



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Mention: Agriculture Tropicale & Développement durable

Parcours: Agriculture Tropicale



AGRICULTURE TROPICALE &
DÉVELOPPEMENT DURABLE

**Mémoire de Fin d'études en vue de l'obtention d'un Diplôme d'ingénieur
agronome-au grade de Master II**

IMPORTANCE DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION DANS LA MAITRISE DES ADVENTICES EN RIZICULTURE PLUVIALE AU LAC ALAOTRA

Par **RABARIVOLOLONA Mirana Prisca**

Promotion : **KINGATSA**

Soutenu publiquement le 27 août 2015 devant le jury composé de :

Président : Dr. RAZAFIMAHATRATRA Hery Manantsoa

Examineur : Dr. RAZAFINDRAMANANA-RAKOTONIAINA Norosoa Christine

Maître de stage : Mme RANAIVOSON Lalaina Bakotiana

Encadreur pédagogique : Pr. RAFALIMANANA Halitiana Joséa



REMERCIEMENTS

J'adresse mes sincères remerciements à :

- *Monsieur RAZAFIMAHATRATRA Hery Manantsoa,, Docteur en Sciences Agronomiques, Enseignant-chercheur et Chef du parcours Bio-fonctionnement du sol et environnement à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomique (ESSA), d'avoir fait le grand honneur de présider le jury;*
- *Madame RAZAFINDRAMANANA-RAKOTONIAINA Norosoa Christine, Docteur en Science Agronomique, Enseignante Chercheur à l'ESSA, d'avoir accepté d'examiner ce Mémoire ;*
- *Madame RAFALIMANANA Halitiana Joséa, Professeur en Sciences Agronomiques, Enseignante Chercheur à l'ESSA, de m'avoir consacré tant de temps, d'avoir donné tant de conseils, de corrections et d'idées pour l'élaboration de ce présent ouvrage ;*
- *Madame RANAIVOSON Lalaina Bakotiana, représentante du projet ABACO (Annexe 1) au lac Alaotra, Chercheur au FOFIFA, de m'avoir suivi, conseillé et de m'avoir aidé tout au long de mon stage, mais encore de m'avoir consacré tant de temps, de m'avoir donné tant de conseil et de corrections pour l'élaboration de ce présent ouvrage. Je tiens aussi à remercier par la même occasion Monsieur NAUDIN Krishna, Docteur-Ingénieur en Agronomie et chercheur du CIRAD.*

Nous remercions également :

- *Madame RAZAFINDRAKOTO Charlotte, Chef du Centre Régional de Recherche-Moyen Est/FOFIFA Ambohitsilaozana Ambatondrazaka, pour son accueil pendant notre stage ;*
- *Madame RAHARIMALALA Monique, technicienne du projet ABACO à Ambohitsilaozana, et sa famille ainsi que les Mains d'Ouvre Temporaire (MOT), pour leur aide et leur accueil chaleureux ;*
- *Toute l'équipe du Centre Régional de Recherche-Moyen Est (CRR-ME)*
- *Tous les enseignants et personnels administratifs de l'ESSA, pour toutes les connaissances acquises pendant ces cinq années d'étude.*

Je ne saurai aussi terminer mes remerciements sans adresser mes sincères gratitudes à :

- *Toute ma famille pour leur soutien depuis mon existence ;*
- *Mes amis, particulièrement Lalaina, Ella et Sandratra pour leur grand soutien moral et physique, pour tous les bons moments passés ensemble durant ces six mois du stage.*

Fa indrindra indrindra Ry Ilay Tompo Andriamanitro, atolotro Anao ny dera sy ny laza ary ny voninahitra mandrakizay satria dia « Mahay ny zava-drehetra aho ao (aminao) Ilay Mpampahery ahy » ary « Ny fahasoavanao no nahatoy izao ahy » Merci. ☺

Sommaire

Introduction	1
1. Synthèse bibliographique.....	3
1.1. Historique du concept « agriculture de conservation »	3
1.2. L’agriculture de conservation à Madagascar	3
1.3. Gestion des plantes adventices en agriculture de conservation.....	4
2. Matériels	6
2.1. Zone d’étude	6
2.2. Matériel végétal	9
2.3. Matériels de mesures	11
3. Méthodes.....	12
3.1. Principe.....	12
3.2. Dispositifs expérimentaux	13
3.3. Méthode d’observation	16
3.4. Méthode d’analyse.....	21
4. Résultats et interprétations.....	22
4.1. Pluviométrie.....	22
4.2. Taux de couverture sur les parcelles.....	22
4.3. Les principales adventices	23
4.4. Effet du système de culture et du mode de gestion du sol sur l’enherbement.....	33
4.5. Importance des adventices selon le taux de couverture.....	40
5. Discussions	49
5.1. Diversité des adventices observées et leur dynamique d’émergence	49
5.2. Effet de l’agriculture de conservation sur l’enherbement et la production de riz	49
5.3. Importance des adventices en fonction du taux de couverture	51
5.4. Analyse de la méthodologie	52
Conclusion.....	54
Bibliographie.....	55

Liste des figures :

Figure 1: Localisation de la zone d'étude (<i>BD 500</i>).....	6
Figure 2: Courbe ombrothermique de Gaussen (2004-2014) (Station météorologique nationale d'Ambohitsilaozana)	7
Figure 3: Evolution de la production et de la surface cultivée en riz pluvial dans la région Alaotra Mangoro (DRDR Alaotra Mangoro, 2015).....	8
Figure 4: a. Stylosanthes en deuxième année, b. Stylosanthes en tant que couverture morte	10
Figure 5: a. Association maïs et dolique, b. Maïs et dolique en tant que couverture morte ...	10
Figure 6: a. Boitier centraliseur, b. Sonde P3	11
Figure 7: a. Centre d'aquisition de données, b. Barres de PAR reliées à la centrale d'aquisition de données	12
Figure 8: Plan du dispositif principal	14
Figure 9: Plan du dispositif "Mauvaises herbes"	15
Figure 10: Pluviomètre à bague	16
Figure 11: Disposition des placettes d'observation sur une parcelle: placette de 1 m ² A, B, C, D et E; placette de 0,25 m ² X, X', Y et Y'	19
Figure 12: Pluviométrie (2014 - 2015).....	22
Figure 13: Variation de la quantité de mulch au début et à la fin de la saison culturale (MD = maïs et dolique, S = stylosanthes)	23
Figure 14: Diversité des adventices selon le mode de gestion de sol	31
Figure 15: Diversité des adventices sur SCV et LSR selon leurs caractéristiques	32
Figure 16 : Diversité des adventices sur le dispositif MH	32
Figure 17: Diversité des adventices ssur dispositif MH selon leur caractéristique.....	33
Figure 18: a. Dynamique de l'émergence des monocotylédones, b. Nombre cumulé de monocotylédones émergentes le long du cycle cultural	33
Figure 19: a. Dynamique de l'émergence des dicotylédones, b. Nombre cumulé des dicotylédones émergentes le long du cycle cultural	34

Figure 20: a. Nombre total des adventices; b. Nombre des adventices sans les plantules des plantes de couvertures	35
Figure 21: a. Stock de monocotylédones dans le sol selon les traitements, b. Stock de dicotylédones dans le sol selon les traitements	35
Figure 22: a. Dynamique de la production en biomasse aérienne des monocotylédones, b. Production cumulée de biomasse aérienne des monocotylédones le long du cycle cultural ...	36
Figure 23: a. Dynamique de la production de biomasse aérienne des dicotylédones, b. Production de biomasse cumulée des dicotylédones tout au long du cycle cultural	37
Figure 24: Part de lumière captée par le riz et les adventices à chaque sarclage	37
Figure 25: Hauteur du riz pour chaque traitement selon son stade de développement.....	38
Figure 26: Biomasse du riz pour chaque traitement selon son stade de développement	39
Figure 27: Interception lumineuse du riz à chaque stade de développement.....	39
Figure 28: Rendement selon les traitements	40
Figure 29: a. Dynamique de l'émergence des monocotylédones sur mulch de MD, b. Nombre cumulé des monocotylédones émergentes tout au long du cycle	41
Figure 30: a. Dynamique d'émergence des monocotylédones sur mulch de S, b. Nombre cumulée des monocotylédones émergentes tout au long du cycle	42
Figure 31: a. Dynamique de l'émergence des dicotylédones sur mulch de MD, b. Nombre cumulé des dicotylédones tout au long du cycle	43
Figure 32: a. Dynamique de l'émergence des dicotylédones sur S, b. Nombre cumulée des dicotylédones émergentes tout au long du cycle	43
Figure 33: Evolution du stock en eau du sol sous couverture de maïs+dolique à la profondeur de 10 cm superposée aux données pluviométriques.....	44
Figure 34: Evolution du stock en eau du sol sous couverture de stylosanthes à la profondeur de 10 cm superposée aux données pluviométriques.....	44
Figure 35: Relation entre stock en eau du sol et émergence des adventices.....	45
Figure 36: a. Dynamique de la production en biomasse aérienne des monocotylédones sur mulch de MD, b. Biomasse cumulée des monocotylédones tout au long du cycle.....	46
Figure 37: a. Dynamique de la production de biomasse aérienne des monocotylédones sur mulch de S, b. Biomasse cumulée des dicotylédones tout au long du cycle.....	46

Figure 38: a. Dynamique de la biomasse de dicotylédone sur mulch de MD, b. Biomasse cumulée des dicotylédones..... 47

Figure 39: a. Dynamique de production de biomasse sur stylosanthes, b. Biomasse des dicotylédones..... 47

Figure 40: Rendement selon le taux et le type de couverture 48

Liste des tableaux :

Tableau 1: Caractéristique du sol du dispositif expérimental 8

Tableau 2: Traitements étudiés 13

Tableau 3 : Coefficient Am en fonction de la plante de couverture 17

Tableau 4: Quantité de biomasse en MS des mulch suivant le taux de couverture du sol 17

Tableau 5: Quantité de couverture sur les parcelles en SCV 22

Liste des sigles et abréviations :

AC : Agriculture de conservation

CALA : Complexe Agronomique du Lac Alaotra

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

CRR-ME : Centre Régional de Recherche du Moyen Ouest

E : enherbée

F1 : sans fertilisation

F2 : avec fertilisation

FOFIFA : Foibem-pirenena momba ny fikarohana ampiharina ho fampandrosoana ny ambanivohitra ou Centre national de recherche appliquée au développement dans le monde rural

LR : labour avec restitution des résidus

LSR : labour sans restitution des résidus

LSR-MD : parcelles conduites en labour sans restitution des résidus avec paillis de maïs et dolique

LSR-S : parcelles conduites en labour sans restitution des résidus avec paillis de stylosanthes

M+D//R : rotation biennal de maïs en association avec du dolique et du riz

M+S//S//R : une rotation triennal de maïs en association avec du stylosanthes, du stylosanthes et du riz

MH : mauvaise herbe

MS : matière sèche

NE : non enherbée

PAR : Photosynthetically Active Radiation

SCV : Systèmes en semis direct sur couverture végétale permanente

SCV-MD : parcelles conduites en SCV avec paillis de maïs et dolique

SCV-S : parcelles conduites en SCV avec paillis de stylosanthes

Résumé

La zone du Lac Alaotra où la riziculture pluviale est fortement développée fait partie des régions où l'agriculture de conservation a été vulgarisée à Madagascar. Les adventices figurent parmi les principales contraintes de la riziculture pluviale. Ainsi, cette étude se concentre sur l'effet de l'agriculture de conservation dans la maîtrise des adventices. L'étude a été menée sur deux dispositifs expérimentaux : le premier consiste à comparer les effets de l'agriculture de conservation sur le contrôle des adventices à ceux du système labouré, et le second à mettre en évidence les rôles du paillis sur le contrôle des adventices. Deux méthodes d'étude de l'enherbement ont été utilisées : le comptage et la pesée de la biomasse aérienne des adventices. De plus, l'humidité du sol, l'interception lumineuse du couvert végétal, le développement végétatif et le rendement en riz ont été mesurés. Les résultats ont montré que les deux modes de gestion de sol n'influencent pas l'enherbement et que le niveau de couverture du sol joue un rôle important dans la maîtrise des adventices. La couverture de sol à 100 % assure une lutte plus efficace. Les conditions climatiques de l'année culturale 2014-2015 n'a pas permis de voir la concurrence en eau qu'exerce les adventices au riz. Par contre, il a été démontré que les adventices concurrence le riz en lumière et cela affecte son développement et le rendement.

