

LISTE DES ABREVIATIONS

AIA :	Acide indol acétique
CALA :	Complexe agronomique du Lac Alaotra
CM :	Carrée moyen
CV :	Coefficient de variation
DAP :	Diammonium phosphate
ddl :	Degré de liberté
DJA :	Dose journalière acceptable
ET :	Ecart type
FOFIFA :	Foibem- pirenena momba ny fikarohana ampiarina amin'ny fampandrosoana ny ambanivohitra
hj :	Homme- jour
MAP :	Phosphate monoammonique
PC :	Parcelle coloniale
PC riz :	Plate forme de concertation de la filière riz
PLI :	Programme de lutte intégrée
ppds :	Plus petite différence significative
PRD :	Plan régional de développement
SCE :	Somme des carrées des écarts
SCV :	Système de culture sous couverture végétale
SD :	Semis direct
SEPCM :	Société d'engrais et des produits chimiques de Madagascar
SRA :	Système de riziculture amélioré
SRI :	Système de riziculture intensif
SRT :	Système de riziculture traditionnel

SOMMAIRE

LISTE DES ANNEXES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION	1
1 GENERALITES SUR LA FERTILISATION ET LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES EN RIZICULTURE	2
1.1 Notion de fertilisation	2
1.1.1 Raisons d'une fertilisation (FNIE, 1988)	2
1.1.1.1 Loi du minimum ou d'interaction	2
1.1.1.2 Loi des accroissements moins que proportionnels.....	2
1.1.1.3 Loi de restitution ou des avances	2
1.1.1.4 Prélèvements en éléments minéraux	3
1.1.2 Fertilisation organique.....	3
1.1.3 Amendements	3
1.1.4 Fertilisation minérale.....	4
1.1.4.1 Rôle des éléments majeurs N, P et K.....	4
1.1.4.2 Les éléments secondaires	6
1.1.4.3 Oligoéléments	6
1.1.5 Engrais minéraux employés en riziculture	7
1.1.5.1 Classification en fonction de la formulation.....	7
1.1.5.2 Classification selon le nombre d'éléments fertilisants contenu dans l'engrais	8
1.2 Notion de luttes contre les mauvaises herbes.....	9
1.2.1 Les mauvaises herbes	9
1.2.1.1 Origine des mauvaises herbes	10
1.2.1.2 Nuisance directe des mauvaises herbes	10
1.2.1.3 Nuisance indirecte des mauvaises herbes	11
1.2.2 Lutte contre les plantes adventices.....	11
1.2.2.1 Lutte mécanique contre les mauvaises herbes	12
1.2.2.2 Lutte chimique contre les adventices	13
1.3 Notion de produits herbicides	13
1.3.1 Classification des herbicides	13
1.3.1.1 Classification selon l'effet obtenu	13
1.3.1.2 Classification selon le mode d'action	15
1.3.1.3 Classification selon l'époque d'application	15
1.3.2 Avantages du désherbage chimique	16
1.4 Conclusion partielle	18
2 RIZ ET CULTURE	19
2.1 Importance du riz	19
2.1.1 Au niveau mondial	19
2.1.2 Au niveau national.....	19
2.2 Stades essentiels et modes de culture du riz	20
2.2.1 Physiologie du riz.....	21
2.2.1.1 Phase végétative.....	21
2.2.1.2 Phase reproductive	22
2.2.2 Modes de culture de riz	22
2.2.2.1 Système de riziculture aquatique	22
2.2.2.2 Système de riziculture à régime pluvial	24
2.3 Ennemis de la culture de riz et luttes.....	25
2.3.1 Insectes ravageurs importants (PLI, 1989 et DPV, 1990).....	26
2.3.1.1 Poux de riz : pou inerte et pou épineux.....	26

2.3.1.2	Borer blanc	27
2.3.1.3	Chenilles défoliatrices.....	28
2.3.2	Principales maladies	28
2.3.2.1	Panachure jaune	28
2.3.2.2	Pyriculariose	29
2.4	Opérations culturales associées à la riziculture.....	29
2.4.1	Travaux de préparation du sol	29
2.4.2	Fertilisation de la rizière.....	29
2.4.3	Travaux de pépinière et repiquage	29
2.4.4	Lutte contre les ennemis de la riziculture.....	30
2.4.4.1	Contre les insectes.....	30
2.4.4.2	Contre les maladies	30
2.4.4.3	Lutte intégrée	30
2.4.5	Gestion de l'eau.....	31
2.5	Conclusion partielle	32
3	SITUATION DE LA RIZICULTURE AU LAC ALAOTRA	33
3.1	Milieu physique de la zone d'étude	33
3.1.1	Localisation	33
3.1.2	Conditions climatiques de la zone d'étude.....	33
3.1.3	Sol et hydrographie	35
3.2	Production rizicole au Lac Alaotra	35
3.3	Herbicides et engrais dans le Lac Alaotra.....	37
3.3.1	Niveau d'utilisation des pesticides en riziculture.....	37
3.3.2	Facteurs limitant l'emploi des pesticides et engrais minéraux.....	38
3.4	Problèmes rencontrés des riziculteurs dans l'Alaotra.....	39
3.4.1	D'ordre socio économique	39
3.4.2	D'ordre climatique	39
3.4.3	D'ordre technique.....	39
3.5	Conclusion partielle	40
4	METHODOLOGIE DE TRAVAIL.....	41
4.1	Problématique et hypothèses	41
4.1.1	Problématique.....	41
4.1.2	Hypothèses	41
4.2	Matériel utilisé dans les essais.....	41
4.2.1	Matériel végétal	41
4.2.2	Insecticide et fongicides	42
4.2.2.1	Insecticide	42
4.2.2.2	Fongicide.....	42
4.2.3	Conduite de culture	42
4.2.3.1	Pré germination des semences	42
4.2.3.2	Pépinière	42
4.2.3.3	Repiquage des plants.....	42
4.2.3.4	Gestion de l'eau	43
4.2.3.5	Récolte	43
4.2.4	Particularités des deux essais	43
4.3	Essai sur la fertilisation	44
4.3.1	Choix des doses d'engrais	44
4.3.2	Conduite des essais de doses d'engrais minéraux	45
4.3.3	Dispositif expérimental	45
4.3.4	Méthode d'évaluation.....	45
4.4	Essai de désherbage.....	45
4.4.1	Choix des méthodes de traitements	45

4.4.2	Conduite du traitement de désherbage	46
4.4.2.1	Application herbicides	46
4.4.2.2	Sarclage.....	46
4.4.3	Dispositif expérimental	47
4.4.4	Méthode d'évaluation.....	47
4.4.5	Paramètres quantifiés	47
4.5	Conclusion partielle	48
5	RESULTATS.....	49
5.1	Résultats des essais de doses d'engrais	49
5.1.1	Résultats des essais de différentes doses d'engrais	49
5.1.1.1	Nombre de talles par touffes	49
5.1.1.2	Rendement moyen de paddy en kg/ha	50
5.1.2	Analyses économiques des essais doses d'engrais.....	50
5.1.2.1	Marge brute	51
5.1.2.2	Etude du rapport gain net en paddy sur coût de l'engrais.....	52
5.1.2.3	Productivité de la main d'œuvre	53
5.2	Résultats des essais de différentes méthodes de lutte contre les adventices	54
5.2.1	Population de mauvaises herbes présente sur les parcelles	54
5.2.1.1	Famille des Graminées.....	54
5.2.1.2	Famille des Cypéracées (<i>DPV, 1990</i>)	56
5.2.1.3	Autres familles	56
5.2.2	Résultats des essais de désherbage.....	57
5.2.2.1	Efficacité des traitements de désherbage sur les adventices.....	57
5.2.2.2	Nombre de talles par touffe.....	59
5.2.2.3	Rendement moyen de paddy en kg/ha	60
5.2.3	Analyses économiques	60
5.2.3.1	Etude de la marge brute	60
5.2.3.2	Etude du rapport valeur de la production– coût du traitement de désherbage.....	62
5.2.3.3	Etude de la productivité des traitements de désherbage	63
5.3	Conclusion partielle	64
6	INTERPRETATION DES RESULTATS ET PROPOSITION D'AMELIORATIONS.....	65
6.1	Limites du travail.....	65
6.1.1	D'ordre socio économique	65
6.1.2	D'ordre technique.....	65
6.2	Interprétation des résultats et recommandations	66
6.2.1	Doses croissantes d'engrais minéraux.....	66
6.2.2	Comparaison de différentes méthodes de lutte contre les adventices	66
6.3	Relation existante entre engrais minéraux et lutte contre les adventices	67
6.4	Proposition d'améliorations.....	68
6.5	Conclusion partielle	70
	CONCLUSION GENERALE.....	72
	BIBLIOGRAPHIE.....	73

LISTE DES ANNEXES

Annexes 1 : Physiologie du riz	
Annexes 2 : Herbicides et mauvaises herbes	
Annexes 3 : Itinéraires techniques de culture	
Annexes 4 : Carte administrative	
Annexes 5 : Facteurs de conversion entre les éléments, leurs composés et leurs ions	
Annexes 6 : Production rizicole	
Annexes 7 : Recensement agricole 2006	
Annexes 8: Résultats issus des essais de dose d'engrais	
Annexes 9 : Mode de calculs économiques dans l'essai de désherbage	
Annexes 10 : Durée des opérations culturales pour chaque dose d'essai engrais en hj	
Annexes 11 : Résultats des essais de méthodes de désherbage	
Annexes 12 : Mode de calculs économiques dans les différentes méthodes de désherbage	
Annexes 13: Etude de la durée des travaux culturaux pour chaque type de désherbage	

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Nombre total de talles émises en fonction du temps	21
Figure 2 : Poux de riz et dégâts Figure 3 : M.Separatella R	26
Figure 4 : Courbe ombrothermique de Gaussen	33
Figure 5 : Carte pédologique de la région d'Alaotra (PRD).....	34
Figure 6 : Rizière de l'Alaotra dominée par le riz irrigué	36
Figure 7 : Nombre moyen de talles par touffe	49
Figure 8 : Classement des rendements en fonction de la dose d'engrais	50
Figure 9 : Valeur ajoutée de différentes doses d'engrais.....	51
Figure 10 : Répartition des charges selon les traitements	52
Figure 11 : Clichés des plantes adventices relevées sur les parcelles d'essai.....	55
Figure 12 : Effets du sarclage sur les adventices.....	58
Figure 13 : Résultats des nombres de talles	59
Figure 14 : Rendements en fonction des traitements.....	60
Figure 15 : Valeur ajoutée.....	61
Figure 16 : Répartition des charges dans les différentes luttres contre les mauvaises herbes.....	61
Figure 17 : Comparaison des valeurs produites par les investissements en engrais et en désherbage	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Quantité d'éléments nutritifs prélevée par le riz en kg /ha	3
Tableau 2 : Assimilation optimum des éléments nutritifs selon le pH	4
Tableau 3 : Effets induits par les éléments chimiques sur riz et dépendance (Marovoay).....	6
Tableau 4 : Caractéristiques techniques de quelques engrais utilisés en riziculture à Madagascar	8
Tableau 5 : Pertes de rendement sur culture de riz dans le monde	11
Tableau 6 : Production de riz en fonction du moment d'intervention et du nombre de sarclage..	12
Tableau 7 : Herbicides utilisés en riziculture à Madagascar	14
Tableau 8 : Sensibilité des plus importantes mauvaises herbes du riz vis-à-vis des herbicides usuels.....	17
Tableau 9 : Superficies et productions rizicoles de 1999 à 2002 des provinces	20
Tableau 10 : Condition requise de température de culture de riz (en °C).....	20
Tableau 11 : Nombre de talles fertiles selon le nombre de brin par touffe (écartement 20x20cm)	23
Tableau 12 : Résumé des différents systèmes de riziculture en irrigué	25
Tableau 13 : Résultats des analyses du sol sur horizon 0- 30cm.....	35
Tableau 14 : Superficie par type de riziculture dans la région d'Alaotra Mangoro	37
Tableau 15 : Statistiques de la lutte contre les adventices et la fertilisation des rizières	37
Tableau 16 : Utilisation et accès aux engrais chimiques par région agro écologique	38
Tableau 17 : Niveau en éléments fertilisants des traitements à l'hectare.....	44
Tableau 18 : Codes pour l'estimation de recouvrement global des espèces.....	47
Tableau 19 : Tableau récapitulatif des durées moyennes des travaux en homme- jour par ha...	53
Tableau 20 : Résultats des traitements herbicides	57
Tableau 21 : Rapport du gain en paddy sur coût du désherbage.....	62
Tableau 22 : Résumé de la durée des travaux culturels en homme jour /ha	63
Tableau 23 : Comparaison des besoins en main d'œuvre en fonction des types de désherbage	68

INTRODUCTION

Nombreux sont les interventions gouvernementales dans le domaine de la riziculture à Madagascar et le Lac Alaotra figure parmi les zones les plus privilégiées. On consent, en effet, que cette zone recèle une immense plaine favorable à la riziculture. Le riz est une céréale exceptionnelle pour les malagasy, il constitue la base de la politique nationale d'autosuffisance alimentaire et celle de la stratégie d'exportation de riz de luxe. Il faut cependant bien noter que le rendement de cette plante se situe à un niveau faible de 2,2 T/ha (FAO, 2003). Cela parce que le niveau d'utilisation d'engrais minéraux et des herbicides l'est aussi. La riziculture, par conséquent, s'apparente comme une culture très peu rentable et qui nécessite une quantité incroyable de main d'œuvre. Cette situation conduit certains riziculteurs à abandonner les entretiens consacrés à la riziculture et limite leur intervention au repiquage et à la récolte. Vingt huit pourcent des rizières à Madagascar ne font l'objet de lutte contre les adventices à part la submersion et 84% sans fertilisation (Recensement agricole, 2004-2005).

Mais les acteurs au service du développement agricole tels la Société des Engrais et de Produits Chimiques de Madagascar (SEPCM) sont déterminés à démontrer aux riziculteurs que les investissements en engrais et en produits phytosanitaires comme les herbicides sont profitables. Afin que les zones productrices de riz puissent se rendre compte de cet excédent de rendement permis par l'intensification agricole, cette société a installé une parcelle de démonstration d'utilisation d'engrais minéraux et de produits herbicides sur culture de riz au Lac Alaotra. Ce mémoire intitulé "Contribution à l'intensification de l'agriculture de Madagascar, cas de la riziculture au Lac Alaotra" est inclus dans cet essai sur le riz.

Ce mémoire comprend deux grands volets. Le premier concerne des travaux bibliographiques qui se subdivisent en :

- études de la fertilisation et lutte contre les mauvaises herbes en riziculture
- riz et culture, domaine qui expose l'importance du riz, sa physiologie, les différents systèmes de riziculture, les ennemis de la culture de riz et les opérations culturales.
- situation de la riziculture au Lac Alaotra : elle comprend le milieu physique de la zone d'étude avec sa production rizicole, le niveau d'utilisation des intrants en riziculture et les problèmes rencontrés par les riziculteurs.

Le second volet traite la méthodologie du travail accompagnée des résultats des expérimentations. Il se subdivise en :

- méthodologie de travail et matériel utilisé dans les essais
- résultats des essais de doses d'engrais avec analyses économiques
- résultats des essais de méthodes de désherbage accompagnés des analyses économiques
- Interprétation des résultats, limites du travail et proposition d'amélioration.

1 GENERALITES SUR LA FERTILISATION ET LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES EN RIZICULTURE

1.1 Notion de fertilisation

“La fertilisation consiste à rendre un sol potentiellement apte à produire des meilleures récoltes aussi bien du point de vue quantité que qualité, en tenant compte de la rentabilité économique” (RABEZANDRINA, 2004).

“Gérer la fertilité d’un sol, c’est lui appliquer les techniques qui lui permettront de produire abondamment, mais aussi d’améliorer sa fertilité à long terme ” (GRET, 1990).

Etant le facteur déterminant du rendement de toutes cultures, l’entretien de la fertilité du sol doit être réalisé en fonction de la culture à installer et de la richesse du sol en éléments fertilisants. Il devient fondamental de fertiliser les rizières puisqu’elles s’épuisent plus vite en monoculture de riz sur plusieurs dizaines d’années. Les trois lois suivantes exposent la nécessité de maintenir la fertilité d’un sol donc aussi celle d’une rizière.

1.1.1 Raisons d’une fertilisation (FNIE, 1988)

1.1.1.1 Loi du minimum ou d’interaction

Loi du minimum ou loi de LIEBIG *“ l’importance du rendement d’une récolte est déterminée par l’élément qui se trouve en plus faible quantité par rapport aux besoins de la culture”*. Cette loi souligne l’importance du phénomène de carence en un élément qui va dicter le niveau du rendement. Cette loi évolue en : *“chaque facteur de production est d’autant plus efficace que les autres sont plus près de leur optimum”* c’est la loi d’interaction.

1.1.1.2 Loi des accroissements moins que proportionnels

Loi des accroissements moins que proportionnels ou loi de MITSCHERLICH. *“Quand on apporte au sol des doses croissantes d’un élément fertilisant, les augmentations de rendements obtenus sont de plus en plus faibles au fur et à mesure que les quantités apportées s’élèvent”*. Cette loi cite la distinction entre le rendement maximum théorique et celui de l’optimum.

1.1.1.3 Loi de restitution ou des avances

Les prélèvements en éléments fertilisants du sol faits par la plante se traduisent par l’abondance de biomasse végétale et la quantité de récolte exportée sur le terrain de culture. Les pertes par

lessivage essentiellement de N, S, MgO viennent s'ajouter à ceux-ci. Ces exportations doivent être compensées par des restitutions pour éviter l'épuisement du sol.

1.1.1.4 Prélèvements en éléments minéraux

La quantité de biomasse produite par le végétal est proportionnelle au prélèvement en éléments nutritifs dans le sol. Seuls les apports au sol (apport minéral équilibré, plus la restitution des résidus de récolte), garantissent la pérennisation de l'exportation.

Tableau 1 : Quantité d'éléments nutritifs prélevée par le riz en kg /ha

(FAO/ IMPHOS, 2003)

Production de paddy /ha	Eléments minéraux prélevés dans le sol en kg/ha							
	Azote	Phosphore		Potassium				
	N	P ₂ O ₅	P	K ₂ O	K	Ca	Mg	S
3000 kg/ha	50	26	11	80	66	-	-	-
6000 kg/ha	100	50	22	160	133	19	12	10

Ainsi, dans le tableau 1, pour doubler le rendement en paddy, le riz double son exportation en éléments minéraux en plus des Ca, Mg, et S. Donc un niveau de fertilité du sol qui doit receler davantage d'éléments nutritifs par le biais de la fertilisation.

1.1.2 Fertilisation organique

Le rôle essentiel d'une fertilisation organique réside dans l'amélioration de la stabilité de la structure du sol. L'humus stimule l'activité des microorganismes et augmente la capacité d'échange cationique. Par son effet, l'assimilation des éléments minéraux (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺) est favorisée par la combinaison appelée système intégré de nutrition des plantes (GROS, 1967). Un apport maximum de fumier organique jusqu'à 20 t/ha est souhaitable pour renforcer le complexe argilo- humique des tanety. Mais on doit également apporter de la matière organique en rizière. La diminution de l'effectif bovin sous l'effet de vols de zébus et causée par la mauvaise exploitation du pâturage limite l'apport de cette matière.

1.1.3 Amendements

Bien que fondamentalement apportés sur tanety en correction de l'acidité, on peut apporter sur rizière de la dolomie agricole ou bicarbonate double de calcium et magnésium ou Ca Mg (CO₃)₂. Elle permet d'activer la vie microbienne du sol, les calcium et magnésium qu'elle renferme, sont des éléments secondaires nécessaires pour les plantes.

Un pH variant du légèrement acide à neutre favorise l'assimilation des éléments nutritifs (tableau 2). Il est ainsi nécessaire de faire un apport de dolomie en rizière si le pH étant très acide. Deux mille cinq cent kg/ha en 7ans de 350 kg/ha/an ou 1T/ha en 3ans en épandage de 333 kg/ha/an. Ces amendements permettent d'aboutir à une production supplémentaire de 700- 800 kg/ha (ANGLADETTE, 1965).

Tableau 2 : Assimilation optimum des éléments nutritifs selon le pH

(GROS, 1967)

Eléments	pH optimum de l'assimilation
Azote	6 à 8
Acide phosphorique	6,25 à 7
Potasse, Soufre	6 à 8,5
Calcium et Magnésium	7 à 8,5
Fer, Manganèse	4,5 à 6
Bore, Cuivre, Zinc	5 à 7
Molybdène	7 à 8,5

1.1.4 Fertilisation minérale

Une augmentation de la quantité d'intrants appliquée aux sols des rizières ou sur les plantes affecte à la fois la productivité du travail et la production. Différents éléments minéraux sont appliqués directement au sol à savoir les éléments majeurs et secondaires. Mais les oligoéléments s'appliquent généralement sur les feuilles.

1.1.4.1 Rôle des éléments majeurs N, P et K

DOBELMANN (1976) souligne l'importance du rôle de la fumure minérale en pépinière, la fertilisation minérale a pour but d'abrèger le cycle semis– repiquage et d'obtenir des plants vigoureux. En rizière, une fertilisation minérale bien répartie alimente le végétal en fonction de son stade de développement.

a. L'azote (N)

L'azote, "*pivot de la fertilisation*" élément dont l'action est la plus rapidement efficace. Sur pépinière, le jeune plant de riz vit exclusivement des réserves de la graine pendant 10 jours, après cette phase il doit trouver dans le milieu cet élément essentiel pour son épanouissement.

Agissant seule en rizière à de dose élevée, elle favorise la verse des céréales et retarde la maturité. Les plantes sont, dans ce cas, en état de bonne végétation mais elles restent très

fragiles. Et du fait de l'allongement de la végétation, on a un mauvais remplissage des grains. Caractérisé par plusieurs phénomènes de perte, l'azote doit être fractionné en 3 apports : au moment du repiquage, en cours de tallage après une lutte contre les adventices, et en montaison. 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 le semis et un autre après une vingtaine de jours après repiquage. Les graines contiennent lors de la récolte 73- 75% de l'azote de la plante (ANGLADETTE, 1965).

- Sous forme ammoniacale, on assiste aussi à une forte capacité de tallage et à un rendement plus élevé pendant la période végétative jusqu'à l'initiation florale. Il influe ainsi, beaucoup plus sur le rendement en paille. En submersion, l'azote ammoniacal est assimilé avant d'être nitrifié.
- C'est sous forme nitrique qu'il offre de meilleurs résultats sur l'élongation et la phase reproductive. Sur rizière, l'urée est transformée en quelques jours dans le sol en état ammoniacal. Sa particularité réside dans sa vitesse d'hydrolyse.

b. Le phosphore (P_2O_5)

L'acide phosphorique tient certainement le rôle le plus déterminant dans la croissance du riz et des racines à condition qu'il soit complété par un engrais azoté. Il permettra d'avoir de plants vigoureux résistant aux maladies.

Avec l'azote, la fumure phosphatée constitue les bases importantes de la fertilisation pour cette céréale et permet d'obtenir un tallage actif (ARTAUD, 1979).

Les migrations de P_2O_5 sont, essentiellement, en corrélation avec l'augmentation dans les racines, du phosphate organique soluble dans les acides. L'absorption de P est due à la respiration et la synthèse des protéines. Le caryopse contient 76 à 89% (ANGLADETTE, 1965) de l'acide phosphorique total de la plante. Une déficience en P conduit à une réduction en hauteur, nombre des talles et la synthèse des protéines.

c. Le potassium (K_2O)

Sans apport azoté, l'action du potassium et du phosphore se voit sensiblement sur la végétation. Le potassium favorise l'enracinement et augmente la résistance des végétaux contre le froid et aux maladies comme la pyriculariose.

Bien que répondant très peu au rendement du riz, on peut assister aux carences en potasse sur doubles cultures intensives avec des variétés à haute productivité. On peut remédier aux pertes en potassium dans les rizières, essentiellement par drainage latérale, en l'apportant sous forme d'engrais minéraux et en retournant au sol les pailles de riz brûlées. On doit prendre en considération l'efficacité de la complémentarité des éléments NPK ternaires dans l'apport sur

rizière (tableau 3) sauf cas des périmètres rizicoles à régime "baiboho" qui peuvent se procurer en potassium grâce aux micas apportés par le fleuve. Des engrais binaires, dans ce cas, devront constituer la fumure de fond. Elle est plus liée au métabolisme des acides nucléiques qu'avec la respiration. L'absorption en cet élément au cours de la croissance est maximum 4 à 5 semaines après semis et aussi après le repiquage.

Tableau 3 : Effets induits par les éléments chimiques sur riz et dépendance (Marovoay)
(RAKOTOARISOA et al, 1987)

Effets simples		Effets des interactions	
N	22%	NPK + Oligoéléments	100%
P	33%	NP + Oligoéléments	65%
K	21%	PK + Oligoéléments	63%
Oligoéléments	40%	NK + Oligoéléments	50%
		NPK	43%
Par rapport au témoin avec fumure NPK 60-60-60 et oligoéléments		Par rapport au témoin absolu	

Ces tests d'effets simples mais directs réalisés sur le riz à Marovoay (tableau 3) démontrent l'utilité des apports NPK dans la riziculture quoique cette zone diffère par plusieurs points de l'Alaotra. On conclura que chaque élément majeur occupe une place particulière au niveau de la plante et la réalisation du rendement maximum ne peut avoir lieu que si la loi de Liebig soit respectée.

1.1.4.2 Les éléments secondaires

Etant des éléments des cations flocculants, les Ca et Mg permettent d'activer la vie microbienne du sol en se fixant en plus grand nombre sur le complexe. Ils font repasser en solution d'autres cations nutritifs qui deviennent utilisables par la plante. L'amendement sert de correction de pH afin d'avoir un meilleur effet des engrais, généralement sur tanety, mais également sur rizière quand on a des *pH* suffisamment acides.

1.1.4.3 Oligoéléments

Les oligoéléments, parmi lesquels B, Cu, S, Cl, Fe, Mn, MO, Zn ont chacun leur rôle respectif dans la croissance de la plante et dans la détermination du rendement. Ces éléments peuvent se trouver en état de carence dans la plante. Un apport démesuré aboutit par contre à un phénomène de toxicité.

En rizière, S et Zn influent particulièrement sur le rendement. Le soufre entre dans la composition de certains acides aminés indispensables aux êtres vivants (méthionine, cystine), d'enzymes, il est donc un élément essentiel à la synthèse des protéines. Une migration de S de la tige et les feuilles vers les panicules se déroule au fur et à mesure de la croissance de la plante. La carence en Soufre et en azote se manifeste pendant les mêmes périodes de la végétation. Chaque élément minéral tient un rôle non négligeable dans l'élaboration du rendement en particulier les éléments majeurs N, P, K mais aussi les oligoéléments.

Un apport de Zn, par exemple, augmente le nombre de talles de 5% et le rendement de 7%. Un apport de bore augmente le rendement en paddy de 2% (RAKOTOARISOA et *al*, 1987). Les apports d'oligoéléments méritent une réflexion particulière en riziculture irriguée étant donné qu'ils constituent un facteur limitant le rendement (tableau 3).

1.1.5 Engrais minéraux employés en riziculture

On classe les engrais minéraux en fonction de la formulation et en fonction du nombre d'éléments fertilisants contenu dans l'engrais.

1.1.5.1 Classification en fonction de la formulation

a. Les engrais granulés

Cette formulation est la forme la plus connue et commune des engrais minéraux. Ils se présentent sous forme de granule de dimension moyenne 2 à 4 mm (tableau 4).

b. Les engrais liquides

Comme application foliaire, ce sont des engrais à action très rapide sur la végétation. Un engrais liquide renferme en plus des éléments majeurs NPK des oligoéléments nécessaires à la croissance et au développement de la plante (cas de FERTIGOFOL 313, tableau 4). La plupart du temps, les engrais liquides sont des engrais ayant un effet activateur ou de rattrapage qui contiennent les éléments majeurs NPK d'ordre de g/l soit 2 à 8,83 % du produit total comme les oligoéléments tels que B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn à la dose de mg/l soit 0,10 à 0,4% de la solution entière (HARTMANN, 2005).

Tableau 4 : Caractéristiques techniques de quelques engrais utilisés en riziculture à Madagascar

ENGRAIS GRANULES		ENGRAIS SIMPLE	ENGRAIS BINAIRE	ENGRAIS TERNAIRE
		UREE 46%	DAP	NPK 11.22.16
	Présentation	Perles blanches	Granulée	Granulée traitée en surface
	Granulométrie	90% entre 1 à 3,5 mm	90% entre 2 et 4 mm	85% entre 2 et 4 mm
	Formule chimique	CO (NH ₂) ₂	(NH ₄) ₂ HPO ₄	
	Composition	N : 46 unités 100% solubles dans l'eau	N : 18% P ₂ O ₅ : 46%	N : 11% P ₂ O ₅ : 22% K ₂ O : 16%
	Forme des éléments	Synthèse à partir d'ammoniac et CO ₂	P ₂ O ₅ : 46% phosphate total soluble dans l'eau + citrate d'ammonium P ₂ O ₅ : 43% phosphate soluble dans l'eau	Azote total (N) : 11% Azote ammoniacal : 7,8% Azote nitrique : 3,2% Phosphate (P ₂ O ₅) : 22% soluble dans le citrate d'ammonium de 21,6% soluble dans l'eau Potasse (K ₂ O) : 16% soluble dans l'eau. Dérivé de chlorure de potasse
	Humidité	1% max	1% max	1% max
ENGRAIS LIQUIDE	FERTIGOFOL 313	Eléments	Teneur en éléments fertilisants	Concentration
		N	8,83 %	105 g/l
		P ₂ O ₅	2,70 %	32 g/l
		K ₂ O	7,02 %	83 g/l
		MgO	0,11 %	1,3 g/l
		B	0,42 ‰	500 mg/l
		Cu	0,12 ‰	140 mg/l
		Fe	0,21 ‰	250 mg/l
		Mn	0,42 ‰	500 mg/l
		Mo	0,42 ‰	500 mg/l
		Zn	0,34 ‰	400 mg/l

Source : HARTMANN, 2005

1.1.5.2 Classification selon le nombre d'éléments fertilisants contenu dans l'engrais**a. Les engrais simples**

Ils ne renferment qu'un élément fertilisant. Il y a des engrais phosphatés ; azotés ; et potassiques simples. L'urée ou CO (NH₂)₂ en est un exemple proche titré à 46% d'azote (tableau 4). Il est obtenu par synthèse de l'ammoniac et du gaz carbonique. Très soluble, l'urée se transforme

rapidement en CO₂ et azote ammoniacal qui évoluera vers la forme nitrique. On peut aussi citer les phosphates triples ou (PO₄H₂)₂Ca, H₂O titrés à 38% de P₂O₅.

b. Les engrais composés

Une fertilisation rationnelle implique, en général, l'apport à chaque culture d'une fumure associant azote, phosphore, potassium en une ou plusieurs fois dans l'année. Les éléments fertilisants se trouvant dans une forme d'engrais sont épandus en une seule fois principalement en fumure de fond. Selon les procédés de fabrication, on a des engrais complexes et les engrais composés de mélange ; des engrais binaires et ternaires.

