en cas de fertilisation du sol à 0,7 t/ha de Guanomad

OPERATIONS CULTURALES	QUANTITE	COÛT UNITAIRE (Ar)	COÛT TOTAL (Ar)
Préparation pépinière	12 MOJ	3000	36 000
Rebouchage	25 MOJ	3000	75 000
Semis	23 MOJ	3000	69 000
Labour	30 MOJ	3000	90 000
Hersage	6 MOJ	3000	18 000
Planage	7 MOJ	3000	21000
Repiquage	45MOJ	3000	135 000
Sarclages	35MOJ	3000	105 000
Epandage d'engrais	15MOJ	3000	45000
Récolte	40MOJ	3000	120000
Battage	20MOJ	3000	60 000
SOUS-TOTAL	258MOJ	3000	774 000
CONSOMMATIONS INTERMEDIAIRES			
Semences	4kg	2000	8000
Germoirs	90000 pots	2	180 000
Guanomad	700 kg	850	595 000
SOUS-TOTAL			783 000
	Coût de production par ha		1 557 000
Production en paddy	9280kg	670	6 217 600
	Valeur de la production à l'ha		6 217 600
	Valeur Ajoutée Nette (VAN)		4 660 600
	Productivité de travail (Ar/MO)		18 064
	Coût de production d'1kg		167

Source de la quantité de mains d'œuvre: « Contribution à l'étude économique de la fertilisation du sol sur culture de riz en SRI : cas de l'utilisation du compost Tananamadio et du Taroka dans la commune rurale de Behenjy, Août 2011, réalisé par RANDRIANARISON Lara.B ».

Avec l'utilisation du Guanomad, la valeur ajoutée obtenue en utilisant la dose économiquement rentable de 0,7 t/ha est de 4 660 600 Ar/ha, donc la productivité du travail atteint 18 064 Ar/journée de travail. Le tableau suivant montre la comparaison des valeurs ajoutées produites par l'utilisation du Guanomad aux doses de 0 t/ha (sans apport d'engrais) et 0,7 t/ha

Tableau 9: Comparaison des valeurs ajoutées produites par l'utilisation du Guanomad aux doses de 0 et 0,7 t/ha

Doses de Guanomad	0t/ha	0,7t/ha
Coût de production à l'ha	917 000	1 557 000
Valeur de la production	4 944 600	6 217 600
Valeur ajoutée nette	4 027 600	4 660 600
Productivité de travail	15 610	18 064
Coût de production d'1kg de paddy	124	167

Source : Auteur

D'après ce tableau, on a obtenu 4 027 600 t/ha de valeur ajoutée avec le SRI-GB seul, sans apport d'engrais Guanomad, donc 15 610Ar/journée de travail procuré par une main d'œuvre qui coûte 3000Ar. Le coût de production d'un kilo de paddy est de 124 Ar si on n'apporte pas d'engrais tandis que si on utilise la dose optimale de 0,7 t/ha de Guanomad, cela devient 168Ar/kg.

IV. DISCUSSION

IV.1. Sur le cycle végétatif de la plante

Concernant le développement optimal des jeunes plants, les jeunes pousses sont repiquées avec la motte contenue dans le germoir et continuent leur cycle végétal sans aucun stress. En effet, le « collet » ou la partie millimétrée entre les racines et la tige n'est pas trempé dans l'eau de la rizière ou il n'est pas complètement à l'air ou enfoncé dans le sol en cas de plantes de contre-saison. Ce positionnement idéal offert par le germoir permet à toutes les parties du jeune plant de vivre dans des conditions optimales de leur développement.

Quant aux deux engrais (Guanotsar et Guanomad) qui sont également des engrais équilibrés, plus riche en azote(N), phosphore(P) et en potassium(K) d'origine organique. Grace à l'effet conjugué des éléments qui les composent, on a constaté une stimulation du développement des plantes et, de ce fait, une augmentation significative du rendement et renforcement de la résistance de la plante que ce soit à la verse ou aux maladies. Seulement, un problème d'échaudage a été remarqué sur quelques pieds des parcelles fertilisées avec de forte dose d'engrais. Ce qui aura un impact sur le rendement en paddy.

Ainsi, la plante peut aisément accomplir son développement. De plus, la phase de végétation qui dure 85 jours environ lui permet d'émettre un nombre élevé de talles.



Photo 8: Bonne capacité de tallage du riz (variété utilisée FOFIFA 160)

Source : Auteur

IV.2. Sur les rendements en paddy

Les facteurs de rendements rizicoles sont le nombre de talles, la longueur des épis, le nombre de grains par épis et le poids des grains. D'une part la technique de culture sur GB améliore en grande partie le nombre de talles par atténuation du phénomène de stress au cours de la transplantation. D'autre part, le riz faisant partie des familles des graminées, les graines disposées côte à côte ne permet pas l'apparition de talles alors que les pépinières en GB permettent une disposition individuelle des graines dans chaque pot et espacées de 4 cm. C'est pourquoi, dans la pépinière même les plantules émettent déjà des talles si la durée en pépinière est prolongée.

Ainsi, un écartement de moins de 25 cm est à éviter. L'optimum est de 35 à 40 cm. Comme un écartement assez grand entre les plants (33cm x 33cm) a été adopté lors du repiquage, il y a moins de compétition entre les pieds si bien que tous les plants puissent recevoir très bien l'énergie lumineuse. Il y a aussi moins de compétition en éléments nutritifs. Ainsi, il y a un meilleur développement du système racinaire. Et d'après RAZAFIMAHATRATRA (2003), l'importance du développement des racines permet d'obtenir un meilleur tallage avec un taux de fertilité plus élevé.

En effet, l'utilisation de très jeune plant avec des GB est bénéfique du fait qu'il souffre beaucoup moins du transplant et se remet à pousser quelques heures après le repiquage. Contrairement au repiquage des plants plus âgés dans les cultures traditionnelles qui fait que ces plants souffrent beaucoup à ce moment et prennent beaucoup de temps pour reprendre leur croissance. Il y a aussi la loi de la nature qui affirme que plus l'être est jeune et plus la vitalité de ses tissus est grande (**Patrick Valois, 1996**). Cette vitalité se traduit par la capacité à émettre de nombreuses talles et donc de nombreux épis sur un même pied. Pour le Guanomad, on a trouvé un nombre moyen de panicules par touffe égal à 30 et pour le Guanotsar, cela est de 34. Ce qui reflète une capacité potentielle de production élevée, d'où le rendement élevé.