Mots clés : Couverture morte, stylosanthes, maïs, dolique, enherbement, interception lumineuse, humidité du sol, labour, rendement

Abstract

Conservation agriculture has been introduced in the Lake Alaotra region in which rainfed rice was well developed. Weed infestation is among the main constraints of rainfed rice. Thus, this study was focused on the effect of conservation agriculture on weed infestation. Two experiments have been conducted. The first experiment evaluated the effects of conservation agriculture and conventional system on weed control. The second experiment highlighted the importance of the level of soil cover on weed control. Weed emergence and biomass, soil moisture, light interception, rice biomass and yield have been measured. Results showed that soil and residue management did not influence weed infestation. However, the level of soil cover influenced the weed emergence and weed growth. A high amount of mulch corresponding to 100% of soil cover was needed to have an effect on weed emergence as compared to uncovered soil. It has been demonstrated that weeds competed rice plant in light interception and affected the rice development. But, rainfall conditions of the 2014-2015 crop seasons did not allow highlighting the competition between weeds and rice of water.

Keys words: Dead mulch, stylosanthes, maize, dolichos, weed infestation, light interception, soil moisture, tillage, yield

Introduction

Le riz est la première céréale destinée à l'alimentation humaine. La consommation au niveau mondiale est d'environ 468 millions de tonnes par an (Faostat, 2015). A Madagascar, elle est de l'ordre de 125 kg par habitant par an (Dabat *et al.*, 2008). Avec environ 120 000 ha de surface cultivée et une production annuelle de 350 000 à 575 500 T, la région Alaotra Mangoro constitue un de ses greniers à riz (DRDR, 2015). Or, à cause des nombreux problèmes rencontrés par le secteur et d'une forte croissance démographique, cette production est de plus en plus insuffisante. La saturation des zones de bas-fonds induit le développement de la riziculture pluviale sur les bas-fonds exondés et sur les sols des collines (Ramahatoraka *et al.*, 2011). Cependant, ces dernières sont des zones sensibles à l'érosion hydrique. En outre, la riziculture pluviale fait face à de nombreuses contraintes biologiques dont les adventices. En effet, pour le riz pluvial, la concurrence des adventices peut être si forte que, sans une lutte efficace en temps voulu, la récolte serait complètement anéantie. Les adventices diminuent les rendements et la qualité du produit ainsi que l'efficacité de la récolte, et ils intensifient les problèmes de maladies, d'insectes et d'autres ravageurs en leur servant d'hôtes (Pande *et al.*, 1997).

L'agriculture de conservation, qui repose globalement sur trois principes fondamentaux dont le travail minimal du sol, la couverture permanente du sol par un mulch végétal et la diversification systématique des rotations culturales, est une option technique potentielle pour répondre à ces contraintes. En effet, l'agriculture de conservation est capable d'améliorer la rentabilité de l'activité agricole, d'améliorer la productivité du sol, de protéger le sol et contribue ainsi à la durabilité des systèmes de production (FAO, 2007).

En théorie, l'application simultanée des trois principes de l'agriculture de conservation, permet de maîtriser les adventices (Mollier, 2014). Seulement, dans la pratique, la contrainte réside dans le manque de références et de maîtrise techniques, notamment en termes de production de biomasse de la plante de couverture (FAO, 2007). Ainsi, les intérêts de cette étude sont de pouvoir mettre en évidence l'efficacité de l'agriculture de conservation par rapport à l'agriculture conventionnelle mais aussi de démontrer l'importance de la plante de couverture dans cette lutte. La problématique se pose : Les différentes techniques appliquées en agriculture de conservation permettent-elles de contrôler les mauvaises herbes de la riziculture pluviale ?

L'objectif principal est de déterminer les effets de l'agriculture de conservation sur l'émergence et le développement des mauvaises herbes sur le riz pluvial. Ainsi nous avons trois sous objectifs qui consiste à :

- Déterminer les effets des modes de gestion du sol et le système de culture sur l'enherbement
- Evaluer les effets de différents types et différents niveaux de couvertures du sol sur l'enherbement
- Déterminer les effets de l'enherbement sur le développement végétatif et le rendement en riz

Dans cette étude donc, trois hypothèses sont à avancer :

Hypothèse 1 : Les adventices sont mieux contrôlées en agriculture de conservation qu'en agriculture conventionnelle;

Hypothèse 2 : La couverture permanente du sol assure la maîtrise des adventices quelque soit le type et la quantité de paillis utilisé;

Hypothèse 3 : Les adventices exercent une concurrence au riz pour l'accès à l'eau et à la lumière et cette concurrence s'exprime dans leurs développements.

A part l'introduction, la synthèse bibliographique et la conclusion, ce rapport d'étude présente trois parties. En première partie, les matériels et méthodes adoptés sont présentés. Les différents résultats de l'étude constituent la deuxième partie et la troisième partie correspond à la discussion des résultats obtenus.

1. Synthèse bibliographique

1.1. Historique du concept « agriculture de conservation »

L'agriculture de conservation a été officiellement définie par la FAO en 2001, comme une méthode de gestion des agro-écosystèmes reposant sur trois grands principes : couverture permanente des sols, absence de labour, rotations longues et diversifiées.

L'agriculture de conservation est née dans des régions de forte érosion hydrique ou éolienne et avait pour but initial de protéger les sols contre cette érosion, essentiellement par la couverture des sols. La première des trois composantes de l'agriculture de conservation qui s'est développée est la couverture des sols, en réponse à de graves phénomènes d'érosion des sols, apparus en particulier aux Etats-Unis dans les années 1930. Les techniques d'implantation des cultures en semis direct sous couvert ont commencé à apparaître dans les années 50: les agriculteurs enfoncent directement les semences dans le sol à travers les couverts sans labourer. Le contrôle des adventices se faisait par l'utilisation des herbicides (Mollier, 2014).

En 2011, l'agriculture de conservation couvre 117 millions d'ha dans le monde englobant tous les types de culture dont l'essentiel se trouve en Amérique du Nord et en Amérique du Sud notamment en Argentine, Brésil, Paraguay et Uruguay. En Europe, les techniques de l'agriculture de conservation sont encore peu développées. Plus récemment, les problèmes environnementaux causés par l'agriculture conventionnelle ont amené la Chine, le Laos ou encore le Vietnam à adopter l'agriculture de conservation. Une quinzaine de pays africains vulgarisent l'agriculture de conservation mais avec des surfaces relativement faibles de l'ordre de 5 à 10.000 ha par pays (GSDM, 2015).

1.2. L'agriculture de conservation à Madagascar

Les premiers tests de l'agriculture de conservation à Madagascar datent des années 1990 à Antsirabe. Dans un premier temps, elle vise la protection et la mise en valeur des bassins versants des périmètres irrigués puis la restauration de la fertilité du sol, la gestion de l'eau. Puis des études sur l'effet de l'agriculture de conservation sur les problèmes phytosanitaires tels que les mauvaises herbes et les maladies ont été entreprises.

De nombreuses recherches sur le rôle que peut avoir l'agriculture de conservation dans la maîtrise de la pyriculariose en riziculture pluviale ont été effectuées. La pyriculariose étant la principale maladie fongique des cultures de riz dans le monde. L'étude effectuée par Randrianandrasana (2007) portant sur l'effet de la nutrition azotée sur la pyriculariose du riz pluvial dans la région de Vakinankaratra a montré que la maladie est atténuée en agriculture de conservation car ce système régule l'offre en azote. Une autre étude effectuée en 2012 par Randriamanana a également montré que les parcelles conduites en l'agriculture de conservation présentent une attaque de la maladie plus faible que dans les systèmes

conventionnels. L'étude de Sester *et al.* (2013) a aussi montré que l'amélioration du bilan hydrique et la réduction de l'évapotranspiration par l'agriculture de conservation ont contribué à réduire l'incidence de la pyriculariose du riz pluvial.

La diffusion de l'agriculture de conservation à Madagascar se trouve surtout dans le Moyen Ouest, au Lac Alaotra, dans le Sud Est, dans les zones sèches de l'Androy et autour des aires protégées. Les agriculteurs de ces régions ont bénéficié d'appuis et de formations, mais la diffusion à grande échelle reste freinée par des contraintes liées à l'environnement de la production agricole dont principalement la vaine pâture, les feux de brousse, le statut foncier et les infrastructures (GSDM, 2015).

Dans toute la Grande Ile, les surfaces totales conduites en agriculture de conservation sont estimées en 2009 à plus de 5000 hectares répartis chez plus de 8000 exploitants dont la plupart sont de petits paysans appuyés par des projets (Rakotondramanana *et al.*, 2010). Depuis 2002, par exemple, AVSF¹ appuie des paysans souhaitant expérimenter l'agriculture de conservation et près de 1655 paysans sont appuyés sur 402 ha en 2010 à Tuléar, Vohipeno, Manakara et au Lac Alaotra (Dupin, 2011).

Pour le cas du Lac Alaotra, l'agriculture de conservation a été introduite dans la région en 1998, mais le développement ne démarre qu'en 2003 avec le projet BV-Lac². En 2013, le projet BV-Lac a touché plus de 1 000 paysans qui ont adopté l'agriculture de conservation depuis plus de cinq années sur environ 600 ha mais aucune diffusion significative des systèmes SCV n'a été observée hors projet. Une enquête menée de septembre 2013 à février 2014 sur les 83 paysans adoptant les plus anciens montre que 40 % d'entre eux ont abandonné à la fin du projet (Penot *et al.*, 2014).

1.3. Gestion des plantes adventices en agriculture de conservation

La gestion des adventices est reconnue comme un problème critique dans les systèmes sans labour. Plusieurs études ont montré que l'absence de labour modifie le stock semencier d'adventices, qui se trouve concentré dans les cinq premiers centimètres du sol, favorisant les plantes à germination rapide, en particulier les graminées, ainsi que les vivaces qui se propagent via des organes végétatifs tels que les stolons ou les rhizomes. Cependant, la présence de plantes de couverture peut apporter des solutions mais à des conditions bien précises.

¹ Agronomes et Vétérinaires Sans Frontières : Association française de solidarité internationale reconnue d'utilité publique. AVSF agit depuis plus de 30 ans avec les pays en développement en menant plus de 80 programmes de coopérations.

² Projet de mise en valeur et de protection de mise en valeur des bassins versants au Lac Alaotra. Le projet a débuté en 2003 et a pris fin en 2013.

Les plantes de couverture vivante agissent sur les adventices soit par concurrence pour les ressources et soit par l'allélopathie³ soit les deux à la fois. Cela comprend des cultures telles que l'orge, l'avoine, la vesce velue, et le ray-grass anglais (Frick et Johnson, 2012).

Les couvertures mortes agissent sur les adventices par effet ombrage. Ainsi, elles doivent être découpées finement, afin qu'elles soient suffisamment couvrantes pour contenir les adventices, sans pour autant étouffer la culture principale (Mollier, 2014).

Des études concernant la maîtrise des mauvaises herbes par l'agriculture de conservation ont été déjà entreprises. Par exemple, une étude menée en Grèce a montré qu'à plus de 60 % de couverture du sol par les paillis, une diminution significative de la biomasse d'adventice par rapport à celle sur témoin sans couverture est observée (Bilalis *et al.*, 2003). Dans la zone du Lac Alaotra, les résultats les plus récents ont montrés que d'une part l'effet de la couverture du sol dépend du type de mulch utilisé. Une diminution de l'émergence des adventices à 50% par rapport au témoin sans couverture s'observe à une quantité de couverture de 9,2 T/ha et 4,3 T/ha respectivement pour maïs et dolique et stylosanthes. En ce qui concerne la biomasse, une diminution significative à par rapport au témoin sans couverture à partir d'une quantité de couverture de 12 t/ha sur stylosanthes, et à partir de 18,4 t/ha sur maïs et dolique. D'autre part, les parcelles en agriculture de conservation sous paillage de stylosanthes sont significativement les moins infestées par rapport aux parcelles en agriculture de conservation sous paillage de maïs et dolique et par rapport aux parcelles conduites en agriculture conventionnelle, tant à l'émergence qu'au développement des adventices (Rakotonjanahary, 2014).