On peut avoir des engrais composés complexes directement par réaction chimique entre matières premières et produits intermédiaires. Il existe ainsi des engrais NPK, NK, NP ou PK complexes se présentant sous forme de produits granulés. On peut citer deux engrais binaires phosphatés à savoir : le DiAmmonium Phosphate [DAP ou (NH₄)₂ HPO₄] titré à 18% N et 46% P₂O₅ (tableau 4) et le phosphate monoammonique [MAP ou (NH₄) H₂PO₄] titré à 11%N et 51% P₂O₅. Des engrais ternaires comme le NPK 11.22.16 (tableau 4) et le NPK 16.16.16 mais aussi le NPK 13.13.20 + 2MgO.

- Engrais composés de mélange : obtenus par mélange physique d'engrais simples sous forme solide, introduits à l'état brut, après mouture et tamisage. Le mélange est fait de manière homogène et stable.

1.2 Notion de lutttes contre les mauvaises herbes

1.2.1 Les mauvaises herbes

Les mauvaises herbes ou plantes adventices sont des végétaux qui poussent dans les terrains de culture sans y avoir été semées ou plantées par l'homme (MARX et al, 1995). Elles peuvent être : annuelles, bisannuelles ou vivaces.

- Les adventices annuels se multiplient principalement par graines, conservées dans le sol, et sont transportées par le vent ou l'eau d'irrigation. Leurs graines entrent en dormance quand elles sont enfouies dans le sol par le labour, c'est le cas d'*Ischaemum rugosum*.
- Les mauvaises herbes bisannuelles se reproduisent par graines ou par voie végétative. La durée du cycle est supérieur à un an mais ne dépasse pas deux ans. Au cours de la deuxième année se développent la tige, les fleurs, les graines puis la plante meurt, c'est surtout les cas des mauvaises herbes en riziculture pluviale par exemple *Desmodium sp.*

- Les vivaces se multiplient généralement par voie végétative en plus de la multiplication par graines. Ce sont des plantes à rhizomes, à stolons, à bulbes ou à souches qui résistent souvent aux herbicides et lutte mécanique. Leur partie souterraine épargnée par ces opérations repoussent, ce sont les cas de *Cyperus rotundus* et *Oryza longistaminata*. Ces plantes peuvent donner des fleurs et des fruits durant plusieurs années consécutives.

1.2.1.1 Origine des mauvaises herbes

Les plantes adventices ont plusieurs origines et se disséminent principalement par le vent et l'eau d'irrigation. L'eau d'irrigation transporte les graines des espèces d'*Echinochloa*, des graines de cypéracées et des graminées comme celles d'*I. rugosum*. Les semences des mauvaises herbes sont présentes dans les semences des plantes cultivées et dans le fumier. Le labour mécanique sectionne en plusieurs morceaux les adventices rhizomateuses.

Mais la multiplication est affectée principalement par la biologie des adventices, elle-même. Biologie, caractérisée par un nombre élevé de graines produites (8000 à 40000 graines au m² sur une couche de 20 cm).

Le stock de semences de mauvaises herbes du sol est alimenté par une pluie de graines capables de germer rapidement suite à des stimuli différents (température, pluie, humidité, oxygène...) agissant de façon interactive. Chaque espèce répond différemment à ces stimuli et c'est ainsi que se détermine leur longévité.

1.2.1.2 Nuisance directe des mauvaises herbes

On appelle aussi les mauvaises herbes *commensales* puisqu'elles exercent sur les plantes cultivées une action dépressive très importante, imputable pour une grande part à la concurrence nutritionnelle en particulier l'azote et l'eau. Les adventices sont dotées de formes de résistance et de réserve diverses vis-à-vis de l'eau : pilosité des organes aériens, enracinement profond, rhizomes, tubercules, tiges grasses.

Elles privent partiellement d'air et de lumière en créant un effet d'ombrage aux plantes cultivées (MARX et al, 1995). En effet, elles se développent plus rapidement que les plantes cultivées, ceci entraîne une réduction de la lumière disponible à la plante. Elles occupent les espaces radiculaires souterraines et par conséquent limitent le phénomène de tallage.

On estime les pertes entraînées par la pression des mauvaises herbes variables selon les types de cultures concurrencées, des espèces adventices présentes sur la culture, du stade de développement de la culture affecté par l'enherbement.

Tableau 5 : Pertes de rendement sur culture de riz dans le monde

(FAO/IMPHOS, 2003)

<i>Pertes dues aux</i>	<i>Adventices</i>	<i>Ravageurs</i>	<i>Maladies</i>
<i>Sans protection phytosanitaire</i>	33,6 %	28,8 %	20,8 %

D'après le tableau 5, ce sont les adventices qui sont les plus redoutables si on n'applique pas la protection phytosanitaire, elles impliquent une perte de 33,6%.

Les causes sont liées à l'efficacité des traitements, en particulier l'application (moment, façon, dose, la cohérence entre type d'ennemi et produits utilisés). Les pertes occasionnées par les adventices peuvent osciller entre 25- 60% ou plus selon RABEZANDRINA (1997). Malgré des traitements chimiques sur rizières irriguées, RANDRIAMAMPIANINA (1991) parle du degré d'enherbement au Lac Alaotra sur un taux total de recouvrement moyen de 40- 50% contre 70% sans herbicides.

1.2.1.3 Nuisance indirecte des mauvaises herbes

Les mauvaises herbes constituent le foyer de nombreux insectes ravageurs terrioles, aériens vecteurs de maladies cryptogamiques. Elles peuvent être le foyer de développement des maladies. Elles gênent les travaux manuels de récolte et la dévalorisent en polluant la récolte. Au vu des dégâts provoqués par les mauvaises herbes, le désherbage tient un rôle capital dans la riziculture et le choix de lutte contre ces plantes doit être judicieux.

1.2.2 Lutte contre les plantes adventices

Face à l'existence des plantes adventices sur les terrains de culture, la première réaction commune que partageant les agriculteurs est de les détruire. On a la possibilité d'arracher les plantes adventices à la main ou à l'aide de sarcluse, c'est la destruction par des moyens physiques mais il y a également la lutte chimique. Mais, le désherbage fait de routine, ainsi que le désherbage irrationnel visant à la destruction totale des adventices dans un but esthétique, est imprudent et irrationnel. Il faut suffire de réussir le traitement pendant les phases sensibles de la plante.

Le seuil de nuisibilité des adventices est fonction de la densité de population, de l'espèce d'adventices, du degré d'infestation et la compétitivité de la culture. Pour le riz, les dégâts causés par les adventices sont sévères sur jeunes plants âgés de mois de 45 jours (RAHANIRAKA, 2000). Stade durant laquelle il faut contrôler les adventices. Ce stade dépassé, il est inutile de lutter contre les mauvaises herbes.

Dans la lutte préventive, on peut citer les travaux de préparation du sol, la maîtrise de l'eau, le repiquage, la rotation culturale, l'utilisation des herbicides totaux ou des herbicides de préémergence, le technique de semis dense jusqu'à 200 à 250 kg de paddy à l'ha la même que riziculture camarguaise (RABEZANDRINA, 2003).

1.2.2.1 Lutte mécanique contre les mauvaises herbes

La lutte mécanique est classée parmi les mesures curatives. Le sarclage consiste à la suppression mécanique des plantes adventices soit en utilisant des sarcleuses soit en les arrachant à la main dans des délais très courts. La technique de submersion est aussi une méthode usuelle des riziculteurs grâce à laquelle les racines de certaines espèces d'adventice s'étouffent sous l'eau.

L'emploi de la houe requiert une certaine force physique dont les femmes ne sont pas capables, ce qui réduit le nombre disponible en main d'œuvre. En outre, cette opération demande un repiquage en ligne, cause limitant son développement dans le Lac Alaotra où 80% des rizières sont repiquées en tous sens. L'opération nécessite 20- 30 homme- jours par ha.

Pour le sarclage manuel, il faut attendre que les plantes adventices aient une hauteur suffisante pour pouvoir les saisir à la main. Or le nombre et l'époque d'intervention du sarclage (tableau 6) ont une énorme répercussion au niveau du rendement du riz à l'ha. La perte de rendement est de 10% si l'agriculteur intervient précocement et elle peut aller jusqu'à 40% dans le cas d'un sarclage tardif.

Tableau 6 : Production de riz en fonction du moment d'intervention et du nombre de sarclage (RABEZANDRINA, 1995)

	<i>Sarclage précoce</i>	<i>Sarclage tardif</i>	<i>Production escomptée</i>
<i>2 sarclages</i>	X	X	100%
<i>1 sarclage</i>	X		90%
<i>1 sarclage</i>		X	60%
<i>Sans sarclage</i>			40%

Le sarclage, bien que traditionnelle, subsiste pour les raisons suivantes :

- Efficacité partielle du traitement herbicide faute d'uniformité de la pulvérisation. Mais il peut s'agir aussi de la sélectivité de l'herbicide vis-à-vis de certaines espèces.
- Faiblesse de la taille de l'exploitation impliquant une sous évaluation de la main d'œuvre familiale.
- Conditions pédoclimatiques sèches rendant impossible l'usage du traitement herbicide.

1.2.2.2 Lutte chimique contre les adventices

En rizière, on peut appliquer les herbicides totaux avant installation du riz si des adventices s'y développent. Après installation de culture, on peut utiliser les herbicides en préémergence ou postémergence précoce des mauvaises herbes et des herbicides sélectifs.

1.3 Notion de produits herbicides

D'après CHAUX et al (1994) *‘le désherbage chimique consiste à pulvériser sur sol ou sur les adventices développées une substance chimique capable d'empêcher la levée des mauvaises herbes ou les détruire’*. Le désherbage chimique vise donc la destruction des mauvaises herbes à différents stades de leur développement au moyen de produits chimiques appliqués sur le sol ou sur les plantes adventices.

1.3.1 Classification des herbicides

L'emploi des herbicides suppose d'une part une perception des conditions relatives à la plante cultivée et d'autre part les types d'herbicides en tenant compte : du mode d'action, du but, de la composition, de la dose de matière active, et de l'époque d'emploi. Ainsi les herbicides sont appliqués à un dosage efficace contre mauvaises herbes mais inoffensif pour la culture. On classe les herbicides selon trois méthodes (GILBERT, 1978) à savoir :

1.3.1.1 Classification selon l'effet obtenu

a. Des herbicides totaux

Ils ne distinguent le type de végétation développée sur le terrain. Les plus connus, de ce type, sont les glyphosates (ou N-phosphonométhylglycine) sulfosate appartenant à la famille des amino-phosphonates, inhibant la synthèse des acides aminés par inhibition enzymatique de l'énolpyruvyl shikimate phosphate synthétase conduisant à la synthèse des acides aminés aromatiques tels la phénylalanine, tyrosine et tryptophane. Leur lieu d'activité est en général le plaste et tout particulièrement le chloroplaste (COUTEAUX et al, 2005).

b. Des herbicides sélectifs

C'est la sélectivité pour un désherbant de détruire certaines plantes et pas d'autres qui est mise en jeu. L'agriculteur doit obligatoirement rechercher des produits sélectifs lorsqu'il a fini d'installer ses cultures. La sélectivité est dictée par le fait qu'un produit appliqué sur les parties aériennes d'un végétal détruit les cellules. Selon GAUTIER, ils peuvent provoquer une nécrose sur les adventices sans endommager les plantes cultivées (GAUTIER, 1993). Dans les sélectifs, Il existe le classement selon : - La sélectivité physiologique qui repose sur l'absorption du produit, la largeur des feuilles, le port et la nature de l'épiderme ou de la cuticule (exemple : Herbextra 720 SL, tableau 7).

Tableau 7 : Herbicides utilisés en riziculture à Madagascar

Nom commercial	Rifit 500 EC	Alligator 400 EC	Herbextra 720 SL
Matière active	Prétilachlore	Pendiméthaline	2,4 D
Concentration	500 g/l	400 g/l	720 g/l
Formule chimique	$C_{17}H_{26}ClNO_2$ ou Chloro-2 diéthyl-2', 6'-N-(ethyl-2 propoxy) acétanilides	$C_{13}H_{18}O_4N_3$ ou N-(1-éthylpropyl)-2,6-dinitro-3,4-xylidine	$C_8H_6Cl_2O_3$ ou (acide dichloro-2,4 phenoxy) acétique
Classification	Herbicide sélectif utilisé en préémergence ou post émergence précoce des adventices	Herbicide sélectif de position utilisé en préémergence ou en postlevée très précoce des adventices	Herbicide sélectif systémique de postlevée des adventices
Famille ou sous famille	Choloroacétamides ou Chloroacétanilides (1967)	Toluidines ou dinitroanilines (1965)	Acides phénoxy- alcanoniques aryloxyacides (1942)
Action	HERBICIDES INHIBITEURS DE LA SYNTHÈSE DES LIPIDES Par inhibition des élongases et des enzymes de cyclisation du GGPP (Géranyl- géranyl pyrophosphate) conduisant aux gibbérellines	INHIBITEURS DE LA DIVISION CELLULAIRE A LA METAPHASE Blocage de la formation des microtubules du fuseau achromatique par absence de polymérisation de la tubuline	HERBICIDES PERTURBANT LA REGULATION DE L'AUXINE AIA Herbicides auxiniques
Site d'action	Les plastes (chloroplastes) et le réticulum endoplasmique		Pas très connu, la croissance est désordonnée par activation de la division et surtout de l'élongation cellulaire
Pénétration	Organes souterrains entre la germination et la levée. L'absorption par le nœud de la coléoptile est primordiale pour l'activité graminicide	Organes souterrains entre la germination et la levée, un peu foliaire.	Foliaire. Possible absorption racinaire 1 mois (persistance d'action)
Migration	Peu importante	Peu importante	Importante (système)
DJA	0,018 mg/kg/j	0,05mg/kg/j 1 application maximum par an	0,3 mg/kg/j 1 application maximum par an
DL 50 Classement OMS	6 099 mg/kg IV	5 000mg/ kg III	375 mg/kg II

Source : COUTEAUX et al, 2005

- La sélectivité de position où le produit appliqué au sol est absorbé par les particules colloïdales du sol et retenu par les couches superficielles (exemple : Alligator 400 EC, tableau 7). Les plantes adventices devraient, par conséquent, avoir des racines superficielles absorbant presque la totalité du produit. Ce dernier ne peut parvenir à la quantité toxique dans la zone racinaire de la culture dont les racines sont plus profondes.

1.3.1.2 Classification selon le mode d'action

a. Les produits herbicides de contact

Ils pénètrent plus ou moins superficiellement dans les tissus en provoquant leur nécrose, leur action se traduit par un effet de brûlure (MARX et al, 1995). Ces produits n'ont guère la possibilité de pénétrer dans les systèmes conducteurs du végétal. Ils sont très actifs sur jeunes adventices et pratiquement sans effet sur les vivaces rhizomateuses.

b. Les herbicides systémiques

Ils agissent par translocation, absorbés par diverses parties de la plante sur laquelle ils sont appliqués vont exercer une action toxique sur d'autres parties de la plante. En conséquence, les effets ne s'obtiennent qu'après un certain temps de diffusion du produit. Le stade végétatif des adventices joue un rôle important dans le choix et l'efficacité des herbicides.

1.3.1.3 Classification selon l'époque d'application

Un herbicide est choisi en fonction du moment d'intervention qui correspond à un stade végétatif précis de la culture occupant le terrain. L'intervention se réfère ainsi par rapport au semis ou la plantation. On distingue ainsi des herbicides de prélevé et post levé.

a. Les herbicides de prélevé se subdivisent en :

- Herbicides de préémergence résiduels (exemple : Rifit 500 EC, tableau 7). Aussitôt après le semis, ils sont appliqués sur boue humide, persistent sur le sol pendant un temps suffisamment long pour détruire les mauvaises herbes au moment de leur germination ou de leur levée. Ils ne sont pas toxiques à l'égard de la plante cultivée ou sont transformés en produit non toxique avant la levée de celle-ci.

- Herbicides de préémergence dits de contact à action de courte durée ou très rapidement transformés en substance non toxique ou évaporée. Ces produits sont appliqués très peu de temps avant la levée de la plante cultivée pour pouvoir attaquer le maximum de plantes adventices levées.

b. Les herbicides de postlevée

Il existe les herbicides de postlevée : effectués après la levée de la plante considérée qui peut être la culture ou mauvaise herbe. Et les herbicides de postlevée précoce : effectués avant la levée de la culture, mais après celle des mauvaises herbes, associant un herbicide de prélevée et un herbicide de postlevée (MARNOTTE, 2002).

1.3.2 Avantages du désherbage chimique

Soucieux de maintenir la propreté des champs cultivés, on a lancé la lutte herbicide dont l'efficacité dépend de la nature du produit et de son effet vis-à-vis de la plante. Un bon choix d'herbicide permet :

- un nettoyage précoce et rapide sur grande surface à une époque très précise,
- une économie de main d'œuvre par hectare. On réduit la charge de travail consacrée à la maîtrise des mauvaises herbes en facilitant l'organisation du calendrier cultural,
- une homogénéité de la qualité du travail conditionnée par une bonne qualité de planage,
- un nettoyage économique qui mérite d'être particulièrement souligné par le coût relativement faible du traitement à l'ha.

Mais les herbicides, en dehors des totaux, ont en principe une cible très précise, par conséquent l'efficacité du produit ne se traduit pas par une éradication totale et permanente de toute espèce d'adventice. Au cas où il est nécessaire, on peut faire appel à un sarclage manuel complémentaire qui ne demande qu'un petit temps de travail.

La spécificité d'un produit herbicide est un atout du désherbage chimique. En effet, selon la population d'adventices qui se développe en majorité sur les parcelles, on n'a qu'à choisir une molécule capable de les anéantir, c'est-à-dire un traitement économique. D'après le tableau 8, les herbicides ont différentes cibles : le 2,4 D est particulièrement efficace sur les plantes à feuilles larges et sans action sur les graminées (*I. rugosum*, *Echinochloa sp*, *Digitaria*...). La prétilachlore, par contre agit surtout sur les graminées en plus de certaines cypéracées. La pendiméthaline dispose d'un plus large spectre en éliminant nombreuses espèces de graminées et de cypéracées. Le bensulfuron méthyle, a plutôt comme cible certaines cypéracées et les *Echinochloa*. C'est le cas également du propanil en plus de quelques espèces à feuilles larges (*Althernathera*, *Amaranthus*...).

Tableau 8 : Sensibilité des plus importantes mauvaises herbes du riz vis-à-vis des herbicides usuels (IRRI)

Cibles	2,4 D	Pendi méthaline	Prétilachlore	Bensulfuron méthyl	Propanil
<i>Acanthospermum hispidum</i>	S	R	R		
<i>Aeschynomene virginica</i>	S				
<i>Ageratum conyzoides</i>	S				
<i>Alternanthera sessilis</i>	S			S	S
<i>Amaranthus spinous</i>	S	S			S
<i>Ammannia coccinea</i>					S
<i>Bidens pilosa</i>	S				
<i>Brachiaria mutica</i>	R	R			R
<i>Commelina benghalensis</i>	MR	R			R
<i>Cynodon dactylon</i>	R	R		R	R
<i>Cyperus difformis</i>	S	S	S	S	S
<i>Cyperus esculentus</i>	CP	R			R
<i>Cyperus iria</i>	S	S	S	S	S
<i>Cyperus rotundus</i>	R	R		R	R
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	R	S			S
<i>Digitaria sanguinalis</i>	R	S			MR
<i>Echinochloa colona</i>	R	S	S	S	S
<i>Echinochloa crus-gali</i>	R	S	S	S	S
<i>Echinochloa glabrescens</i>	R	S	S	S	S
<i>Eclipta alba</i>	S				MR
<i>Eichornia crassipes</i>	S	R			
<i>Eulisia indica</i>	R	S		R	CP
<i>Eleocharis acicularis</i>			S		S
<i>Euphorbia hirta</i>	CP	MR			
<i>Fimbristylis miliacea</i>	S	S	S	S	S
<i>Imperata cylindrica</i>	R	R			R
<i>Ipomea aquatica</i>	S				
<i>Ischaemum rugosum</i>	R	S	S		S
<i>Leersia hexandra</i>	R	R			
<i>Leptochloa chinensis</i>	R	S	S		MR
<i>Ludwigia octovalvis</i>	S		S		S
<i>Marselia minuta</i>		S	R	S	
<i>Monochoria vaginalis</i>	S	S	S	S	S
<i>Nymphaea minima</i>		S	R	S	
<i>Oryza barthii</i>	R	R			R
<i>Oryza longistaminata</i>	R	R			R
<i>Paspalum distichum</i>	R	R			R
<i>Physalis angulata</i>	R				
<i>Portulaca oleracea</i>	MR	S			S
<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	R			R	MR
<i>Scirpus maritimus</i>	S	R	MR	PC	R
<i>Setaria glauca</i>		S			S
<i>Sphenoclea zeylanica</i>	S	S	S	S	S
<i>Trianthema portulacastrum</i>		S			R

CP : Contrôle partiel

MR : Modérément résistant

R : Résistant

S : sensible

espace vide : non disponible

1.4 Conclusion partielle

La fertilisation occupe une place prépondérante au sein de l'agriculture, elle doit concerner l'état physique du sol c'est-à-dire amélioration de la structure par la fumure organique et ses propriétés chimiques par le chaulage et les apports minéraux. C'est par la fertilisation que l'on compense les prélèvements nécessaires à la croissance et au développement de la plante et les pertes par lessivage et par rétrogradation. Il existe différents types d'engrais granulés bien adaptés à la riziculture comme l'urée 46%, le NPK 11.22.16, et le DAP mais aussi les formes liquides.

Puisque les mauvaises herbes exercent des actions dépressives sur les plantes cultivées, il faut les éradiquer ou, à défaut de moyens efficaces, atténuer leurs actions par différentes manières à savoir : leur destruction mécanique, la submersion par l'eau et les méthodes de lutte chimique.

En connaissant bien le type, la dose, et l'époque optimum de la pulvérisation de ces herbicides, on peut soit bloquer la germination des adventices en utilisant des graminicides en pré émergence, soit les supprimer sans nuire à la plante cultivée en utilisant des produits sélectifs comme le 2,4D. Ce dernier étant un produit spécialement conçu pour tuer les dicotylédones. On peut aussi utiliser un herbicide total en absence de culture.

Il importe de retenir que le type et la forme des engrais minéraux ainsi que ceux des herbicides à utiliser doivent être cohérents au stade de développement du riz.

2 RIZ ET CULTURE

Cette partie traite l'importance du riz et les autres facteurs susceptibles d'influencer son rendement. Elle concerne également les stades physiologiques correspondant aux interventions de l'homme dans le but d'améliorer la production. Elle traite aussi les ennemis du riz et les luttes à entreprendre.

2.1 Importance du riz

2.1.1 *Au niveau mondial*

Importante céréale de plus de la moitié de la population mondiale habitant surtout des pays en voie de développement, la production mondiale de riz ne cesse d'augmenter puisque cette plante a toujours fait l'objet de recherche d'améliorations et de résistance envers les maladies ou insectes. La production mondiale est de 628 millions de tonnes de paddy (FAO, 2005).

2.1.2 *Au niveau national*

Il faut savoir que la plus grande partie de riz est encore produite dans des conditions de culture traditionnelle, souvent soigneuse mais routinière, faisant essentiellement appel à la main d'œuvre humaine. Situation qui constitue généralement un frein à l'augmentation du rendement du paddy à 2,2T/ha.

Le riz étant la nourriture de base des Malagasy, sa culture s'étend sur environ 2 500 000 ha. Il occupe une place essentielle dans l'économie nationale. La part prépondérante des volumes autoconsommés est une caractéristique du secteur rizicole malgache.

La politique actuelle s'oriente vers une stratégie d'autosuffisance alimentaire avec développement d'une capacité d'exportation de riz de luxe, lutte contre la pauvreté structurelle de la population rurale. Ainsi, la filière riz constitue la première activité économique de Madagascar en termes de volume. Elle contribue à hauteur de 12% du PIB en termes courants et de 43% du PIB agricole (estimé à 27% du PIB global).

La production de paddy s'élève à 2,6 millions tonnes en 2002 (tableau 9). Malgré tous les efforts, le rendement confondu est de 2 T/ha. L'augmentation de la production est généralement due à une augmentation de la superficie rizicole.

Tableau 9 : Superficies et productions rizicoles de 1999 à 2002 des provinces
(STATISTIQUE AGRICOLE, 2003)

Faritany/ Greniers	Superficie (ha)				Production (tonne)			
	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002
ANTANANARIVO	194310	194970	195640	196310	523070	524720	560850	524255
FIANARANTSOA	212710	213370	214025	214680	404395	396370	417540	390265
TOAMASINA	334240	334220	335745	337290	683105	594560	706060	710595
MAHAJANGA	220520	220610	220700	220790	548430	558145	559095	570910
TOLIARY	104030	104295	104560	104825	157590	159660	158910	145795
ANTSIRANANA	141690	141835	141980	142125	256510	247010	260010	258145
MADAGASCAR	1207500	1209300	1226500	1216020	2570300	2480470	2662465	2603965

D'après le tableau 9, la province de Toamasina tient la première place en terme de superficie et de production bien que chaque province dispose d'un volume non négligeable en paddy. Les rizières du lac Alaotra occupent une place importante dans cette province.

2.2 Stades essentiels et modes de culture du riz

Il faut noter que le riz est une plante monocotylédone qui pousse dans une large diversité de conditions climatiques vis-à-vis de l'eau, l'altitude, l'ensoleillement et de température. Cette dernière est particulièrement vitale au moment de la germination et au développement ultérieur du riz (tableau 10).

Tableau 10 : Condition requise de température de culture de riz (en °C)
(RASAMIHARIMANANA, 1990)

	Minimum	Optimum	Maximum
Germination	11- 13	30- 35	40
Tallage	15	32- 34	
Epiaison	22- 25	35- 37	
Floraison	15- 20	26- 37	
Pollinisation	-	26- 37	
Maturation	19- 20	30- 32	

Le riz a besoin d'une température optimum de 30- 35°C (tableau 10) pendant les phases végétatives. Pendant les périodes de reproduction, elle baisse un peu (26- 37°C) et reprend sa valeur pour la maturation.

Concernant le besoin en eau, le riz consomme environ 5 000 litres d'eau pour produire 1kg de grains (ARRAUDEAU, 1998). Le riz emploie notablement plus d'eau pour la production d'une calorie que toutes les autres céréales, il lui faut 1000 à 1800 mm de pluie pendant toute la durée du cycle. En culture irriguée, le riz a besoin de 12 000 à 20 000 m³/ha.

2.2.1 Physiologie du riz

Le développement du riz se compose de trois principaux stades à savoir : le stade végétatif, le stade de reproduction, et le stade de maturation.