Pour le Guanomad, le traitement témoin sans fertilisation (T1) offre un rendement moyen en paddy de 7,38 t/ha, tandis que pour le Guanotsar, cela est de 7,45 t/ha. Ces rendements sont dus principalement aux effets des pratiques associées au SRI-GB sur l'effet des germoirs et des jeunes plants, sur la croissance améliorée des racines des plants de riz, sur l'oxygénation du sol, ainsi que la fixation des nutriments biologiques.



Photo 9: Maturation du riz (source : Auteur)

Ensuite, le précédent cultural du site d'expérimentation peut aussi contribuer à l'explication de ce résultat. Ce site est caractérisé par une succession de riz et de culture de contre-saison telle que la courgette où l'on apporte annuellement des fumures organiques comme du compost fabriqué à partir des matières végétales locales. Une remarque est à faire dans le cas des systèmes à cultures de contre saison, qui permettent un apport différé d'éléments fertilisants (organiques) qui auront le temps de bien se minéraliser et être à disposition pour la plante. La fertilisation organique assure l'amélioration de la stabilité de la structure du sol, dans la mesure où l'humus stimule l'activité des microorganismes. L'humus du sol a une répercussion très positive sur la fertilité car il améliore ses caractéristiques physiques (meilleure structure du sol, capacité de rétention en eau accrue) chimiques (rôle de tampon pour le PH et tampon pour la salinité). Enfin, il stimule la vie microbienne. L'humus du sol est aussi la seule forme de stockage de l'azote dans le sol. Il est judicieux de maintenir ou augmenter le taux d'humus du sol par des apports humifères et le non brûlis des résidus de récolte.

Lors de l'expérimentation, on était dans la deuxième année de pratique de SRI sur ce terrain. En SRI-GB, on peut doubler la production. De plus, la bonne production ne s'obtient pas à la première année de pratique du SRI mais au fur et à mesure de son application sur le même terrain. Ainsi, les chiffres 7,38 et 7,45 t/ha ne sont pas des tous étonnants. D'ailleurs

les gains de rendement résultant du SRI-GB sont déjà largement abordés. Par exemple, en 2008, des essais ont été réalisés sur une surface totale de 50 ha sur 10 régions de Madagascar par l'appui du Ministère de l'Agriculture, résultent un rendement moyen de 8 tonnes par hectare pour un intervalle de 6 tonnes à 12 tonnes par hectare.

Le bat Guano a double rôle : réservoir en éléments minéraux et agent de cohésion structurale (entretien du stock d'humus du sol, amendement organique et calcique, forme le complexe argilo-humique). La capacité de rétention d'eau et d'éléments nutritifs augmente. Puis, il possède une flore microbienne vivante permettant ainsi la libération rapide des éléments qui la composent en éléments minéraux.

L'azote, considéré comme le pivot de la fertilisation, son action est la plus rapidement efficace. Sur pépinière, le jeune plant de riz vit exclusivement de ses réserves pendant les 10 premiers jours après quoi il doit trouver dans le milieu cet élément essentiel pour son épanouissement. L'augmentation du rendement se maintient avec des doses croissantes d'azote jusqu'à 135 unités par hectare. (Cours fertilisation, 4^{ème} année 2010)

L'absorption métabolique de l'azote évolue considérablement en fonction des variétés, des phases de végétation, de la fertilité du milieu et de la méthode culturale. La teneur en N dans les feuilles s'accroît depuis le repiquage jusqu'à la récolte avec un taux maximum (2,3%) une quinzaine de jours après semis. Or, l'engrais Guanomad ainsi que celui du Guanotsar porte une quantité d'azote intéressant de l'ordre de 3 à 7% environ.

Connaissant que, pour le riz, le phosphore (P_2O_5) est un élément indispensable à la formation des graines, son existence en quantité suffisante dans le sol permet une meilleure nutrition de la plante en cet élément à condition qu'il soit complété par un engrais azoté.

Le potassium (K_2O) favorise l'enracinement, l'absorption du phosphore, et augmente la résistance des plantes à la verse et aux maladies. Il améliore la couleur et la santé des plantes. Les oligoéléments tels que le Manganèse, le Zinc et le Cuivre affectent chacun à leur manière la croissance de la plante et le rendement. La plante peut être carencée en ces éléments, mais un apport démesuré aboutit par contre à un problème de toxicité. Tous ce qui est précités en haut expliquent ces hauts rendements.

En principe, le rendement doit augmenter avec la dose croissante d'engrais. Or ici, ce n'est pas le cas. La diminution à partir d'une dose critique peut s'expliquer par diverses raisons. D'abord, on sait que les teneurs en azote total des deux fumures organiques Guanomad et Guanotsar font qu'ils sont très riches en cet élément (3 à 5% pour le Guanomad et 5 à 7% pour le Guanotsar). Ce qui fait que l'apport d'une quantité importante en ces engrais va entraîner un excès d'azote dans le sol. Ce qui implique un développement excessif des

parties végétatives de la plante au détriment de la production en grains. Ensuite, le phosphore constitue le facteur limitant de la production agricole surtout pour la production de graines comme le riz. L'effet des fertilisants sur la mobilité du phosphore est principalement lié à l'ajout de fertilisants organiques. En effet, la matière organique influe positivement l'assimilation du phosphore (P) par la plante (Hue, 1991, cité par RAKOTOSON, 2011).

Le critère biologique représentatif des processus microbiens peut être décrit par le rapport des formes organiques C/P, de façon analogue au rapport C/N (Parent et Khiari, 2003 cité par RAKOTOSON). Jusqu'à un rapport C/P critique, la biomasse microbienne immobilise le P, au-delà de cette valeur critique, le P peut être hydrolysé ou non selon le niveau d'activités enzymatiques (phosphatases produites par les microbes et les racines). Donc, plus on augmente le taux de phosphate, plus la valeur C/P atteint un niveau critique, c'est pourquoi la dose significativement forte diminue le rendement car l'immobilisation microbienne de P de l'engrais est importante que l'effet de l'ajout de MO sur la solubilité du P de l'engrais dans le sol acide réputé fixateur de P (Parent, et al. 2002).

IV.3. Variation de rendement (ΔR) par rapport au témoin sans fertilisation (T1)

Les variations de rendement par rapport au témoin sans fertilisation correspondent aux rendements dus à l'apport en engrais uniquement. Pour le cas du Guanotsar ainsi que le Guanomad, on a trouvé des valeurs positives quelle que soit la dose utilisée. Ainsi, son utilisation permet une augmentation de production, donc c'est rentable. Les rendements issus des parcelles témoins sont toujours inférieurs à celui des parcelles fertilisées.