Mais pour mieux approfondir ce sujet de maîtrise des plantes adventices par l'agriculture de conservation, cette présente étude a été entreprise. Afin de définir une bonne stratégie de maîtrise des adventices, il est primordial de bien reconnaître les espèces présentes dans les parcelles en question (Schaub, 2010). Ainsi, dans cette étude, les espèces présentes sur les parcelles expérimentales sont identifiées dès leurs émergences. Les autres mesures déjà effectuées par les études ultérieures telles que la mesure de l'émergence des adventices ainsi que la mesure de la biomasse ont été effectuées. Mais de plus, l'interception lumineuse des adventices et de la culture principale qui est le riz ainsi que l'humidité du sol ont été mesurée. En effet, parmi les sources d'énergie ou de matière dont les adventices font concurrence avec la culture, les plus connus sont la lumière, les éléments nutritifs du sol tout particulièrement l'azote et l'humidité du sol (Caussanel, 1989).

³ Chez les plantes, l'allélopathie est la production de composés qui empêchent la croissance d'autres plantes. Dans le cas des interactions entre plantes, le terme allélopathie est généralement employé pour décrire le processus par lequel les plantes libèrent des composés phytotoxiques (allélochimiques) dans l'environnement du sol, ayant un effet nocif sur les plantes voisines.

2. Matériels

2.1. Zone d'étude

2.1.1. Situation géographique

L'étude a été menée au centre de recherche régional du moyen-est du FOFIFA (CRR-ME), dans la Commune rurale d'Ambohitsilaozana du district d'Ambatondrazaka de la région Alaotra Mangoro. Le centre se trouve à 15 km au Nord de la ville d'Ambatondrazaka. Avec une superficie 33.441 km², la Région Alaotra Mangoro est administrativement divisé en 05 district dont Anosibe An'Ala, Moramanga, Amparafaravola, Andilamena et Ambatondrazaka (fig. 1). Elle est située entre 17° 19' et 19° 90' de latitude Sud et 48°12' et 48°39' de longitude Est. Le district d'Ambatondrazaka fait partie de la zone du lac Alaotra (MEI/CREAM, 2009).

Le relief est caractérisé au Nord par les cuvettes de l'Alaotra, d'Andilamena et de Didy qui sont de vastes plateaux intermédiaires, situés au milieu des plateaux de la région centrale de Madagascar avec une altitude moyenne de 700 m. Elles sont remblayées par des sédiments lacustres avec une vaste dépression à fond plat s'étendant sur une superficie de plus de 1800 km². Dans la zone la plus basse se sont formés les marais ou « zetra » et les eaux libres comme le lac Alaotra et le lac Antsomangana (ONE, 2007).

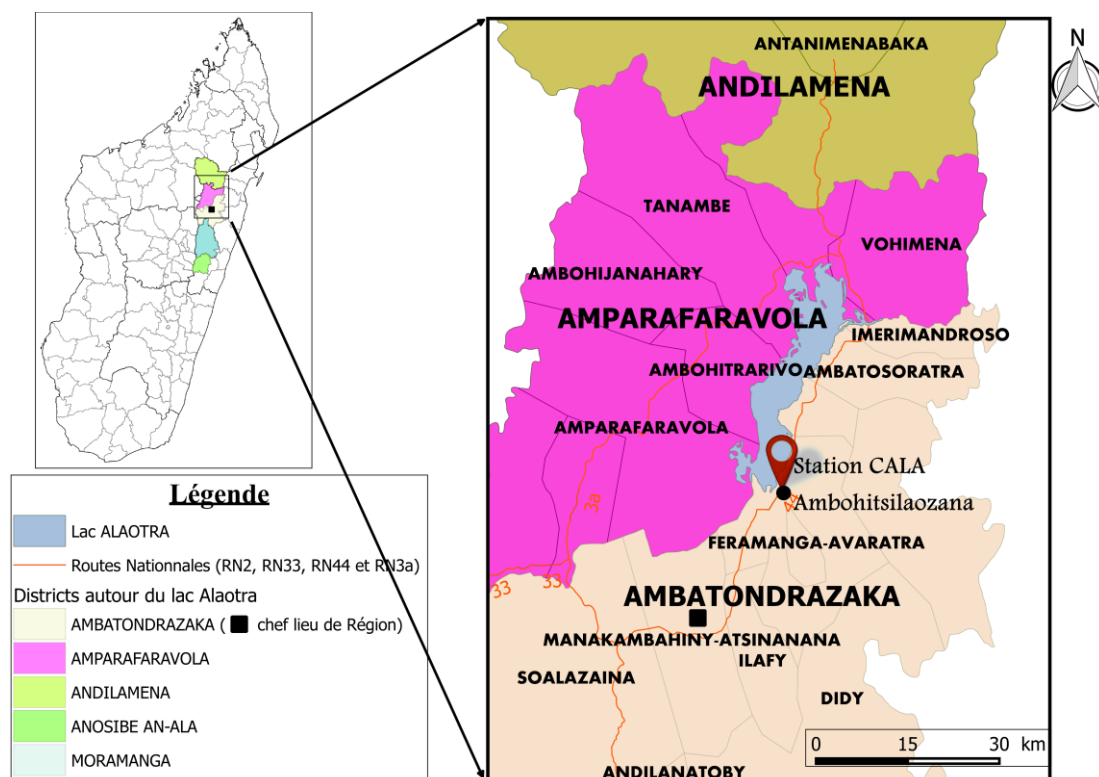


Figure 1: Localisation de la zone d'étude (BD 500)

2.1.2. Caractéristiques de la zone

La zone du lac Alaotra est marquée par un climat de type tropical semi-humide de moyenne altitude comportant deux saisons bien marquées : une saison chaude et pluvieuse et une saison fraîche et sèche avec quelques pluies fines. La courbe ombrothermique de Gaussen (fig. 2) élaborée à partir des données climatiques des dix dernières années (2004-2014) (Annexe 2) montre que la saison chaude et pluvieuse s'étend de novembre à mi-avril tandis que la saison sèche et fraîche se trouve entre mi-avril et octobre. La pluviométrie moyenne mensuelle varie entre 4,5 mm (en août) et 270,6 mm (en février). D'après les données de ces dix dernières années, la zone du Lac Alaotra est caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle de 972,85 mm par an. La température moyenne mensuelle est comprise entre 18°C (en juillet) et 24,4°C (en décembre).

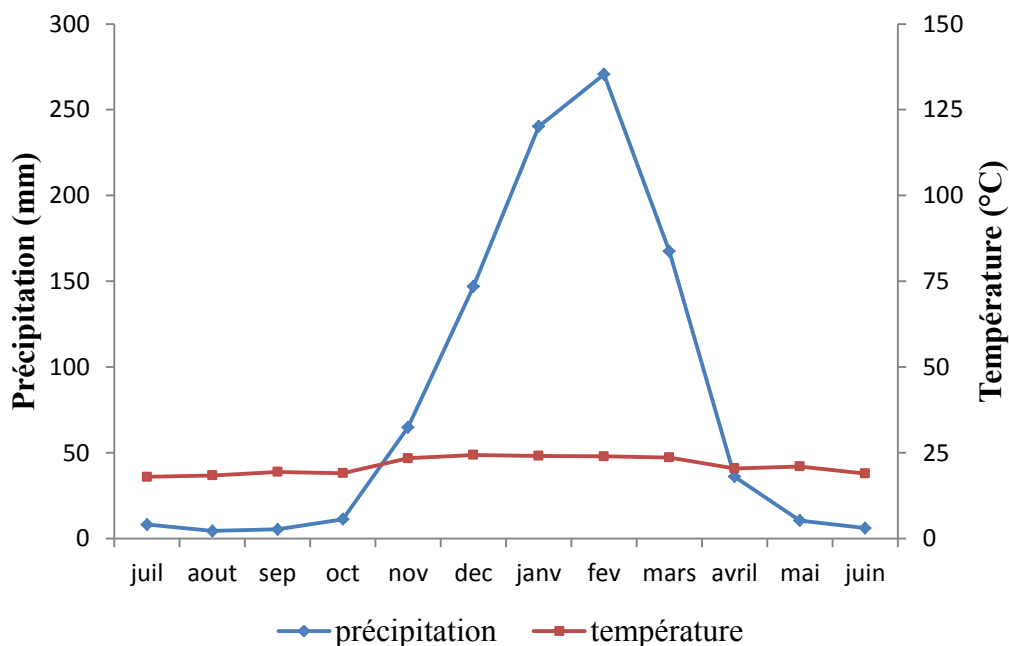


Figure 2: Courbe ombrothermique de Gaussen (2004-2014) (Station météorologique nationale d'Ambohitsilaozana)

La campagne 2014-2015 a été marquée par une pluviométrie de 1457,8 mm. Ce qui est élevée par rapport à la moyenne de ces dix dernières années. Et par rapport à la pluviométrie de la campagne 2013-2014 qui était de 763 mm, cette quantité de pluie est presque le double.

Les observations et études pédologiques des bassins versants de l'Alaotra, montrent que les sols y sont de type ferrallitique, caractérisés par une couche superficielle latéritique d'épaisseurs variant de 10 à 50 cm. Cette couche repose sur une roche mère en décomposition et sans cohésion. Ce type de sol est particulièrement favorable à l'érosion et à la formation de lavaka. Au niveau des plaines fluvio-lacustres, les sols sont de deux types : hydromorphes moyennement organiques et hydromorphes tourbeux (CREAM, 2009).

Concernant le dispositif expérimental de l'étude, le sol est de type alluvionnaire. La texture est limono-argileux, le sol est très acide ayant une capacité d'échange cationique faible (tab.1).

Tableau 1: Caractéristique du sol du dispositif expérimental (Résultat d'analyse du sol en 2009 par le laboratoire des radio isotopes (LRI))

Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	pH eau	CEC (meq/100g)
31.3	41.8	26.8	5.2	8.5

2.1.3. Importance de la riziculture pluviale dans la région Alaotra Mangoro

A Madagascar, le riz pluvial est cultivé sur les collines, les bas de pente et les bas-fonds exondés, en rotation avec d'autres cultures pluviales tel que le maïs, le manioc, le pois de terre, et généralement sans jachère. Dans la région Alaotra Mangoro, les variétés les plus utilisées sont la B22, l'IRAT, la Primavera et actuellement la SEBOTA et la NERICA. Certains agriculteurs encadrés par le projet BV- Lac pratiquent l'agriculture de conservation : système riz pluvial de bas fond suivi de vesce ou maraîchage ou riz pluvial après maïs + légumineuse volubile (Penot *et al.*, 2009).