2.2.1.1 Phase végétative

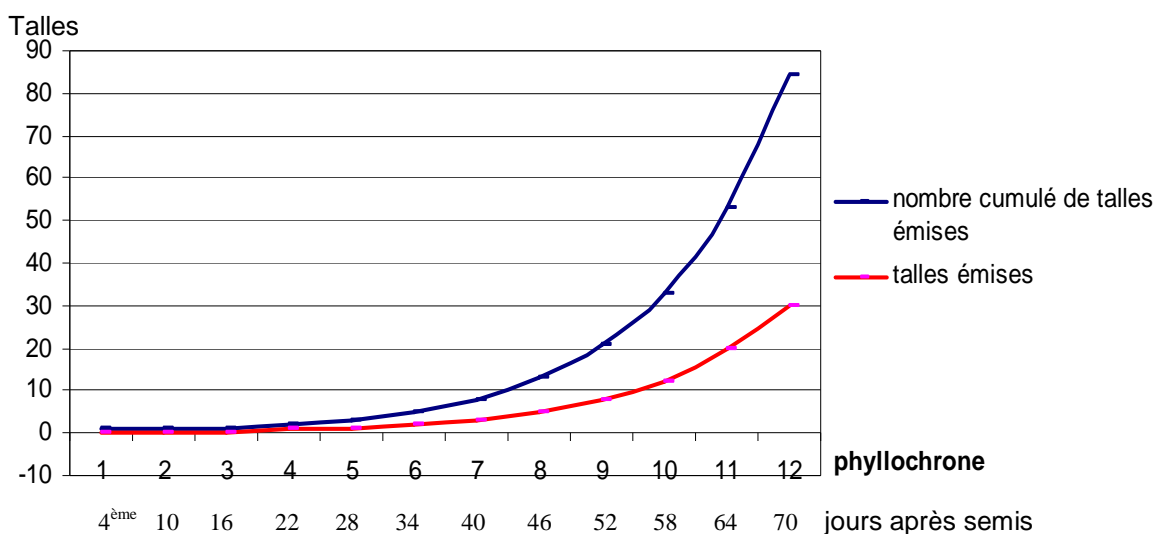
a. Germination

Elle se termine au bout de six jours. L'absorption en eau des grains de paddy entraîne son gonflement et par suite du phénomène d'hydrolyse des réserves, la tigelle sort au moyen d'une fente au niveau de la glumelle inférieure. Une deuxième apparition qui concerne la radicule munie de poils absorbant fait suite (ANGLADETTE, 1965). Situé en pépinière, le stade plantule précède le repiquage, le plant de riz aura une longueur variable en fonction du temps passé en pépinière.

b. Tallage

Il est à noter que le tallage dure environ 50 jours. Il correspond à la phase de croissance active de la plante. Cette dernière émet des talles ou générations d'abord à partir des bourgeons axillaires du pied mère. Ces talles constituent le premier rang. Pendant que celui-ci se poursuit, des talles prenant origine des noeuds de premier rang s'installent et ainsi de suite. "Le phyllochrone est le phénomène d'apparition de descendant ou talle, le 1^{er} phyllochrone a lieu 4 jours après le semis " (DE LAULANIE, 1993). A ce procédé s'ajoute la formation des racines adventives. Elles assurent l'absorption racinaire en remplaçant les racines séminales dont la durée de vie est éphémère.

Figure 1 : Nombre total de talles émises en fonction du temps
(DE LAULANIE, 1993)



L'intervalle entre deux phyllochrones varie de 4 à 6 jours (figure 1). L'apparition des talles s'effectue ainsi d'une manière programmée. Plusieurs facteurs contribuent à l'émission de talles à savoir : les effets de la présence des mauvaises herbes ; le resserrement de plants qui fait avorter les premières talles ayant pu se développer et inhibe le développement des autres. Le tallage ne s'effectue pas au dessous de 16°C. La concurrence en azote, en lumière et en eau freine l'émission de talles. Par conséquent, les périodes avant et pendant le tallage correspondent à la lutte contre les adventices. On peut ravitailler le végétal en éléments minéraux en l'occurrence l'azote et le soufre pendant ce stade.

2.2.1.2 Phase reproductive

Elle comprend le stade d'épiaison et le stade de maturation :

a. Epiaison

Elle se subdivise en montaison, épiaison et floraison. Ces trois phases durent 2- 3 semaines et s'effectuent à une température supérieure à 22° C. Le moment important d'intervention de l'agriculteur se situe avant la montaison après laquelle le riz va entrer en floraison. C'est le moment opportun de ravitailler le riz en azote dont l'apport implique un gain supplémentaire au niveau du rendement. Cette montaison correspond à la formation de l'ébauche de la panicule qui se forme 50 à 55 jours après la germination. Elle est matérialisée par le gonflement de la tige (ANGLADETTE, 1965) et dure environ une dizaine de jours. Un laps de temps très court sépare la floraison et l'épiaison. Cette dernière correspond à l'émergence de la panicule hors de la gaine de la feuille paniculaire tandis que la floraison est marquée par l'ouverture des épillets. La durée totale de la floraison d'une panicule varie de 5 à 9 jours, et est une caractéristique variétale.

b. Maturation

Après la fermeture du paléa (glumelle supérieure) et du lemma (glumelle inférieure), le contenu du grain évolue en trois stades successifs : laiteux, pâteux, et mûr.

2.2.2 Modes de culture de riz

Le système de riziculture se divise généralement en système aquatique et système pluvial.

2.2.2.1 Système de riziculture aquatique

Trois importants facteurs conditionnent la production rizicole en irrigué à savoir : les semences améliorées, la maîtrise des mauvaises herbes et l'entretien de la fertilité des rizières.

La riziculture “aquatique” englobe toute culture de riz qui se pratique sur sols de rizières sous une lame d’eau durant tout le cycle cultural (MAEP, 2004). Suivant le degré de maîtrise d’eau, ce type de riziculture peut être subdivisé en :

- Riziculture irriguée, caractérisée par l’existence des infrastructures hydrauliques en bon état permettant une parfaite maîtrise d’eau.
- Riziculture sans maîtrise d’eau, en raison soit de l’absence d’aménagements hydro agricoles soit de l’état défectueux des infrastructures existantes.

De ce fait, certaines rizières souffrent de sécheresse aiguë au début de la saison culturale lorsque la pluviométrie tarde à s’installer. D’autres, au contraire, sont caractérisées par un drainage difficile et restent en permanence sous une hauteur d’eau plus ou moins importante tout le long du cycle. Dans cette catégorie, il existe diverses façons de semer le riz dont le semis à la volée sur boue, le semis à sec et le semis dans des poquets. Mais pour la majorité des cas, le riz est cultivé repiquer. Les plantules de riz préalablement placées en pépinière sont alors arrachées, nettoyées et transplantées au niveau de la rizière.

Dans le riz repiqué, l’âge des plants, le nombre de brins à repiquer ainsi que l’écartement entre pieds varient suivant les techniques qui caractérisent chaque système et déterminent différents rendements. Le tableau 11 montre le rapport de talles fertiles et le nombre de brins repiqués par touffe.

Tableau 11 : Nombre de talles fertiles selon le nombre de brin par touffe (écartement 20x20cm)
(DOBELMANN, 1954)

<i>Nombre de brins à repiquer par touffe</i>	<i>Talles fertiles en fin tallage</i>
<i>1brin par touffe</i>	<i>19 talles fertiles par brin</i>
<i>2brins par touffe</i>	<i>12 talles fertiles par brin</i>
<i>3brins par touffe</i>	<i>4 talles fertiles par brin</i>
<i>8brins par touffe</i>	<i>2 talles fertiles par brin</i>

On peut conclure que le nombre de talles fertiles par brin diminue au fur et à mesure que le nombre de brins par touffe lors du repiquage augmente (tableau 11). Le système traditionnel se caractérise par un nombre élevé de brins au cours du repiquage, par contre les nouveaux systèmes ne font intervenir qu’un nombre minimal de brins par touffe.

a. Système de riziculture intensif SRI

Il consiste à repiquer, un très jeune brin âgé de 8 à 12 jours à grand écartement sur boue humide. On retire l’eau 4 jours après repiquage et on passe ensuite aux sarclages dont le

nombre varie de 2 à 4 fois au cours d'une saison de culture (RAJAOBELINA, 2004). On ne garde qu'une hauteur d'eau de 1 à 2 cm pendant le tallage. Un assec de 3 jours, ou plus, succède l'irrigation afin de permettre l'installation de dessiccation occasionnant l'aération des systèmes radiculaires. Après irrigation, ce processus approvisionne le végétal davantage en oxygène. On submerge d'environ 10 cm d'eau pendant le stade de reproduction. Le système offre les avantages de donner un haut rendement jusqu' à 12,7 T/ha (TEFY SAINA, 1996) avec une économie de semence 5kg/ha.

b. Système de riziculture amélioré SRA

Dans ce système, la pépinière est installée sur plate bande. En restant dans le domaine du repiquage en ligne, 4 à 6 brins par touffe âgés de 15 à 30 jours sont transplantés dans la boue. La distance entre les lignes est de 25 cm par contre on n'a pas de précision sur la distance entre les pieds dans la ligne. Ce système consomme 30 kg de semence pour 1ha de rizière. Les doses d'engrais minéraux sont variables et le rendement tourne autour de 5 T/ha (RAJAOBELINA, 2004).

c. Système de riziculture traditionnel SRT

On repique serré et en tous sens plusieurs brins de 3 à 6 par touffe des plantules de riz dont l'âge est le facteur limitant de l'émission de talles. La submersion des plants âgés de 1 à 1,5 mois dure tout le long du cycle dans le principal but d'empêcher l'envahissement des plantes adventices. Toutefois, il peut avoir lieu un arrachage à la main de ces adventices 30 jours après repiquage. Ce système nécessite 80 kg/ha de semence et ne considère guère l'emploi d'engrais minéraux. Ces caractéristiques impliquent la faiblesse du rendement à environ moins de 2T/ha.

2.2.2.2 Système de riziculture à régime pluvial

La riziculture " pluviale" désigne toute culture de riz pratiquée sur sol émergé, d'un versant ou de la partie sommitale des collines. L'alimentation en eau est totalement dépendante de la pluviométrie.

a. Système de culture sous couverture végétale SCV

Système apparenté au zéro labour sur " tanety", on sème le riz par poquets à l'aide d'une canne planteuse au travers d'une couche de biomasse végétale ultérieurement fauchée ou détruite par un herbicide total. On y applique des doses d'engrais minéraux allant jusqu'à 300 kg/ha de NPK 11.22.16. Le précédent cultural, constitué généralement d'association avec une légumineuse, forme la biomasse. La variété introduite SEBOTA est la plus couramment utilisée dans ce système.

Tableau 12 : Résumé des différents systèmes de riziculture en irrigué

Système	SRI	SRA	SD	SRT
Semences kg /ha	5	27	100	150
Pépinière	Plate bande		Directement en ligne sur rizière	Partie de rizière dans l'eau
Repiquage en cm	25 x25	25 x 12,5	25 en ligne	En tous sens
Sarclage	Aux sarcleuses et à la main			Manuel
NPK 11.22.16 kg/ha	250	Moins de 100	0	0
Nombre de sarclages	2	2	2	1
Talles émises	8 -18	1- 3	0 -1	0 -1
Taux de fertilité des talles	51 -100%			
Rendement T /ha	5,45- 12,7	5,118	2,355	1,000
Conduite de l'eau : Assèchement progressif 15 jours avant la récolte	-Boue humide - Sécher pendant 3 jours	- Boue humide - Recouvrir d'eau le 1/3 des plants de riz	- Premier mois : boue humide - 5cm d'eau Floraison : 10cm	Submersion pendant tout le cycle

Source : RAJAABELINA, 2004

Un écartement serré, repiquage des plants âgés, moins de quantité d'engrais et pas de lutte efficace contre les mauvaises herbes affectent négativement le rendement.

b. Riz pluvial

En semant toujours le riz dans des poquets, le terroir appartient essentiellement aux flancs de colline, principalement appelé "tanety", le riz dépend entièrement de la pluviométrie. A l'instar du pluvial, le riz de "tavy" ou culture sur brûlis, dont le terroir appartient à un écosystème forestier, se pratique dans la partie Est de la région d'Alaotra Mangoro. Le rendement en paddy est médiocre (autour de 600- 800 kg Ha) cependant la productivité est très élevée.

2.3 Ennemis de la culture de riz et luttés

La culture de riz est sujette à de nombreux ennemis d'importance capitale, leur développement entraîne le plus souvent une perte au niveau du rendement. Certes, les ennemis les plus redoutables sont les insectes qui, en cas de forte infestation, déterminent une perte quasi totale. Toutefois, on ne peut négliger le rôle destructif des maladies phytopathogènes et le rôle des mauvaises herbes. Un enchaînement des dégâts causés par tous ces ennemis peut aboutir à un rendement zéro, d'où la nécessité de luttés appropriées.

2.3.1 Insectes ravageurs importants (PLI, 1989 et DPV, 1990)

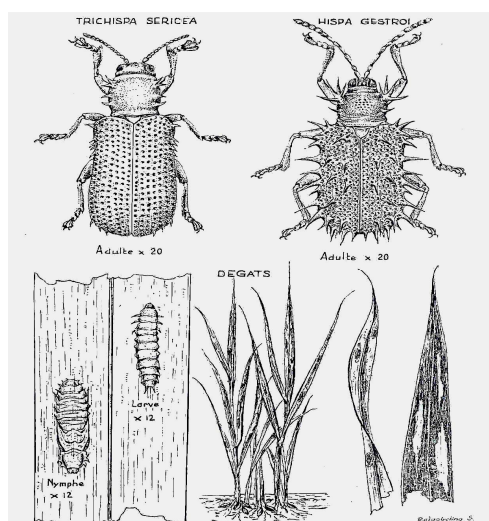
2.3.1.1 Poux de riz : pou inerme et pou épineux

Ce sont des insectes des ordres des Coléoptères et appartenant à la Famille des Chrysomelidae, sous-famille des Hispines. En dehors des nuisibilités occasionnées pendant les stades larvaires, ces insectes sont les principaux vecteurs du virus de la panachure jaune : Rice Yellow Mottle Virus (RYMV). Les adultes sont des voiliers aptes à flotter de nombreuses heures sur la surface de l'eau. Les œufs sont insérés isolément sous une fente pratiquée dans l'épiderme de la feuille de riz, parallèlement aux nervures. La jeune larve en sort au bout d'une semaine, erre sur la feuille puis commence à entamer l'épiderme inférieur. Par l'incision ainsi pratiquée, elle pénètre sous l'épiderme. La larve vit en mineuse à l'intérieur du parenchyme qu'elle dévore.

a. Pou inerme

L'agent responsable, *Trichispa sericea* Guerin, est un insecte de couleur brun noirâtre revêtu d'une fine pubescence verdâtre lui donnant un aspect bronzé. Quatre épines jaunâtres à pointe latérale brune se positionnent sur le prothorax, sur les bords externes des élytres. L'insecte a 3 à 4mm de longueur (figure 2). Les plus importants dégâts ont lieu en pépinière et atteignent 25% (RAVELOJAONA, 1982). L'attaque débute quelques semaines après la levée. L'intensité de l'attaque varie en fonction de l'année, de la date des semis et de l'emplacement de la rizière. Les feuilles minées par les larves ou rongées par les adultes blanchissent, se flétrissent et meurent. D'autres attaques peuvent survenir au moment du repiquage ou après celui-ci.

Figure 2 : poux de riz et dégâts



b. Pou épineux

L'adulte de *Hispa gestroi* Chapman est un insecte de couleur noir éclatant ou verdâtre. Il est doté d'un pronotum à ponctuation fine et peu serrée ; côtés avec, à l'angle antérieur, une saillie

Figure 3 : M. Separatella R.

Larve



Stade adulte



terminée par 4 longues épines dressées et divergentes et au second tiers, une épine dressée, isolée, plus courte. Les élytres portent dorsalement une vingtaine d'épines, dont la moitié dirigées horizontalement en dehors sur le bord externe. L'insecte, avec un corps allongé, mesure 5 mm de long. Les larves de *H. gestroi* ont entre 1 à 4,5 mm de long. Aplatis, ils ont une coloration crème, nettement segmenté, le segment porte une expansion latérale (figure 2). La longévité des adultes varie entre 1 à 6 mois. Les adultes éclos en mi-mars non fécondés sont les géniteurs des premiers foyers en début de culture. La fécondité est maximale au mois de février. Le seuil d'infestation, fixé par les stations d'avertissement agricole au lac Alaotra, est de 0,7 larves par feuille auquel correspond à 31,29 larves par touffe. On enregistre une perte de 10% du rendement correspondant à ce seuil. Au dessous de ce seuil, le dégât est compensé par le riz. La nuisibilité en pépinière est plus grave : affaiblissement des plants, reprise ralentie au repiquage. Une forte attaque de 1,03 larves par feuilles ne peut toutefois causées plus de 35% de pertes (PLI, 1989).

2.3.1.2 Borer blanc

Les borers blancs ou *Maliarpha separatella* Ragonot appartiennent aux ordres des Lépidoptères dans la famille des Gallerinae (RASOAVIMALALA, 1984). Ce sont des papillons nocturnes dont les mâles mesurant 12 à 15 mm de long tandis que les femelles : 15 à 18 mm. Le corps est recouvert d'écailles jaunes pailles et blanches, leur région postérieure est jaune claire, pailleuse, semée de quelques écailles brunes (figure 3).

Spécifique du riz, l'adulte vie 5- 6 jours dans l'Alaotra et le cycle est bouclé, en moyenne, au bout de 45 jours en saison chaude.

Les infestations aux environs de 30 % des talles au cours de la période de tallage peuvent provoquer des pertes de récolte (PLI, 1989). Au champ, les pertes occasionnées par *M. separatella* sont imperceptibles car les manifestations sont : un mauvais remplissage des grains et dans une moindre mesure par une réduction du nombre de grains par panicules (AKINSOLA et al, 1984) contrairement aux autres foreurs qui causent la formation d'épis blanc. Seules les infestations ayant lieu au cours de la période de pré floraison sont responsables de perte alors que les attaques tardives sont sans effet sur le rendement (APPERT, 1969).

Les dégâts ne peuvent être décelés visuellement du moment qu'ils ne se manifestent pas par une réduction du nombre de panicules. Le seuil économique d'intervention est de 2,93 pontes par 100 talles. On peut accepter qu'une infestation au dessous de 40%, corresponde à une compensation de la plante à l'agression des borers. Au dessus de cette valeur on a une nuisibilité proportionnelle à l'infestation jusqu'à l'enregistrement de 25% de perte de récolte.

2.3.1.3 Chenilles défoliatrices

D'après APPERT (1969) et BIANCHI (1983), il existe cinq principales chenilles défoliatrices appartenant aux ordres des Lépidoptères dont les larves s'attaquent au feuillage du riz, principalement pendant le stade de tallage.

Les Hesperides causant un léger retard de développement de la plante dont *Borbo borbonica* Boisd et *Parnara poutieri* Boisd. Les Pyralidae dont *Cnaphalocrocis medinalis* Guen, *Nymphula* sp, découpent les tiges et causent l'avortement des panicules, ils sont rares. Les Noctuidae dont *Spodoptera littoralis* Boisd qui se répand de façon très dispersée. Leur attaque est, certes, spectaculaire et leur densité peut effectivement atteindre par endroits des valeurs très élevées attirant toute l'attention, mais leur impact économiquement mesurable sur le rendement des parcelles est négligeable.

2.3.2 Principales maladies

2.3.2.1 Panachure jaune

Introduite à Madagascar vers 1960- 70, la panachure est provoquée par *Rice Yellow Mottle Virus* (RYMV) appartenant au groupe de Sobamovirus. Le symptôme est confondu avec celui provoqué par un nématode. Elle cause des dégâts catastrophiques dans la partie nord de l'île. La transmission se fait par voie mécanique par introduction du virus dans la cellule à travers une blessure, il reste stable même après la mort de la plante. Bien qu'un frottement entre une feuille saine avec un autre vecteur, un sol infectieux en contact avec les racines ou collet blessé au cours du repiquage peuvent transmettre le virus, le mode de transmission fondamental dans les champs est celui des poux de riz en particulier *H gestroi* (PLI, 1989). Ces insectes broutent les feuilles virosées pendant 15mn pour acquérir le virus. La période pendant laquelle l'insecte reste infectieux dure un jour.

Les symptômes sur pépinière ne sont pas assez remarquables et passent souvent assez inaperçues. Il consiste en une légère panachure et une décoloration des plantules. Les symptômes caractéristiques sur rizières apparaissent environ 3 semaines après repiquage sous une forme de décoloration jaune ou vert clair du feuillage et une panachure sur les plus jeunes feuilles. La feuille paniculaire présente souvent une chlorose particulièrement prononcée en devenant toute blanche, le limbe étant parsemé de petites stries vertes. Les plants attaqués produisent moins de talles et celles-ci sont réduites. Les panicules ne sortent que partiellement de leur gaine tandis que les graines sont partiellement ou complètement vides et de couleur blanche. Les plantes attaquées sont sous stress par conséquent, plus sensibles à d'autres maladies telles la maladie de taches brunes *Helminthosporium oryzae* et à la pourriture de la gaine *Sarocladium oryzae*.

2.3.2.2 Pyriculariose

Provoquée par *Pyricularia oryzae* cav, cette maladie est la plus redoutable dans le lac Alaotra en cas de forte infestation. Elle peut engendrer jusqu'à 40 % de perte (RANDRIAMPIANINA, 1991). C'est la maladie la plus grave causant les plus lourdes pertes en se manifestant sur toutes les parties aériennes du plant du riz.

Les agressions les plus pointues sont localisées sur les nœuds des chaumes en formant des points noirs puis une zone circulaire brunâtre. Ce fait embrase les nœuds de la partie supérieure des tiges, les tissus se décomposent, les tiges se dessèchent au dessus du nœud. Les chaumes se brisent et s'affaissent. D'autres manifestations atteignent la partie supérieure des tiges juste au dessous de la panicule au moment de la floraison. Les rachis de panicule et glumelles peuvent se couvrir de macule ovalaire et les grains peuvent être affectés. L'excès de la fumure azotée et le froid favorisent le développement de la maladie.

2.4 Opérations culturelles associées à la riziculture

2.4.1 Travaux de préparation du sol

L'objectif de cette opération est d'avoir un horizon ayant 30 cm de profondeur finement préparé afin de faciliter le développement racinaire. Les travaux de préparation du sol sont assurés par des tracteurs ou motoculteurs affinés ensuite par quelques journées de travail humain. L'essentiel repose sur la qualité du planage et du nivellement du fait que la reprise des plants et la vigueur des talles en dépend énormément. En effet, le riz peut à la fois souffrir d'un manque et d'un excès d'eau. Le planage doit maintenir une hauteur d'eau égale sur l'ensemble de la rizière en comblant les irrégularités existantes. Le nivellement est obtenu par la construction de diguettes permettant d'aboutir à des différences de plan d'eau.

2.4.2 Fertilisation de la rizière

Les apports de fumier doivent concorder avec la richesse du sol en éléments nutritifs, ensuite l'assimilation de l'engrais (sa biodisponibilité), le stade de développement du riz. A noter qu'après une fertilisation, on doit toujours songer à une lutte contre les mauvaises herbes.

2.4.3 Travaux de pépinière et repiquage

Le repiquage offre aux plantules de riz un avantage par rapport à la croissance et au développement des plantes adventices. Pour cela, un stade de développement du riz doit se passer en pépinière sur sol finement préparé. Le sol peut être une boue humide submergé par une fine lame d'eau ou bien une surface hors de l'eau appelée "plate bande". On y sème des

grains de paddy ou des graines pré germés 48 heures à l'avance. La durée du stade plantule passé en pépinière peut varier entre 10 jours à plus de 1 mois. On repique un ou deux brins par touffe à grand écartement s'il s'agit de jeunes plants. Par contre, la densité sera compensée par plusieurs brins repiqués par touffe à écartement serré.

2.4.4 Lutte contre les ennemis de la riziculture

La lutte doit d'abord être préventive en utilisant des semences saines et propres et en respectant le calendrier cultural. La lutte contre les ennemis de la riziculture consiste à la suppression des ennemis eux-mêmes, des plantes hôtes des maladies et refuges d'insectes. Elle peut être également curative.

2.4.4.1 Contre les insectes

Dans le Lac Alaotra, on assiste toujours à la présence de *M. separtella* au Lac Alaotra mais avec une faible infestation. Pour cet insecte, il faut aussi signaler l'existence du phénomène de parasitisme (avec un taux de 15%) par *Telenomus applantus*, et *Phanerotoma saussurei*. En cas de repiquage tardif, les attaques des chenilles défoliatrices et celles des poux de riz sont fatales. Ainsi la meilleure lutte contre les insectes consiste à bien respecter le calendrier cultural et à entreprendre la lutte chimique dès que le seuil soit dépassé.

2.4.4.2 Contre les maladies

Etant donné que le riz infecté par la RYMV ne peut plus être guéri, toutes mesures de lutte à entreprendre sont préventives. Leur objectif est d'empêcher toute infection primaire. La mesure principale est la destruction de la récolte qui constitue le foyer d'hibernation de différentes formes de maladie. Le second est d'ordre chimique contre *H.gestroi* dès l'apparition de l'insecte. Ceci permettra d'une part d'empêcher l'infection par les poux, et d'autre part limitation de l'infection qui débute sur une petite surface.

Contre pyriculariose, la principale prévention consiste à utiliser des semences saines, des variétés résistantes, détruire les chaumes et graminées sauvages après la récolte. On peut accroître la résistance de la plante par apport de cendres de résidus de récolte contenant de la silice ou par pulvérisation du soufre directement sur le végétal.

2.4.4.3 Lutte intégrée

La lutte intégrée est définie comme étant un processus de décision tenant compte de toutes les techniques nécessaires afin de contrôler les ravageurs efficacement, économiquement et en

minimisant les effets sur l'environnement (CEI, 1997). Les éléments constituant la lutte intégrée sont:

- l'identification des ravageurs potentiels,
- le dépistage des populations de ravageurs, d'organismes auxiliaires et les dommages en surveillant les conditions environnementales,
- l'utilisation des seuils économiques pour décider des interventions à effectuer,
- la réduction de la population des ravageurs à des niveaux acceptables en utilisant des stratégies, tels les moyens de lutte biologique, culturale, mécanique, comportementale ou chimique, pouvant être utilisés seuls ou concurremment,
- l'évaluation des effets et l'efficacité des stratégies de lutte contre les ravageurs.

2.4.5 Gestion de l'eau

L'eau est un facteur critique de l'efficacité de l'action des engrais car la disponibilité pour les racines des plantes en dépend (MINTEN et *al*, 2003). L'irrigation doit offrir un avantage pour la plante cultivée et sa conduite dicte l'efficacité des traitements chimiques de désherbage. A l'exemple du traitement de postlevée au cours duquel le retrait de l'eau expose les plantules d'adventices en cours de croissance au jet de pulvérisation.

L'irrigation doit correspondre à 2,5 à 7,5 cm d'hauteur d'eau augmentant depuis les stades jeunes jusqu'à l'initiation paniculaire.

Le drainage en cours de la croissance du riz est utile étant donné que le riz n'est pas une plante aquatique. S'étalant de 1 à 5 jours ou plus, le drainage permet d'avoir des fissures du sol produisant une aération du système racinaire du riz. Un drainage progressif ayant lieu avant la récolte est nécessaire pour permettre une maturité rapide et homogène.

2.5 Conclusion partielle

Plusieurs facteurs autres que la fertilisation et la lutte contre les mauvaises herbes contribuent à l'élaboration de la production du riz en particulier l'eau et le système de riziculture adopté. En effet, le régime hydrique peut d'une certaine manière dicter le niveau du rendement, c'est le cas des systèmes de riziculture irriguée et des systèmes de rizicultures pluviaux.

Pour atteindre une bonne production rizicole, il faut tenir compte des stades essentiels dans le développement du riz comme le tallage et la montaison et les interventions de l'homme. Mais l'homme doit aussi contrôler les ennemis du riz qui sont les insectes ravageurs, les maladies. Au Lac Alaotra, les insectes les plus dangereux sont les poux de riz dont le stade larvaire provoque un dégât direct sur le riz tandis qu'en stade adulte l'insecte reste infectieux, phase incomplète. Il faudra, toutefois, abstenir les traitements insecticides avant d'atteindre le seuil fixé par la station d'avertissement agricole. Le respect du calendrier cultural et l'élimination des mauvaises herbes constituent déjà une lutte contre les maladies.

Dans toute lutte chimique on doit d'abord utiliser des produits de faible rémanence, peu chers et alterner différentes substances actives afin de pallier aux problèmes de résistance par accoutumance.

3 SITUATION DE LA RIZICULTURE AU LAC ALAOTRA

Cette partie intéresse le milieu physique de la zone d'étude et la production rizicole du Lac Alaotra. Elle concerne également le niveau d'utilisation des pesticides et engrais en riziculture avec les problèmes rencontrés des riziculteurs.

3.1 Milieu physique de la zone d'étude

3.1.1 Localisation

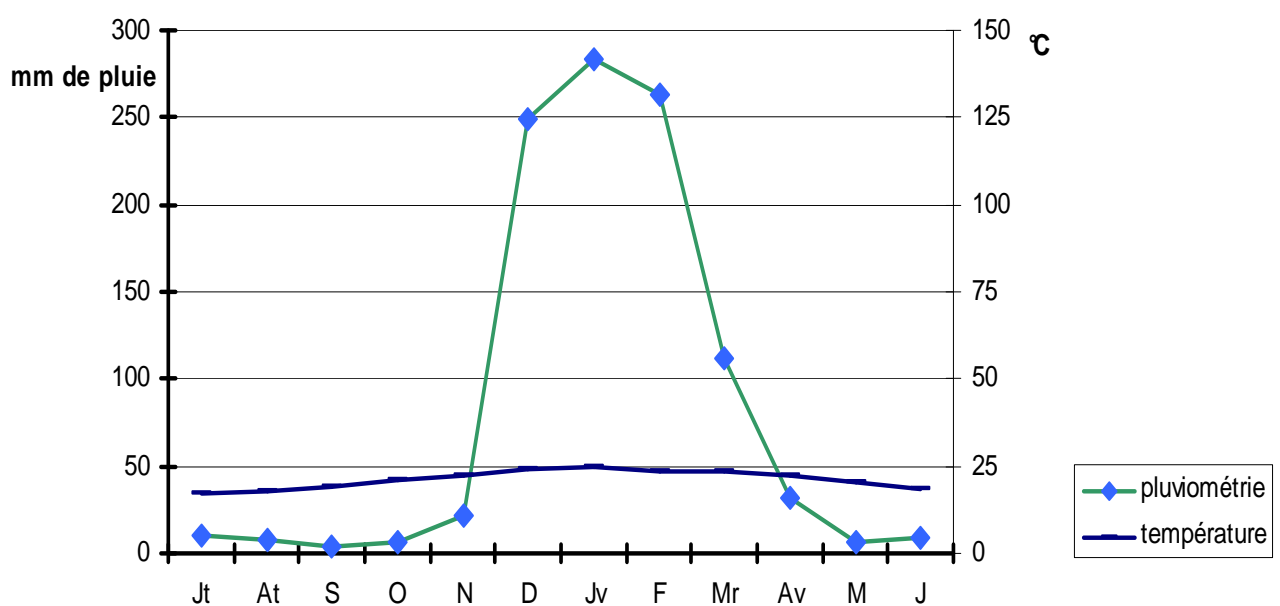
La Région d'Alaotra Mangoro se situe sur le Centre Est de Madagascar (dans la province de Toamasina) et s'étend sur une superficie de 33 054 km². Elle comprend 5 districts qui sont : Andilamena, Amparafaravola, Ambatondrazaka, Moramanga, Anosibe An'ala et compte 79 communes (dont 2 communes urbaines) et 606 fokontany. Elle compte 1.112.550 habitants avec une densité moyenne de 33,66 hab /km², population qui vit sous les conditions climatiques que montre la figure 4.