En effet à la suite du passage du cyclone, qui avait touché le site expérimental, les parcelles d'essai ont subi une inondation si bien qu'il y a eu perturbation, en particulier un éventuel mélange de la fertilisation apportée aux parcelles d'expérimentation. De plus, l'intoxication ferreuse a été constatée au niveau des parcelles toute entières faute qu'elles se trouvent à proximité des Tanety (riche en fer) et que le système de drainage n'est pas maîtrisé. Ce qui perturbera également le rendement à la fin du cycle. Mais malgré tout cela, on peut affirmer que l'emploi des deux engrais est rentable car on a trouvé des surplus de rendement avec toutes les autres doses utilisées.

Ainsi, les deux engrais biologiques Guanomad et Guanotsar permettent d'obtenir un surplus de rendement par rapport au témoin absolu sans fertilisation. **L'hypothèse 1 est donc confirmée.**



Photo 10: Parcelle touchée par la toxicité ferreuse (Source : Auteur)

IV.4. Courbes de réponse du riz

L'écart entre la courbe représentant la valeur du rendement due à l'engrais et celle illustrant l'évolution du coût de l'engrais donnera la valeur du bénéfice net sur la récolte. Ainsi, la dose correspondant au point d'intersection entre la courbe de l'évolution de la valeur de la production due à l'engrais et la droite tangente à elle, parallèle à la courbe de l'évolution du coût de l'engrais correspond à la dose qui offre le rendement maximum économique. En effet, c'est en ce point qu'on trouve l'écart le plus élevé, donc le maximum de bénéfice net sur la récolte. Pour le Guanomad, c'est la dose de 0,7t/ha qui offre ce rendement maximum économique, tandis que pour le Guanotsar, cela est de 0,6 t/ha. Ces doses seront donc les doses à recommander pour la culture de riz en SRI utilisant des GB.

Ensuite, le point d'intersection entre les deux courbes correspond à la limite ou seuil de rentabilité car en ce point, il y a égalité entre la valeur de la production due à l'engrais et le coût de l'engrais utilisé si bien que le bénéfice net sur la récolte y est nul. Pour les deux engrais Guanotsar et Guanomad, la dose correspondant à cette limite de rentabilité est égale, la dose de 1,6 t/ha au-delà de laquelle il n'y aura plus que des pertes car la valeur de la production due à l'engrais n'arrivera plus à compenser le coût de l'engrais utilisé.

En plus, les résultats du test rapport Valeur/Coût sur l'emploi de la dose optimale de 0,6 t/ha de Guanotsar et 0,7 t/ha de Guanomad sont respectivement 3 et 2 ce qui montre que l'emploi de Guanotsar s'avère très intéressant par rapport à l'emploi du Guanomad.

En somme, la dose économiquement rentable ou dose à recommander en SRI combiné avec l'utilisation des GB pour le Guanotsar est de 0,6 t/ha et celle du Guanomad est de 0,7 t/ha. Elles permettent d'obtenir le maximum de bénéfice net sur la récolte. Ce qui ne correspond pas aux recommandations des fournisseurs de ces deux engrais qui sont respectivement de 0,6 à 1,2 t/ha et de 0,7 à 1,4 t/ha. Ainsi, **l'hypothèse 2 est partiellement vérifiée.**

IV.5. Aspect économique sur la pratique du SRI-GB

Comme son nom l'indique, le SRI-GB, plus intensifié, donne une valeur ajoutée nette par hectare élevée. Celle-ci devient plus importante lorsqu'on apporte les doses optimales en ces deux engrais qui sont de 0,6 t/ha pour le Guanotsar et de 0,7 t/ha pour le Guanomad. Ainsi, bien que le SRI-GB nécessite des mains d'œuvre supplémentaires par rapport aux autres méthodes, les avantages tirés du travail suivant la méthode SRI-GB l'emportent encore de loin sur ceux obtenus avec les méthodes traditionnelles. Il est important de signaler que le temps alloué aux différentes tâches reliées à l'adoption du SRI-GB diminue progressivement avec l'année. La première année est une année d'apprentissage donc, il est normal que le nombre de main d'œuvre est élevé. En ce qui concerne le sarclage, en première année, il se peut qu'on fasse 3 à 4 sarclages par campagne, mais à partir de la quatrième année, la quantité de mauvaise herbe diminue et 2 sarclages suffiraient.

On a également trouvé que le coût de production d'1kg de paddy est relativement bas par rapport à son prix de vente qui est de 670Ar/kg aussi bien sur l'utilisation de Guanotsar (154Ar/kg) ou du Guanomad (167Ar/kg). Ce qui fait que les paysans auront largement de bénéfice important lors de la vente de leur production. Ainsi, le problème majeur de la pratique de ce système est qu'il réclame un important fond d'investissement au début, alors que bon nombre de paysans ne disposent pas d'un tel fonds pour démarrer la mise en place.

V. RECOMMANDATIONS

V.1. Sur le plan technique

Pour la pratique du SRI-GB, on recommande de donner la priorité aux conditions impératives telles que :

- *La bonne pratique culturale :*

Pour réussir également la SRI, il faut respecter la durée sur pépinière alors que pour plusieurs raisons, il est difficile de s'assurer de cette durée. On peut citer la maîtrise d'eau, les travaux de préparation tels que la préparation du sol, l'apport d'engrais, etc., la disponibilité et la formation des mains d'œuvre, les différents incidents sur la communauté tels décès ou accidents etc. La mise en GB permet un intervalle de repiquage de 8 à 20 jours puisque les racines ne sortent du germoir que 20 jours après semis. Enfin, la technique nouvelle sur la pratique du GB a permis de rallonger le séjour des GB sur pépinière.

Le transport de pots vers les rizières aussi reste parmi les contraintes évoquées par les paysans qui ont adopté cette technique. L'emplacement idéal des germais devrait se situer près de rizières pour faciliter la manipulation. Pour gagner du temps, le rebouchage des germais pourrait se faire des semaines avant le semis. Mais il faut les laisser au sec pour éviter que la colle lâche précocement.