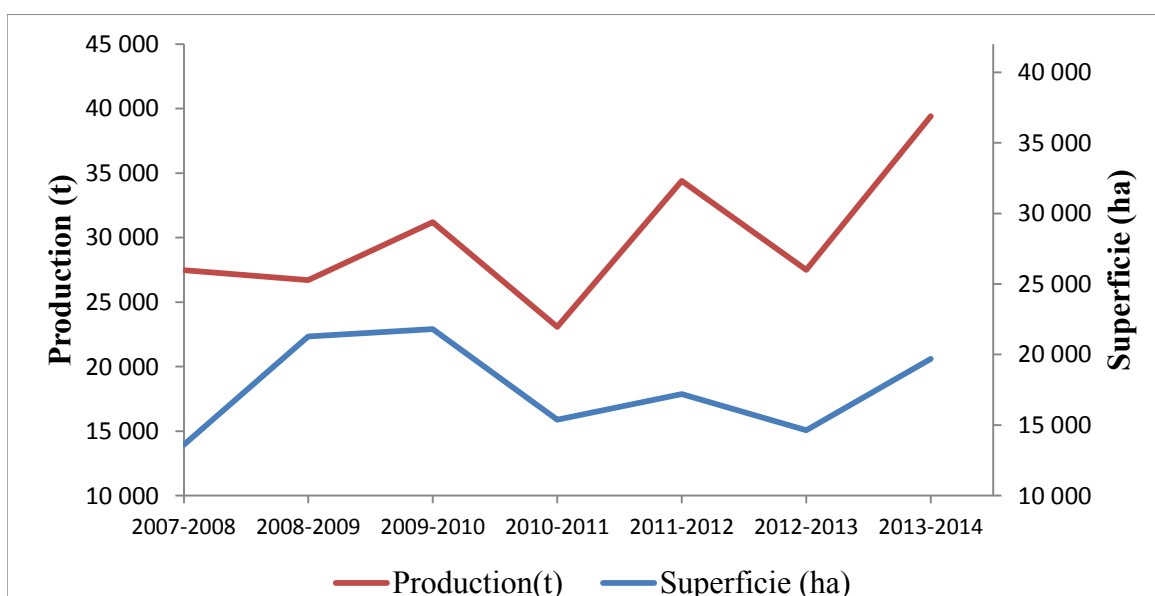


Figure 3: Evolution de la production et de la surface cultivée en riz pluvial dans la région Alaotra Mangoro (DRDR Alaotra Mangoro, 2015)

La production ainsi que la surface cultivée en riz pluvial est variable d'une année à une autre (fig.3). Au cours de ces sept dernières années, le rendement minimal du riz pluvial dans l'Alaotra Mangoro est de 1,25 T/ha et le rendement maximal est de 2 T/ha. En 2013-2014, la production est de 39 400 T sur une surface cultivée de 19 700 ha. Ce qui représente 7,93 % de la production totale et 12,73 % de la surface cultivée totale (DRDR, 2015).

2.2. Matériel végétal

2.2.1. Riz

La variété de riz B22 dénommé aussi « Fotsiambo » a été choisie comme culture principale car c'est l'une des variétés recommandé dans la région Alaotra Mangoro. C'est une lignée introduite venant du Brésil dont l'obteneur est le « Foibem-pirenena momba ny fikarohana ampiharina ho fampandrosoana ny ambanivohitra » ou FOFIFA et le Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement ou CIRAD. Elle a été introduite à Madagascar en 1987.

Concernant les caractères morphologiques, la panicule est longue de type intermédiaire. L'angle de la feuille paniculaire est horizontal. Le paddy est de couleur jaune foncée et mesure 9,3 mm. L'apex est jaune. Le caryopse est blanc et mesure 7,5 mm.

Pour les caractères agronomiques, elle se cultive en saison pluviale, de variété non photopériodique. Elle a un cycle de 120 jours. C'est une variété à cycle long. Il s'agit d'une variété haute avec un tallage est moyen. Avec un rendement de 3 à 4 T/ha, le rendement à l'usinage est de 70%. Le poids de 1 000 grains de paddy est de 35,2 g. C'est une variété résistante à la pyriculariose (FOFIFA, 2014).

2.2.2. Stylosanthes

Le stylosanthes ou *Stylosanthes guianensis* a été choisi comme un des sources de couverture car il s'agit d'une des légumineuses de couverture les plus adaptées au contexte pédo-climatique de la région du lac Alaotra. Il convient à toutes les zones agro-écologiques de Madagascar en dessous de 1200 m d'altitude et pour tous types de sols. *S.guyanensis* est particulièrement bien adapté aux sols acides. Le stylosanthes a une forte capacité de fixer l'azote et de décompacter les sols grâce à son système racinaire composé de nombreuses racines, avec un pivot principal et des racines secondaires rondes concentrées à 80 % dans les 20 premiers centimètres du sol, et sur lesquelles se développent des nodosités en abondance. Sa forte capacité de produire une biomasse allant jusqu'à 20 T/ha de matière sèche pour les parties aériennes lui permet de dominer les adventices.

S.guyanensis est une légumineuse herbacée, érigée à semi-érigée, non volubile, originaire d'Amérique du Sud. Il forme de petits buissons de 1 m à plus de 1,8 m. C'est une espèce pérenne, de durée de vie assez courte de 3 ans environ.

Le stylosanthes est utilisé en agriculture de conservation pour créer une couverture morte. Dès que la biomasse produite est suffisante pour assurer une bonne couverture du sol (après deux ou trois années de culture), il est possible de remettre la parcelle en culture. Ainsi, une simple fauche au ras du sol vers la fin de la saison sèche est suffisante pour le tuer (Husson *et al.*, 2008).

Dans notre expérimentation, le stylosanthes est fauché en mi-octobre, pendant la phase végétative en troisième année.



Figure 4: a. Stylosanthes en deuxième année, b. Stylosanthes en tant que couverture morte

2.2.3. Maïs et dolique

L'association de graminée et d'une légumineuse alimentaire volubile permet une couverture rapide du sol et assure une bonne restructuration du sol. Dans notre expérimentation, l'association maïs et dolique a été choisie comme une autre source de couverture. Après la récolte des grains, les résidus de maïs et de dolique sont utilisés comme couvertures mortes pour la riziculture. C'est un bon précédent pour le riz pluvial car si la dégradation du mulch de dolique est rapide, celle du maïs est plus lente. Ce qui fait que la nutrition minérale du riz est continue. L'utilisation de l'association maïs et dolique est aussi facile à mettre en œuvre car ce sont deux plantes annuelles.



Figure 5: a. Association maïs et dolique, b. Maïs et dolique en tant que couverture morte

Le maïs ou *Zea mays* appartient à la famille des graminées. Le maïs préfère les sols à structure légère du type décru (baiboho). Le maïs est une plante exigeante en eau, en chaleur et en espace. Ses besoins en eau sont d'environ 600 mm de pluie. Le maïs est très utilisé en alimentation humaine et en alimentation animale ainsi, il offre de meilleures opportunités de commercialisation.

La dolique ou *Dolichos lablab* appartient à la famille des Fabaceae. C'est une légumineuse annuelle à port volubile ou semi dressé. C'est une plante très tolérante du point de vue des sols. Elle peut être cultivée sur sols argilo-sableux ou limoneux, entre 750 et 2500 mm de pluie. Elle résiste bien à la sécheresse grâce à la puissance de son système racinaire. Ses tiges se décomposent moins vite que celles des autres légumineuses comme le niébé, la vesce. Ce

qui permet de maintenir une biomasse importante sur le sol plus longtemps. Elle tolère les sols acides.

Le rendement en biomasse moyen du résidu de culture (maïs et dolique) est de 6 T de matière sèche par ha (Husson *et al.*, 2010).

2.3. Matériels de mesures

2.3.1. TRIME-FM

« TRIME-FM » est un humidimètre de sol portable. Les antennes, plus communément appelées électrodes, constituent les guides d'ondes nécessaires à la transmission du signal vers l'appareil.

Le principe consiste à émettre un pulse de très haute fréquence (supérieur à 1 GHz) qui va se propager le long des électrodes et générer un champ électromagnétique dans l'environnement immédiat de ces électrodes. Depuis l'extrémité des électrodes, le pulse de fréquence va alors être réfléchi vers sa source. Le temps mis par cette impulsion "retour" (de 10 picosecondes à 2 nanosecondes) sera fonction du taux d'humidité du sol. Le constructeur a développé une méthode de calcul propre (méthode déposée) permettant une résolution dans la mesure d'un temps de "retour" équivalent à 3 picosecondes. Le taux d'humidité est alors calculé dans le boîtier centralisateur et disponible par une sortie de type analogique. Les valeurs affichées sur l'écran sont exprimées en %.

La sonde utilisée dans l'expérimentation est de type P3. Cette sonde est constituée de trois électrodes. Reliée au boîtier centralisateur, elle est enfoncée dans le sol à la profondeur de 10 cm.

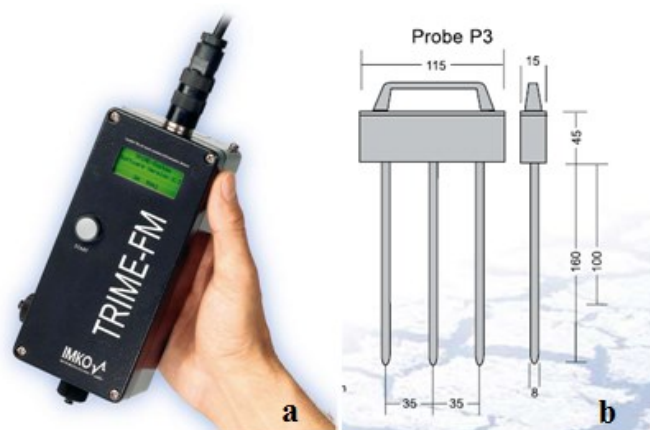


Figure 6: a. Boîtier centralisateur, b. Sonde P3

2.3.2. Barre de PAR

Les barres de PAR (Photosynthetically Active Radiation) ou de rayonnement utile à la photosynthèse sont des capteurs du rayonnement solaire absorbé ou intercepté par le couvert végétal.

Le principe des capteurs est de convertir l'information lumineuse en un courant électrique mesurable (mV). Ce type de capteur est constitué de deux barres : l'une notée « barre 1 » est placée dans une allée dégagée où elle va capter tous les rayonnements utiles à la photosynthèse disponible et l'autre notée « barre 2 » est placée sous les feuillages des cultures. Ainsi, le reste de la surface de cette barre non couverte par les feuillages du végétal capte le rayonnement solaire. Les valeurs captées par la « barre 1 » servent ainsi de témoin car elle capte la totalité des rayonnements qui peuvent être utilisés par le végétal. Les valeurs données par la « barre 2 » sont celles qui ne sont pas captées par le végétal. Les deux barres sont connectées à une centrale d'acquisition de données et cette dernière est reliée à un ordinateur pour la transcription des données. Les valeurs sont exprimées en mV.

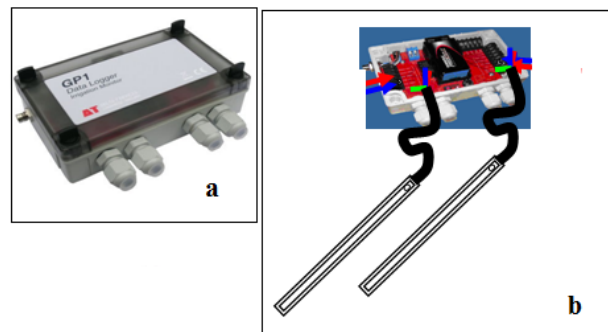


Figure 7: a. Centre d'acquisition de données, b. Barres de PAR reliées à la centrale d'acquisition de données

3. Méthodes

3.1. Principe

L'étude consiste à déterminer l'importance de l'agriculture de conservation dans la maîtrise des mauvaises herbes. Ainsi, l'étude est menée sur deux dispositifs complémentaires. Le dispositif principal ou dispositif « CALA » permet d'étudier et de comparer l'enherbement des parcelles conduites en agriculture de conservation à ceux qui sont conduites en agriculture conventionnelle. L'étude de l'enherbement consiste à évaluer l'émergence ainsi que la biomasse des mauvaises herbes sur les parcelles. De plus, le développement végétatif du riz et le rendement sont mesurés afin de voir les effets de l'enherbement et de l'agriculture de conservation. Cette mesure de développement végétatif est accompagnée par la mesure de l'interception lumineuse du végétal. Le rendement de la culture est aussi mesuré afin de voir l'effet de l'enherbement et l'effet de l'agriculture de conservation.

Le second dispositif appelé dispositif satellite ou dispositif « mauvaises herbes » permet d'évaluer l'importance de l'enherbement en fonction du niveau de couverture du sol. Le dispositif « mauvaise herbe » correspond aux parcelles enherbées du dispositif principal. L'humidité du sol dans les dix premiers centimètres est aussi mesurée afin de voir l'effet du niveau de couverture du sol sur la rétention en eau du sol afin de voir la corrélation entre

l'humidité du sol et l'émergence des adventices. Elle s'effectue dans les 10 premiers cm du sol.