La zone d'étude se localise dans le district d'Amparafaravola à 46 km au nord du chef lieu du district, commune rurale d'Ambohijanahary, périmètre rizicole de Sahamaloto, fokontany d'Andranobe (figure 5).

3.1.2 Conditions climatiques de la zone d'étude

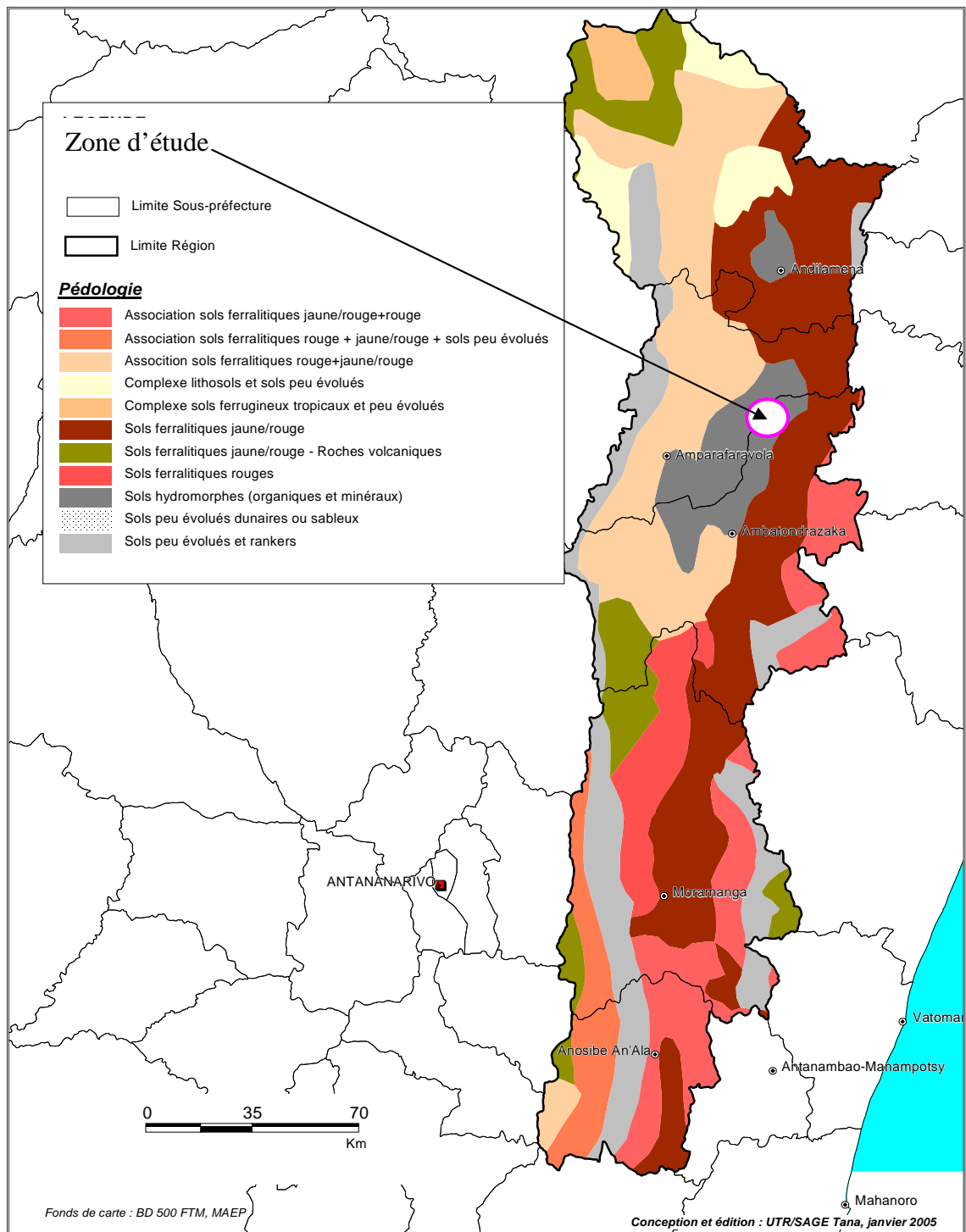
Figure 4 : Courbe ombrothermique de Gaussen

(Station CALA Ambohitsilaozana)



D'après la figure 4, la température maximum se situe en décembre ou janvier, tandis que juillet et août demeurent les mois les plus frais. La température moyenne est de l'ordre de 23- 26°C. La hauteur moyenne des précipitations annuelles dans l'Alaotra est de 1 138 mm. Le climat tropical semi humide de moyenne altitude caractérise cette cuvette avec deux saisons bien marquées : saison pluvieuse qui s'étend de Novembre à Mai et une saison sèche de juin à octobre.

Figure 5 : Carte pédologique de la région d'Alaotra (PRD)



3.1.3 Sol et hydrographie

Le relief est caractérisé par la cuvette d'Alaotra dont la zone la plus basse est occupée par les marais et des eaux libres comme le Lac Alaotra. C'est une vaste dépression à fond plate située au milieu des plateaux de la région centrale de Madagascar avec une altitude moyenne de 700 m et qui s'étend approximativement sur 1 800 km².

Cinq formations lithologiques se couvrent concernant les bassins versants : alluvions récentes et anciennes sur la partie Est, les migmatites ; les gneiss, les migmatites granitoïdes et les granites migmatitiques. Au niveau de la région, les types de sol les plus fréquentés sont les ferralitiques de différentes couleurs dont rouge et jaune. Cependant les plus caractéristiques des plaines fluvio- lacustres sont des sols hydromorphes moyennement organiques et des sols hydromorphes tourbeux (figure 5).

Tableau 13 : Résultats des analyses du sol sur horizon 0- 30cm

Résultats % des analyses physiques	Sable			Argile		Limon	
	37,2			52,4		9,3	

Analyses chimiques	C%	N%	C/N	P ₂ O ₅ %	K ₂ O me%	MgO me%	CaO me%
	2,87	0,17	16,7	0,10	0,08	0,06	0,02

L'analyse physique des sols des rizières de la zone d'étude (tableau 13) révèle la texture argilo sableuse de cet horizon. Les analyses chimiques, par contre, montrent que le *pH* est légèrement acide avec une valeur de 6,01. Les autres valeurs sont interprétées de la manière suivante : la décomposition de la matière organique progresse normalement (valeur de C/N est égale à 16,7). Teneur moyenne en matière organique et en P₂O₅ tandis que K, Mg, Ca sont assez faibles.

Sur le plan hydrographie, l'existence à proximité du Lac Alaotra spécifie la zone d'étude. Datés des périodes coloniales, nombreux travaux d'aménagements bien que vétustes, restent fonctionnels à savoir : plusieurs rivières affluent vers ce lac dont les plus importants sont l'Anony, Imamba-Ivakaka, Lohafasika sahasomanga et le Sahabe; mais aussi des barrages de retenue comme celui de Sahamaloto. En plus, les parcelles coloniales telles que PC15, PC23, sont autant de grands périmètres rizicoles.

3.2 Production rizicole au Lac Alaotra

Durant les quinze dernières années, les principales interventions du Gouvernement dans le secteur riz se sont concentrées sur l'appui à l'intensification rizicole et à l'organisation des

producteurs, de nombreux projets et programmes tels que le Programme des Périmètres Irrigués (PPI), le Programme National de Vulgarisation Agricole (PNVA) et le Programme National Semences. Ces activités ont été principalement, pour la plupart, développées dans la riziculture de l'Alaotra. En effet, c'est dans cette grande plaine formant le premier grenier à riz de Madagascar (figure 6) que les principales expérimentations et recherches sur riz se sont développées.

Figure 6 : Rizières de l'Alaotra dominée par le riz irrigué (PRD)



La prédominance de la riziculture dans cette zone a fait en sorte que l'économie des ménages agricoles ainsi que celle de la région administrative dépend essentiellement de la production et du prix du paddy. En effet, le Lac Alaotra renferme 85 617ha de rizières, mais aussi il est une zone riche d'activités agricoles parmi lesquelles la culture de maïs, de tabac, de patate douce, d'arachide. La production respectivement des districts d'Ambatondrazaka et d'Amparafaravola est de 126 775 et de 151 100 T de paddy (STATISTIQUE AGRICOLE, 2001).

Avec une production annuelle d'environ 300 000 Tonnes de paddy, les rendements, dans cette zone, tournent autour de 2,6T/ha à 3,5T/ha (PRD, 2005). Il faut se rendre compte que ces rendements sont des valeurs moyennes de différents systèmes de riziculture.

Dans la région d'Alaotra Mangoro, sur une superficie totale cultivée de 123 480ha, le riz est largement cultivé en irrigué et repiqué en tous sens en rizière. Les nouvelles techniques vulgarisées comme le SRA et le SRI sont peu pratiquées en raison du coût de la main d'œuvre et

au repiquage et au sarclage. Mais on peut également noter à travers le tableau 14 que les systèmes de rizicultures pluviaux ne sont pas négligeables dans la région Alaotra Mangoro.

Tableau 14 : Superficie par type de riziculture dans la région d'Alaotra Mangoro

(FAO/UPDR, 2000)

<i>Types de riziculture</i>				
	<i>Aquatique</i>	<i>Pluvial</i>	<i>Tavy</i>	<i>Confondus</i>
<i>Superficie en ha</i>	<i>123 600</i>	<i>14 100</i>	<i>10 800</i>	<i>148 500</i>
<i>Rendement T/ha</i>	<i>2,64</i>	<i>1,95</i>	<i>0,61</i>	<i>2,49</i>

On peut conclure (tableau 14 et figure 5) que la riziculture aquatique prédomine dans le Lac Alaotra et le rendement est déterminé par la disponibilité en eau. Il est à remarquer que le "tavy" se développe uniquement dans l'Est de la région.

3.3 Herbicides et engrais dans le Lac Alaotra

3.3.1 Niveau d'utilisation des pesticides en riziculture

Le niveau d'utilisation des engrais minéraux à Madagascar demeure faible étant donné que 84% des rizières ne font l'objet d'aucune fertilisation pourtant 69% des rizières disposent de canaux d'irrigation.

Tableau 15 : Statistiques de la lutte contre les adventices et la fertilisation des rizières

(Recensement agricole 2004- 2005)

	<i>Rizières du Lac Alaotra</i>	<i>Rizières de Madagascar</i>
<i>Fertilisation organique</i>	<i>18% des rizières</i>	<i>12,4% des rizières</i>
<i>Fertilisation minérale</i>	<i>11% des rizières</i>	<i>1,27%</i>
<i>Sans fertilisation</i>	<i>64% soit 46 626 ha</i>	<i>84%</i>
<i>Sarclage</i>	<i>33,5% soit 24 500 ha</i>	<i>60%</i>
<i>Désherbage chimique</i>	<i>43,5% soit 31 992 ha</i>	<i>4,2%</i>
<i>Sans lutte contre adventices</i>	<i>22,5% soit 16 426 ha</i>	<i>28%</i>

Parmi toutes les régions de Madagascar, c'est au Lac Alaotra que l'on retrouve les taux maxima d'utilisation d'engrais minéraux (11% des rizières) et d'herbicides (43,5% des rizières). Il reste cependant 64% des rizières cultivées sans fertilisation (tableau 15). Plus de 30% des rizières fertilisées à Madagascar sont groupées dans cette zone bien que la fertilisation minérale, dans la majorité des cas, se limite en apports d'urée en pépinière et en montaison. Dans la riziculture malagasy, la dose moyenne d'apport d'engrais minéraux urée 46% et NPK 11.22.16 confondus varie de 10 à 81 kg/ha (MINTEN et al, 2003). Généralement, le sarclage est le mode le plus courant de lutte contre les adventices en riziculture à Madagascar dont 60% des rizières. Il existe

une superficie non négligeable c'est-à-dire 28% des rizières à Madagascar et environ 16 426 ha au Lac Alaotra, cultivée sans aucune lutte contre les mauvaises herbes.

3.3.2 Facteurs limitant l'emploi des pesticides et engrais minéraux

Les exploitants ont un faible recours et accès aux intrants pour les raisons suivantes :

- Aucun encadrement technique permanent n'existe pas au profit des agriculteurs mettant au point leur niveau de connaissance.
- Ajouté à l'esprit "réfractaire" des paysans aux innovations, les techniciens raréfient sur le terrain et le recyclage des agents de terrain manque.
- La hausse du prix d'engrais et des herbicides constitue un facteur bloquant pour l'exploitant.
- La distance séparant l'agriculteur des revendeurs de produits détaillée dans le tableau 16.

Tableau 16 : Utilisation et accès aux engrais chimiques par région agro écologique

(MINTEN et al, 2003)

Régions	% ménages utilisateurs	Distance (km) moyenne du revendeur le plus proche	Disponible à tout moment	Occasionnellement	Jamais disponible
Vakinankaratra	48	9	64	7	29
Sud ouest	5	132	6	12	82
Itasy	19	28	28	21	51
Marovoay	19	29	33	33	33
Lac Alaotra	49	23	34	15	51
H. Mahatsiatra	27	28	26	26	47
Toamasina	1	50	1	10	89
Menabe	29	122	6	14	80
Sofia	3	65	1	4	94
Amoron'i Mania	25	34	26	23	51
Diana	7	35	14	8	78
Sava	6	48	12	7	81
Imerina	40	16	45	29	26
Mangoro	1	143	3	10	88
Mahajanga	5	86	1	19	71
Betsiboka	4	78	0	10	90
Melaky	0	85	0	0	100
Horombe	4	64	2	0	98
Sud est	2	81	3	1	95
Taolagnaro	1	75	1	6	92
Madagascar	17	64	15	12	73

D'après le tableau 16, il y a une corrélation négative entre la distance moyenne du revendeur le plus proche et le pourcentage des ménages utilisateurs d'engrais. On peut conclure que la distance moyenne du revendeur le plus proche et la disponibilité permanente de la matière agissent sur l'utilisation des engrais. La région d'Analamanga, le Lac Alaotra et Vakinankaratra sont les zones qui ont, les plus facilement, accès aux engrais, aux pesticides avec une

intensification qui touche 50% des ménages agricoles. Au Lac Alaotra, 49% des ménages agricoles utilisent les intrants bien que les exploitants doivent en moyenne parcourir une distance de 23 km.

3.4 Problèmes rencontrés des riziculteurs dans l'Alaotra

3.4.1 D'ordre socio économique

- Le coût élevé des intrants et pesticides inquiète les producteurs. Ceci figure parmi l'un des facteurs freinant un usage plus répandu des intrants agricoles.

- Malgré une récente correction du prix du paddy ces cinq dernières années, le prix du riz ne peut encore satisfaire les riziculteurs. En effet, il reste instable et n'a pas pu être défini selon des études de rentabilité, et ce malgré l'existence du plateforme de concertation (PC riz) depuis 2004 rassemblant tous les acteurs de cette filière. Le producteur reste perdant au niveau du prix du riz lors de la récolte.

- Absence de méthode efficace de gestion, chez les producteurs au cours de la récolte provoquant des lacunes dans l'amélioration des moyens de travail surtout les intrants.

Pour ces raisons, les paysans sont, très souvent, victimes d'endettement durant la période de soudure.

3.4.2 D'ordre climatique

Les exploitants assistent de plus en plus à la dégradation des ressources naturelles et de l'environnement marquée par l'ensablement des rizières et de plusieurs réseaux hydro agricoles. Plus de 40% en sont vétustes. Le changement climatique entraîne des phénomènes de sécheresse ou d'inondation et les passages de cyclones se répercutent négativement au niveau de la production.

3.4.3 D'ordre technique

- Une alternance du riz sur riz occupe la quasi-totalité des rizières dans le district d'Amparafaravola contrairement à l'autre situé à l'Est où des cultures de maraîchage de contre saison viennent succéder le riz. Une campagne rizicole par an rend l'activité agricole peu diversifiée suite à la non maîtrise d'eau.

- Faible niveau d'équipement dans les travaux de la récolte qui s'effectuent manuellement. A ceci s'ajoute l'existence d'insécurité qui règnent dans la région autour de la saison de récolte. Cette situation oblige les riziculteurs à mettre la récolte en meule et à engager, durant quelques semaines, de la main d'œuvre supplémentaire assurant le gardiennage.

3.5 Conclusion partielle

En observant les conditions climatiques du Lac Alaotra : une température moyenne de 23- 26°C, une pluviométrie annuelle de 1 138 mm, des sols ferralitiques ou hydromorphes moyennement organique et un *pH* légèrement acide, on peut conclure que la zone est propice à la riziculture. Le rendement actuel peut s'améliorer en utilisant plus d'engrais minéraux puisque seules 11% des rizières dans le Lac Alaotra reçoivent de la fumure minérale. En outre, on peut lutter contre les mauvaises herbes en utilisant des herbicides surtout pour les 16 426 ha de rizière sans désherbage.

On admet que le riz, dans l'Alaotra, a toujours été une filière dynamique et stratégique mais parallèlement, les problèmes des riziculteurs devraient être aussi observés soigneusement en particulier le prix du riz qui forme le pouvoir d'achat des riziculteurs et la mise à point des connaissances des agriculteurs par la formation.

4 METHODOLOGIE DE TRAVAIL

La situation de la riziculture irriguée de la zone d'étude est caractérisée par, premièrement la faiblesse du degré d'utilisation des engrais minéraux et deuxièmement la diversité de méthodes de lutte contre les mauvaises herbes allant de l'absence de lutte à l'utilisation du désherbage chimique, en passant par le manuel ou mécanique. Les facteurs limitant la production de riz au lac Alaotra sont essentiellement le niveau de contrôle des plantes adventices ainsi que la connaissance de la dose de la fertilisation minérale et ses effets d'où la problématique suivante :

4.1 Problématique et hypothèses

4.1.1 Problématique

Le contexte de la riziculture irriguée au Lac Alaotra nous amène à poser la question : la méthode de lutte contre les mauvaises herbes et la dose d'engrais minéraux apportée à l'hectare influencent-elles significativement en irriguée la production de paddy ?

4.1.2 Hypothèses

Hypothèse 1 : Le rendement en paddy est proportionnel à la dose d'engrais minéraux apportés

Hypothèse 2 : L'utilisation d'herbicide chimique est le plus efficace et le plus efficient pour lutter contre les adventices.

Afin de mieux appréhender les effets induits respectivement par la fertilisation minérale et par la lutte contre les mauvaises herbes, ces facteurs seront isolément étudiés dans un essai de dose croissante de fertilisation minérale et dans un autre essai de comparaison de l'efficacité des méthodes de lutte contre les adventices.

4.2 Matériel utilisé dans les essais

4.2.1 Matériel végétal

Puisqu'il s'agit de vulgarisation de produits herbicides mais aussi d'engrais au niveau des agriculteurs dans une zone rurale. La variété utilisée a été parmi les plus connues des agriculteurs. Ceci afin que ces derniers puissent bien analyser les effets des traitements et adjoindre une comparaison avec leur culture. On a ainsi utilisé la variété "Tsemaka" ou "4012" qui est issue de croisement entre MK 34 et 2798.

4.2.2 Insecticide et fongicides

4.2.2.1 Insecticide

Ce sont des produits chimiques de lutte contre les ravageurs de culture comme les poux de riz, les borers blancs, autres insectes dont le stade larvaire cause le plus important dégât pour la culture. Leur utilisation doit partir d'un seuil d'infestation des parcelles, cependant de façon à échapper à une éventuelle invasion d'insectes (poux de riz, borer, cicadelles) sur la parcelle d'essai qui risque d'influencer les résultats, on a utilisé un insecticide systémique le Marshal 25 EC appliqué en une seule fois en plein stade de tallage. La substance active est le Carbosulfan 250g/l à la dose de 1L /ha à titre préventif.

4.2.2.2 Fongicide

La mesure de lutte prise contre pyriculariose est le renforcement de la structure tissulaire des plants de riz par pulvérisation du soufre. On a ainsi traité le feuillage du riz au Thiovit jet 80 WG (contenant 80% de S) à raison de 1,5 kg/ha en plein tallage. Et un second apport a eu lieu en début de montaison. Le soufre micronisé qui est appliqué par voie foliaire couvre les besoins en cet élément en cas de carence, il augmente la résistance du riz contre la pyriculariose.

4.2.3 Conduite de culture

4.2.3.1 Pré germination des semences

L'opération consiste à faire germer les graines sélectionnées avant le semis. Mises dans un sac, le trempage des grains dans l'eau dure 24 heures ; puis les sont replacés dans un tas de poudrette de parc pendant 24 heures après être enrobés de fongicide : Thirame 80% à raison de 2g de Caltir PM commercial par kg de semence (160g de Thirame/100 kg de semences). La chaleur du fumier accélère la germination au cours de laquelle les grains présentent un petit germe blanc tandis que le fongicide joue le rôle protecteur des semences.

4.2.3.2 Pépinière

Le sol en pépinière a reçu 2 kg de NPK 11.22.16 par are avant le semis. Le riz, pré germé 2 jours à l'avance, est semé sur boue en pépinière pendant 25 jours. Pendant la phase végétative, il a surtout besoin de nutrition azotée d'où un apport de 1 kg d'urée 46% par are en pépinière.

4.2.3.3 Repiquage des plants

Les plants arrachés à la main sont soigneusement déplacés dans des bacs en plastique sans les attacher afin de n'occasionner de destructions des vaisseaux conducteurs du plant. Réalisé le 08 janvier 2006, le repiquage consiste à placer verticalement et ensembles deux brins dans la boue humide à 3- 5 cm de profondeur. Attachée à ses bouts par deux piquets, une corde tendue,

munie de sachets polyéthylènes espacés de 20 cm, matérialise la ligne de repiquage. On a ainsi un repiquage en ligne de 20 x20 cm. Ainsi, la densité de repiquage est de 36 pieds par m².

4.2.3.4 Gestion de l'eau

Avant l'installation de la culture et en pleine végétation du riz, le curage des canaux a consacré un volume de temps non négligeable afin de pouvoir irriguer et à la fois drainer les parcelles. Les végétaux qui se développent majoritairement dans les canaux empêchant leur bon fonctionnement sont : « Fandrotrarana » ou *Cynodon dactylon* et certaines espèces de cypéracées comme « zoro » ou *Cyperus rotundus* et « Vendrana » ou *Cyperus latifolius*.

Une lame d'eau maintient le besoin de la plante jusqu'au stade de reproduction qui débute par la montaison. Par la suite on submerge la rizière d'environ 10cm d'hauteur. Deux opérations de drainages durant 3 jours interrompent l'irrigation durant le stade végétatif dans le but de rendre la disponibilité du phosphore liée et de l'oxygène dans la zone racinaire.

Et afin de grouper la maturation, on a drainé progressivement la rizière deux semaines avant la récolte.

4.2.3.5 Récolte

Réalisée le 05 mai 2006, la récolte se compose de coupe et de battage, et est effectuée manuellement après la maturité des graines. La paille unie aux panicules est laissée quelques jours sur le sol afin que le processus de maturation des graines puisse continuer. Ce procédé entame le séchage qui reprend suite après les opérations manuelles de battage et le vannage.

4.2.4 Particularités des deux essais

Dans les deux volets, la fumure de fond est constituée par 3 T/ha de poudrette de parc avec 1 T/ha de dolomie agricole afin d'avoir un meilleur effet de l'engrais. La fertilisation minérale concerne les apports de NPK 11.2.16 complexe en fumure de fond, et d'urée fractionné en deux apports: 20 jours après repiquage et à la montaison.

- Pour l'essai engrais : les parcelles consacrées à l'essai engrais sont traitées avec un herbicide de préémergence qui est le prétilachlore 500 g/l à raison de 1,5 l/ ha de Rifit 500 EC 2 jours après repiquage. On a dû utiliser le 2,4D tardif en complément du désherbage dans le but de disposer de sol propre. Ceux ci ont permis de contrôler précocement les plantes adventices mais aussi d'éliminer certaines plantes qui réapparaissent.

- Pour l'essai de désherbage : la fertilisation est assurée par 200 kg de NPK 11.22.16 et 100 kg d'urée 46% par ha.

4.3 Essai sur la fertilisation

Objectif : “Déduire la dose d’engrais minéraux optimale en riziculture irriguée au Lac Alaotra”

4.3.1 Choix des doses d’engrais

Deux raisons fondamentales nous ont orienté à choisir les types d’engrais. Premièrement, au niveau de toutes les régions de Madagascar, il n’existe pas d’engrais minéraux mieux connu des paysans que les NPK 11.22.16 et l’urée 46%, quoique leur dose optimale ne soit pas effectivement apportée ou dans la plupart des cas ignorée des paysans.

Deuxièmement : les récentes investigations menées par la FAO à Madagascar proposent la substitution du NPK 11.22.16 par le Diammonium phosphate (DAP). Cependant, on a pris le NPK et l’urée dans cet essai pour que les paysans aient acquis connaissance de ces engrais qui sont les plus répandus dans l’île actuellement, et que notre pays continue d’importer.

Au niveau paysannat, outre l’efficacité de la dose, deux facteurs inhérents aux actions de vulgarisation doivent être pris en compte à savoir :

- mise en évidence de la différence des effets induits par les doses
- choix d’une dose facilement retenue et qui n’impose pas de calcul ardu du côté exploitant.

Généralement les agriculteurs habitant la zone d’étude s’approvisionnent par sacs de 50 kg d’engrais étant donné que la taille de leur exploitation est étendue. Il leur est plus facile de raisonner en nombre de sac entier ajouté de la moitié ou d’un quart par ha.

La formule d’engrais émise par les vulgarisateurs relève d’une dose de NPK 11.22.16 plus la moitié de celle-ci sous forme d’urée granulée tout en sachant que le riz est une grande consommatrice d’azote.

C’est la raison pour laquelle on a choisi les doses suivantes et dont la teneur en chaque élément est montrée par le tableau 17.

T_A : Témoin absolu = (sans aucune fumure minérale ni aucune lutte contre les adventices)

D₀ : (Dose zéro) = Témoin sans engrais

D₁ : (Dose1) = NPK 11.22.16 complexe 150 kg/ha et urée 46% granulé 75 kg/ha

D₂ : $\frac{4}{3} \times (D_1)$ = NPK 11.22.16 complexe 200 kg/ha et urée 46% granulé 100 kg/ha

D₃ : $\frac{5}{3} \times (D_1)$ = NPK 11.22.16 complexe 250 kg/ha et urée 46% granulé 125 kg/ha

D₄ : $2 \times (D_1)$ = NPK 11.22.16 complexe 300 kg/ha et urée 46% granulé 150 kg/ha

Tableau 17 : Niveau en éléments fertilisants des traitements à l’hectare

Eléments	Azote	Phosphore	Potassium	Azote	Azote total
Contenu dans	(NPK 11.22.16)			(Urée)	(traitement)
<i>D₁</i>	16,5	33	24	34,5	51
<i>D₂</i>	22	44	32	46	68
<i>D₃</i>	27,5	55	40	57,5	85
<i>D₄</i>	33	66	48	69	102

4.3.2 Conduite des essais de doses d'engrais minéraux

- P et K plus sont apportés en fumure de fond c'est-à-dire 1jour après repiquage.
- N est fractionné en trois apports : un premier en fond par l'épandage de NPK 11.22.16 ; un second constitué par la moitié de l'urée 20 jours après repiquage en cours de tallage et le dernier la montaison.

4.3.3 Dispositif expérimental

Il s'agit d'un essai d'un seul facteur sur une parcelle de 300 m² soit de 11m x 27,2 m. Dispositif bloc de Fisher à 3 répétitions comportant 4 niveaux de fumure minérale et un témoin. On évite le transfert d'éléments nutritifs entre les parcelles par l'existence de diguettes. Les canaux d'amenées sont élaborés de telle manière que chaque parcelle élémentaire puisse s'alimenter en eau, directement venue du canal primaire.

4.3.4 Méthode d'évaluation

Les évaluations portent sur 5 échantillons de 1m² disposés en diagonales pour chaque parcelle élémentaire. Les paramètres quantifiés sont :

- Le nombre de talles émises par touffe de riz dont le dénombrement s'effectue à la fin tallage.
- Pesage du paddy récolté sur chaque parcelle et évaluation du rendement à l'hectare.
- Les résultats sont traités par l'analyse statistique (à l'aide d'un logiciel de traitement des données STAT BOX. Version 6.5) au test de Newman Keuls au seuil 5%.

4.4 Essai de désherbage

Objectif : "Déterminer une méthode de désherbage efficace et productive en riziculture irriguée"

4.4.1 Choix des méthodes de traitements

Dans cette rubrique, les types de traitements choisis sont en fonction de la pratique en irrigué au lac Alaotra. Bon nombre d'agriculteurs, en effet, paraissent oublier ou méconnaître l'immensité du rôle des désherbants de préémergence et font du principal le désherbage par le 2,4D. On constate que rares sont les paysans qui combinent le désherbage chimique au sarclage. D'autres pour divers motifs avancés, se contentent de récolter ce qu'ils viennent de laisser après le repiquage, mais il y a aussi ceux qui se lancent dans le sarclage manuel, ou font intervenir des sarcleuses à houes rotatives. On assiste à des ordres chronologiques distincts des interventions, pourtant cette superficielle typologie a permis de comparer la divergence de la pratique et des effets engendrés sur l'exploitation.