- *La gestion de l'eau :*

En SRI, on préconise toujours une meilleure gestion de l'eau car l'eau occupe une place importante tant sur le plan physique du sol que physiologique de la plante. Ainsi, un bon nivellement du sol et la création d'un canal de drainage contribuent beaucoup à sa maîtrise. La maîtrise de l'eau doit permettre de donner au riz toute l'eau dont il a besoin. « L'eau ne doit pas stagner, il faut pouvoir la renouveler fréquemment par drainage, c'est à dire disposer d'une entrée et d'une sortie d'eau :

- mettre en place un dispositif d'irrigation et de drainage fonctionnant à volonté ;
- réaliser un aménagement parfait de la rizière, excellent planage et diguettes bien établies;
- adopter un calendrier cultural utilisant aux mieux des disponibilités en eau »

V.2. Sur le plan expérimental

L'expérimentation a été faite sur une surface assez limitée, tous près de la ville actuelle. Il y a donc facilité de suivre l'évolution de la culture et d'agir en cas d'éventuels problèmes. Une intensification de travail a été également constatée vu cette restriction de la surface d'expérimentation. Ainsi, il y aura un problème d'extrapolation des résultats à des surfaces

beaucoup plus grande car dans la réalité, les soins apportés par les paysans à la culture ne seront pas les mêmes avec ceux dans l'expérimentation. Ainsi, on recommande de faire des expérimentations à plus grande échelle et si possible, en collaboration avec des paysans intéressés pour que le résultat reflète beaucoup plus la réalité paysanne.

Pour contrôler ou réduire la variabilité due au climat, des répétitions dans le temps serait préférable c'est-à-dire refaire la même expérimentation pendant deux ou trois ans.

La réponse de chaque variété de riz aux engrais ne serait sûrement pas la même, de même pour des types de sols différents. Ce qui implique la nécessité de faire des essais sur diverses variétés locales et sur différentes zones afin de diffuser des résultats plus concrets correspondant aux besoins des paysans.

L'association d'une variété à cycle long et la technique SRI-GB pourrait permettre d'obtenir de bons résultats. En effet une élongation du cycle du riz pourrait permettre une émission des talles beaucoup plus intéressante sur la culture de riz sur une même rizière. Pourtant, les variétés à cycle court sont peu productives par rapport aux variétés à cycle long. Et sachant que le SRI-GB permet de réduire le cycle du riz et doubler le rendement, cette association serait bénéfique pour les paysans car en utilisant des variétés à cycle long, les rendements subissent un taux d'augmentation élevé, deux fois que celui du SRI classique.

V.3. Sur la disponibilité des engrais

Sachant que ces engrais organiques sont très connus sur le marché, on conseille de renforcer leur vulgarisation en faisant connaître leurs coûts et surtout les endroits où se trouvent leurs points de vente. L'ignorance de ces paramètres pourrait être soulevée comme frein de l'utilisation généralisée de ces engrais organiques par les paysans car ils pensent que leur utilisation augmente les dépenses pour une campagne donnée.

Pour le Guanomad, on conseille d'améliorer la qualité afin qu'on puisse réduire la dose recommandée de 0,7 t/ha car on trouve que celle-ci est moins efficace que le Guanotsar. D'ailleurs, le problème de coût ne sera pas à négliger.

On recommande aussi de mettre à la disposition des paysans intéressés des autres formes de recommandations seulement pour qui n'ont pas des moyens pour faire des analyses du sol avant d'y entamer car cela peuvent falsifier les résultats issus de certains apports préconisés.

V.4. Sur la disponibilité des germoirs

Le constat est le doublement de production quelques soit les techniques pratiquées sauf pour la SRI si bien pratiquée car l'ajout de GB permet à ce moment de faciliter sa pratique.

Pour vulgariser cette technique, on conseille de multiplier :

- La fourniture gratuite de GB pour les nouveaux pratiquants dans une nouvelle zone de production ;
- Ventes de GB à prix subventionné pour les grands et petits producteurs ayant déjà pratiqué la technique pour une saison ou des culturales ;

Ou bien, recours à une autre pratique. C'est-à-dire une technique qui consiste à mettre en place la culture des clients avec la technique GB et en particulier la SRI-GB mais on conseille de réduire un peu le prix de la mise en place.

VI. CONCLUSION GENERALE

En général, le défi majeur pour Madagascar est l'autosuffisance alimentaire surtout en matière rizicole. C'est pourquoi, l'augmentation de la production du riz est une des préoccupations de la recherche en Agriculture. Et cette augmentation passe entre autre par l'utilisation des techniques culturales adaptées associé à l'emploi judicieux des intrants plus particulièrement des engrais. La pratique du SRI permet une augmentation spectaculaire de la production à condition de bien veiller au respect des conditions requises. L'apport de fertilisant en constitue une du fait qu'il y a nécessité de restituer au sol les éléments exportés par les récoltes.

Notre expérimentation consiste à une étude économique de l'utilisation de deux types d'engrais organiques : Guanomad et compost Guanotsar comme fertilisation du sol sur culture de riz en SRI-GB. Sur ce, elle fait intervenir une variété de riz qui est la variété FOFIFA que l'on a testé avec quatre doses croissantes pour chacun des deux engrais organiques. Ainsi, les résultats obtenus ont montré qu'il y a une amélioration de la situation c'est-à-dire que par le biais de l'essai effectué, on a découvert que les doses à recommander sur l'utilisation du Guanotsar ou du Guanomad plus particulièrement en SRI-GB, sont bien définies et précises par rapport à la dose vulgarisée.

- ❖ Le test rapport V/C et le calcul de bénéfice net prouve cette affirmation.
- ❖ Les données issues de cette expérimentation sont :
 - Pour le Guanomad : la dose à recommander est de 0,7t/ha qui offre une valeur de bénéfice maximal économiquement rentable.
 - Alors que pour le Guanotsar, la dose diminue 0,6t/ha.

Avec l'utilisation de ces doses, on arrive à obtenir jusqu'à 9,28t/ha de paddy pour le Guanomad et 9,92 t/ha pour le Guanotsar. Ces doses seront donc utilisées lors de la vulgarisation future de ces engrais organiques. Seulement, on doit renforcer la vulgarisation de ces engrais.

Pourtant, Madagascar compte 2 000 000 de riziculteurs environ, mais seulement 3,5 % d'entre eux pratiquent aujourd'hui le Système de Riziculture Intensive ou SRI par ailleurs le développement du SRI notamment le SRI-GB permet d'assurer l'autosuffisance alimentaire du fait qu'il permet d'avoir un rendement plus élevé, et alors recours sa vulgarisation rapide.