3.2. Dispositifs expérimentaux

3.2.1. Le dispositif principal

Le dispositif principal a été mis en place depuis 2009. C'est un dispositif à 4 blocs de répétition où on a testé :

- ❖ Deux systèmes de culture : une rotation biennale de maïs en association avec du dolique et du riz, notée M+D//R et une rotation triennale de maïs en association avec du stylosanthes, du stylosanthes et du riz notée M+S//S//R;
- ❖ Trois modes de gestion de sol et de couvertures dont le labour sans restitution des résidus « LSR », le labour avec restitution des résidus « LR » et la culture sur couverture « SCV » ;
- ❖ Deux niveaux de fertilisation dont le traitement F1 où il n'y a pas de fertilisation et le traitement F2 caractérisé par des apports de Fumier, du NPK et de l'urée.
- ❖ Deux niveau d'enherbement : une parcelle sarclée autant de fois qu'elle soit maintenue propre appelée parcelle non enherbée notée NE et une parcelle enherbée noté E sur laquelle on va laisser les adventices se développer de manière à avoir une concurrence entre les mauvaises herbes notées MH et le riz avant de les sarcler.

Tableau 2: Traitements étudiés

Systèmes de culture	Mode de gestion de sol	Enherbement	Nombre de parcelles étudiées	Notation
M+D//R	LSR	E	4	LSR-MD
M+D//R	LSR	NE	4	-----
M+D//R	SCV	E	4	SCV-MD
M+D//R	SCV	NE	4	-----
M+S//S//R	LSR	E	4	LSR-S
M+S//S//R	LSR	NE	4	-----
M+S//S//R	SCV	E	4	SCV-S
M+S//S//R	SCV	NE	4	-----

Au total, le dispositif principal est divisé en 240 parcelles de 50 m² (5 m*10 m) chacune, disposées aléatoirement dans chaque bloc (fig.8). Mais notre étude se concentrera sur les parcelles de riz (après S et après M+D), en F1, en LSR et en SCV, enherbée et non enherbée soit sur 32 parcelles (tab.2).

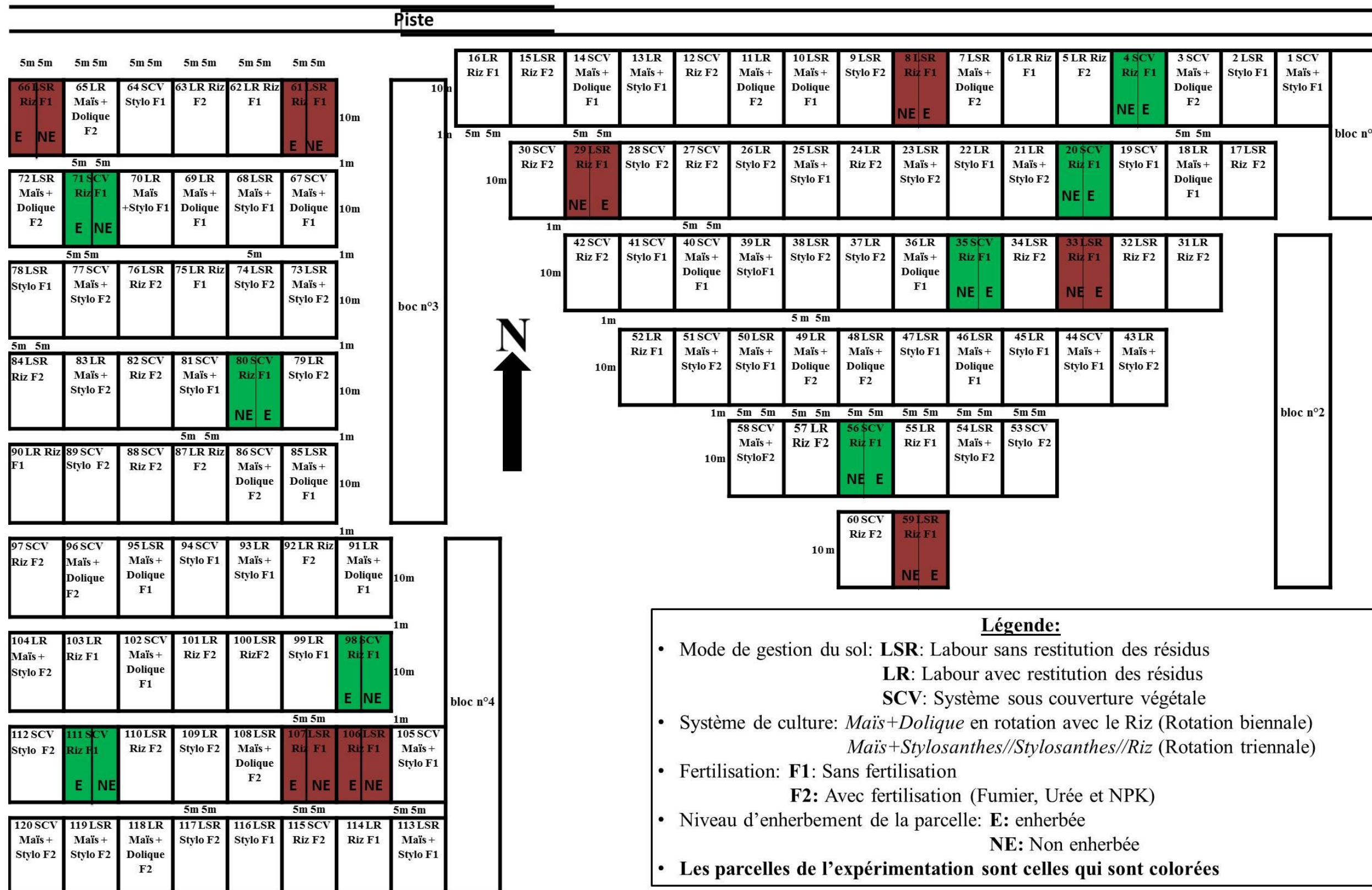


Figure 8: Plan du dispositif principal

3.2.2. Dispositif « mauvaise herbe »

Le dispositif « mauvaises herbes » est installé sur la bordure Sud du dispositif principal. Il a été cultivé en riz pluvial B22 au cours des trois dernières années après une culture de dolique et deux années de jachère. La campagne 2014-2015 est donc la première année où les parcelles de ce dispositif sont conduites en agriculture de conservation. Les couvertures sont mises en place un mois avant le semis.

Sur ce dispositif s'effectue 10 traitements répétés 4 fois. Ces dix traitements sont issus du croisement de deux modalités dont le type de paillis qui est le maïs + dolique et le stylosanthes et le taux de couverture du sol dont :

- Sans couverture
- Couverture à 30 % de la parcelle élémentaire
- Couverture à 70 % de la parcelle élémentaire
- Couverture à 99 % de la parcelle élémentaire
- Couverture à 100 % de la parcelle élémentaire

Ainsi, le dispositif est constitué par 4 blocs de 40 m² (4 m*10 m). Chaque bloc est divisé en 10 parcelles élémentaires de 4 m² (fig.9).

Chaque parcelle élémentaire comporte 2 placettes d'observation. L'une est un carré de 1m*1m pour suivre la quantité de biomasse des mauvaises herbes, et l'autre, de 50cm*50cm pour suivre l'émergence des mauvaises herbes.

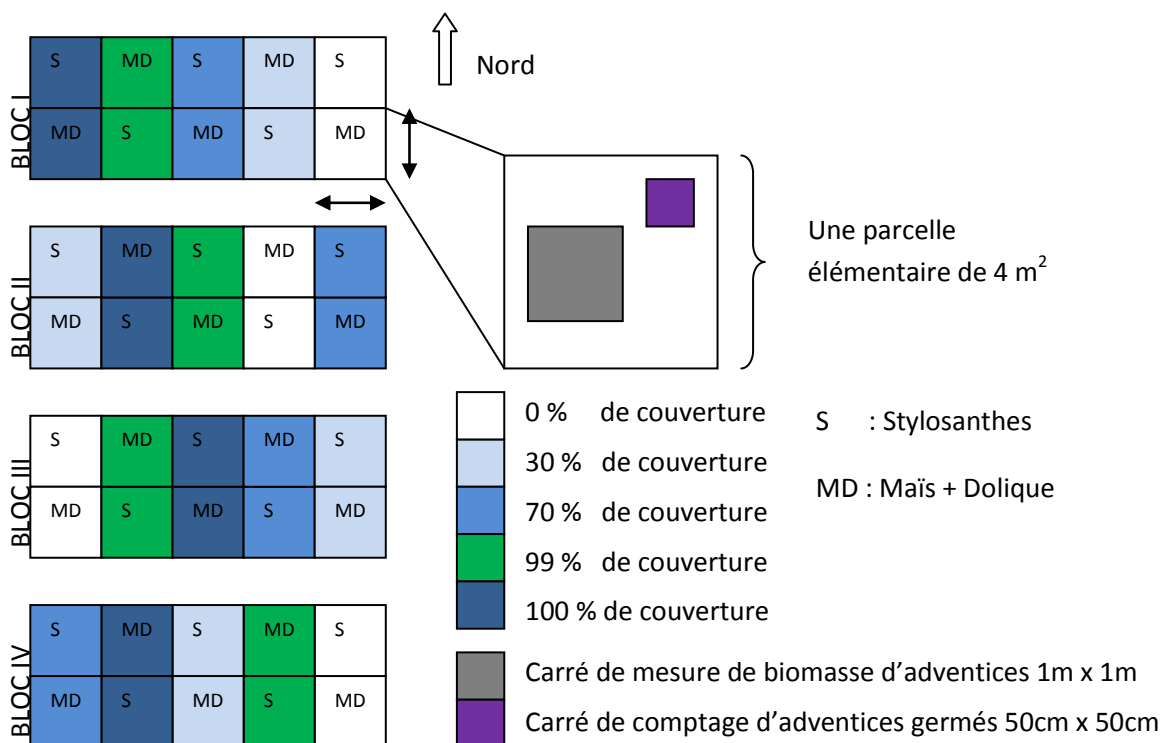


Figure 9: Plan du dispositif "Mauvaises herbes"

3.3. Méthode d'observation

3.3.1. Paramètres observés

Sur le dispositif principal, la biomasse résiduelle sur les parcelles est évaluée avant la mise en culture pour savoir la quantité de couverture à disposition. Pour l'étude de l'enherbement de la parcelle : les adventices émergentes sont comptées, la biomasse aérienne des adventices est pesée et l'importance de leur interception lumineuse est mesurée. L'étude de l'enherbement s'effectue sur les parcelles enherbées. Pour savoir l'effet des traitements sur le riz, son développement végétatif qualifié par son hauteur maximal, sa biomasse et l'importance de son interception lumineuse ainsi que le rendement sont mesurés. Ces mesures s'effectuent sur les deux parcelles : parcelle enherbée et parcelle non enherbée.

Sur le dispositif « mauvaises herbes », l'humidité du sol est mesurée afin de voir la relation que peut avoir l'humidité du sol avec la germination des adventices. Pour l'étude de l'enherbement, les adventices émergentes sont comptées et la biomasse aérienne des adventices sont pesée. Pour savoir l'effet du traitement sur le riz, le rendement en paddy est mesuré. Le taux de couverture est mesuré au début et à la fin de la campagne culturale afin de savoir son évolution.

Sur les deux dispositifs, les espèces d'adventices présentes dans les parcelles sont identifiées

3.3.2. Méthode d'évaluation

3.3.2.1. *Pluviométrie*

Sur le dispositif, un pluviomètre à bague à lecture directe permet d'obtenir la quantité de pluie journalière. Les prélèvements de données se font le lendemain de chaque épisode pluvial, très tôt le matin s'il a plu dans les 24 heures précédentes.



Figure 10: Pluviomètre à bague

3.3.2.2. Taux de couverture

Pour l'évaluation de la biomasse résiduelle sur le dispositif principal, une homogénéisation des résidus sur la parcelle est nécessaire afin de ne pas sous-estimer ou sur estimer la biomasse. Les résidus dans les placettes sont coupés au ras du sol, puis pesés pour avoir le poids de la matière fraîche. Un échantillon composite c'est-à-dire un échantillon issu du mélange des cinq placettes de 200 g est passé à l'étuve à 60° pendant 48 heures pour mesurer la teneur en MS.