On dispose de deux herbicides de préémergence sur le marché, ainsi on a les traitements suivants :

- **T_A** : Témoin absolu (sans aucune fumure minérale ni aucun désherbage)
- **Témoin** : Sans lutte chimique ni mécanique contre les adventices (mais plus fumure minérale)
- **Herbextra** : En post levée, HERBEXTRA 720 SL à la dose de 1 l/ha = 720g/l de 2,4D /ha
- **Alligator** : En préémergence des mauvaises herbes, ALLIGATOR 400 EC à la dose de 3,2l/ha = 1280g/l de Pendiméthaline/ha
- **Rifit** : En préémergence des mauvaises herbes, RIFIT 500 EC à dose de 1,5 l/ha = 750g/l de Prétalachlore /ha
- **Sarclage** : Deux opérations de sarclage espacées de 20 jours

4.4.2 Conduite du traitement de désherbage

4.4.2.1 Application herbicides

Les substances actives ont été dosées pour 16L d'eau (capacité d'un pulvérisateur porté à dos d'homme). La vitesse d'avancement de l'opérateur est assez rapide aboutissant à 10 remplissages du pulvérisateur. Chaque produit chimique épandu sur la parcelle a été ainsi mélangé de 160 L d'eau par ha. Couvrant une largeur de travail d'environ 1,50 à 2 m, l'opérateur effectue une allée et retour continu droite suivant la direction des diguettes. Le reste est rapporté de manière uniforme ou localisé sur les parties présentant un haut degré d'enherbement. Par ceci on apporte les doses exactes d'un herbicide à l'ha.

- Les deux herbicides de préémergence : prétilachlore et pendiméthaline sont appliqués 2 et 3 jours respectivement après repiquage sur le sol propre et sur des adventices ayant émergé. Le sol est couvert d'une lame d'eau d'environ 0 à 2 cm tandis que les diguettes ont été fermées pendant 5 jours.

- Le post levé : 2,4D est appliqué 15 jours après repiquage. L'eau est retirée au cours de la pulvérisation dans le but d'exposer les mauvaises herbes de petite taille au produit.

4.4.2.2 Sarclage

Dans la zone d'étude, le sarclage mécanique est rarement adopté du fait que la majorité des rizières sont repiquées en tous sens. Dans l'essai, on a fait intervenir deux passages de sarcleuses à houe dont le premier ayant lieu 15 jours après repiquage complétés par un second 20 jours après.

4.4.3 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est analogue à celui de l'essai de doses d'engrais sus évoqué. Il est un essai à un seul facteur sur une parcelle de 300 m². Dispositif bloc de Fisher à 3 répétitions comportant un témoin et 4 sortes de traitements qui sont deux herbicides de préémergence, un herbicide de postlevée systémique, un sarclage et des témoins sans désherbage. Chaque parcelle élémentaire est matérialisée par des diguettes.

4.4.4 Méthode d'évaluation

Le dénombrement évolutif des espèces adventices a lieu à différents stades : 1 jour avant traitement, 10, 20, et 30 jours après traitement. Pour les parcelles témoins sans traitement de désherbage, les relevés des adventices ont lieu à 10, 20 et 30 jours après repiquage.

Pour l'estimation du recouvrement des mauvaises herbes, elle consiste à inventorier et à évaluer après un comptage le nombre des adventices par m² ; l'estimation de l'enherbement est inspirée du modèle de ELIARIMANANA, 2000 (tableau 18).

Tableau 18 : Codes pour l'estimation de recouvrement global des espèces

(ELIARIAMANANA, 2000)

Estimation de recouvrement global des espèces		Estimation de recouvrement pour chaque espèce	
Notes	Recouvrement global des espèces	Notes	Signification
1	Propre ou enherbement faible	-	Présence de l'espèce
2	Enherbement faible	1	Recouvrement faible, 10%
3	Enherbement moyen	2	Recouvrement moyen, 25%
4	Enherbement assez fort	3	Recouvrement assez fort, 50%
5	Enherbement fort	4	Recouvrement fort, 75%
6	Enherbement très fort	5	Recouvrement presque 100%

4.4.5 Paramètres quantifiés

- Comptage du nombre de talles par touffe en fin tallage
- Prélèvement d'échantillons des espèces adventices sous forme d'herbier pour une identification. Evaluation du taux de recouvrement des espèces d'adventices pour visualiser l'efficacité du traitement.
- Pesage du paddy récolté après vannage par parcelle et évaluation du rendement à l'ha.
- Les résultats sont traités par l'outil statistique (à l'aide d'un logiciel STAT BOX. Version 6.5) au test de Newman Keuls au seuil 5%.

4.5 Conclusion partielle

Les essais consistent à tester isolément différentes doses d'engrais minéraux et diverses méthodes de lutte contre les mauvaises herbes sur la variété de riz "4012" cultivée en irriguée. Les insectes sont contrôlés par un insecticide systémique tandis qu'on a accru la résistance du riz par un fongicide thiovit jet 80 WG contre les maladies. L'objectif est de pouvoir retenir une dose optimale d'engrais minéraux et un traitement de lutte rentable et efficace contre les mauvaises herbes au Lac Alaotra. Les traitements sont constitués de matières disponibles sur le marché des produits phytosanitaires, ils seront comparés à des parcelles témoins sans engrais minéraux et sans être désherbées. Les évaluations portent sur le nombre de talles, les espèces d'adventices développées et l'estimation du rendement à l'ha.

5 RESULTATS

5.1 Résultats des essais de doses d'engrais

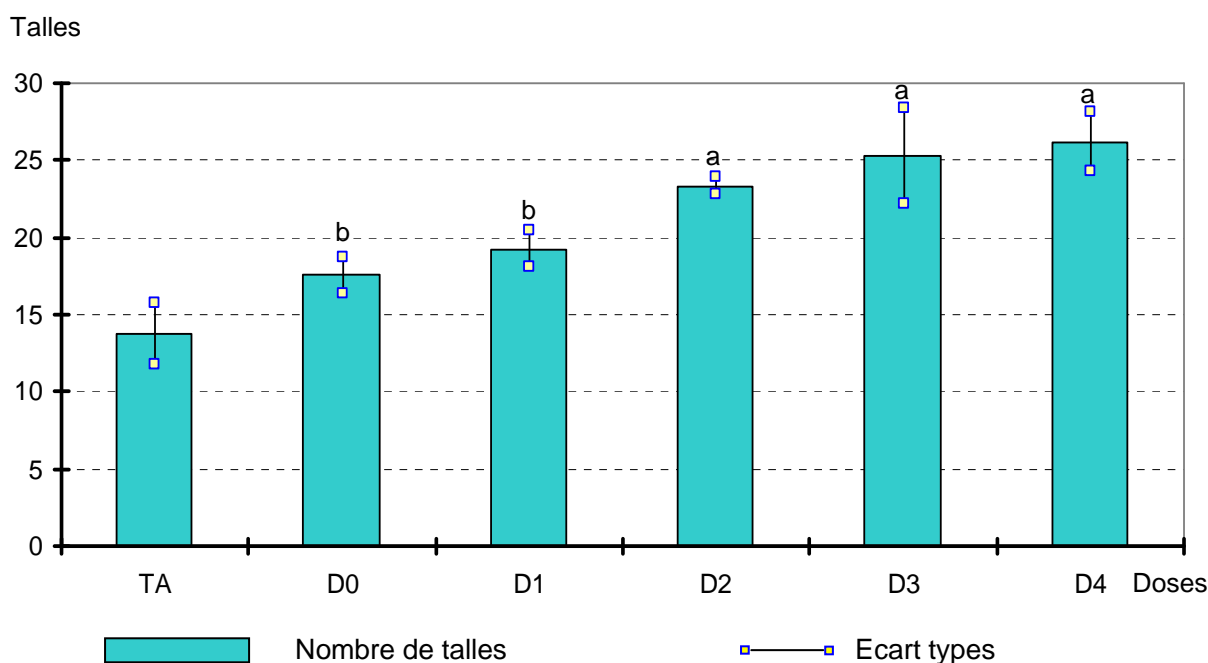
Cette partie traite les résultats des essais de doses d'engrais accompagnés d'analyse économique et interprétations. L'objectif est de détecter, par l'outil statistique, le meilleur traitement permettant l'augmentation du nombre de talles et du rendement à l'ha.

5.1.1 Résultats des essais de différentes doses d'engrais

5.1.1.1 Nombre de talles par touffes

Le nombre moyen de talles des différentes doses est de 22,32. Les résultats sont donnés dans la figure 7. Les traitements pourvus de mêmes lettres désignent des résultats appartenant à des groupes homogènes.

Figure 7 : Nombre moyen de talles par touffe



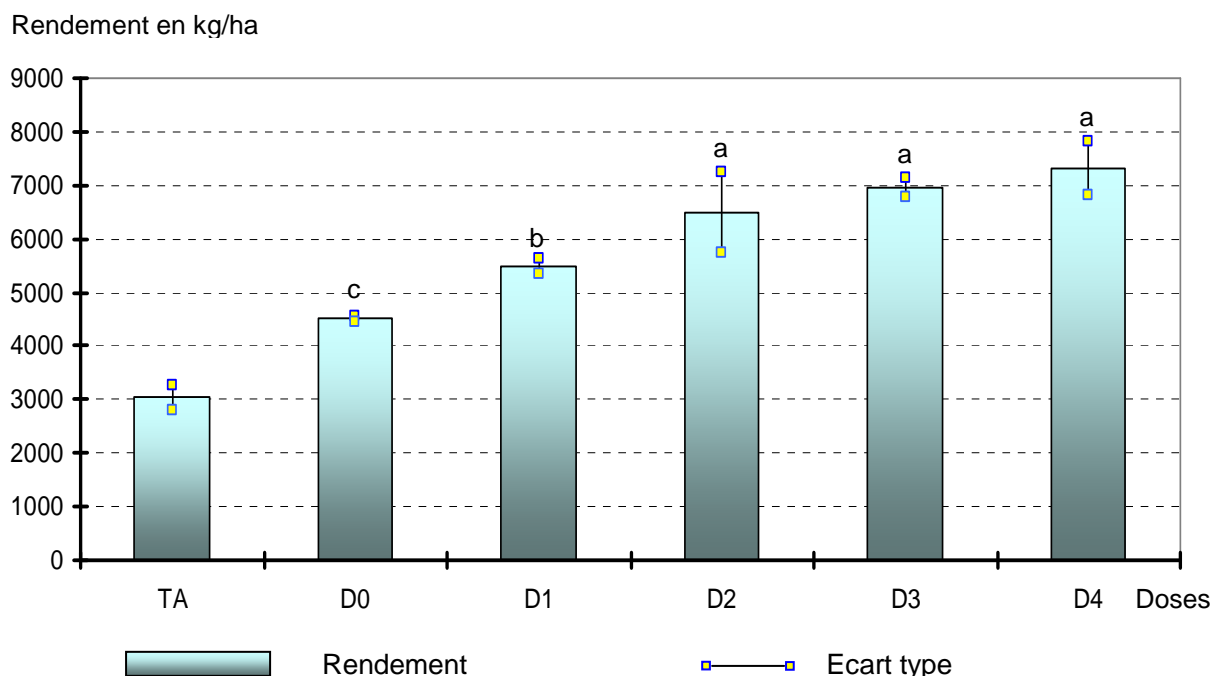
Les analyses de la variance montrent que les traitements sont très significatifs ($F = 10,49$ et $p = 0,00321$). On voit que le nombre de talle croît avec la dose d'engrais minéraux apportée par ha (figure 7). De D_1 à D_4 , la dose d'engrais est doublée mais le nombre moyen de talles passe de $19,2 (\pm 1,16)$ à $26,2 (\pm 1,92)$. Les doses D_2 (dont le nombre de talles est de $23,33 \pm 0,55$), D_3 et D_4 donnent des résultats homogènes. La dose D_1 appartient à un même groupe homogène que le témoin D_0 avec un nombre moyen de talles de $17,54 (\pm 1,18)$.

Donc la dose qui donne le meilleur résultat, en terme de nombre de talles, est celle de D_2 .

5.1.1.2 Rendement moyen de paddy en kg/ha

Les rendements en paddy exprimés en kg/ha avec les écarts types sont donnés par la figure 8.

Figure 8 : Classement des rendements en fonction de la dose d'engrais



On voit (figure 8) que le rendement évolue dans un sens positif au fur et à mesure que la dose en engrais minéraux apportée augmente. Au point de vue nombre de talles par touffe, D0 et D1 appartenaient à un même groupe tandis qu'ils donnent différents rendements parce que les engrais minéraux influent aussi sur la grosseur du grain.

Les analyses de la variance montrent que les traitements : doses d'engrais sont hautement significatifs ($F = 28,60$ et $p = 0,00015$) entre les différentes doses et le témoin. D_1 et D_2 sont différentes tandis que les doses supérieures ou égales à D_2 donnent des rendements homogènes. On a trois groupes homogènes à savoir D_0 , D_1 et D_2 dont les rendements sont respectivement $4501,3 \text{ kg} (\pm 63,33)$; $5477,7 \text{ kg} (\pm 138,1)$ et $6500 \text{ kg} (\pm 752,82)$.

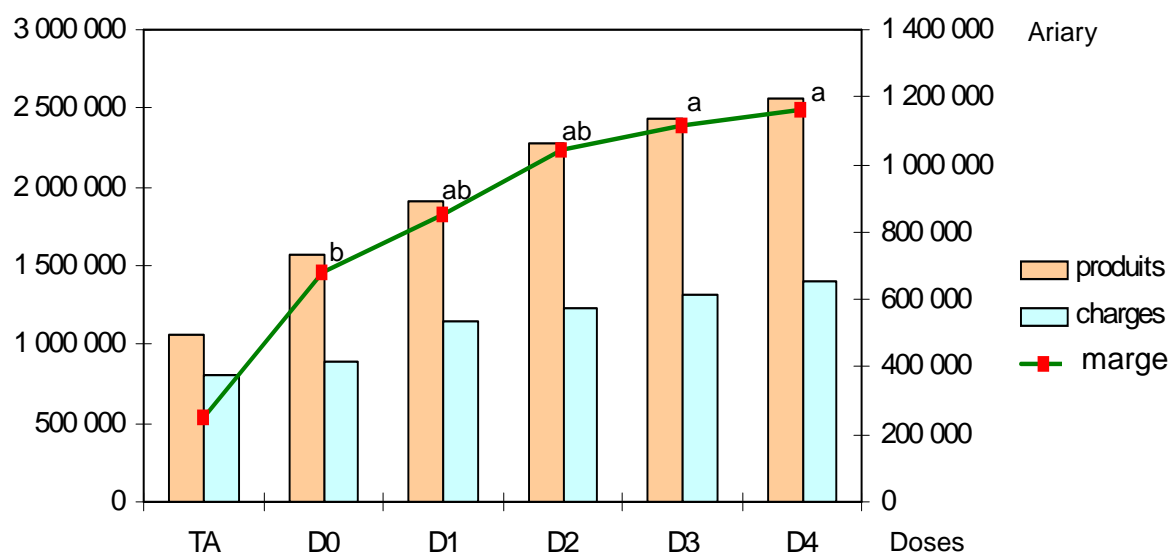
Alors, le meilleur traitement, au point de vue rendement, est celui de la dose D_2 .

5.1.2 Analyses économiques des essais doses d'engrais

L'objectif est de pouvoir trancher, en analysant la valeur ajoutée, le rapport valeur –coût et la productivité, le meilleur traitement à adopter. Cette partie se compose d'une étude sur les doses d'engrais dans un premier lieu et sur les différentes méthodes de lutte contre les mauvaises herbes dans un second lieu.

5.1.2.1 Marge brute

Figure 9 : Marge brute de différentes doses d'engrais



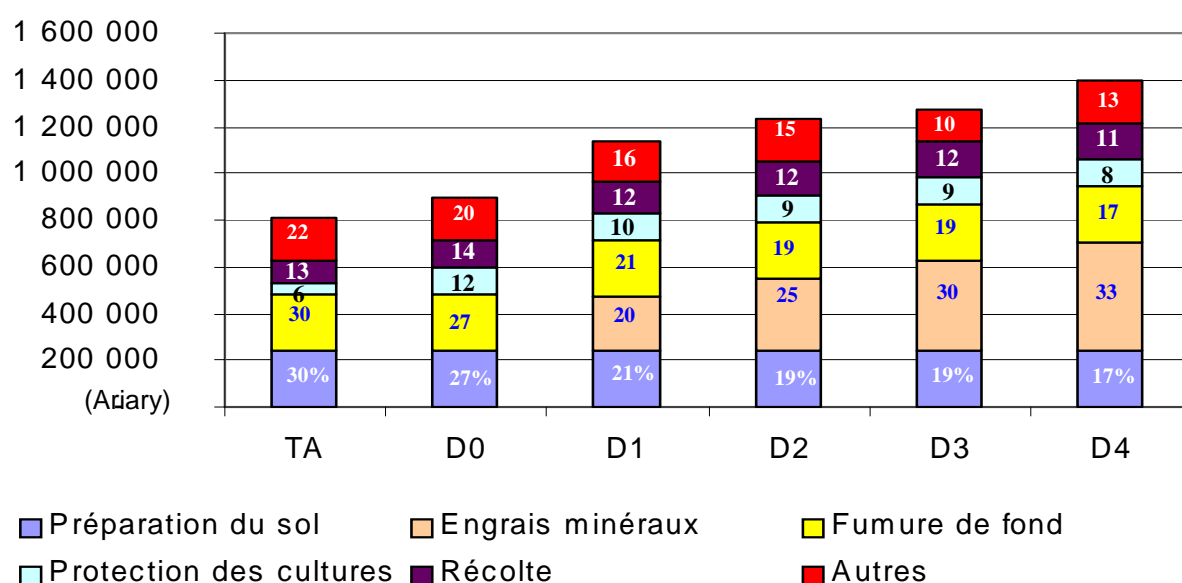
Les lettres sur la figure 9 expriment les groupes de doses qui donnent des résultats homogènes. La dose D₁ jusqu'à D₄, l'échelonnement de doses d'engrais est progressive, tandis que des écarts de la marge brute sont bien différents (figure 9). La marge brute ne représente que 23% de la valeur produite pour le témoin absolu. Les bénéfices représentent 43% du produit pour D₁ et 44,4% pour D₂. Il atteint un maximal de 45,9% pour la dose D₃ pour redescendre à 45,4% pour D₄.

L'analyse statistique de la marge brute montre une différence significative ($F = 5,009$; et $p = 0,0259$) entre les différentes doses. La marge en D₁ est de 852 000 Ariary ($\pm 42 163$) et appartenant à un même groupe que celui de D₀. A partir de la valeur de D₂ soit 1 041 700 Ariary ($\pm 251 831$), on ne note plus aucune différence.

Le meilleur résultat, concernant la marge brute, est celui de la dose D₃.

La répartition des différentes charges est détaillée dans la figure 10. Les valeurs, contenues dans les cellules composant chaque histogramme, correspondent à la proportion de l'opération par rapport à la somme des charges. Elles sont exprimées en pourcentage. Les coûts des produits insecticides, fongicides, et herbicides forment la protection des cultures. Ils représentent 6 à 10% de la charge totale. Les autres charges regroupent les achats de semences, repiquage et la gestion de l'eau.

Figure 10 : Répartition des charges selon les traitements



On remarque (figure 10) la part importante du coût des engrais minéraux qui varie de 20 à 33% selon les doses étudiées, et celui des travaux de préparation du sol (17% à 21% pour les parcelles traitées contre 27 à 30% pour les témoins).

5.1.2.2 Etude du rapport gain net en paddy sur coût de l'engrais

Ce rapport est calculé entre le surplus de rendement (valeur de la production en comparant les récoltes obtenues, pour différentes doses étudiées, au témoin D₀) et le coût de traitement (coût de l'engrais) qui a permis ce surplus. Ce rapport valeur sur coût permet d'apprécier la rentabilité autorisée par l'investissement en engrais. Il est de 2,037 pour la dose D₁ ; 2,69 pour celle de D₂ ; 2,56 pour D₃ et 2,42 pour D₄.

Après analyse statistique, on conclut que les valeurs ne sont pas différentes ($p = 0,610 > 0,05$ et $F = 0,655$) cependant les investissements en engrais sont rentables (valeur > 2). C'est-à-dire que pour une dose supérieure ou égale à D₁, 1 Ariary investi en engrais peut, selon la dose adoptée, donner 2,037 Ariary à 2,69 Ariary.

5.1.2.3 Productivité de la main d'œuvre

Cette étude de la productivité est composée de la durée intégrale, en hommes jour par hectare, des heures de travail dispensées durant tout le cycle cultural et de la rémunération journalière du riziculteur, exprimée en kg de paddy par journée de travail.

Tableau 19 : Tableau récapitulatif des durées moyennes des travaux en homme- jour par ha

	T_A	D_0	D_1	D_2	D_3	D_4
<i>Pépinière</i>	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
<i>Préparation du sol</i>	35	35	35	35	35	35
<i>Transplantation</i>	30	30	31	31	31	31
<i>Gestion de l'eau</i>	11	11	11	11	11	11
<i>Lutte contre les ravageurs</i>	0,75	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
<i>Récolte</i>	43	61	72	85	90	94
<i>Total en homme jour/ha</i>	120,6	139,1 b $\pm 7,803$	151,1 ab $\pm 5,085$	164,1 ab $\pm 6,94$	169,1 ab $\pm 4,649$	173,7 a $\pm 9,532$
<i>Productivité kg paddy /jour</i>	25,15	32,36 b $\pm 4,586$	36,25 a $\pm 2,914$	39,61 a $\pm 4,245$	41,14 a $\pm 2,771$	42,15 a $\pm 1,103$
<i>Ecart types</i>						

Sur ce tableau 19, on peut conclure que la durée des temps de travaux agricoles évolue positivement en fonction de la dose d'engrais. Celle-ci est due au fait que la quantité de paddy à récolter (qui consiste à effectuer un battage manuel) est plus abondante à chaque fois qu'on élève la dose d'engrais.

A propos du volume total du temps de travail, l'analyse statistique montre une différence significative ($F = 4,416$ et $p = 0,0413$) entre les doses d'engrais minéraux. En apportant une dose équivalente à D_1 , on a une durée minimale des temps de travaux (151,1 hj par ha).

Concernant la productivité en kg de paddy par journée de travail, elle est affectée par les doses d'engrais minéraux apportées à l'ha. Et l'analyse statistique détecte des différences très significatives ($F = 9,995$ et $p = 0,00371$) entre les différentes doses.

La dose qui donne le meilleur résultat, en terme de productivité de la main d'œuvre et de la durée totale des temps de travaux, est celle de D_1 .

5.2 Résultats des essais de différentes méthodes de lutte contre les adventices

5.2.1 Population de mauvaises herbes présente sur les parcelles

Les mauvaises herbes recensées peuplant les parcelles d'essai, après identification, appartiennent essentiellement aux classes des monocotylédones : surtout les cypéracées et les graminées. Mais il existe aussi d'autres plantes adventices à feuilles larges. La sensibilité de chaque espèce vis-à-vis d'un herbicide est détaillée dans le tableau 8.

5.2.1.1 Famille des Graminées

Les Graminées représentent la famille la plus importante en riziculture irriguée dans le Lac Alaotra. Elles regroupent la famille des riz sauvages (*Oryza longistaminata* et *O. glaberrima*) mais les plus redoutables sont *Ischaemum rugosum*.

a. *Ischaemum rugosum* Salisb, ou "mahabanky ou taimboriky" (DPV, 1990)

C'est une espèce annuelle très nuisible à cause de son pouvoir élevé de et de son développement foliaire et racinaire important tallage (figures 11e et 11d). Elle peut envahir entièrement une rizière et provoquer la perte quasi-totale de la récolte jusqu'à 80%. La plante mesure plus de 40cm. Les feuilles sont vertes ou partiellement pourpres, de 10 à 30 cm de long et 5 à 13mm de large. L'inflorescence mesure 3 à 9 cm de long, formée de 2 racèmes au début accolés, ensuite séparés à maturité. Chaque racème ou graines est formé d'articles épais qui se désarticulent facilement à sec. La multiplication se fait par graines, et une seule plante peut produire 4000 à 40 000 graines. Son écologie est identique à celle de MK 34.

b. *Oryza longistaminata* A. Chev ou "varinangatra"

Communément riz à rhizome, la dissémination de cette espèce est assurée par le labour mécanique. Les rhizomes tronçonnés s'enracinent facilement, ce sont des espèces vivaces. Tout en ayant un système racinaire coriace et une morphologie voisine de celle du riz cultivé, elle peut étouffer les racines de cette dernière. Elle a aussi une haute faculté de tallage.

Figure 11 : Clichés des plantes adventices relevées sur les parcelles d'essai



a) *Cyperus difformis* L.



b) *Cyperus iria* L.



c) Envahissement par *F. miliacea* V.



d) *I. rugosum* en plein tallage sur bordure des parcelles



e) *Ischaemum rugosum* S.



f) *Scirpus juncoideus* R

5.2.1.2 Famille des Cypéracées (DPV, 1990)

Famille composée d'espèces très diverses et à potentiel reproductif énorme, toutes les espèces citées ici sont annuelles et se multiplient par graines. Les pressions qu'elles exercent sur la production de riz entraînent une perte de 25 à 70% (RANDRIAMAMPIANINA, 1991).

a. *Cyperus difformis* L. ou "beandoha"

Ayant un cycle plus court que celui du riz, il monte en graine avant l'épiaison du riz. Elle mesure 10 à 50cm de hauteur, la tige triangulaire est molle. L'inflorescence se compose de 6 à 12 rayons à l'extrémité desquels se trouvent les épillets réunis en glomérules. Les bractées atteignent 5 à 15cm et les graines sont très petites de couleur jaune (figure 11a).

b. *Cyperus. iria* L. ou "beandoha"

Ayant une tige triangulaire, des graines de couleur brune, la plante peut atteindre 60cm de hauteur. L'inflorescence est formée de 5 à 10 rayons accompagnés de bractées involucre étalées de 10 à 4cm et d'épis lâches (figure 11b).

c. *Fimbristylis miliaceae* Vahl. ou "taindalitra"

C'est aussi une cypéracée annuelle dont la tige possède 4 angles, les feuilles distiques sont comprimées latéralement : caractéristique du très jeune stade. Les bractées sont courtes de 1 à 4cm, les épillets solitaires, les graines sont jaunâtres (figure 11c).

d. *Scirpus juncooides* Roxb. ou "ahipilo"

Elle est munie de tige cylindrique, de feuilles réduites à des gaines sans limbe. La plante a une seule bractée involucre de 5 à 10cm, d'épillets ovoïdes, et de graines biconvexes noire ou brune (figure 11f). Elle se reproduit par rhizome, croît rapidement une fois la préparation du sol terminée. La concurrence vis-à-vis du riz en lumière et en éléments nutritifs cause des dommages jusqu'à 60- 80% de la récolte.

5.2.1.3 Autres familles

Il existe nombreuses espèces de mauvaises herbes dont on peut signaler la présence sur les parcelles, mais leur influence sur le rendement étant donné leur faible densité et leur apparition plus ou moins tardive. Ce sont les Asteraceae et *Centella asiatica*. L'envahissement par les Alismatacées, par contre, dépend en grande partie de la maîtrise de l'eau.

5.2.2 Résultats des essais de désherbage

5.2.2.1 Efficacité des traitements de désherbage sur les adventices

Le tableau suivant montre le comptage effectué sur des espèces d'adventice recensé sur les parcelles d'essai. Le résultat varie selon le type de produit appliqué.