BIBLIOGRAPHIE

- **FOFIFA.** « Bilan de la recherche agricole à Madagascar », 356 pages.
- **<http://www.groupementsrimada.org/>**, 2012
- **<http://www.guanomad.com/>**, 2012
- **[http:// fert.yara.fr/fr/crop-fertilization/plant-nutrition-guide/cycles-PK.html](http://fert.yara.fr/fr/crop-fertilization/plant-nutrition-guide/cycles-PK.html)**
- **FOFIFA, 1999**, la recherche agricole en 1997 – 1998 – 1999. Ministère de la recherche scientifique, 110p.
- **MAISONNEUVE et LAROSE.** « Le technicien d'Agriculture Tropicale, Le riz irrigué », CTA, 321 pages.
- **Parent L.-E., Pellerin A., Khiari L., 2002.** « Le flux et la dynamique du phosphore dans les sols agricoles québécois. Colloque sur le phosphore, une gestion éclairée ; nov. 2002 ; 27 pages.
- **Parent, L.E. et Khiari L., 2003.** «Nitrogen and phosphorus indicators of organic soil quality” Organic soils and peat materials for sustainable agriculture.
- **Rapport Atelier national SRI, 2010**« Le SRI à Madagascar, un levier de la sécurité alimentaire, de la croissance économique et du développement durable », Groupement SRI Madagascar, 32pages.
- **Fanjaniaina M. L., 2009.** « Effet du Guano et du triple superphosphate sur le rendement du riz pluvial et sur la phytodisponibilité du phosphore du sol » ; mémoire de fin d'étude d'ingénieur, ESSA ; département Agriculture ; 66 pages.
- **FAO Organisation des Nations Unies** pour l'alimentation et l'agriculture, 1987 – Guide sur les engrais et la nutrition des plantes. Bulletin FAO et nutrition végétale n°9. 189p.
- **MOREAU D, 1987** – L'analyse de l'élaboration du rendement du riz : les outils de diagnostic, GRET, 126p.
- **JOELIBARISON, 1997.** « Perspective de développement de la région de Ranomafana. Les mécanismes physiologiques du riz sur sols de bas-fonds. Cas du SRI », mémoire de fin d'étude d'ingénieur, ESSA ; département Agriculture, 91 pages.
- **RAJAONARISON Jean de Dieu, 2001.** « Contribution à l'amélioration des rendements en deuxième saison de la double riziculture par SRI sous expérimentation multifactorielle (cas des sols sableux de Morondava) », Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ESSA, Département Agriculture.

- **RAKOTOMALALA Holiarison W.**, 1998. « Comparaison entre la riziculture traditionnelle et le Système de Riziculture Intensive dans la région de Ranomafana » Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ESSA, Département Agriculture.
- **RALIJAONA Lova Avotra**, 2002. « Contribution à l'amélioration de la fixation biologique de l'azote dans le SRI par la détermination de la dose de compost et par inoculation d'*Azospirillum* sp. », Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ESSA, Département Agriculture, 95pages.
- **RAZAFIMAHATRATRA Hery Manantsoa**, 2003. « Optimisation des facteurs interactifs de productivité du riz et impacts de la maîtrise de l'eau, Cas du SRI sur les Hautes Terres malgaches », Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ESSA, Département Agriculture, 95pages.
- **VALLOIS, Patrick**, 1996. « Discours de la méthode du riz- Rapport sur la nouvelle riziculture malgache SRI », Institut de Promotion de la Nouvelle Riziculture, 2ème édition- Antananarivo.
- **RABEHARISOA L.**, 2004, « Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des hautes terres de Madagascar », Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ESSA, Département Agriculture, 96pages.
- **RAJAONARISON Jean de Dieu**, 2001 « Contribution à l'amélioration des rendements en deuxième saison de la double riziculture par SRI sous expérimentations multifactorielles : cas du sol sableux de Morondava », Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ESSA, Département Agriculture, 93 pages.
- **RANDRIANARISON Lara.B**, Août 2011 « Contribution à l'étude économique de la fertilisation du sol sur culture de riz en SRI : cas de l'utilisation du compost Tananamadio et du Taroka dans la commune rurale de Behenjy».Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ESSA, Département Agriculture, 45 pages.
- **RAKOTOSON Luciano Tatiana**, 2011. « Etude sur l'amélioration de la productivité de petit pois : Variété et fertilisation. Cas d'Anevoka », Mémoire de fin d'études d'ingénieur, ESSA, Département Agriculture, 33 pages.

ANNEXES

Annexe 1 : Calendrier des travaux sur terrain

Opérations culturales	Dates d'exécution
Préparation de la pépinière	10 Décembre
Pré-germination	09 Décembre et 15 Décembre
Semis	12 Décembre et 18 Décembre
Suivi	14 Décembre et 22 Décembre
Préparation du sol (labour, planage, mise en boue)	23 Décembre
Piquetage	24 Décembre
Confection des diguettes et canaux d'irrigation	25 Décembre
Repiquage	27 Décembre
Suivi après repiquage	04 Janvier
Drainage	10 Janvier
Pesage + Epannage d'engrais	11 Janvier
Sarclages	10 Janvier ,25 Janvier, 09 Février et 24 Février
Irrigation	12 Janvier
Drainage	2 semaines avant récolte
Récolte (prélèvement, séchage, battage, pesage)	Mai

Source : Auteur

Annexe 2:Présentation du Groupement SRI Madagascar ou GSRI

Le Groupement SRI Madagascar, ou GSRI, est une association à but non lucratif régie par la loi 60-133 et constituée officiellement en 2008. A partir d'un noyau initial d'une dizaine de membres, il rassemble actuellement plus de 200 acteurs et partenaires implantés dans tout le pays tels que Ministère de l'Agriculture et ses représentant régionaux, Bailleurs, Projets/Programmes, ONGs nationales et internationales, fournisseurs d'intrants et matériels agricoles, techniciens, fondations, universités et institutions de recherche, collectivités décentralisées Organisations Paysannes, associations, Agriculteurs individuels œuvrant pour la promotion du SRI.

Arrivée à Madagascar à la fin de l'année 2007, la Fondation Better U (BUF) avait projeté d'y organiser une réunion internationale sur le SRI avec un objectif d'information et de plaidoyer auprès des décideurs et des partenaires des politiques agricoles dans les pays à vocation rizicole. Rapidement, BUF a fait le constat d'une très faible diffusion du SRI dans le pays berceau de son invention et d'une carence complète de données ; ce constat, entériné par une visite du Conseil d'Administration de la Fondation, a conduit au lancement d'un plan d'action comprenant un volet d'appui à une dizaine de petits projets SRI et un volet de capitalisation des activités et des résultats du SRI dans l'ensemble de Madagascar.