Pour savoir la quantité de couverture à utiliser sur le dispositif « mauvaises herbes », la formule de Gregory, (1982) a été utilisée. Cette formule permet de déterminer le taux de couverture en fonction du rendement de la biomasse. Cette formule se traduit par :

$$C = 1 - e^{(-Am \cdot M)} \quad (1)$$

Avec :

- C le taux de couverture en %
- M le rendement de la biomasse en t/ha
- Am un coefficient qui varie en fonction de la plante de couverture (tab.3)

Tableau 3 : Coefficient Am en fonction de la plante de couverture (Andriamandroso, 2010 et Naudin, 2011)

	Dolique	Maïs	Maïs + dolique	Stylosanthes
Am	0,320	0,114	0,25	0,377

D'après la formule (1), les quantités de couverture correspondant aux différents taux de couverture de l'expérimentation est résumé dans le tableau 4:

Tableau 4: Quantité de biomasse en MS des mulch suivant le taux de couverture du sol

Taux de couverture du sol (%)	Stylosanthes			Maïs + Dolique		
	Quantité en MS (t.ha ⁻¹)	Quantité en MS (g/4m ²)	Epaisseur (cm)	Quantité en MS (t.ha ⁻¹)	Quantité en MS (g/4m ²)	Epaisseur (cm)
0	0,00	0,00	----	0,00	0,00	----
30	0,94	376	----	1,42	568	----
70	3,19	1 276	----	4,81	1 924	----
99	12,21	4 884	6 – 7	18,42	7 368	7 – 8
100	18,32	7 328	9 – 10	27,63	11 052	11

La quantité de couverture selon le taux de couverture augmente de façon exponentielle (tab.4). Ainsi, il existe une grande différence entre la quantité correspondant à 99 % de couverture du sol et la quantité correspondant à 100 % de couverture de sol même si la différence du pourcentage n'est que de 1%. Les quantités correspondant différents taux de couverture sont plus grandes pour le mulch de maïs et dolique que pour le mulch de

stylosanthes. Pour l'épaisseur, le mulch de maïs et dolique est plus épais que le mulch de stylosanthes.

3.3.2.3. Importance des mauvaises herbes

a. Identification des mauvaises herbes sur l'ensemble des dispositifs

Le principe de reconnaissance d'une espèce se fonde sur les critères de ressemblance-dissemblance entre l'échantillon à déterminer. C'est donc une comparaison. Les espèces sont identifiées lors du comptage des individus, donc les espèces à identifier sont celles qui émergent dans les carrées de comptage. La méthodologie de la reconnaissance des stades juvéniles est donnée par l'ordre des différents critères descriptifs. Elle est la même à l'intérieur de chacun des groupes (dicotylédones, monocotylédones, pteridophytes).

Pour les dicotylédones, plantes à feuilles larges, elle prend en compte les cotylédons, le limbe et le pétiole, les premières feuilles et l'insertion foliaire, la pilosité.

Pour les monocotylédones, les critères pris en compte successivement dans la diagnose sont : le type de préfoliation, l'aspect de la gaine, la ligule, la longueur et la largeur des premières feuilles, la pilosité.

La clé de détermination des adventices en pays tropicaux n'est pas encore complète. De ce fait, nous avons utilisés des ouvrages dont :

- Le Bourgeois T. et Merlier H., 1995, *Adventrop, Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne*, CIRAD-CA, 637 pages ;
- Montergut J. et Merlier H., 1982, *Adventices tropicales*, ORSTOM-GERDAT-ENSH, 490 pages.

Certaines espèces ont aussi pu être identifiées grâce au site web : WIKWIO⁴ Portal V.1.0.

b. Comptage des plantules d'adventices

Le comptage s'effectue sur les quatre placettes de 0,25 m² des parcelles enherbées du dispositif principal notées X, Y (avec mulch) et X', Y' (sans mulch) (fig.8 et 11) et sur la placette de 0,25 m² des parcelles du dispositif mauvaise herbe (fig.9). L'enlèvement du mulch dans les 2 carrées de mesure X' et Y' de l'émergence des mauvaises herbes sur les parcelles SCV a été réalisé afin d'évaluer la différence de stock de semence entre une parcelle labourée et une parcelle SCV après cinq années d'expérimentation. Les adventices qui émergent sont arrachés et comptées. Elles sont séparées en monocotylédones et en dicotylédones.

⁴ Weed Identification and Knowledge in the Western Indian Ocean.

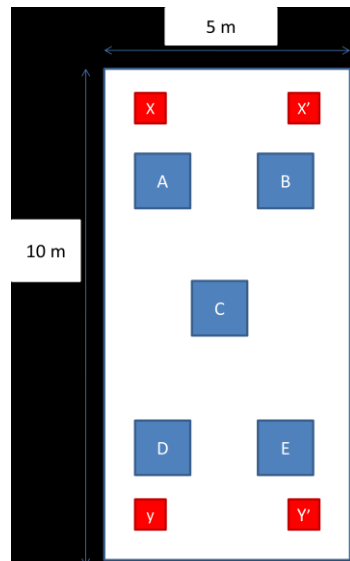


Figure 11: Disposition des placettes d'observation sur une parcelle: placette de 1 m² A, B, C, D et E; placette de 0,25 m² X, X', Y et Y'

c. Pesée de la biomasse aérienne

Sur les cinq placettes de 1 m² notées A/B/C/D/E des 16 parcelles enherbées du dispositif principal et sur les placettes de 1 m² des parcelles du dispositif satellite s'effectuent la pesée de la biomasse aérienne des mauvaises herbes. Les adventices sont séparées en monocotylédones et en dicotylédones. Leur poids frais est noté tout de suite après le fauchage pour éviter leurs assèchements qui risque de fausser leur teneur en matière sèche. Pour déterminer leur teneur en matière sèche, un échantillon de 200 g de monocotylédones et de dicotylédones de chaque parcelle est passé à l'étuve. Cet échantillon est pesé avec précision (balance 0,1 g) sur la parcelle afin d'éviter les pertes d'eau durant le transport.

d. Mesure de l'interception lumineuse

A chaque sarclage, l'interception lumineuse des mauvaises herbes est mesurée. Pour ce faire, avant le sarclage, l'interception lumineuse de l'ensemble : culture principale et adventices est mesurée. Après le sarclage, l'interception lumineuse du riz est mesurée. Ainsi, la lumière captée par les adventices se calcule par la différence entre ces deux mesures. Cette mesure s'effectue sur les parcelles enherbées dans les cinq placettes de mesure de la biomasse et dans chaque placette, trois mesures sont prises.

3.3.2.4. Impact des adventices sur le riz:

a. Mesure de l'interception lumineuse

La mesure de l'interception lumineuse du riz s'effectue dans les cinq placettes destinées pour la mesure de rendement. Comme pour la mesure de l'interception lumineuse des mauvaises herbes, trois mesures sont prises dans chaque placette.

b. Mesures destructives de la biomasse du riz

Pour les mesures destructives de la biomasse du riz, six poquets sont pris au hasard dans chaque parcelle. Les poquets sont coupés au ras du sol, puis la hauteur maximale des plants est mesurée avant de peser la biomasse pour avoir le poids frais. Afin d'avoir la teneur en MS, un échantillon de 200 gr est étuvé à 60°C pendant 48 h. Les poquets doivent être prélevés en dehors des placettes A/B/C/D/E et X/X'/Y/Y'.

c. Mesure du rendement

Le rendement sur le dispositif principal est mesuré à partir des carrés de rendement (placette A, B, C, D, E du fig.11) car dans le reste de la parcelle, des mesures destructives ont été effectuées au cours du développement du riz. Tandis que pour le dispositif « mauvaise herbe », le rendement se mesure par la récolte intégrale de chaque parcelle car aucune mesure destructive n'a été effectuée sur ce dispositif et de plus les parcelles sont petites.

Pour avoir le taux d'humidité des grains, un échantillon de 50 g de grains vides et un échantillon de 50 g de grains pleins de chaque placette sont passés à l'étuve à une température de 60°C pendant 48 h.

3.3.3. Fréquence d'observation

3.3.3.1. Mauvaises herbes

L'identification des espèces de mauvaises herbes s'effectue à chaque apparition de nouvelles espèces lors du comptage des individus.

Le comptage des espèces émergentes s'effectue une fois par semaine, à jour fixe, à partir du semis jusqu'à la récolte du riz. Parallèlement à cela, la mesure de l'humidité du sol est effectuée.

La pesée de la biomasse aérienne s'effectue avant chaque sarclage. Les périodes de sarclage ont été déterminées selon une estimation visuelle de la compétition entre les adventices et le riz. Lors de l'expérimentation, quatre sarclages ont été effectués : le premier a été effectué 26 jours après semis (JAS) correspondant au début tallage, le second, 65 JAS correspondant au stade montaison, le troisième, 105 JAS c'est-à-dire à la fin montaison et le dernier avant la récolte du riz. Ainsi, quatre pesées de la biomasse aérienne ont été effectuées.

L'interception lumineuse du couvert végétal (riz + adventices) est mesurée avant et après chaque sarclage.

3.3.3.2. Riz

Le développement végétatif du riz se mesure suivant deux méthodes indépendantes: la mesure de l'interception lumineuse et la mesure destructive de la biomasse du riz. Ces deux mesures

sont faites au stade tallage, au stade initiation paniculaire, au stade floraison et au stade maturité.

Le rendement se mesure à la récolte.

3.4. Méthode d'analyse

Les données issues de l'expérimentation sont traitées avec le logiciel XLSTAT 2014. L'analyse de variance (ANOVA) et le regroupement des moyennes de *Fisher* permettent de voir les différences entre les traitements pour les facteurs étudiés dont l'émergence et la biomasse des adventices, l'interception lumineuse par le couvert végétal, le développement végétatif du riz et le rendement.

Quand le nombre d'observation est très faible pour l'analyse de variance, comme pour savoir la différence entre l'abondance des différents types d'adventices sur les parcelles, une comparaison des moyennes par un test paramétrique, *test t de student*, est effectuée.

La régression linéaire est effectuée afin de voir les relations entre l'humidité du sol et l'émergence des adventices.

4. Résultats et interprétations

4.1. Pluviométrie

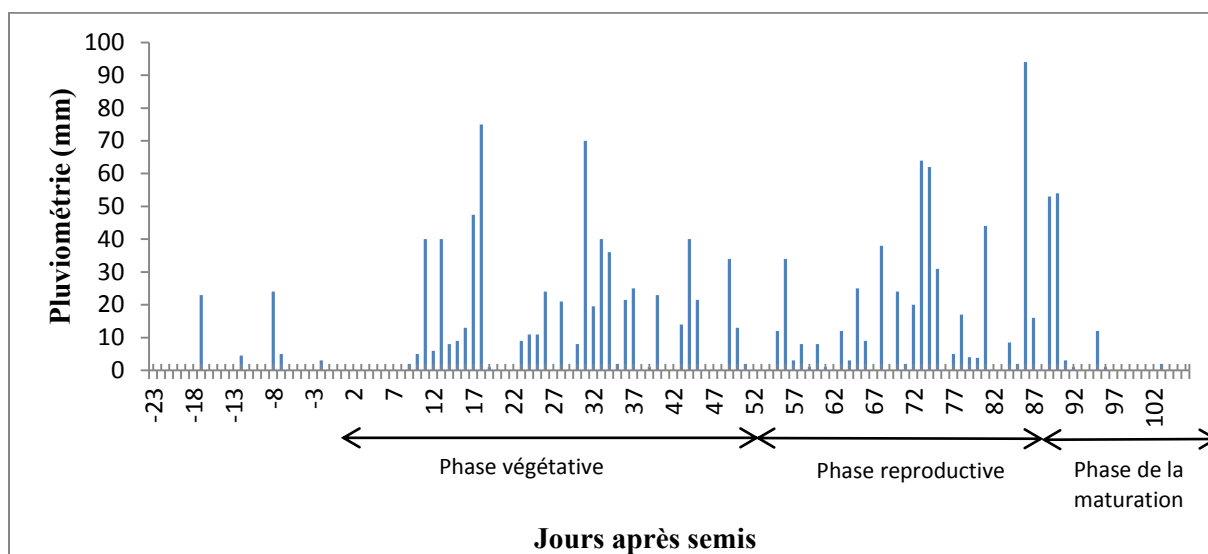


Figure 12: Pluviométrie (2014 - 2015)

Pour la saison des pluies 2014 – 2015, les pluies ont commencées en novembre 2014. La pluviométrie s’est répartie pendant 72 jours avec une quantité totale de 1457,8 mm (données jusqu’à la récolte), une précipitation moyenne de 20,25 mm et un maximum journalier de 94 mm en mois de mars. Les mois les plus pluvieux ont été ceux de janvier et février avec un cumul de pluie de 437,5 mm et 430,8 mm respectivement.