Tableau 20 : Résultats des traitements herbicides

Traitement à l'HERBEXTRA 720 SL						
Avant traitement				Après traitement		
<i>Recouvrement Global</i>	50%			<10%	<10%	<25%
<i>Nom des espèces</i>	<i>Famille</i>	<i>Note</i>	<i>Stade de développement</i>	<i>J +10</i>	<i>J +20</i>	<i>J +30</i>
<i>S. juncoïdes</i>	<i>Cyperaceae</i>	2	<i>Floraison</i>		-	-
<i>C. difformis</i>		3	<i>Floraison</i>	-	-	2
<i>C. iria</i>		2	<i>Floraison</i>		-	1
<i>F. miliaceae</i>		-				2
<i>Eleocharis equisetina</i>		1			1	1
<i>Centella asiatica</i>					-	-
<i>Sagittaria guyanensis</i>	<i>Alismataceae</i>	1				-
<i>I. rugosum</i>	<i>Graminées</i>	3	<i>Tallage</i>	3	3	4
<i>O. longistaminata</i>		-	<i>Tallage</i>	-	-	-
<i>Sphaeranthus angustifolius</i>	<i>Asteraceae</i>	1				-

Traitement à l'ALLIGATOR 400 EC					
<i>Recouvrement Global</i>	<25%		<i>Propre</i>	<i>Propre</i>	<10%
<i>S. juncoïdes</i>	-		-	-	1
<i>C. difformis</i>	-		-	-	2
<i>C. iria</i>					1
<i>F. miliaceae</i>					1
<i>E. equisetina</i>	-	3 feuilles			1
<i>C. asiatica</i>					-
<i>S. guyanensis</i>	-	3 feuilles			-
<i>I. rugosum</i>	3	Levée	1	1	1
<i>O. longistaminata</i>	-		-	1	1
<i>S. angustifolius</i>					1

Traitement au RIFIT 500 EC					
<i>Recouvrement Global</i>	<25%		<i>Propre</i>	<i>Propre</i>	>10%
<i>S. juncoïdes</i>	-	1- 2 feuilles			-
<i>C. difformis</i>	-	2-3 feuilles			1
<i>C. iria</i>					-
<i>F. miliaceae</i>					-
<i>E. equisetina</i>	-	2 feuilles			-
<i>C. asiatica</i>					-
<i>S. guyanensis</i>	2	3 feuilles			-

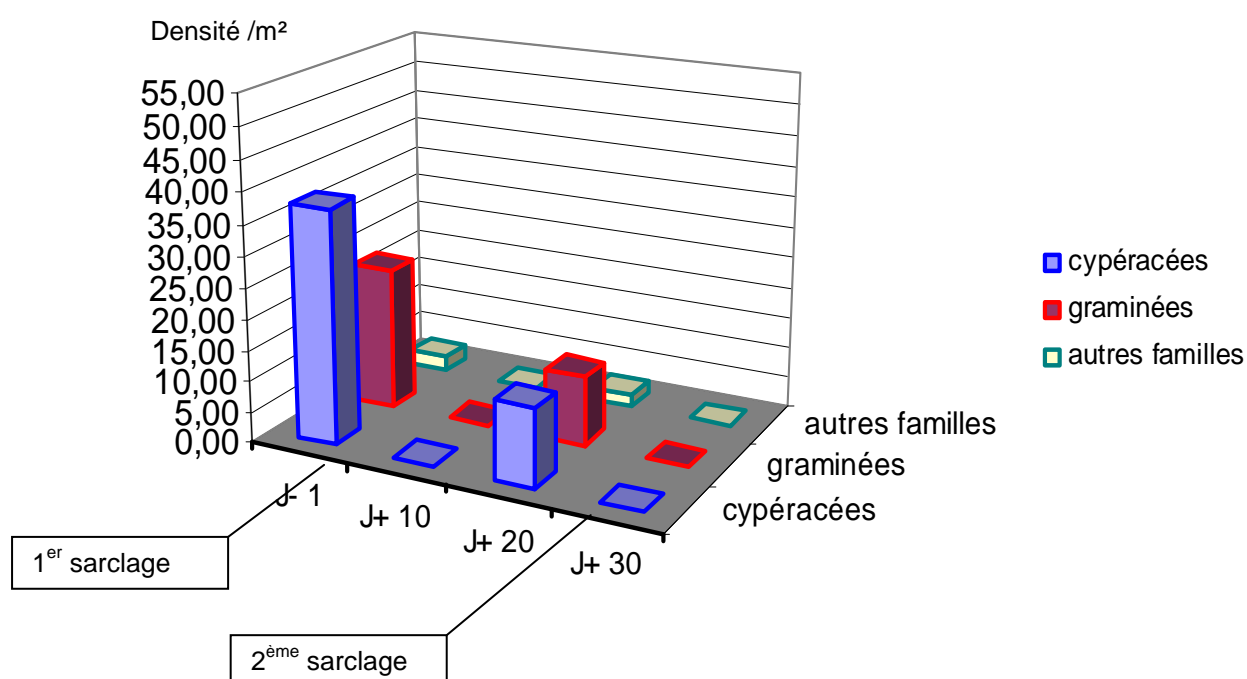
<i>I. rugosum</i>	3	Levée			-
<i>O. longistaminata</i>	-	2 - 3 feuilles	-	1	1
<i>S. angustifolius</i>					1

D'après le tableau 20, l'Herbextra 720 SL appliqué 15 jours après repiquage permet d'anéantir les cypéracées, les alismatales et les astéracées. Mais il reste sans action sur les graminées. La persistance d'action dure environ 20 à 30 jours, après laquelle on assiste à un repeuplement progressif. Les cypéracées reprennent de la place environ 1 mois après traitement correspondant à un taux de recouvrement global de 25% (tableau 20).

Les graminées et les cypéracées sont sensibles au traitement à l'Alligator 400 EC (tableau 20). Ce dernier empêche leur levée. Cependant le taux de recouvrement global est supérieur à celui du Rifit 500 EC. Les graminées ne sont pas totalement détruites par l'Alligator 400 EC.

Le Rifit 500 EC agit bien au niveau des graminées que sur les cypéracées (tableau 20). Les mauvaises herbes recensées au lac Alaotra sont généralement sensibles à cet herbicide. Le taux de recouvrement global ne dépasse pas 10% donc le sol reste à un état de propreté pendant la phase du tallage.

Figure 12 : Effets du sarclage sur les adventices



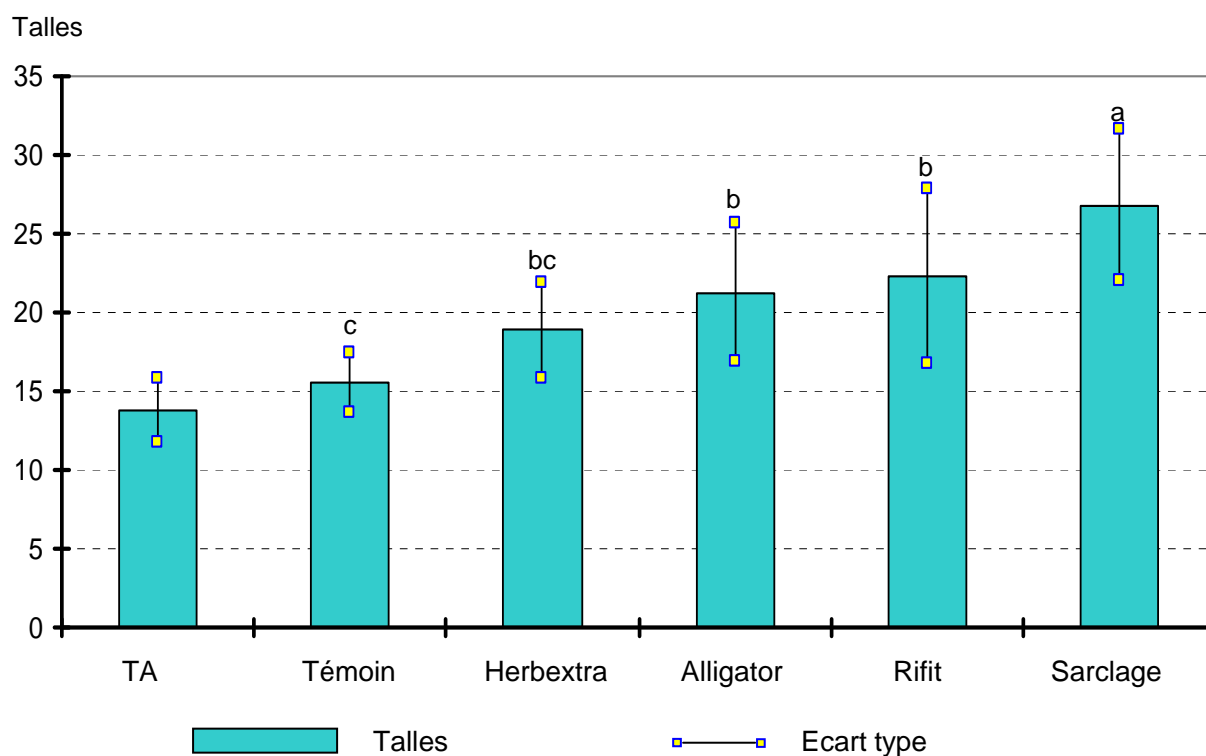
Dans la figure 12, un jour avant le premier sarclage (15 jours après repiquage), les cypéracées sont les plus denses en nombre (avec un nombre moyen de 35 plants/ m²) et en espèces, suivies par les graminées. Le terrain devient propre après le premier sarclage. Environ 20 jours après,

les mauvaises herbes repeuplent la parcelle grâce aux graines emmenées par l'eau d'irrigation et exposées à la surface du sol. Les graminées ne sont que partiellement détruites, elles repoussent encore.

5.2.2.2 Nombre de talles par touffe

Les nombres de talles issus des différentes méthodes de lutte contre les mauvaises herbes sont classés en 3 groupes homogènes dans la figure 13. Les mêmes lettres désignent des traitements appartenant à des groupes homogènes.

Figure 13 : Résultats des nombres de talles par touffe



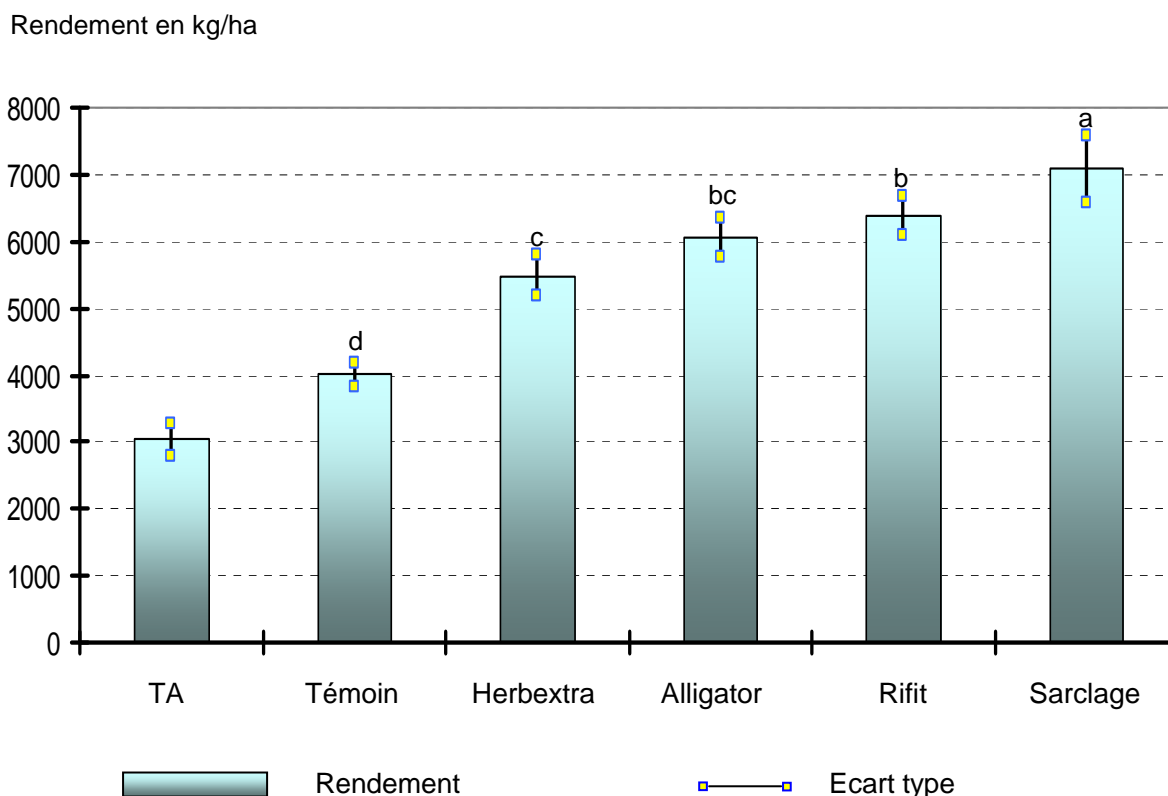
Les analyses de la variance ont montré donc que des différences hautement significatifs ($F=16,329$; $p= 0,00083$) existent entre les traitements.

Le premier groupe qui donne le plus de talles est celui du traitement sarclage avec $26,8 (\pm 2,579)$ talles par touffe (figure 13). Ensuite, les nombres de talles issus des traitements herbicides de pré émergences (Alligator 400 EC et Rifit 500 EC) appartiennent à un autre groupe homogène. Les résultats du traitement Alligator 400 EC sont intermédiaires entre ceux du témoin (avec une moyenne de $15,55$ talles $\pm 0,579$) et de l'Herbextra 720 SL dont le nombre de talles est de $18,86 (\pm 0,295)$.

C'est donc le sarclage qui donne le meilleur résultat suivi des herbicides de préémergence.

5.2.2.3 Rendement moyen de paddy en kg/ha

Figure 14 : Rendements en fonction des traitements



D'après la figure 14, il y a des différences hautement significatives ($F= 28,609$ et $p= 0,00015$) entre les traitements. On a quatre groupes homogènes de rendement dont le sarclage (7088,8 kg/ha ($\pm 504,8$), les herbicides de préémergence dont Rifit (6377 kg/ha $\pm 297,72$), Herbextra 720 SL avec un rendement 8488,8 kg /ha ($\pm 320,02$) et le témoin qui a donné un rendement de 4011,1 kg/ha ($\pm 177,5$).

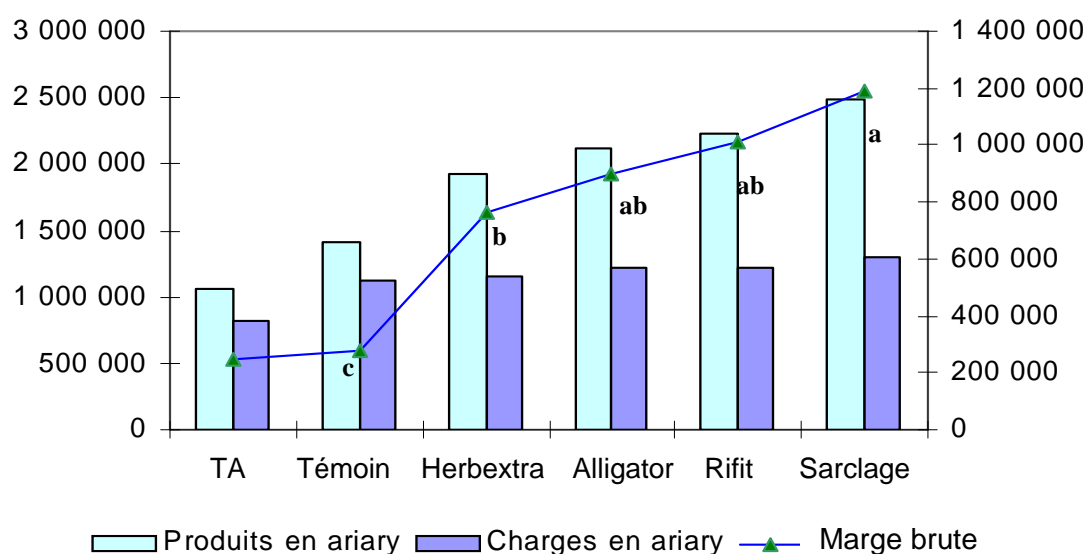
Au vu de ces résultats, on peut conclure que les méthodes de lutte contre les mauvaises herbes influent très positivement sur le nombre de talles par touffe et sur le rendement en paddy en kg/ha. Le sarclage donne les meilleurs résultats.

5.2.3 Analyses économiques

5.2.3.1 Etude de la marge brute

La marge brute représente 39,6% de la valeur du produit pour Herbextra et 47,9% pour le sarclage. Elle n'est que 19,6% pour le témoin contre 23,6% pour le témoin absolu. Les marges sont classées en trois groupes homogènes.

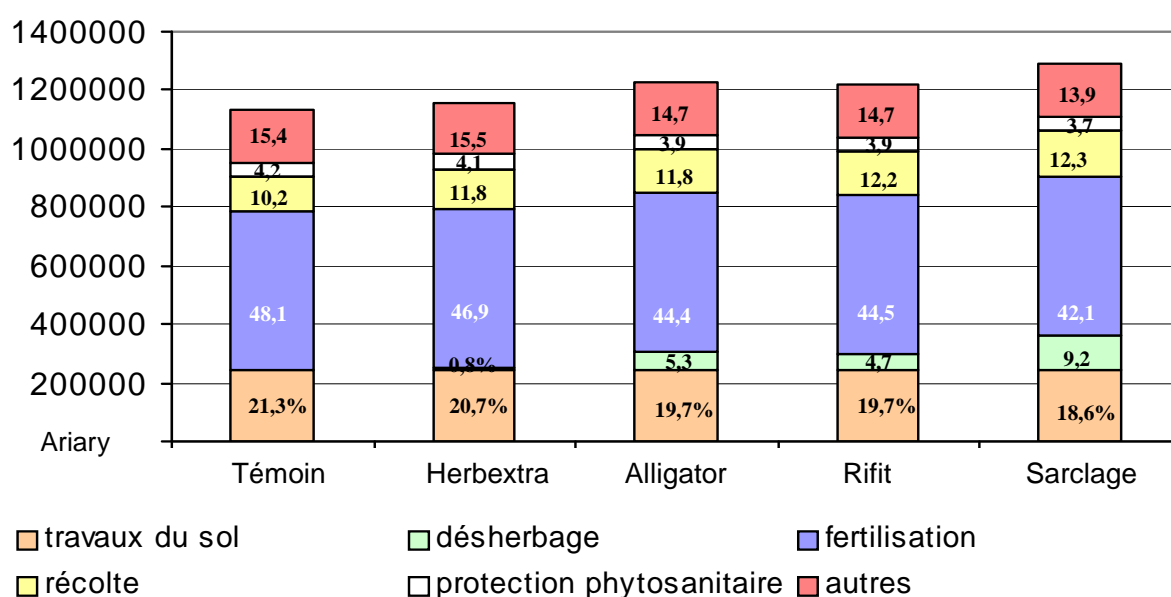
Figure 15 : Marge brute



L'analyse de la variance montre des différences hautement significatives ($F=22,563$ et $p=0,00031$) entre les traitements (figure 15). Ainsi, les méthodes de lutte contre les mauvaises herbes influent significativement aussi sur la marge brute.

On gagne plus de marge avec le sarclage.

Figure 16 : Répartition des charges dans les différentes luttres contre les mauvaises herbes



On voit à partir de la figure 16 que la somme des charges, pour chaque méthode de désherbage, est à peu près homogène (entre 1100 000 à 1300 000 ariary). Généralement, le coût des travaux de préparation des sols (18 à 21%) et celui de la fertilisation (42- 48%), occupent plus de la moitié (50 à 69%) du budget alloué à la riziculture irriguée. La proportion qu'occupe la récolte, la protection phytosanitaire et les autres opérations est comparable pour tous les traitements. Ces autres opérations regroupent l'achat de semences, le coût du repiquage et la gestion de l'eau. La protection phytosanitaire n'occupe que 4% des charges, soit 47800 Ariary.

C'est le coût du désherbage qui fait la grande différence, il est de 10 000 Ariary pour Herbextra 720 SL et de 58 500 à 65 400 Ariary pour les herbicides de préémergence. Le coût de l'opération de sarclage plus de 10 fois plus que celui de l'Herbextra et 2 fois plus que le coût d'un herbicide de préémergence.

5.2.3.2 Etude du rapport valeur de la production– coût du traitement de désherbage

Tableau 21 : Rapport du gain en paddy sur coût du désherbage

Traitements	Herbextra	Alligator	Rifit	Sarclage
Gain en kg/ha par rapport à T5	1 477	2 055	2 366	3 077
Investissement en désherbage	10 000	65 400	58 500	120 000
Gain en valeur de paddy en ariary	516 950	719 250	828 100	1 076 950
Rapport valeur de production /coût de désherbage	51,7 a	11,0 b	14,2 b	9,0 b
Ecart type	± 7,47	± 3,17	± 3,49	± 1,20

Après analyses de la variance, il y a une différence hautement significative ($F= 46,538$, $p= 0,00032$) entre Herbextra 720 SL et les autres traitements.

Ce rapport est calculé à partir de la valeur de la production comparée au témoin sur le coût du désherbage. Malgré un rendement faible en paddy du traitement Herbextra, il donne un rapport surélevé de 51,7 (tableau 21). Le coût du produit est en fait relativement moins cher, par conséquent, en investissant 1 ariary dans cet herbicide, on en récupère 51,4 au moment de la récolte.

C'est Herbextra qui donne le meilleur résultat en terme de rapport valeur sur coût du traitement.

5.2.3.3 Etude de la productivité des traitements de désherbage

Par rapport au sarclage, on peut souligner le gain de temps offert par les traitements chimiques. L'application des herbicides ne nécessite que 0,25 hj par ha contre 66 hj /ha pour le sarclage. L'analyse de la variance (tableau 22) au niveau de la durée totale des travaux culturels en homme- jour par ha démontre une différence hautement significative entre les traitements de désherbage ($p = 0,0001$ et $F = 466,2$).

Tableau 22 : Résumé de la durée des travaux culturels en homme jour /ha

	<i>Témoin</i>	<i>Herbextra</i>	<i>Alligator</i>	<i>Rifit</i>	<i>Sarclage</i>
<i>Pépinière</i>	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
<i>Préparation du sol</i>	35	35	35	35	35
<i>Transplantation</i>	31	31	31	31	31
<i>Luttes contre insectes et maladies</i>	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
<i>Désherbage</i>	0	0,25	0,25	0,25	66
<i>Gestion de l'eau</i>	11	11	11	11	11
<i>Récolte</i>	55	72	79	82,75	91
<i>Durée totale travaux en hj /ha</i>	137,25 d $\pm 2,254$	153,17 c $\pm 3,321$	162,83 b $\pm 0,637$	165,91 b $\pm 1,968$	236,08 a $\pm 4,08$
<i>Productivité en kg de paddy /jour</i>	29,23 d $\pm 0,408$	35,71 c $\pm 0,721$	37,24 b $\pm 0,123$	38,43 a $\pm 0,536$	30,03 d $\pm 0,608$

On voit qu'en utilisant des herbicides, le volume total des temps de travaux est significativement réduit de 29,7 % pour le Rifit 500 EC (soit de 165,91 hj /ha) à 35,1% pour l'Herbextra 720 SL (soit de 153,17 hj /ha) par rapport à celui du sarclage. Le volume de temps nécessaire à la récolte dépend du battage qui est effectué manuellement.

Au niveau de la productivité exprimée en kg de paddy par journée de travail, les traitements sont significativement hautement différents ($p = 0,0001$ et $F = 157,7$). Les méthodes de lutte chimique contre les mauvaises herbes donnent les meilleurs résultats surtout avec le Rifit 500 EC ($38,43 \pm 0,53$ kg/ journée de travail).

L'emploi d'herbicides est très intéressant. En effet, la durée totale des temps de travaux est plus courte en utilisant de l'Herbextra 720 SL et la productivité de travail est élevée en utilisant le Rifit 500 EC.

5.3 Conclusion partielle

Concernant les essais de différentes doses d'engrais, on conclut qu'au niveau de temps total des travaux exprimés en h_j /ha et au niveau de la productivité en kg par jour, un apport correspondant à D_2 (200 kg de NPK 11.22.16 + 100 kg d'urée 46% par ha) suffit pour avoir les meilleurs résultats. En effet, elle donne les résultats optima concernant le nombre de talles par touffe, le rendement en kg paddy/ha, et la valeur ajoutée. En termes d'investissement en engrais, on a une valeur modérée de 2,56 ($\pm 0,194$) contre 1 Ar investi. Au dessus de cette dose, les résultats au niveau du rendement sont de plus en plus uniformes et en deçà les réponses du riz en engrais sont peu perceptibles.

Du côté des essais de différentes méthodes de lutte contre les adventices, chaque méthode renferme ses avantages et ses inconvénients. Le sarclage répétitif favorise une émission maximale de talles et un rendement élevé. L'agriculteur gagne ainsi une marge plus importante, cependant le sarclage demande une disponibilité en main d'œuvre (236,08 h_j / ha) et financière (10 fois plus que le coût du 2,4D). En adoptant les traitements chimiques, l'agriculteur réduit significativement le temps total de travail (153,17 h_j /ha pour l'Herbextra 720 SL et 162,83 h_j /ha pour l'Alligator 400 EC). Avec la lutte chimique contre les adventices, la rémunération du riziculteur passe de 35,71 (Herbextra 720 SL) à 38,43 kg (Rifit 500 EC) de paddy par journée de travail. En plus, les herbicides sont moins chers puisque le rapport valeur de production sur coût du désherbage (51,7 contre 1) est hautement rentable.

6 INTERPRETATION DES RESULTATS ET PROPOSITION D'AMELIORATIONS

6.1 Limites du travail

6.1.1 D'ordre socio économique

- Habituellement venant des zones situées aux alentours du lac Alaotra, de Manjakandriana, et des zones Betsileo, ce sont des salariés extérieurs à la région qui abondent dans l'exécution des travaux manuels (repiquage, sarclage, récolte). L'insuffisance en main d'œuvre se fait particulièrement sentir au moment du repiquage, problème auquel nous avons également dû faire face. Ceci se traduit par un retard, de 15 jours que prévu dans le protocole d'essai, de la date du repiquage et une hausse générale du coût de l'opération de 30 à 60%.

- Ce décalage est aussi la conséquence du report de la date d'ouverture des barrages hydroagricoles dans tout le Lac Alaotra. En effet, suite à un règlement intérieur au niveau des membres des Associations des Usagers de l'Eau, la fédération et les responsables de réseaux hydroagricoles ont différé l'ouverture des barrages d'irrigation après que la majorité des membres aient cotisé les frais d'entretien annuel avec paiement des arriérés.

6.1.2 D'ordre technique

- Les analyses de la variance des rendements au niveau des deux essais montrent des différences significatives entre les blocs. En d'autres termes, les blocs ne sont pas assez homogènes. Hétérogénéité des blocs, due à la diversification de la répartition des éléments texturaux du sol des parcelles.

- Partout à Madagascar, la saison culturale 2005- 2006 a été marquée par une insuffisance de la pluviométrie. Celle-ci a entraîné des conséquences non négligeables autant pour le riz irrigué que les pluviaux. Dans la plupart des cas, les barrages de retenue accusent un très faible débit voire un épuisement total alors que le riz entre dans son besoin maximum. Il en résulte des grains moins lourds et des campagnes perdues pour le riz pluvial.

- Des contraintes relatives à la qualité des travaux de préparation du sol ont compromis l'efficacité des herbicides appliqués sur le sol. En effet, le mauvais nivellement du sol a rendu une localisation de la répartition des mauvaises herbes. Ceci a rendu difficile l'estimation du taux de recouvrement des graminées.

6.2 Interprétation des résultats et recommandations

6.2.1 Doses croissantes d'engrais minéraux

Le nombre de talles ainsi que le rendement de paddy à l'ha augmente avec la dose d'engrais minéraux apportés. Les meilleures valeurs au point de vue nombre de talles et de rendement correspondent à une dose maximale d'engrais. Il en résulte que le riz réponde bien à une fumure minérale en irriguée. Les conditions nécessaires à l'épanouissement de la plante s'améliorent au fur et à mesure que les éléments minéraux soient abondants. On a de la productivité élevée et une courte durée des temps de travaux avec la dose D_1 puis qu'on récolte peu par rapport au rendement de D_2 .

Le rendement et la valeur ajoutée sont des paramètres plus intéressants pour les essais de doses d'engrais, d'où l'adoption de 200 kg/ha de NPK 11.22.16 et 100 kg d'urée 46% (D_2). Au dessus de cette dose les résultats s'homogénéisent, l'âge du plant à repiquer est un facteur limitant l'émission de talles et donc de l'augmentation du rendement.

Nous recommandons ainsi un apport de 200 kg/ha plus 100 kg d'urée par ha sur les rizières irriguées au Lac Alaotra.

6.2.2 Comparaison de différentes méthodes de lutte contre les adventices

Le nombre moyen de talles émis par le riz sarclé atteint la valeur maximale parmi toutes les méthodes de lutte contre les mauvaises herbes (tableau 6). Ceci est due, d'un côté, à la suppression non sélective et continue de toutes les plantes adventices. En effet, soit on ôte manuellement les plantes autres que le riz, soit, par l'emploi des houes rotatives des sarcleuses, on enroule les adventices situées entre les lignes. Mais de l'autre côté, due à une aération de la zone racinaire autorisée par un léger binage superficiel du sol au cours du passage des griffes de la sarcleuse.

Le décalage des résultats entre Alligator 400 EC et Rifit 500 EC s'explique par le fait que ce premier produit étant sélectif de position, donc son efficacité reste très dépendante de la qualité du planage et du nivellement. Il faut seulement une humidité qui véhiculera le produit tandis qu'une présence de lame d'eau fait perdre son efficacité. La lame d'eau protège les organes souterrains des adventices (tableaux 8 et 20).

Le Rifit 500 EC, anti-graminée appliquée également au stade entre la germination et la levée des adventices, semble indifférent à cette propriété quoiqu'il ait besoin d'une présence de boue humide ou de lame d'eau (rendement et productivité élevés comparés à ceux de l'Alligator). Comparés à 2,4 D, on a de bons résultats avec les herbicides de préémergence puisque l'élimination des adventices s'opère précocement, en plus les espèces cibles sont plutôt les monocotylédones.