Lors de l'atelier Village MAP à Iavoloha au mois d'Octobre 2008, la diffusion du SRI a été intégrée comme stratégie privilégiée, et l'idée est née de la création d'un Groupement des acteurs SRI au niveau national, avec une cellule de coordination des activités et de mise en commun des résultats des expériences SRI.

Ainsi, fut constituée formellement cette association, le GSRI, enregistrée le 31 Décembre 2008. Le GSRI est ouvert à tous les acteurs et partenaires SRI volontaires, et est doté d'un Secrétariat permanent soutenu par BUF et assuré par le cabinet conseil GCD.

Le groupement et son secrétariat répondent aux demandes effectives des membres au travers d'un plan d'actions qui regroupe les tâches courantes de communication et d'administration, et des "chantiers d'activité" (source : Rapport Atelier national SRI, GSRI, novembre 2010).

Cette association est ouverte à tout acteur ou partenaire prêt à joindre ses efforts pour la diffusion du SRI à Madagascar et à respecter ses valeurs qui reposent sur l'échange et le partage d'expériences, ainsi que la mutualisation des outils et services. L'instauration d'un dynamisme actif entre les acteurs/partenaires du SRI, générant des actions et des progrès concrets, constitue le principal objectif du GSRI et de son secrétariat. Différents chantiers ont été définis pour le Groupement selon les demandes des membres à savoir : Plateformes régionales, Pool de techniciens, SRI école, Capitalisation et diffusion des bonnes pratiques, Communication à l'échelon national et international, Interface avec les Services publics, collectivités territoriales décentralisées, Responsables des Programmes et Projets et Partenaires financiers et enfin Recherche Action en milieu paysannal dans lequel se trouve notre travail.

Afin de favoriser les partages et les discussions, le Groupement SRI organise des réunions périodiques entre ses membres. Ces réunions peuvent prendre la forme de visites d'opérations menées sur le terrain.

Les objectifs de quelques chantiers sont présentés dans le tableau suivant :

Chantiers	Objectifs
Plateformes régionales	<ul style="list-style-type: none">- Regroupement des acteurs régionaux- Partage des expériences et des bonnes pratiques (spécificités d'une Région)- Facilitation des réponses aux demandes des pratiquants
Pool d'expertise technique	Dans tout le pays, mettre à la disposition des opérateurs SRI des techniciens, partageant une même compréhension du SRI, mobilisables, performants et capables de répondre à des demandes de formation/accompagnement SRI
SRI écoles	<ul style="list-style-type: none">- Dynamiser et concrétiser une pédagogie de l'observation du milieu (centrée sur le SRI) dans les écoles primaires- Familiariser les enfants avec le SRI et pérenniser ainsi l'adoption de cette pratique culturelle
Capitalisation et diffusion des bonnes pratiques	<ul style="list-style-type: none">- Mesurer la diffusion du SRI (surface, nb de pratiquants,...)- Connaître les différents acteurs SRI dans chaque Région- Identifier les traductions des principes SRI dans les différents environnements: itinéraires et bonnes pratiques reconnus et validés par l'ensemble des acteurs SRI- Obtenir une reconnaissance de la communauté scientifique

Annexe 3: Données météorologiques

Température

Tableau N°1 : Moyennes des températures mensuelles en °c et 1/10 sur 30 ans (1961- 1990)

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
T°min(1)	16,5	16,9	16,3	15,2	12,9	10,8	10,3	10,3	11,3	13,4	15,1	16,3
T°max(2)	25,9	25,9	25,4	24,8	22,9	20,9	20,2	20,6	23	25,2	26	25,8
Moyenne (3)	21,2	21,4	20,8	20	17,9	15,8	15,2	15,4	17,1	19,3	20,5	21,1

(1) : Moyenne des minimums (2) : Moyenne des maximums (3) : Moyennes mensuelles

Source : Service Météorologique Ampandrianomby

Pluviométrie

Tableau n° 2 : Pluviométrie (en mm et 1/10)

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Pluies (1)	270,4	256,9	183,1	50,5	20,1	7,2	11,1	15	9,5	66,6	170,8	304,1
Nombre de jours (2)	18	17	17	9	6	6	8	9	4	8	14	20

(1) : Moyennes mensuelles (2) : Nombre de jours moyens

Source : Service Météorologique Ampandrianomby

Annexe 4: Généralité sur le riz

1. Systématiques :

Règne	:	Végétal
Sous-règne	:	Eucaryotes
Embranchement	:	Phanérogames
Sous-embranchement	:	Angiospermes
Classe	:	Monocotylédones
Ordre	:	Glumiflores
Famille	:	Graminées
Sous-famille	:	Pooideae
Tribu	:	Orizeae
Genre	:	Oryza Linn
Section	:	Sativa ROSCHEV
Espèce	:	Oriza sativa
Type	:	Oriza sativa indica Oryza sativa japonica

2. Espèces et variétés

Il existe deux espèces de riz cultivées :

- Oriza sativa, d'origine asiatique
- Oriza glaberrima, d'origine africaine

L'espèce sativa est divisée en trois types selon leur répartition géographique :

- Type indica : variété à haute paille dont les grains sont très longs et le rapport Longueur/largeur (L/l) est supérieur à 3 ;
- Type japonica : variété naine à grains ronds elliptique et dont $L/l < 3$;

- Type javanica : riz de l'Indonésie à panicules longues avec des gros grains.

3. Morphologie

Le riz cultivé est une plante herbacée annuelle. Il possède un système racinaire ramifié. Les tiges qui sont disposées en touffes portent à maturité la panicule. La fleur du type inflorescence est composée d'un ensemble d'épillets. Le riz est une plante autogame.