4.2. Taux de couverture sur les parcelles

L’estimation de la biomasse résiduelle sur les parcelles du dispositif principal a permis de connaître la quantité de couverture disponible pour l’année de culture. Ainsi, les quantités de couverture sur les parcelles en SCV sont résumées dans le tableau 5.

Tableau 5: Quantité de couverture sur les parcelles en SCV

Traitements	Rendement (T/ha)	Taux de couverture (%)
SCV-MD-E	6,14	76,44
SCV-MD-NE	8,28	85,39
SCV-S-E	7,14	92,02
SCV-S-NE	9,16	96,35

D’après le tableau 5, les quantités de stylosanthes sont supérieures à celles de l’association maïs et dolique. Aussi, les quantités de couverture sur les parcelles non enherbées sont supérieures à celles sur les parcelles enherbées.

Le pesage des couvertures sur les parcelles du dispositif satellite après la récolte a permis de savoir la quantité restante de mulch sur les parcelles et a permis d'établir les diagrammes de la figure 13.

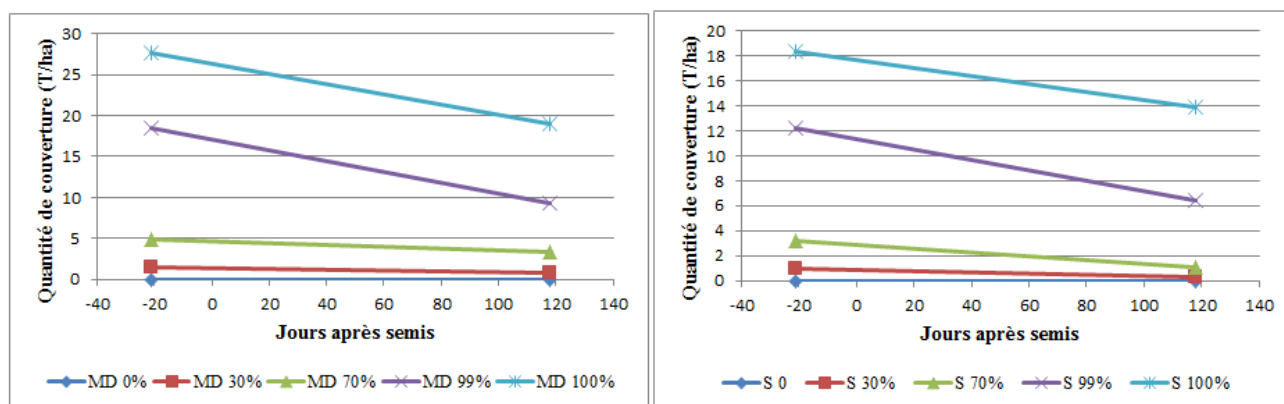


Figure 13: Variation de la quantité de mulch au début et à la fin de la saison culturale (MD = maïs et dolique, S = stylosanthes)

A la fin de l'expérimentation, 139 jours après la mise en place des paillis, les couvertures restant sur les parcelles sont de l'ordre de 60 à 68 % de la quantité initiale pour le maïs et dolique et 30 à 83 % de la quantité initiale pour le stylosanthes. Statistiquement, il n'y a pas de différence significative entre les vitesses de dégradations du stylosanthes et du maïs et dolique ($F = 3,0485$; $p = 0,0922$).

Pour les deux types de couverture, les taux de couverture à 100 % se dégradent plus vite que les autres taux de couverture. Cette différence de vitesse de dégradation est statistiquement significative (pour stylosanthes : $F = 12,2529$, $p = 0,0003$; pour maïs et dolique : $F = 2,8894$; $p = 0,0689$) (Annexe 3)

4.3. Les principales adventices

Les résultats de l'identification ont montré que les parcelles expérimentales hébergent au moins 17 espèces de dicotylédones et au moins 6 espèces de monocotylédones. Ces espèces appartiennent à 14 familles différentes dont : une Euphorbiacée, une Convolvulacée, une Lamiacée, une Rubiacée, une Molluginacée, une Oxalidacée, une Solanacée, trois Astéracées, cinq Fabacées, une Amaranthacée, une Tiliacée, une Commelinacée, deux Cypéracées et trois Graminées.

Les espèces identifiées sont :

- *Acanthospermum hispidium* ou herbe tricolore (en français) ou bakakely (en malgache)

A. hispidium appartient à la famille des Astéracées, embranchement des dicotylédones. C'est une espèce annuelle.

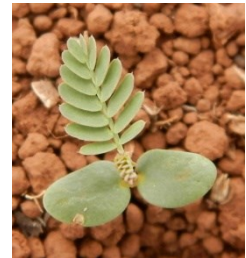


Les cotylédons sont oblancéolés, avec l'extrémité tronquée et la base atténuée en pétiole. Ils sont longs de 10 à 15 mm et larges de 5 à 6 mm. Leurs faces sont pubescentes. Les premières feuilles sont simples et opposées. Le limbe est ovale, atténué en pétiole dans le tiers inférieur. La marge est finement dentée et les faces sont hispides. Dès la deuxième paire de feuille, la plante se ramifie de façon dichotomique (Montergut et Merlier, 1982 ; Le Bourgeois et Merlier, 1995).

A Madagascar, elle est une mauvaise herbe très nuisible des cultures de riz pluvial, de coton, de maïs, d'arachide et aussi du niébé en raison de sa germination précoce et de sa croissance rapide. Elle constitue une gêne importante pour les travaux de récolte dans les parcelles insuffisamment entretenues (WIKWIO).

- *Aeschynomene americana* ou nelitte d'Amérique (en français)

Elle appartient à la famille des Fabacées, embranchement des dicotylédones. C'est une espèce annuelle.



Les cotylédons sont réniformes, subsessiles, semi-charnus sans nervure nette. Le limbe mesure 5 à 8 mm de long et 4 à 5 mm de large. Il est vert clair, glabre. Les premières feuilles sont alternes, composées paripennées, portées par un pétiole de 2 à 3 mm. Le limbe est formé de 6 à 8 paires de folioles étroites oblongues. Il mesure 8 à 12 mm de long.

A Madagascar, *A. americana* est particulièrement abondante dans les systèmes de cultures à base de maïs en moyenne altitude. Mais de manière générale, elle est peu nuisible (WIKWIO).

- *Ageratum conyzoides* ou herbe-à-bouc (en français) ou hanitrinipatsaka (en malgache)

Elle appartient à la famille des Astéracées, embranchement des dicotylédones. C'est une espèce annuelle.



L'hypocotyle est court mesurant 1 cm de long sur 1 mm de diamètre, glabrescent à pubescent, teinté de bleu délavé à la base.

L'épicotyle est à section circulaire, dégageant les entre-nœuds, couvert de poils denses, teintés de violet et cloisonnés. Les cotylédons sont ovales et longuement pétiolés (pétiole long de 13 mm, limbe long de 10 mm et large de 8 mm). Ils sont finement pubescents. Les premières feuilles sont simples et opposées. Elles apparaissent 2 cm au-dessus des cotylédons. Le limbe est ovale ; il est porté par un pétiole de 2 cm de long. La marge est finement dentée (Montergut et Merlier, 1982 ; Le Bourgeois et Merlier, 1995).

A Madagascar, elle est fréquente et très nuisible pour les cultures de riz pluvial et les cultures maraîchères (WIKWIO).

- *Amaranthus hybridus* ou amarante hybride (en français) ou anapatsimena (en malgache)

Elle appartient à la famille des Amaranthacées, embranchement des dicotylédones. C'est une espèce annuelle.

Les cotylédons sont elliptiques, à sommet arrondi en massue, plus ou moins pétiolés et à face inférieure souvent rouge violacé. Les premières feuilles sont simples, elliptiques à ovales, à bord entier.



A Madagascar, elle est de fréquence relativement faible et souvent peu abondante (WIKWIO).

- *Bidens pilosa* ou bident pileux (en français) ou tsipolitra (en malgache)

Elle appartient à la famille des Astéracées, embranchement des dicotylédones. C'est une espèce annuelle.

Les cotylédons sont elliptiques et linéaires. Le limbe mesure 25 mm de long et 5 mm de large, il est porté par un pétiole long de 10 mm. Ils sont glabres. Les premières feuilles sont opposées et simples. Elles sont longuement pétiolées. Le limbe peut être denté ou profondément divisé en trois segments dès la première paire de feuilles. La marge des premières feuilles présente quelques grosses dents, puis est régulièrement dentée pour les feuilles suivantes. Les faces sont glabres (Montergut et Merlier, 1982 ; Le Bourgeois et Merlier, 1995).



B. pilosa fait partie des 300 espèces envahissantes majeures du Pacifique et de l'Océan Indien. A Madagascar, elle est de fréquence moyenne et pouvant être localement abondante et très nuisible pour les cultures peu entretenues : maïs, manioc, arachide. Elle peut gêner aussi les travaux de récolte (WIKWIO).

- *Corchorus tridens* ou Tsindahory vazaha (en malgache)

C. tridens appartient à la famille des Tiliacées, embranchement des dicotylédones. C'est une espèce annuelle.

Les cotylédons sont orbiculaires à ovales. Ils sont portés par un pétiole long de 5 mm. Le limbe est long de 4 mm et large de 3 mm. Le sommet et la base du limbe sont arrondis. Les premières feuilles sont simples et alternes.



Elles sont pétiolées et encadrées par des stipules linéaires. Le limbe est linéaire lancéolé, long de 2 à 4 cm et large de 4 à 5 mm. Il est marqué de 5 à 7 paires de nervures secondaires. La marge est dentée. A partir de la troisième ou quatrième feuille, la première dent, de chaque côté de la base du limbe, est recourbée en arrière et prolongée par un filament. La tige et les feuilles sont glabres (Le Bourgeois et Merlier, 1995).

- *Euphorbia hirta* ou Jean Robert

E. hirta appartient à la famille des Euphorbiacées, embranchement des dicotylédones. C'est une espèce annuelle.

Les cotylédons sont elliptiques et faiblement pétiolés. Ils mesurent 2 mm de long et 1 mm de large. Ils sont situés à la surface du sol. Immédiatement au-dessus d'eux se trouve la première paire de feuilles.



Les premières feuilles sont opposées, subsessiles. Le limbe est elliptique, très asymétrique à la base. La deuxième paire de feuilles ne se développe que 1 à 3 cm au-dessus de la première (Montergut et Merlier, 1982 ; Le Bourgeois et Merlier, 1995).

A Madagascar, elle est très répandue dans toute l'île surtout en zone de faible et moyenne altitude. Elle est une plante hôte alternatif pour les nématodes tels que *Meloidogyne incongnita*. (WIKWIO).

- *Leucas matrinicensis*

L. matrinicensis appartient à la famille des Lamiacées, embranchement des dicotylédones. C'est une espèce annuelle.

Les cotylédons ont un limbe ovale à rond, légèrement émarginé au sommet. Ils mesurent 5 à 7 mm de diamètre. Ils sont portés par un pétiole long de 5 mm. Les premières



feuilles sont simples et opposées. Elles sont portées par un pétiole de 10 à 15 mm de long. Le limbe est ovale à lancéolé, fortement denté. L'ensemble de la plantule est pubescent (Le Bourgeois et Merlier, 1995).

L. martinicensis est une adventice extrêmement fréquente dans toutes les cultures des régions tropicales. En régions soudano-sahélienne⁵ et soudanienne, elle est considérée comme une adventice potentielle générale (WIKWIO).