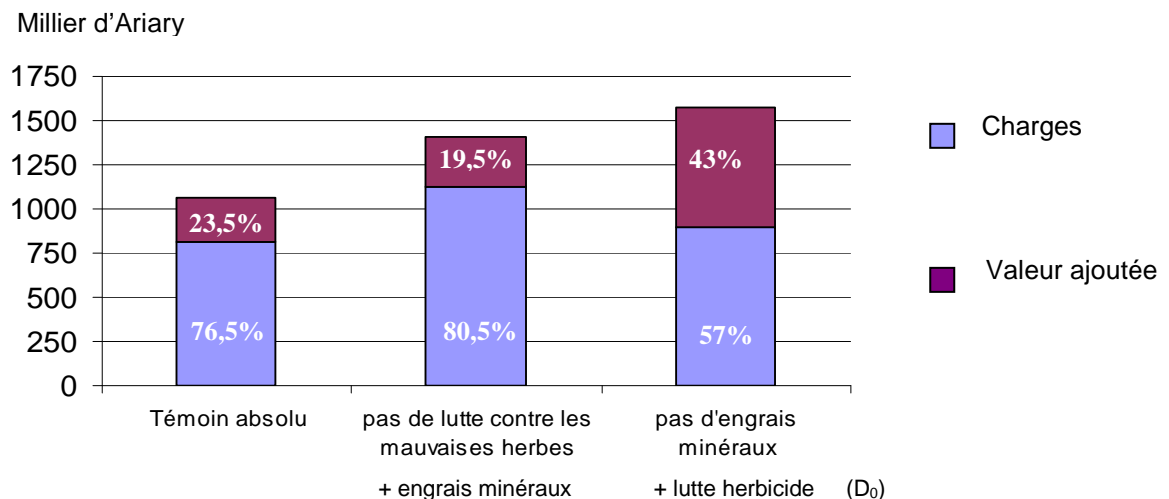
Souvent seul herbicide utilisé très tardif et n'admettant aucune influence sur les graminées, herbicide désordonnant la croissance par activation de la division et l'élongation cellulaire, l'Herbextra 720 SL tue spécialement les dicotylédones. Sa molécule active, le 2,4D élimine également nombreuses espèces appartenant à la famille des Cypéracées (tableaux 8 et 20). Pourtant ces dernières, dans le Lac Alaotra, ont acquis une forme de résistance vis-à-vis de cet herbicide en réapparaissant peu de temps après épandage, moins de 20 jours pour *E. equisetina* et moins de 1 mois pour les *Cypeurs sp.* L'utilisation statique de cet herbicide et la réduction de la dose à l'ha par la pratique paysanne en sont les causes.

En guise de recommandation, bien que par le biais du sarclage répétitif, on a des rendements nettement élevés, nous proposons les herbicides qui, de part leur coût relativement faible, réduisent le nombre de la main d'œuvre ainsi que le temps consacrés à la lutte contre les mauvaises herbes face à l'importance des superficies cultivées au Lac Alaotra.

Pour atteindre un bon rendement et pallier aux résistances, nous recommandons l'emploi des herbicides de préémergence alterné à l'Herbextra 720SL qui est un sélectif relativement cher.

6.3 Relation existante entre engrais minéraux et lutte contre les adventices

Figure 17 : Comparaison des valeurs produites par les investissements en engrais et en désherbage



La figure 17 montre la répartition des produits au niveau des témoins. On réalise plus de produits en investissant sur les engrais minéraux par rapport à T_A , cependant on a peu de bénéfice. A condition que l'on ait pratiqué une méthode correcte de lutte contre les mauvaises herbes (D_0), on peut seulement réaliser une valeur ajoutée plus élevée (valeur double de celle du témoin sans désherbage) même sans apport d'engrais minéraux. Il est plus intéressant d'investir sur les herbicides (plus de produit et plus de valeur ajoutée) que sur les engrais minéraux (charge élevée). Cependant la fertilité du sol des rizières doit être entretenue par la fertilisation minérale.

Donc une méthode de lutte efficace contre les mauvaises herbes doit nécessairement accompagner un investissement en engrais.

On peut aussi recommander la combinaison du sarclage et des méthodes de lutte chimique contre les plantes adventices (tableau 23). Mais il serait aussi intéressant d'étudier la combinaison de l'emploi d'herbicides de préémergence complété par l'opération de sarclage.

Tableau 23 : Comparaison des besoins en main d'œuvre en fonction des types de désherbage

<i>Opération de lutte</i>	<i>Main d'œuvre hj /ha</i>	<i>Productivité kg/ha</i>
4 sarclages mécaniques	422,75	18,07
3 sarclages	378,75	16,16
2 sarclages	345,75	15,33
Sarclage manuel	314,75	11,91
Désherbage 2,4D	303,75	16,82
2,4D +sarclage mécanique		16,37
2,4 D + sarclage manuel		15,17

Source : (NDRIANTSOAVINA, 2003)

NB : Dans ce tableau, les travaux de préparation du sol s'effectuent manuellement.

Selon NDRIANTSOAVINA (2003) et MINTEN (2003), la quantité de main d'œuvre est de 340 hj/ha pour les petites exploitations contre 70 hj/are pour les grandes exploitations. Dans le tableau 23 en terme de productivité, le sarclage manuel accuse la valeur la plus faible, suivi des opérations faisant intervenir de 2 à 3 passages de sarclage. Certes, la productivité s'améliore avec le nombre de sarclages cependant le coût de l'opération et le temps de travaux gonflent parallèlement et risque de n'être plus rentable.

6.4 Proposition d'améliorations

- Les essais des pesticides et engrais à l'initiative de la S. E. P. C. M. en milieu paysannat doivent pouvoir continuer au fil des années et au milieu de diverses zones à vocation agricole de Madagascar.

En premier lieu, étant donnée que le riz reste la première plante la plus cultivée dans l'île, il serait souhaitable que des comparaisons effectuées dans d'autres zones puissent avoir lieu. Les effets induits par d'autres produits herbicides doivent être démontrés en milieu paysannat, cas du propanil et bensulfuron-méthyle (tableau 8) sur *Echinochloa* et certaines cypéracées par exemple. Produit à pénétration racinaire et foliaire, avec importante systémie et ayant comme lieu d'activité les plastes. On aurait des résultats différents avec les sélectifs et les herbicides de préémergence, de plus il constitue une option pour pallier aux résistances des adventices.

En second lieu, les paysans consacrent des efforts volumineux aux cultures des tanety tout particulièrement à la fertilisation et aux temps consacrés au sarclage des cultures installées

(riz pluviaux et cultures vivrières). Le niveau de fertilité de ce terroir ainsi que la valeur du *pH* demeurent relativement faibles. Ainsi on peut étendre la sensibilisation vers l'amendement, la fertilisation des tanety et luttés herbicides.

- La main d'œuvre, au repiquage et au sarclage par son coût et sa disponibilité, constitue le facteur de blocage à la riziculture. Cette situation coïncide au début de la période de soudure. Les agriculteurs se trouvent dans l'obligation d'utiliser le 2,4D comme traitement herbicide malgré le fait que les herbicides de préémergence soient des produits à plus grand spectre d'activité.

- Le coût des 200 kg de NPK 11.22.16 et de 100 kg d'urée vaut à peu près 300 000 Ariary (plus de 40% des charges), charges qui pèsent lourdement sur l'exploitation agricole. C'est pourquoi les paysans ne mettent que le quart des doses recommandées par les techniciens. Il est vrai que l'octroi de crédit aux paysans ou groupements de paysans a souvent rencontré parce que le taux de recouvrement dépasse rarement les 50%. Cependant, le système crédit- récolte devrait être étudié et répandu au niveau des organismes ruraux. Elle réalise un taux de recouvrement de plus de 90%.

- Du point de vu technique, on doit alterner le 2,4 D par des produits de matières actives ou mode d'action différentes tous les deux ou trois ans afin de remédier aux problèmes de résistance. Mais aussi, on peut faire appel au sarclage pour compléter l'action des herbicides. On peut réduire l'ensemencement des parcelles par les mauvaises herbes en installant des filtres à l'entrée des eaux d'irrigation.

- Le prix du riz est le facteur le plus motivant pour les riziculteurs, lorsque le prix du riz connaît une augmentation, les paysans investissent sûrement en intrants tels que engrais minéraux et herbicides. Les acteurs à la filière riz doivent pouvoir participer à l'établissement d'un prix stable et juste au profit des agriculteurs.

- Les grands temps des moissonneuses batteuses au Lac Alaotra sont révolus, les riziculteurs procèdent manuellement aux travaux de récoltes. Le problème relatif à la main d'œuvre surgit encore une fois. Tout s'opère manuellement depuis la coupe jusqu'au battage, or les moyens mécaniques existent à savoir les motoculteurs. Ces petits moteurs de puissance variable (4 à 13 CV) sont adaptés des paysans comme un moyen de transport, un moteur d'entraînement des motopompes. Nous suggérons qu'il y a possibilité d'adapter ces petits moteurs à effectuer le battage.

- Le rôle des oligoéléments dans la détermination du rendement en riziculture mérite une intéressante étude à part, en particulier le soufre, le zinc et le bore.

6.5 Conclusion partielle

Les conséquences des doses d'engrais minéraux adoptées par les paysans (entre 10 et 80 kg par ha) ne sont pas tangibles dans l'augmentation du rendement du riz. En effet, la dose optimale que nous recommandons est de 200 kg /ha de NPK 11.22.16 plus 100 kg d'urée 46% à l'ha.

Le désherbage est une opération inséparable à la riziculture et certes, le sarclage successif a donné le meilleur rendement au cours de cet essai, cependant cette opération impose une grande disponibilité financière ou celle de la main d'œuvre familiale. Chaque méthode de désherbage a ses points forts qui le caractérisent : le rendement élevé pour le sarclage ; le prix relativement moins cher et le gain de temps en lutte contre les mauvaises herbes pour le 2,4D. Mais pour le cas de la riziculture irriguée au Lac Alaotra, nous retenons les avantages offerts par les herbicides de préémergence, en particulier le Rifit 500 EC, à savoir la précocité de l'intervention sur les adventices, la productivité élevée due à la facilité de la lutte contre les graminées.

CONCLUSION GENERALE

On ne peut espérer de bons rendements du riz fournis par un apport d'engrais minéral que si la lutte contre les mauvaises herbes est entretenue. Un apport de 200 kg de NPK 11.22.16 plus 100 kg d'urée 46% est recommandé en rizière irriguée du Lac Alaotra. Mais il faut aussi noter qu'un apport d'engrais doit être suivi d'une méthode de lutte efficace contre les mauvaises herbes.

Le sarclage répétitif est une opération efficace de la lutte contre les mauvaises herbes, cependant en dehors du repiquage et de tous les travaux de récoltes, le sarclage alourdit les travaux nécessitant obligatoirement de la main d'œuvre. Les exploitations agricoles peuvent réduire jusqu'à 70 h/ha le volume de temps de travaux en mécanisant le battage à la récolte et en éliminant le sarclage et en le remplaçant par l'utilisation rationnelle de divers herbicides. Une efficacité partielle de ces derniers sur certaines espèces d'adventices a peu d'effet sur le rendement tant que la plante adventice n'est pas considérée comme envahissante. Dans le cas contraire, on peut faire appel à un sarclage complémentaire ne nécessitant qu'un petit apport de main d'œuvre.

L'intérêt d'un désherbage repose sur la possibilité d'intervenir très précocement sur les mauvaises herbes. Malheureusement, étant donné que le repiquage en foule concerne 80% des rizières au Lac Alaotra, les sarcleuses à houes ne peuvent constituer une solution. Le sarclage manuel ne peut être fait que si les plantes adventices aient une certaine hauteur par laquelle on peut les saisir à la main. Nous proposons ainsi une pulvérisation d'herbicides de préémergence, qui grâce à leur rémanence, permet de garder un sol propre ayant un taux d'enherbement inférieur à 10% pendant le stade optimum d'intervention sur les mauvaises herbes (soit avant 45 jours après le repiquage). Le 2,4 D, herbicide sélectif du riz, a l'avantage d'être bon marché et doit constituer la base du traitement des dicotylédones. Cependant, afin de ne pas pousser le phénomène de résistance surtout chez les cypéracées, on doit l'alterner par exemple tous les deux ans à d'autres molécules.

Enfin, il faut signaler que c'est la faible adoption de pratiques améliorées (semences améliorées, fumure minérale et organique, produits herbicides) qui entraîne le faible niveau de rendement du riz de notre pays. Et étant donné que le prix du riz est le facteur le plus motivant des riziculteurs, son augmentation, après concertation des acteurs à cette filière, peut conduire sûrement à une intensification rizicole par la majorité des producteurs. Ainsi, les paysans augmentent leur rendement et les objectifs relatifs à l'autosuffisance alimentaire peuvent être atteints.

BIBLIOGRAPHIE

1. ANGLADETTE (André), 1965 : **"Le riz"**, Paris, Collection techniques agricoles et production tropicale- G- P. Maisonneuve & Larose, 931 pages.
2. Anonyme, 1989 : **"PLI, Protection intégrée en riziculture au Lac Alaotra"**, rapport d'activité, 65 pages.
3. Anonyme, 2005 : **"PRD Plan Régional de Développement Alaotra Mangoro"**, 2005.
4. APPERT (J.), 1967: **"Les insectes nuisibles aux cultures de Madagascar"**, Antananarivo, Institut de recherche agronomique.
5. ARRAUDEAU (M.), 1998: **"Le riz irrigué"**, volume 2, édition Maisonneuve et Larose, CTA.
6. ARTAUD (A.), 1979 : **"Guide sur la fertilisation phosphatée"**, Partie Céréales, ISMA
7. CHAUX (C.) et Claude (F.), 1994: **"Protections légumières"**, Paris, Technique et documentation- Lavoisier, tome 1 : Généralités, 548 pages.
8. CIBA GEIGY, 1982: **"Monocot weeds"**, 3, 132 pages.
9. COUTEAUX (A.) et LEJEUNE (V.), 2005 : **"Index phytosanitaire 2005"**, Paris, 41^{ème} édition, 464 pages.
10. DE LALANIE (H.), 1993 : **"Le SRI malgache"** in revue "Tropicultura" volume 11 n°3, 1050 Bruxelles Belgique.
11. DOBELMANN (J.-P.) ,1976 : **"Riziculture irrigué"** tome 1. Conseil international de la langue française, 220 pages.
12. DPV, 1990 : **"Les Cypéracées annuelles"**, Fiches techniques de la protection des cultures n° 4/1990, Ministère de la production agricole et du patrimoine foncier.
13. DPV, 1990 : **"Une graminée importante"**, Fiches techniques de la protection des cultures n° 5/1990, Ministère de la production agricole et du patrimoine foncier.
14. ELIARIMANANA (V.), 2000 : **"Les herbicides en riziculture. Les facteurs de blocage de la diffusion de cette technique dans le Sud Ouest de Madagascar"**, mémoire ESSA département agriculture.
15. FAO/IMPHOS/IFA, 2003 : **"Les engrais et leurs applications, précis à l'usage des agents vulgarisateurs agricoles"**, 4^{ème} édition, Rabat, 77 pages.
16. FNIE, 1988 : **"La fertilisation"**, 6^{ème} édition Prairial- TGM- Paris, FNIE, 83 pages.
17. GAUTIER (M.), 1993 : **"La culture fruitière"**, volume 1
18. GILBERT Pierrette (J.), 1978 : **"Situation actuelle des herbicides à Madagascar"**, mémoire département agriculture ESSA (1974- 1977), 113 pages.
19. GRET, 1990 : **"Manuel d'agronomie tropicale appliquée à l'agriculture haïtienne"**, Paris, 464 pages.
20. GROS (André), 1962 : **"Engrais. Guide pratique de la fertilisation"**, Préf. de Jean Lefèvre. 5^{ème} édition, Paris, La Maison Rustique, 430 pages.

21. HARTMANN (B.), 2005 : **"Guide des intrants agricoles"**, SEPCM, 53 pages.
22. ITCF, 1995 : **"Riz. Du débouché à la culture"**, ITCF - CFR, 52 pages.
23. MAEP, 2003 : **"Annuaire statistique agricole 2003"**, Services statistiques agricole, MAEP.
24. MAEP, 2004 : **"Atelier de mise en place de la plate forme de concertation sur la filière riz"**, Rapport de synthèse, MAEP.
25. MAEP, 2005 : **"Recensement agricole, 2004- 2005"**, Service statistiques agricole, MAEP.
26. MARNOTTE (P.), 2002 : "Utilisation des herbicides : contraintes et perspectives" in **"Mémento de l'agronome, "**, CIRAD- GRET- MAE, JOUVE PARIS, 1617 pages.
27. MARX (M.) et JACOB (M.), 1995 : **"Fruits et abeilles : malherbologie"** in "Le B.A.- BA de l'applicateur de produits phytosanitaires certifié"
28. MINTEN (B.), RANDRIANARISOA (JC.) et RANDRIANARISON (L.), 2003 : **"Agriculture, pauvreté rurale et politiques économiques à Madagascar"**, USAID-CORNELL-INSTAT-FOFIFA, 107 pages.
29. NDRIANTSOAVINA (H.), 2003 : **"Amélioration de la productivité des facteurs déterminants de la riziculture. Etudes des différentes méthodes de désherbage. Cas du SRI sur les Hautes Terres"**, mémoire département agriculture ESSA, (1997- 2002), 77 pages.
30. RABEZANDRINA (René), 2003 : Manuel de pédologie Malagasy
31. RAHANIRAKA (H.), 2000 : **"Proposition d'utilisation de deux nouveaux herbicides sur le riz à la place des moyens usuels de lutte contre les mauvaises herbes. Cas de 4 régions de Madagascar"**, mémoire département agriculture ESSA, (1994- 1999), 108 pages.
32. RAJAOBELINA (H.), 2004 : **"Analyse comparative des systèmes de riziculture dans la commune rurale d'Andoharanomaitso Fianarantsoa II"**, mémoire département agriculture ESSA (1998- 2003), 64 pages.
33. RAKOTOARISOA (J.) et ANDRIANAIVO (B.), 1987 : **"Programme riz irrigué à Marovoay"**, Rapport d'activité, 10 pages.
34. RANDRIAMAMPINANINA (J. A.), 1991 : **"Lutte contre les mauvaises herbes en riziculture au lac Alaotra"**, rapport de synthèse 1987- 1990, FOFIFA- DRD, 25 pages.
35. RASOAVIMALALA (H. M.), 1984 : **"Le *Maliarpha separata* ou borer blanc du riz dans la région du Lac Alaotra"**, mémoire département agriculture ESSA (1980- 1983), 76 pages.
36. RAZAFINDRATSIMA (L.), 1998 : **"Intérêt économique de l'utilisation des engrais dans le Sud Ouest de Madagascar"**, mémoire département agriculture ESSA (1992- 1997), 79 pages.
37. SOLTNER (D.), 2003 : **"Les bases de la production végétale"**, Tome 1. "Le sol et son amélioration", 23^{ème} édition, 471 pages.
38. TEFY SAINA, 1996 : **" Système de Riziculture Intensive"**, Fiches techniques F. I n° 1, CAPR- Tsinjoezaka, Ambozontany Fianarantsoa, 12 pages.
39. <http://www.FAO.org>, **"Production mondiale de riz, 2005"**
40. <http://www.CARC>, **"Comité d'experts en lutte intégrée"** (CEI Canada)

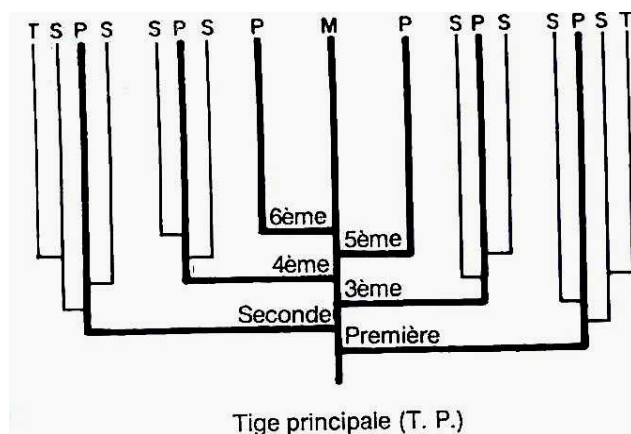
ANNEXES

Annexes 1 : Physiologie du riz

Emission de talles

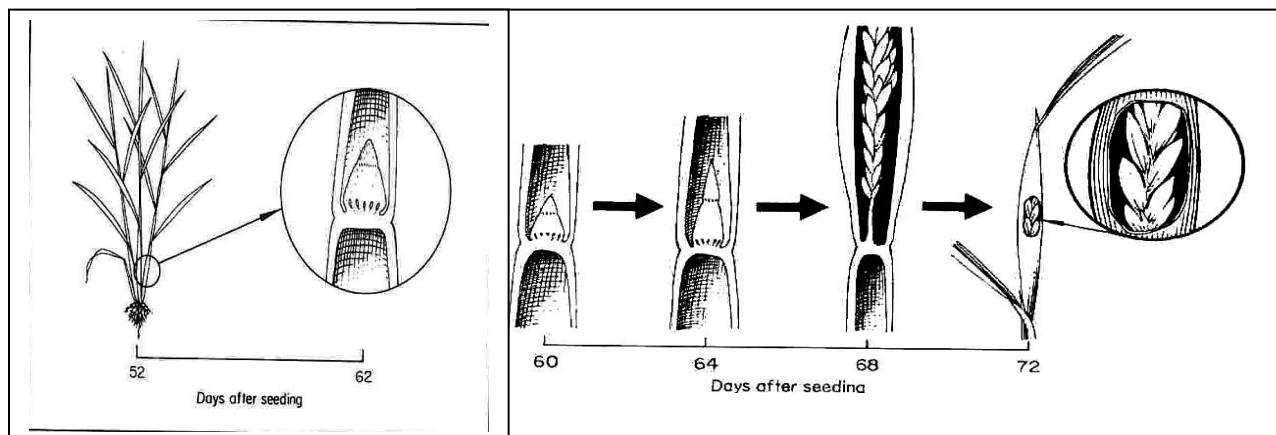
(NDRIANTSOAVINA, 2003)

Altitude	>1000m	5 ^{ème} j	12	19	26	33	40	47	54	61	68	75	82	89	
	1000m	4 ^{ème} j	10	16	22	28	34	40	46	52	58	64	70	76	
	Mer	3 ^{ème} j	8	13	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63	
Phyllochrone		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Brin maître		1													
Talles	1 ^{er} rang	1 1 1 1 1 1													
	2 ^{ème} rang	1 2 3 4 5 6 5 4													
	3 ^{ème} rang	1 3 6 10 15 21													
	4 ^{ème} rang	1 4 10 20													
	5 ^{ème} rang	1 5													



Montaison (formation de l'ébauche paniculaire) -formation paniculaire

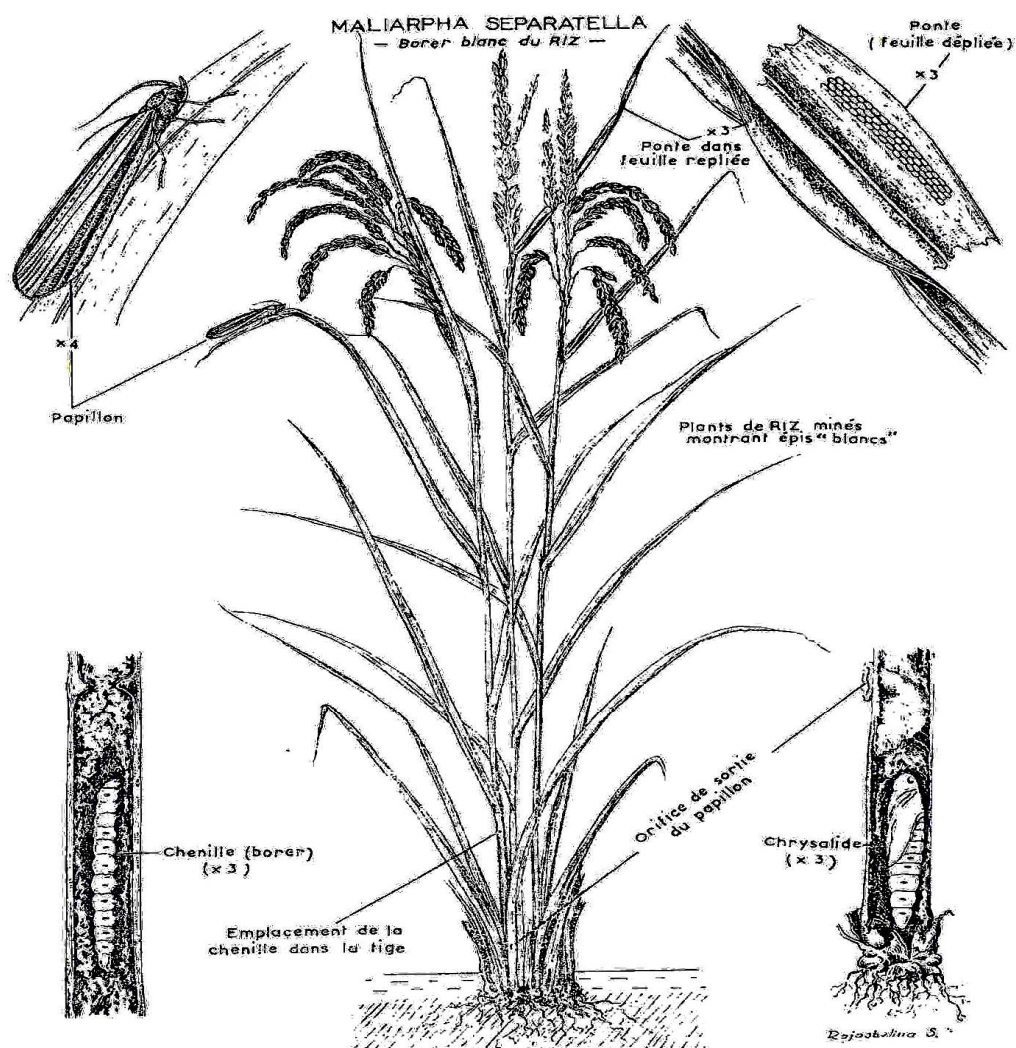
(ANGLADETTE, 1965)



Calendrier cultural et mauvaises herbes au lac Alaotra, conditionnées par le régime hydrique
(CIRPV Ambatondrazaka)

Situation /caractéristique	Calendrier	Types de mauvaises herbes dominantes
Zone à bonne maîtrise d'eau	Semis direct : nov- janvier repiquage : déc- janvier Récolte : avril- mai Rendement : 3,5T/ha	Cypéracées annuelles qui se multiplient par semis (C. rotundus)
Zone à eau stagnante fortement inondée	Semis direct : déc- janvier récolte : mai- juin Rendement : 1,5T/ha	Mauvaises herbes pérennes : cypéracées et graminées qui se multiplient par stolons et tiges souterraines (Leersia hexandra)
Zone difficile à irriguée	Mise en place dépendant de la pluie	Graminées annuelles (I. rugosum, mauvaises herbes photopériodiques)
Zones riches sans maîtrise d'eau et nécessitant un aménagement	Repiquage au retrait des eaux	Riz sauvages (O. longistaminata se multipliant par rhizomes ou riz stérile O. barthii ou riz caduque

Cycle biologique de *M. separatella* R.



Etablissement du seuil d'infestation du borer blanc

En admettant que par ponte on a un nombre moyen de 42 œufs et le taux moyen de survie des œufs est de 17%, une ponte donne naissance alors à 7 larves par infestation par conséquent 7 tiges infectées. Une perte tolérable de 1% correspond à un taux d'infestation des tiges de 20%. Alors le seuil économique d'intervention est de 2,93 pontes par 100 talles.