4. Physiologie

Le développement du riz comprend trois phases distinctes :

- Phase végétative
- Phase reproductive
- Phase de maturation

a. Phase végétative

Elle débute avec la germination et se termine à l'initiation paniculaire. Cette phase comprend quatre stades successifs :

- Germination
- Levée
- Tallage : période d'émission des talles au niveau du collet de la plante.
- Elongation des entre-nœuds des talles faisant augmenter la hauteur de la plante du riz.

b. Phase reproductive

La durée de cette phase est constante : 35jours quelle que soit la longueur du cycle. Elle comprend trois stades :

- Montaison : gonflement de la partie basale de la talle due à la formation de l'ébauche de la panicule (primordial paniculaire) à l'intérieur de la talle juste au dessus du nœud.
- Epiaison : sortie de la panicule hors de la gaine foliaire
- Floraison : peu de temps après la sortie de la panicule, il y a ouverture des glumelles permettant la pollinisation entre étamine et ovaire. La fécondation s'effectue ainsi dans les heures qui suivent tandis que les glumelles se referment et les étamines laissées à l'extérieur se dessèchent et tombent.

c. Phase de maturation

La durée de cette phase est aussi constante : 30jours. C'est la période de remplissage des grains. Le grain de paddy se transforme par passage successif aux trois stades : laiteux, pâteux et vitreux. La maturation est caractérisée par le durcissement des glumelles et leur jaunissement ainsi que des feuilles paniculaire. La rizière prend la couleur dorée, caractéristique de la moisson.

5. Cycle végétatif

Cette période allant du semis à la récolte varie de 100 à 210 jours avec une moyenne de 140 à 150 jours à Madagascar.

6. Ecologie

La limite de la zone de culture du riz se situe à moins de 2000m d'altitude sous l'Equateur. Pour le cas de Madagascar, elle se trouve moins de 1800m.

L'exigence édaphique du riz est variable mais il a besoin d'un sol assez plastique retenant bien l'eau. Il préfère les sols à texture fine à plus ou moins perméable à plus de 40% d'argile, aéré avec un pH entre 4,5 et 8 dont l'optimum se situe entre 5 et 6.

Le riz est une plante qui aime la chaleur. La température optimale de l'air durant le cycle végétatif est de 25 à 30°C mais le besoin varie selon le stade de développement.

Ses besoins en eau sont très variables selon la longueur du cycle végétatif et la latitude. Les besoins mensuels sont évalués à 160 à plus de 200mm pour un cycle de six mois. Rappelons que le riz n'est pas une plante aquatique.

7. Itinéraire technique

- Préparation du sol à savoir : labour, hersage, planage, etc.
- Préparation des semences : se fait en deux étapes :
 - trempage dans de l'eau pendant 24 heures pour séparer les grains pleins des grains vides ;
 - incubation : placer les semences contenues dans des sacs dans un endroit sombre et chaud pour avoir des grains germés.
- Pépinière : pour assurer la phase de développement du riz dans un milieu contrôlé. Elle est établie à proximité de la rizière. La dose de semis varie suivant les techniques culturales utilisées :

- 6 à 12kg/ha de rizière en SRI
- 45 à 50kg/ha en SRA
- 80 à 120kg/ha sur semis direct à sec de riz pluvial

De même pour la surface de la pépinière :

- En SRA, 1/20 de la rizière, soit 5ares de pépinière pour 1ha de rizière
- En SRI, 1/100 de la rizière, soit 1are de pépinière pour 1ha de rizière

La durée de séjour en pépinière a une influence déterminante sur les rendements. Plus l'âge du plant à repiquer est jeune, plus le rendement à l'hectare est bon.

- Arrachage et repiquage

- Entretien à savoir : l'irrigation, le sarclage ou la lutte contre les mauvaises herbes, la fertilisation, la protection des cultures contre les maladies et ravageurs.
- Récolte : les travaux de récolte comprennent : la coupe, le battage et le séchage. Pour une bonne conservation et pour le respect de la norme commerciale, il faut abaisser la teneur en eau du paddy à 14%.

Annexe 5: Détails sur le calcul des rendements à partir des composantes de rendement

→ *Pour le Guanotsar*

Traitements	Nb touffes/m ²	Nb panicules/touffe	Nb total grains/panicule	% grains pleins	Poids 1000grains (g)	Constante de conversion	Rendement (t/ha)	Moyenne (t/ha)
T1	9	24	112	95,45	28	10 ⁻⁷	6,46	7,45
	9	31	123	90,49	28	10 ⁻⁷	8,69	
	9	28	128	95,6	28	10 ⁻⁷	8,63	
	9	20	104	92,09	28	10 ⁻⁷	4,82	
	9	27	135	94,26	28	10 ⁻⁷	8,65	
T2	9	31	130	97,69	27,7	10 ⁻⁷	9,81	9,92
	9	33	139	93,87	27,7	10 ⁻⁷	10,73	
	9	37	115	95,04	27,7	10 ⁻⁷	10,08	
	9	28	123	96,15	27,7	10 ⁻⁷	8,25	
	9	40	117	92,24	27,7	10 ⁻⁷	10,76	
T3	9	25	133	94,96	27,5	10 ⁻⁷	7,81	10,34
	9	37	131	92,93	27,5	10 ⁻⁷	11,14	
	9	23	128	95,76	27,5	10 ⁻⁷	6,97	
	9	42	139	97,62	27,5	10 ⁻⁷	14,10	
	9	39	124	97,43	27,5	10 ⁻⁷	11,66	
T4	9	29	135	94,81	27,4	10 ⁻⁷	9,15	9,22
	9	34	123	97,05	27,4	10 ⁻⁷	10,00	
	9	32	136	93,38	27,4	10 ⁻⁷	10,02	
	9	24	127	96,66	27,4	10 ⁻⁷	7,26	
	9	37	114	93,26	27,4	10 ⁻⁷	9,70	

Source : Auteur

→ *Pour le Guanomad*

Traitements	Nb touffes/m ²	Nb panicules/touffe	Nb total grains/panicule	% grains pleins	Poids 1000grains (g)	Constante de conversion	Rendement (t/ha)	Moyenne (t/ha)
T1	9	30	164	92,45	27,6	10 ⁻⁷	11,29	7,38
	9	20	113	94,69	27,6	10 ⁻⁷	5,31	
	9	13	108	92,59	27,6	10 ⁻⁷	3,22	
	9	25	153	91,75	27,6	10 ⁻⁷	8,71	
	9	28	126	95,23	27,6	10 ⁻⁷	8,34	
T2	9	34	137	94,89	27,5	10 ⁻⁷	10,93	9,28
	9	28	126	95,23	27,5	10 ⁻⁷	8,31	
	9	36	122	95,08	27,5	10 ⁻⁷	10,33	
	9	27	118	91,66	27,5	10 ⁻⁷	7,22	
	9	38	110	92,97	27,5	10 ⁻⁷	9,61	
T3	9	40	132	94,69	27,3	10 ⁻⁷	12,28	9,75
	9	27	147	94,73	27,3	10 ⁻⁷	9,23	
	9	35	128	96,87	27,3	10 ⁻⁷	10,66	
	9	25	119	95,41	27,3	10 ⁻⁷	6,97	
	9	31	131	96,18	27,3	10 ⁻⁷	9,59	
T4	9	23	140	96,42	26,6	10 ⁻⁷	7,43	8,92
	9	37	147	95,23	26,6	10 ⁻⁷	12,39	
	9	40	110	96,36	26,6	10 ⁻⁷	10,15	
	9	25	116	98,27	26,6	10 ⁻⁷	6,82	
	9	27	126	96,03	26,6	10 ⁻⁷	7,82	