Annexes 2 : Herbicides et mauvaises herbes

Stade d'application des herbicides

Traitement de présemis	_____ S _____→ XXX
Traitement de pré plantation	_____ P _____→
Traitement au semis	_____ S _____→ X
Traitement à la plantation	_____ P _____→
Traitement de postsemis	_____ S _____L X
Traitement de postplantation	_____ P _____→
Traitement prélevé	_____ S _____L _____→ XX
Traitement de postlevée	_____ S _____L _____→ XX

S : Semis P : Plantation L : Levée

Pourcentage moyen d'infestation des mauvaises herbes au Lac Alaotra

(RAHANIRAKA, 2000)

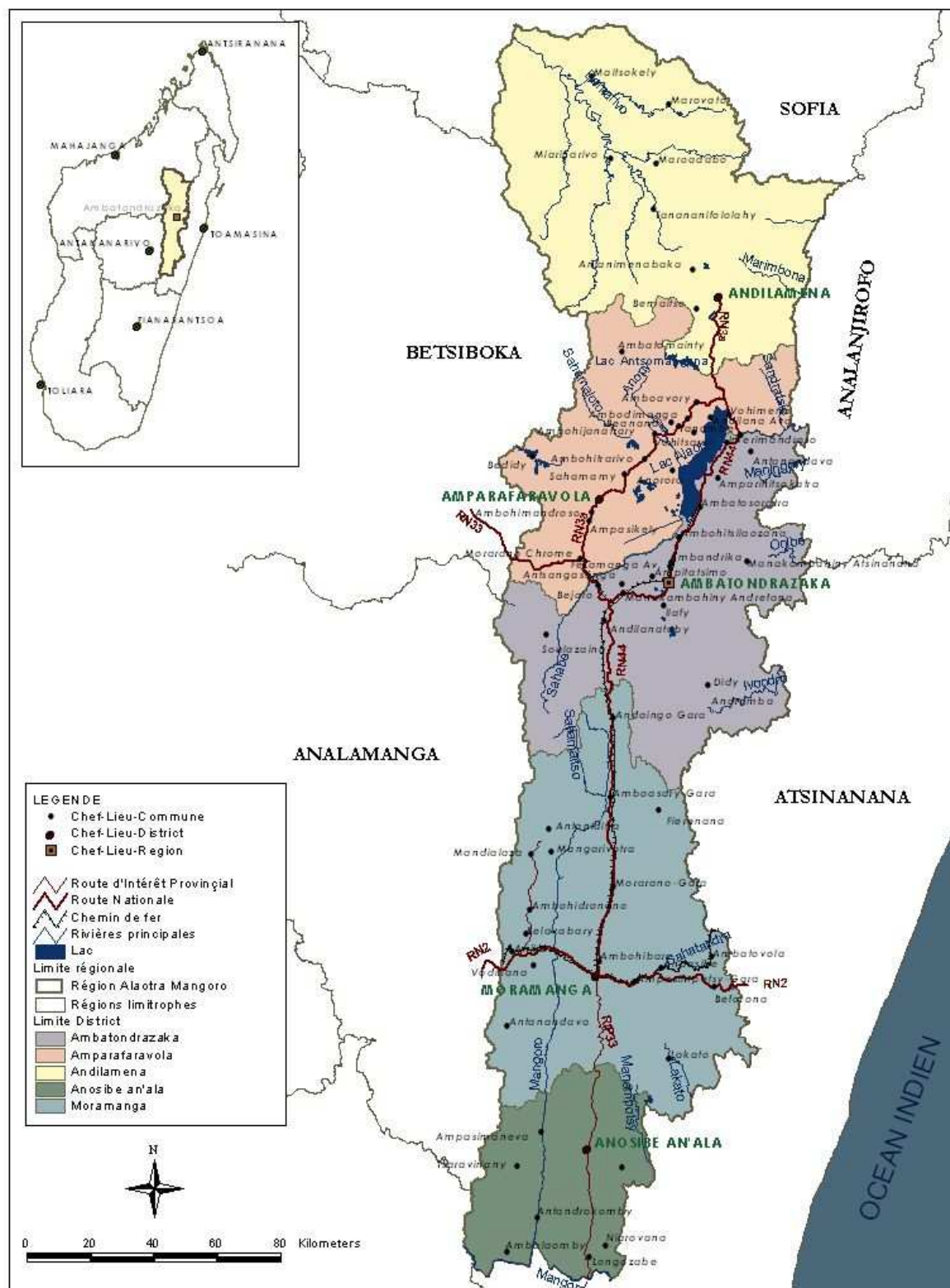
	Espèces adventices	Nom vernaculaire	Infestation moyenne en %
	PTERYDOPHYTES		
	Marsileaceae		
	<i>Marsilea minuta</i>	Anambavy	27
	Cyperaceae		
	<i>Cyperus difformis</i>	Beandoha	68,33
	<i>Cyperus iria</i>		
	<i>Cyperus latifolius</i>	Vendrana	9,8
	<i>Fimbristylis miliacea</i>	Taindalitra	13,33
	<i>Pycnus mundtii</i>	Vovokomby	18
	<i>Scirpus juncoides</i>	Ahipilo	
	Graminaceae		41,66
	<i>Cynodon dactylon</i>	Fandrotrarana	21,16
	<i>Digitaria horizontalis</i>	Marorantsana	10,14
	<i>Echinochloa colonum</i>	Karangy	38,87
	<i>Echinochloa crus gali</i>	Tsivakimpanoto	11,2
	<i>Ischaemum rugosum</i>	Mahabanky	79,5
	<i>Leersia hexandra</i>	Tsiriry	35
	<i>Oryza longistaminata</i>	Varinangatra	18,14
	<i>Oryza barthii</i>	Mihitsampoana	15,37
ANGIOSPERMES MONOCOTYLEDONES			
	Oenotheraceae		
	<i>Jussiaea repens</i>	Volandrano	13,24
	<i>Ludwigia octovalvis</i>	Angirify	7,66
	Papilionaceae		
	<i>Aeschynomene elaphroxylon</i>		6,95
ANGIOSPERMES DICOTYLEDONES			

Annexes 3 : Itinéraires techniques de culture
(AUTEUR)

Opérations	OCT			NOV			DEC			JANV			FEV			MARS			AVRIL			MAI			JUN		
Curage des canaux, nettoyage des diguettes	x	x																									
Epandage fumier					x																						
Ouverture du barrage					x																						
Mise en eau						x																					
Travaux de préparation du sol							x	x																			
Semis pré-germé + Thirame 161.8g de m.a./100 kg semences								x																			
Epandage dolomie agricole									x																		
Repiquage									x																		
Pré- émergence : Pendiméthaline 1280g de m.a./ha ou Prétilachore 750 g de m.a./l *									x																		
Epandage NPK 11.22.16									x																		
Premier sarclage manuel *											x																
Application 720 g de 2,4 D/ha *																											
Apport de la 1 ^{ère} fraction urée 46%													x														
Curage des canaux													x														
Première application Soufre micronisé 1200 g de S /ha													x														
Second sarclage manuel *														x													
Insecticide systémique 250 g Carbosulfan/ha														x													
Deuxième application 1200 g de S/ha																x											
Apport de la seconde fraction d'urée 46%																	x										
Gestion de l'eau																x	x	x	x	x	x	x					
Drainage																					x	x	x				
Récolte, séchage, battage et usinage																						x	x	x	x		
Labour de fin de cycle																									x	x	x

* traitements non simultanés sur une même parcelle, mais ils peuvent être combinés deux à deux.

Annexes 4 : Carte 1, carte administrative
(PRD)



Source : FTM, Région Alaotra Mangoro
Réalisation : UGI Région Alaotra Mangoro, Juin 2005

Annexes 5 : Facteurs de conversion entre les éléments, leurs composés et leurs ions

Eléments (‰)	Facteur de conversion	Composés (‰)	Facteurs de conversion	Ions (me/1000g)	Facteurs de conversion	Elément (‰)
N	← 0,23 x x 4,429 →	NO ₃	← 0,062 x x 16,13 →	NO ₃ ⁻	← 71,38 x x 0,014 →	N
N	← 0,7776 x x 1,288 →	NH ₄	← 0,018 x x 55,56 →	NH ₄ ⁺	← 71,38 x x 0,014 →	N
P	← 0,436 x x 2,291 →	P ₂ O ₅	← 0,024 x x 41,67 →	PO ₄ ³⁻	← 96,8 x x 0,0103 →	P
K	← 0,83 x x 1,205 →	K ₂ O	← 0,047 x x 21,27 →	K ⁺	← 25,6 x x 0,0391 →	K
Ca	← 0,714 x x 0,60 →	CaO	← 0,028 x x 35,7 →	Ca ⁺⁺	← 49,9 x x 0,02 →	Ca
Mg	← 1,66 x x 1,66 →	MgO	← 0,020 x x 49,6 →	Mg ⁺⁺	← 83,3 x x 0,012 →	Mg
Na	← 0,74 x x 1,35 →	Na ₂ O	← 0,031 x x 32,26 →	Na ⁺	← 43,4 x x 0,023 →	Na
S	← 0,40 x x 2,50 →	SO ₃	← 0,04 x x 25 →	SO ₄ ²⁻	← 62,4 x x 0,016 →	S
				Cl ⁻	← 28,16 x x 0,0355 →	Cl

Source : SOLTNER, 2003

Annexes 6 : Production rizicole

Rendements par type de riziculture et par zone d'étude

Zones	Types de riziculture			Tous confondus
	Aquatique (kg/ha)	Pluvial(kg/ha)	Tavy(kg/ha)	
Nord	1563	785	1005	1343
Nord Ouest	1371	754	-	1347
Centre Ouest	1965	1175	-	1779
Hautes terres	3156	2557	-	3133
Est	1734	1653	678	1285
Lac Alaotra	2641	1958	619	2429

Source : FAO/ UPDR, 2000.

Types de culture de riz dans l'Alaotra

Types de culture	% par rapport à la superficie cultivée	Superficie en ha
Riz aquatique en foule	54%	80 000
Riz aquatique en semis direct	22%	33 000
Riz pluvial tanety	9,5%	14 000
Riz aquatique SRA	6%	8 850
Riz aquatique SRI	1,1%	1 630
Total		137 480

Source : Statistiques agricoles, 2003

Superficie par type de riziculture et par zone d'étude en hectares

Zones	Types de riziculture			
	Aquatique	Pluvial	Tavy	Total
Nord	126 600	37 200	20 900	184 700
Nord Ouest	258 500	10 200		268 700
Centre Ouest	191 800	59 100		250 900
Hautes terres	305 500	12 400		317 900
Est	157 100	2 900	118 100	278 100
Lac Alaotra	123 600	14 100	10 800	148 500
Madagascar	1 163 100	135 900	149 800	1 448 800

Source : FAO/ UPDR, 2000

Annexes 7 : Recensement agricole 2006

Superficie cultivée en ha selon les cultures autre que le riz

Région	Maïs	Blé	Manioc	Patate douce	Pomme de terre	Saonjo	Haricot	Autres légumineuses	Arachide	Tabac
Alaotra Mangoro	7 154		8 077	2 137	68	143	3 178	1 775	2 757	67
Atsimo andrefana	42 146		56 657	23 073		150	3 008	23 920	9 292	89
Vakinankaratra	33 984	265	22 715	15 026	19 753	3 977	19 998	2 717	3 439	314

Mode de fertilisation des rizières en ha

	Organique	Minérale	Mixte	Sans fertilisation
Alaotra Mangoro	13 785 soit 18%	8 072 soit 11%	4 435 soit 6%	46 626 soit 64%
Madagascar	134 981	17 406	22 239	805 176

Mode de lutte contre les mauvaises herbes en ha de rizières

Régions	Manuel	Mécanique	Mécanique+ manuel	Chimique	Sans sarclage
Alaotra Mangoro	22 254 soit 30,5%	897	1 348	31 992 soit 43,8%	16 426 soit 22,5%
Vatovavy Fitovinany	51 675 soit 75%	240	220	386	13 544
Analamanga	39 821	2 667	7 786	4 067	5 889
Vakinankaratra	32 244	2 178	18 046	18	188
Sofia	56 625	151	53	261	38 191
Madagascar	592 208 soit 60%	17 110	55 525	41 478	273 372 soit 28%

Les caractères exprimés en gras représentent les valeurs maximales de toutes les régions.

Matériels agricoles et équipements

	<i>Tracteurs</i>	<i>Motoculteurs</i>	<i>Houe sarcleuse</i>	<i>Pulvérisateurs</i>
<i>Antananarivo</i>	155	123	169 749	14 028
<i>Fianarantsoa</i>	18	11	170 974	3 971
<i>Toamasina</i>	166	481	183 808	7 839
<i>Mahajanga</i>	33	37	15 136	4 068
<i>Toliara</i>	44	20	17 030	966
<i>Antsiranana</i>	133	26	56 899	635
<i>Madagascar</i>	550	698	613 596	31 508

Superficie physique des exploitations agricoles

	<i>Plaine/ bas fond</i>	<i>Vallée</i>	<i>Plateau</i>	<i>Colline</i>	<i>Gradin/terrasse</i>	<i>Baiboho</i>
<i>Total</i>	62 037	13 785	13 433	12 906	162	1 705
<i>Rizièrre</i>	61 712	12 283	2 785	7 938	145	4 830

Superficie physique des exploitations agricoles de quelques régions en ha

<i>Quelques régions</i>	<i>Moyenne des superficies</i>	<i>Total</i>	<i>Dont riz</i>
<i>Boeny</i>	1,38	87 938	61 103
<i>Alaotra Mangoro</i>	1,13	107 153	85 617
<i>Atsinanana</i>	1,13	128 847	73 247
<i>Sofia</i>	0,88	149 482	110 972
<i>Vatovavy fitovinany</i>	1,00	184 341	108 337
<i>Betsiboka</i>	1,10	45 834	28 306
<i>Analamanga</i>	0,49	96 599	62 429
<i>Madagascar</i>	0,87	2 083 590	1 140 087

Annexes 8: Résultats des essais de dose d'engrais

Rendement en paddy obtenus des essais engrais (kg/ha)

Traitement engrais	Bloc I	Bloc II	Bloc III
dose 1	5333,3	5100,0	6000,0
dose 2	6800,0	5100,0	7600,0
dose 3	6966,7	6533,3	7366,7
dose 4	6800,0	7333,3	7833,3
Témoin sans engrais D0	4333,3	4033,3	5137*

* estimation de Yates

Nombre de talles par touffe

	Echantillons	Bloc I	Bloc II	Bloc III
dose 1	1	25	19	22
	2	18	25	20
	3	17	24	15
	4	14	16	13
	5	27	18	16
	Moyenne	20,2	20,4	17,2
dose 2	1	26	24	26
	2	25	24	18
	3	26	26	28
	4	19	25	22
	5	25	18	18
	Moyenne	24,2	23,4	22,4
dose 3	1	23	24	34
	2	36	19	18
	3	25	26	26
	4	32	26	27
	5	19	16	28
	Moyenne	27	22,2	26,6
dose 4	1	27	27	19
	2	32	25	26
	3	25	27	28
	4	24	36	26
	5	16	29	26
	Moyenne	24,8	28,8	25
Témoin sans Engrais D0	1	16	20	
	2	20	22	
	3	13	20	
	4	18	18	
	5	16	16	
	Moyenne	16,6	19,2	

Analyses de la variance du nombre de talles (ppds= 3,798)

Origine de la variation	S.C.E	DDL	C.M.	F calculé	PROBA	E.T.	C.V.	F limite
Totale	207,364	14	14,812					
Entre facteurs	170,806	4	42,702	10,494	0,00321			3,84
Entre blocs	4,003	2	2,002	0,492	0,63266			4,46
Résiduelle	32,554	8	4,069			2,017	9,04%	

Analyses de la variance du rendement (ppds= 878,058)

Origine de la variation	S.C.E	DDL	C.M.	F calculé	PROBA	E.T.	C.V.	F limite
Totale	21176700	14	1512621					
Entre facteurs	15947600	4	3986900	18,332	0,00058			3,84
Entre blocs	3489256	2	1744628	8,022	0,01248			4,46
Résiduelle	1739841	8	217480,1			466,348	7,58%	

Analyses de la variance de la valeur ajoutée (ppds= 294,286)

Origine de la variation	S.C.E	DDL	C.M.	F calculé	PROBA	E.T.	C.V.	F limite
Totale	1085291	14	77520,8					
Entre facteurs	489509,1	4	122377,3	5,009	0,02597			3,84
Entre blocs	400346,1	2	200173	8,194	0,01181			4,46
Résiduelle	195436	8	24429,5			156,299	16,10%	

Analyses de la variance de la productivité en kg de paddy/ jour (ppds=7,072)

Origine de la variation	S.C.E	DDL	C.M.	F calculé	PROBA	E.T.	C.V.	F limite
Totale	2562,759	14	183,054					
Entre facteurs	564,134	4	141,033	9,995	0,00371			3,84
Entre blocs	1885,737	2	942,869	66,818	0,00003			4,46
Résiduelle	112,889	8	14,111			3,756	8,26%	

Analyses de la variance du volume total de travail en hj/ ha (ppds= 14,806)

Origine de la variation	S.C.E	DDL	C.M.	F calculé	PROBA	E.T.	C.V.	F limite
Totale	15454,37	14	1103,883					
Entre facteurs	1030,022	4	257,506	4,164	0,04131			3,84
Entre blocs	13929,59	2	6964,795	112,618	0,00001			4,46
Résiduelle	494,754	8	61,844			7,864	5,60%	

Annexes 9 : Mode de calculs économiques

Détail des charges fixes des opérations

	Opérations	Coût de l'opération en Ariary/ha
Frais fixes des opérations	labour	80 000
	émottage	90 000
	curage et bordure	50 000
	repiquage	110 000
	nivellement	15 000
	gestion de l'eau	20 000
	gardiennage	20 000
	récolte	40 000
Pulvérisation	insecticides	3 000
	fongicides	3 000
	herbicides	6 000
Epandage	semis	2 000
	dolomie agricole	4 000
	fumier bovin	6 000

Dépenses fixes des dépenses en pesticides et engrais

	Désignation	Matière active	Dose par ha	Prix unitaire	Prix par Ar/ha
Fertilisation de fond	Fumier bovin		1000 kg	200	200 000
	Dolomie agricole		3 T	10 000	30 000
Pépinière	Semences	4 012	40 kg	1 200	48 000
	Préparation du sol		400 m²		6 000
	Caltir PM	80% thirame	100 g/ 100 kg	10 000	800
Insecticide	Marshal 25 EC	250 g/l carbofuran	1 L	29 000	29 000
Fongicide	Thiovit jet 80 WG	Soufre 80%	3 kg	4 000	12 000
Herbicides	Rifit 500 EC	Prétilachlore 500 g/l	1,5 L	37 000	52 500
	Herbextra 720 SL	2,4 D 720 g/l	1 L	7 000	7 000

Dépenses variables en fonction du traitement engrais minéraux

	D1	D2	D3	D4	D0	TA
<i>NPK 11.22.16</i>	153 000	204 000	255 000	306 000		
<i>Urée 46%</i>	75 000	100 000	125 000	150 000		
<i>Epandage</i>	3 000	4 000	5 000	6 000		
<i>Battage et vannage</i>	76 692	91 000	97 384	102 508	63 014	42 462
Somme en ariary	231 000	399 000	482 384	564 508	63 014	42 462

Valeur ajoutée issue de chaque traitement d'engrais minéraux

	D1	D2	D3	D4	D0	TA
<i>Préparation du sol</i>	241 000	241 000	241 000	241 000	241 000	241 000
<i>Engrais minéraux</i>	231 000	308 000	385 000	462 000	-	-
<i>Fumure de fond</i>	240 000	240 000	240 000	240 000	240 000	240 000
<i>Protection des cultures</i>	112 500	112 500	112 500	112 500	112 500	47 000
<i>Récolte</i>	136 692	151 000	157 384	162 508	123 014	102 462
<i>Autres</i>	180 800	180 800	132 800	180 800	180 800	180 800
<i>Charges</i>	1 065 300	1 233 300	1 316 684	1 398 808	897 314	811 262
<i>Produits</i>	1 917 300	2 275 000	2 386 600	2 562 700	1 575 350	1 061 550
Valeur ajoutée	775 308	1 041 700	1 117 916	1 163 892	678 036	250 288

Annexes 10 : Durée des opérations culturales pour chaque dose d'essai engrais en hj

Opérations		Par	D1	D2	D3	D4	D0	TA
<i>Pépinière</i>	<i>Labour</i>	<i>Tracteur</i>	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	<i>Pré germination</i>	<i>M o</i>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	<i>Semis</i>	<i>M o</i>	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Sous total			0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
<i>Préparation du sol</i>	<i>Curage canaux</i>	<i>M o</i>	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
	<i>Labour</i>	<i>Tracteur</i>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	<i>Nettoyage diguettes</i>	<i>M o</i>	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
	<i>Fumure de fond</i>	<i>à la volée</i>	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
	<i>Emottage</i>	<i>Tracteur</i>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	<i>Planage</i>	<i>à la volée</i>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Sous total			35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
<i>Transplantation</i>	<i>Fumure minérale</i>	<i>M o</i>	1,00	1,00	1,00	1,00	-	-
	<i>Arrachage et repiquage</i>	<i>M o</i>	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Sous total			31,00	31,00	31,00	31,00	30,00	30,00
<i>Luttes contre les ravageurs</i>	<i>Mauvaises herbes</i>	<i>Pulvérisation</i>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	-
	<i>Maladies</i>	<i>Pulvérisation</i>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	<i>Insectes</i>	<i>Pulvérisation</i>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Sous total			1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	0,75
<i>Gestion de l'eau</i>	<i>Irrigation</i>	<i>M o</i>	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
	<i>Drainage</i>	<i>M o</i>	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	8,00
Sous total			11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00
<i>Récolte</i>	<i>Gardiennage</i>	<i>M o</i>	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
	<i>Moisson</i>	<i>M o</i>	11,00	13,00	14,00	14,60	9,00	6,00
	<i>Battage</i>	<i>M o</i>	54,00	65,00	69,00	73,00	45,00	30,00
Sous total			72,00	85,00	90,00	94,60	61,00	43,00
TOTAL en homme jour			151,10	164,10	169,10	173,70	139,10	120,60

Annexes 11 : Résultats des essais de méthodes de désherbage

Rendement en paddy (kg/ha)

Traitement	Bloc I	Bloc II	Bloc III
Alligator	5266,7	6400,0	6533,3
Rifit	5600,0	6866,7	6666,7
Herbextra	5266,7	5333,3	5866,7
Sarclage	7066,7	7400,0	6800,0
Témoin sans désherbage	3500,0	4066,7	4466,7

Nombre de talles par touffe

		I	II	III
Alligator	1	19	19	30
	2	12	15	26
	3	26	28	25
	4	15	26	16
	5	15	27	20
	Moyenne	17,4	23	23,4
Rifit	1	15	22	28
	2	28	19	29
	3	18	23	30
	4	14	27	20
	5	30	19	13
	Moyenne	21	22	24
Herbextra	1	15	25	28
	2	15	19	18
	3	13	14	18
	4	14	14	17
	5	27	18	28
	Moyenne	16,8	18	21,8
Sarclage	1	30	18	24
	2	22	29	30
	3	32	28	32
	4	37	24	26
	5	20	29	21
	Moyenne	28,2	25,6	26,6
Témoin	1	15	19	20
	2	14	12	16
	3	13	16	19
	4	10	18	12
	5	16	16	17
	Moyenne	13,6	16,2	16,8

Analyses de la variance du nombre de talles (ppds= 3,373)

Origine de la variation	S.C.E	DDL	C.M.	F calculé	PROBA	E.T.	C.V.	F limite
Totale	259,776	14	18,555					
Entre facteurs	209,749	4	52,437	16,329	0,00083			3,84
Entre blocs	24,336	2	12,168	3,789	0,06903			4,46
Résiduelle	25,691	8	3,211			1,792	8,55%	

Analyses de la variance du rendement (ppds= 705,983)

Origine de la variation	S.C.E	DDL	C.M.	F calculé	PROBA	E.T.	C.V.	F limite
Totale	18853780	14	1346699					
Entre facteurs	16088590	4	4022148	28,609	0,00015			3,84
Entre blocs	1640448	2	820224	5,834	0,0274			4,46
Résiduelle	1124739	8	140592,4			374,956	6,46%	

Analyses de la variance de la valeur ajoutée (ppds= 237,279)

Origine de la variation	S.C.E	DDL	C.M.	F calculé	PROBA	E.T.	C.V.	F limite
Totale	1750937	14	125066,9					
Entre facteurs	1438735	4	359683,8	22,648	0,00031			3,84
Entre blocs	185149,1	2	92574,56	5,829	0,02745			4,46
Résiduelle	127052,8	8	15881,59			126,022	15,23%	

Analyses de la variance du rapport valeur de la production sur coût du traitement (ppds= 0,188)

Origine de la variation	S.C.E	DDL	C.M.	F calculé	PROBA	E.T.	C.V.	F limite
Totale	1,027	14	0,073					
Entre facteurs	0,822	4	0,206	20,355	0,00042			3,84
Entre blocs	0,124	2	0,062	6,143	0,02426			4,46
Résiduelle	0,081	8	0,01			0,1	5,99%	

Analyses de la variance du volume total des temps de travaux en hj par ha (ppds=5,733)

Origine de la variation	S.C.E	DDL	C.M.	F calculé	PROBA	E.T.	C.V.	F limite
Totale	17374,08	14	1241,006					
Entre facteurs	17294,58	4	4323,646	466,215	0,0001			
Entre blocs	5,309	2	2,654	0,286	0,76081			
Résiduelle	74,191	8	9,274			3,045	1,78%	

Analyses de la variance de la productivité en kg par jour (ppds= 1,097)

Origine de la variation	S.C.E	DDL	C.M.	F calculé	PROBA	E.T.	C.V.	F limite
Totale	217,319	14	15,523					
Entre facteurs	214,271	4	53,568	157,728	0,0001			
Entre blocs	0,331	2	0,165	0,487	0,63551			
Résiduelle	2,717	8	0,34			0,583	1,71%	

Analyses de la variance du gain en paddy par rapport au témoin (ppds= 10,288)

Origine de la variation	S.C.E	DDL	C.M.	F calculé	PROBA	E.T.	C.V.	F limite
Totale	3889,363	11	353,578					
Entre facteurs	3702,378	3	1234,126	46,538	0,00032			4,76
Entre blocs	27,874	2	13,937	0,526	0,61943			5,14
Résiduelle	159,111	6	26,518			5,15	23,99%	

Frais fixe des opérations dans les essais de désherbage

	Opérations	Coût de l'opération
Opérations	labour	80 000
	émottage	90 000
	curage et bordure	50 000
	repiquage	110 000
	nivellement	15 000
	gestion de l'eau	20 000
	gardiennage	20 000
	récolte	40 000
Pulvérisation	insecticides	3 000
	fongicides	3 000
	semis	2 000
Epandage	dolomie agricole	4 000
	fumier bovin	6 000

Annexes 12 : Mode de calculs économiques dans les différentes méthodes de désherbage

Frais fixe des pesticides et engrais

	Désignation	Matière active	Dose par ha	Prix unitaire	Prix en Ariary/ ha
Fertilisation de fond	Fumier bovin		1000 kg	200	200 000
	Dolomie agricole		3 T	10 000	30 000
Pépinière	Semences	4 012	40 kg	1 200	48 000
	Préparation du sol		400 m²		6 000
	Caltir PM	80% thirame	100 g/100 kg	10 000	800
Insecticide	Marshal 25 EC	250 g/l carbofuran	1 L	29 000	29 000
Fongicide	Thiovit jet 80 WG	Soufre 80%	3 kg	4 000	12 000
Engrais	NPK	11.22.16	200 kg	1 020	204 000
	Urée	46%	100 kg	1 000	100 000

Valeur ajoutée issue de chaque traitement dans l'essai de désherbage

	Alligator	Rifit	Herbextra	Sarclage	Témoin	TA
Préparation du sol	241 000	241 000	241 000	241 000	241 000	241 000
Fertilisation	544 000	544 000	544 000	544 000	544 000	240 000
Protection des cultures	47 800	47 800	47 800	47 800	47 800	47 800
Récolte	144 924	149 278	136 832	159 232	116 154	102 462
Désherbage	65 400	58 500	10 000	120 000		
Autres	180 000	180 000	180 000	180 000	180 000	180 000
Charges	1 223 124	1 220 578	1 159 632	1 292 032	1 128 954	811 262
Produits	2 123 100	2 231 950	1 920 800	2 480 800	1 403 850	1 061 550
Valeur ajoutée	899 976	1 011 372	761 168	1 188 768	274 896	250 288

Coûts des intrants de chaque traitement de désherbage

Désherbage	Quantité /ha	Prix unitaire	Epandage	Somme
Alligator 400 EC	3,2 L	19 500	3 000	65 400
Rifit 500 EC	1,5 L	37 000	3 000	58 500
Herbextra 720 SL	1 L	7 000	3 000	10 000
Sarclage	2 fois	60 000		120 000

Annexes 13: Etude de la durée des travaux cultureux pour chaque type de désherbage

Opérations		Par	Alligator	Rifit	Herbextra	Sarclage	Témoin	TA
<i>Pépinière</i>	<i>Labour</i>	<i>Tracteur</i>	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	<i>Pré germination</i>	<i>M o</i>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	<i>Semis</i>	<i>M o</i>	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Sous total			0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
<i>Préparation du sol</i>	<i>Curage canaux</i>	<i>M o</i>	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
	<i>Labour</i>	<i>Tracteur</i>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	<i>Nettoyage diguettes</i>	<i>M o</i>	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
	<i>Fumure de fond</i>	<i>à la volée</i>	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
	<i>Emottage</i>	<i>Tracteur</i>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	<i>Planage</i>	<i>à la volée</i>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Sous total			35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
<i>Transplantation</i>	<i>Fumure minérale</i>	<i>M o</i>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-
	<i>Arrachage et repiquage</i>	<i>M o</i>	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
Sous total			31,00	31,00	31,00	31,00	31,00	30,00
<i>Luttés contre les ravageurs</i>	<i>Mauvaises herbes</i>	<i>Pulvérisation</i>	0,25	0,25	0,25		-	-
		<i>Sarclage</i>				66,00	-	-
	<i>Maladies</i>	<i>Pulvérisation</i>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	<i>Insectes</i>	<i>Pulvérisation</i>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Sous total			1,00	1,00	1,00	67,00	1,00	0,75
<i>Gestion de l'eau</i>	<i>Irrigation</i>	<i>M o</i>	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
	<i>Drainage</i>	<i>M o</i>	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Sous total			11,00	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00
<i>Récolte</i>	<i>Gardiennage</i>	<i>M o</i>	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
	<i>Moisson</i>	<i>M o</i>	12,00	12,75	11,00	14,00	8,00	6,00
	<i>Battage et vannage</i>	<i>M o</i>	60,00	63,00	54,00	70,00	40,00	30,00
Sous total			79,00	82,75	72,00	91,00	55,00	43,00
TOTAL en homme jour			157,85	161,60	150,85	235,85	133,85	120,60

RESUME

En dehors des caractéristiques relatives à la plante et des conditions climatiques, les facteurs limitant le rendement du riz en irriguée, sont l'envahissement des mauvaises herbes et le niveau de la fertilité des rizières.

L'importance de ces deux facteurs est respectivement étudiée. L'objectif est de déterminer la dose optimale d'engrais à apporter et la méthode de lutte efficace et efficiente contre les adventices en riziculture irriguée.

Quatre (4) doses échelonnées de NPK 11.22.16 et d'urée 46% ont été testées sur la variété Tsemaka, repiquée à 25 jours d'âge. L'azote a été fractionné en trois apports tandis que le phosphore et le potassium en fumure de fond. La dose de 200 kg de NPK 11.22.16 plus 100 kg d'urée 46% par ha a donné les résultats optima aux niveaux du nombre de talles par touffe et du rendement.

Avec une fertilisation constituée par 200 kg de NPK 11.22.16 et 100 kg d'urée par ha, quatre méthodes de lutte contre les mauvaises ont été comparées à savoir : le sarclage, deux herbicides de préémergence (pendiméthaline et prétilachlore) et un herbicide sélectif (2,4D).

Le sarclage a donné un rendement élevé cependant les herbicides de préémergence sont plus compétitifs au point de vue productivité du travail. Même si le traitement au 2,4D a l'intérêt d'être à bas prix, le rendement du riz est faible parce que cet herbicide n'a aucune action contre les graminées. La levée des mauvaises herbes surtout celle des graminées, par contre, est empêchée par les herbicides de préémergence.

Face à l'importance de la superficie cultivée au Lac Alaotra, l'emploi d'herbicides reste la meilleure lutte contre les adventices.

Mots clés : riziculture irriguée – fertilisation – engrais ternaire – nuisance – mauvaises herbes – sarclage – herbicides – analyse économique