Source : Auteur

Annexe 6: Rendements moyens et variations de rendement (ΔR) par rapport au témoin sans fertilisation par utilisation des deux engrais organiques à doses croissantes

- Pour le Guanotsar

Engrais	Traitements	Doses(T/ha)	Rendement moyen (T/ha)	ΔR (T/ha)
Guanotsar	T1	0	7,45	0
	T2	0,6	9,92	2,47
	T3	1,2	10,34	2,89
	T4	1,8	9,22	1,77

Source : Auteur

- Pour le Guanomad

Engrais	Traitements	Doses(T/ha)	Rendement moyen (T/ha)	ΔR (T/ha)
Guanomad	T1	0	7,38	0
	T2	0,7	9,28	1,9
	T3	1,4	9,75	2,37
	T4	2,1	8,92	1,54

Source : Auteur

Annexe 7: Détails sur les calculs de bénéfice net obtenu par utilisation des deux engrais organiques à doses croissantes

- Pour le Guanotsar

Dose Guanotsar (T/ha)	Rendement en paddy (T/ha)	ΔR (T/ha)	Valeur du ΔR (Ar)	Coût de l'engrais (Ar)	Bénéfice net (Ar/ha)
0	7,45	0	0	0	0
0,6	9,92	2,47	1654900	570000	1084900
1	10,39	2,94	1975000	1000000	975000
1,2	10,34	2,89	1936300	1140000	796300
1,6	9,69	2,24	1500000	1500000	0
1,8	9,22	1,77	1185900	17100000	-524100

Source : Auteur

- *Pour le Guanomad*

Dose Guanomad (T/ha)	Rendement en paddy (T/ha)	ΔR (T/ha)	Valeur du ΔR (Ar)	Coût de l'engrais (Ar)	Bénéfice net (Ar/ha)
0	7,38	0	0	0	0
0,7	9,28	1,9	1273000	595000	678000
1,4	9,75	2,37	1587900	1190000	397900
1,6	9,50	2,12	1420000	1420000	0
2,1	8,92	1,54	1031800	1785000	-753200

Source : Auteur

Annexe 8: Origine de la société SARLU FFF et du SRI-GB

→ Agriculture, Elevage et Transformation

SARLU F.F.F (Société à Responsabilité Limité Unipersonnelle Fambolena, Fiompiana, Fanodinana ou Agriculture, Elevage, Transformation), a été créée en 2008, pour produire des matières végétales suffisantes et d'investir sur le marché local et international. Mais la production végétale nécessite des matières organiques qui ne peuvent être obtenues que par la production animale d'où l'élevage. Ensuite, elle nécessite de nouvelles techniques agricoles d'où la création d'atelier de transformation de déchets de papier en Germeurs biodégradables GB. Enfin, l'agriculture n'est pas rentable que si on crée de valeur ajoutée d'où la transformation de la production agricole par la société.

L'activité principale de la société est la culture d'Artémisia. En effet, une autre société basée à Madagascar a projeté une industrie pharmaceutique et a contracté avec SARLU FFF pour la production de cette espèce végétale une surface annuelle de 100 ha.

L'Artémisia. est une plante médicinale dont le principe actif nommé Artémisinine est très efficace pour la lutte contre le paludisme. Le promoteur de la société SARLU F.F.F est la première personne qui a cultivée et étudiée son adaptation à Madagascar.

L'activité secondaire est la production de Germeur biodégradables GB utilisés pour la culture de Artémisia annua L., la riziculture et toutes les plantes à repiquer de la société mais également pour la vente aux publics.



Atelier confection GB©

L'activité tertiaire est la culture de vétiver pour la production de plantules nécessaire à la restauration et à la défense des sols contre l'érosion puis à la production de matières à composter.



Germoir GB© et Vétiver

Les activités d'appoint sont l'élevage caprin, bovin et ceux à cycle à court pour la production de ferment pour le compost.



Elevage et Distillation

Les autres activités parallèles étant la distillation des plantes à huiles essentielles dont l'huile essentielle de citronnelle, de géranium, de romarin, et autres plantes collectées.

Et la distillation des plantes à huiles essentielles dont l'huile essentielle de citronnelle, de géranium, de romarin, et autres plantes collectées.

L'activité pour le développement rural est l'amélioration de la technique rizicole: SRI-GB (Système de Riziculture Intensive en Germoir Biodégradable).



Pépinière et plantule de riz dans GB©

Germoir Biodégradable ou GB

Le Germoir Biodégradable est une nouvelle méthode des cultures à semences en général. Il a été découvert début 2008 après que le gérant fondateur de SARLU FFF a fait des essais tâtonné depuis 1998 sur plusieurs méthodes et produits pour faciliter le repiquage de géranium et surtout de l'*Artemisia annua* L. Le GB: c'est de mettre dans un écosystème réduit et portatif, l'entame du processus de culture afin d'éviter le stress de la transplantation.

Le GB et ses avantages :

- Semences : quantité réduite donc possibilité d'utilisation de semences améliorées chères à l'achat au prix. 3.5 kg à 5 kg /ha par exemple pour le riz ;
- Quantité d'engrais minéraux réduites sur champ, les plantes en pépinière sont déjà vigoureux et accusent à d'un bon départ en croissance ;
- Apport d'Oligoéléments systématiques car dans les terreaux, on rajoute toujours de sols de différentes couleurs (rouge/blanc, autres) ;
- Lieu de pépinière indifférent ;
- Calendrier de transplantation extensible avant que les racines sortent des pots ;
- Pots à partir de matières recyclées/récupérées et biodégradables ;
- Réduction du nombre de traitements phytosanitaires.

La société est prête pour une collaboration avec les sociétés intéressées par les techniques de repiquage en vue de la pratique de GB.