- *Mitracarpus hirtus* ou fengalala (en malgache)

M. hirtus appartient à la famille des Rubiacées, embranchement des dicotylédones. C'est une espèce annuelle.

Les cotylédons sont de forme elliptique, au sommet légèrement émarginé. Ils mesurent 7 mm de long et 4 mm de large. Ils sont portés par un court pétiole. La nervure centrale est bien visible. Les bases des pétioles sont élargies et se rejoignent, formant une fine collerette stipulaire. Les premières feuilles sont opposées. Le limbe est elliptique, long de 2 à 3 cm et large de 6 à 10 mm. La base du limbe est atténuée en un court pétiole. Les bases de pétioles se rejoignent, formant une collerette stipulaire à dents effilées. La tige est quadrangulaire. Elle est finement pubescente et les feuilles sont glabres (Le Bourgeois et Merlier, 1995).

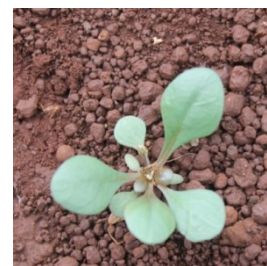


A Madagascar elle est fréquente et abondante et peut être très nuisible (WIKWIO).

- *Mollugo nudicaulis* ou aferotany (en malgache)

M. nudicaulis appartient à la famille des Aizoacées, embranchement des dicotylédones. C'est une espèce annuelle.

Les cotylédons sont réduits. Ils mesurent 4 mm de long et 2 mm de large. Ils sont brièvement pétiolés et de forme oblongue. Les premières feuilles sont simples et alternes, disposées en rosette à la surface du sol. Le limbe est spatulé. Le sommet est arrondi et porte un petit mucron. Elles sont longues de 15 à 20 mm et larges de 10 mm (Montergut et Merlier, 1982).



- *Oxalis corniculata* ou petit trèfle (en français) ou kidiadiamborona (en malgache)

O. corniculata appartient à la famille des Oxalidacées, embranchement des dicotylédones. C'est une espèce annuelle.



⁵ Région Soudano-sahélienne: Burkina Faso, Cap-Vert, Djibouti, Érythrée, Gambie, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Somalie, Soudan, Tchad

Les cotylédons sont allongés en forme de cuillère. Les premières feuilles sont alternes, composées, d'un vert trouble, longuement pétiolées. Le limbe est à trois folioles digitées, en forme de coeur, à base en coin et sommet émarginé. Seule la nervure médiane est marquée. Les deux petites stipules sont oblongues.

A Madagascar, elle est peu fréquente et peu abondante dans les cultures annuelles (WIKWIO).

- *Solanum nigrum* ou morelle noire (français) ou anamamy (malgache)

S. nigrum appartient à la famille des Solanacées, embranchement des dicotylédones. Son nom scientifique est *Solanum nigrum*.



Les cotylédons sont ovales, lancéolés, élargis à la base puis brusquement rétrécis. Les premières feuilles sont simples, alternes, entières, ovales et hérissées de poils, avec un bord cilié qui forment une bordure noire. La face inférieure des nervures est noirâtre dès les premiers étages foliaires. L'axe hypocotylé (sous les cotylédons) est verdâtre-violacé, et fortement hérissé de poils comme le pétiole des cotylédons et des feuilles.

- *Bulbostylis barbata*

B. barbata appartient à la famille des Cypéracées, embranchement des monocotylédones. C'est une espèce annuelle.



Les premières feuilles se développent en une petite touffe. Elles sont filiformes, longues de 1 à 3 cm et large de 0,5 mm. A la base du limbe se trouve une gaine courte, plus large que le limbe. Le sommet de la gaine est marqué par une petite touffe de poils courts. Le limbe est épais, en forme de gouttière. La marge est légèrement scabre. Les faces sont glabres et brillantes (Le Bourgeois et Merlier, 1995).

- *Commelina benghalensis* ou grosse trainesse d'eau (en français) ou moravelona (en malgache)

Elle appartient à la famille des Commelinacées, embranchement des monocotylédones. C'est une espèce annuelle.

Le cotylédon n'est pas apparent car il reste dans la semence. La première feuille est elliptique, elle mesure jusqu'à 3 cm de long et 2 cm de large. Elle est atténuée en un court pétiole. Elle est rarement



pubescente, ses nervures sont parallèles (Montergut et Merlier, 1982 ; Le Bourgeois et Merlier, 1995).

A Madagascar, elle est de fréquence moyenne qui peut être localement très nuisible pour les cultures de coton, de riz pluvial, de maïs et d'arachide. Elle est plus fréquente mais moins envahissante que *C. diffusa* (WIKWIO).

- *Cyperus esculentus* ou souchet comestible (en français) ou kôkôtany (en malgache)

Elle appartient à la famille des Cypéracées, embranchement des monocotylédones. C'est une espèce vivace.



Les premières feuilles sont linéaires, au sommet en coin aigu, longues de 2 à 10 cm et larges de 4 mm. La section du limbe forme un V large. A la base du limbe se trouve une courte gaine trigone. Les feuilles sont disposées de façon tristique. La plantule peut être reliée à un pied mère par un rhizome ou isolée. La plantule est alors issue d'un tubercule mère sphérique et noir plus ou moins profond qui développe un axe vertical, écaillé dans sa partie souterraine, se transformant en une petite touffe feuillée à la surface du sol (Montergut et Merlier, 1982 ; Le Bourgeois et Merlier, 1995).

Le souchet comestible est très difficile à contrôler une fois installée sur la parcelle.

- *Digitaria horizontalis* ou herbe fine (en français)

L'herbe fine appartient à la famille des Graminées, embranchement des monocotylédones. C'est une espèce annuelle.



La plantule est dressée. Les feuilles ont une préfoliation enroulée. Le limbe de la première feuille mesure 1,2 cm de long et 2,5 cm de large. Le sommet de la tige est en coin aigu. La base est rétrécie au niveau de la ligule. La marge est ondulée, au moins dans la partie inférieure. La ligule est membraneuse dès la deuxième feuille, avec quelques longs poils périligulaires (Montergut et Merlier, 1982 ; Le Bourgeois et Merlier, 1995).

A Madagascar, elle est de fréquence élevée (40 % dans le Moyen Ouest, 60 % dans le Sud-Ouest). Elle est abondante dans les cultures de maïs, manioc, riz pluvial, arachide. En raison de sa croissance très rapide, elle peut étouffer entièrement les cultures si le sarclage n'est pas réalisé au bon moment (WIKWIO).

- *Eleusine indica* ou éleusine d'Inde (en français) ou Tsipipihina (en malgache)

E. indica appartient à la famille des Poacées, embranchement des monocotylédones. C'est une espèce annuelle.



Les premières feuilles ont une préfoliation pliée et sont disposées de façon distique. Le limbe est oblong à linéaire au sommet arrondi, long de 2 à 10 cm et large de 5 mm. Il est dressé obliquement. La ligule est membrano-ciliée. La gaine est très comprimée et présente quelques poils fins sur la marge, surtout à proximité de la ligule. Le limbe est parsemé de quelques longs poils fins et tortueux, la marge est scabre. La nervure principale forme une gouttière (Montergut et Merlier, 1982 ; Le Bourgeois et Merlier, 1995).

A Madagascar, elle est de fréquence relativement faible mais localement abondante et nuisible pour les cultures de bas-fond et dans les zones à sols volcaniques (Antsirabe, Itasy) : maïs, riz pluvial, cultures maraîchères (WIKWIO).

L'identification et le comptage des individus a permis de savoir l'importance de chacune de ces espèces sur les parcelles de l'expérimentation (fig.14, fig.15, fig.16 et fig.17).

Les adventices des parcelles en SCV sont toutes retrouvées sur les parcelles en LSR. Statistiquement, seules les monocotylédones annuelles présentent une différence significative entre le SCV et le LSR (fig.15). Parmi les monocotylédones : seule *C. esculentus* est une adventice vivace et parmi les dicotylédones seule *S.guaniensis* est une espèce pérenne. En LSR, on note trois autres espèces de plus que sur SCV dont : *C. tridens*, *Mollugo nudicaulis* et *Solanum nigrum* mais elles sont en très faible quantité. On note également que les plantes de couverture deviennent des adventices pour la culture principale. Si la dolique n'est représentée que par des proportions très faibles : 0,03 % pour LSR et 0,07 % pour SCV, le stylosanthes n'est pas mal représenté car il est de l'ordre de 8,80 % en SCV et de 15,11 % en LSR.

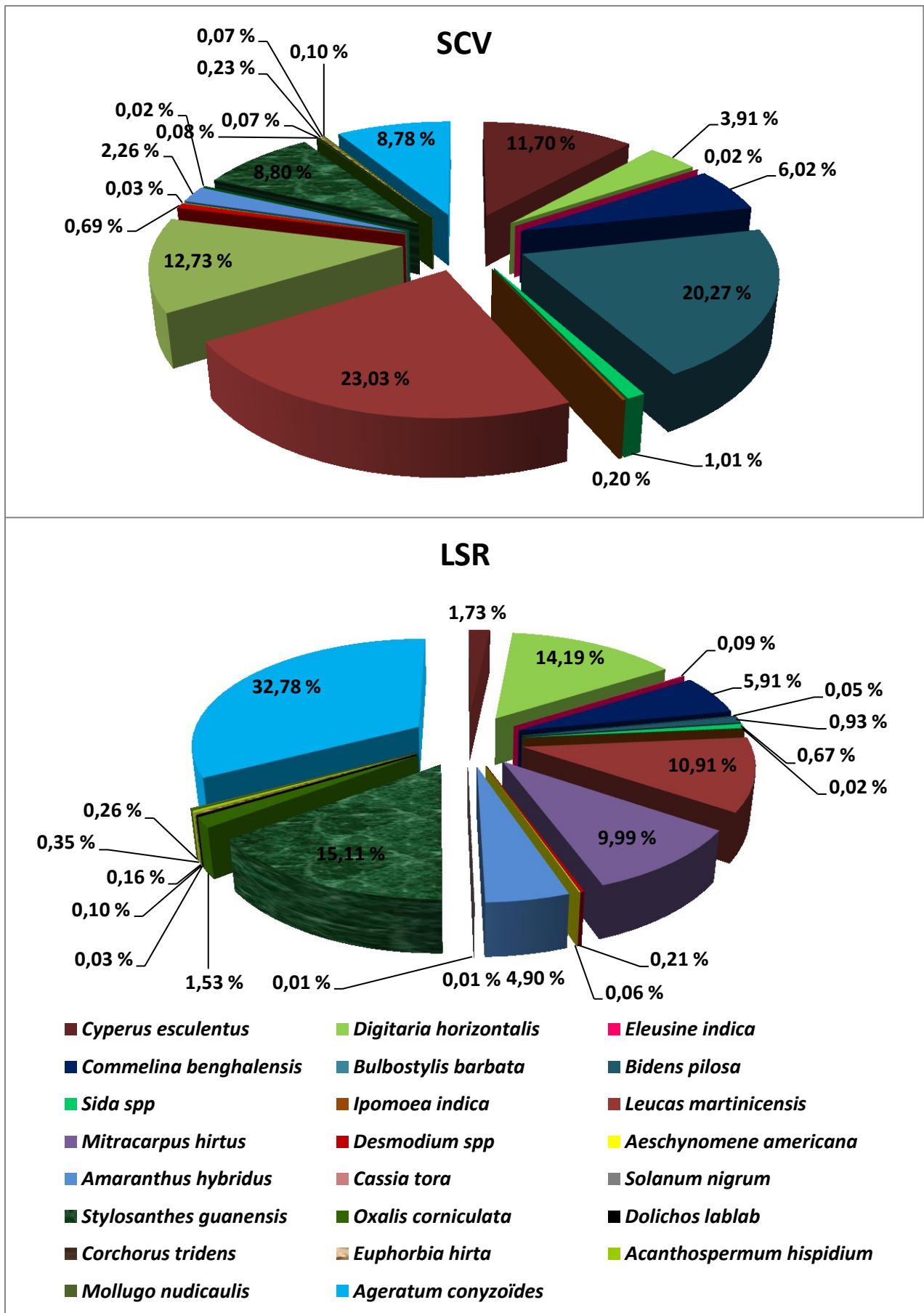
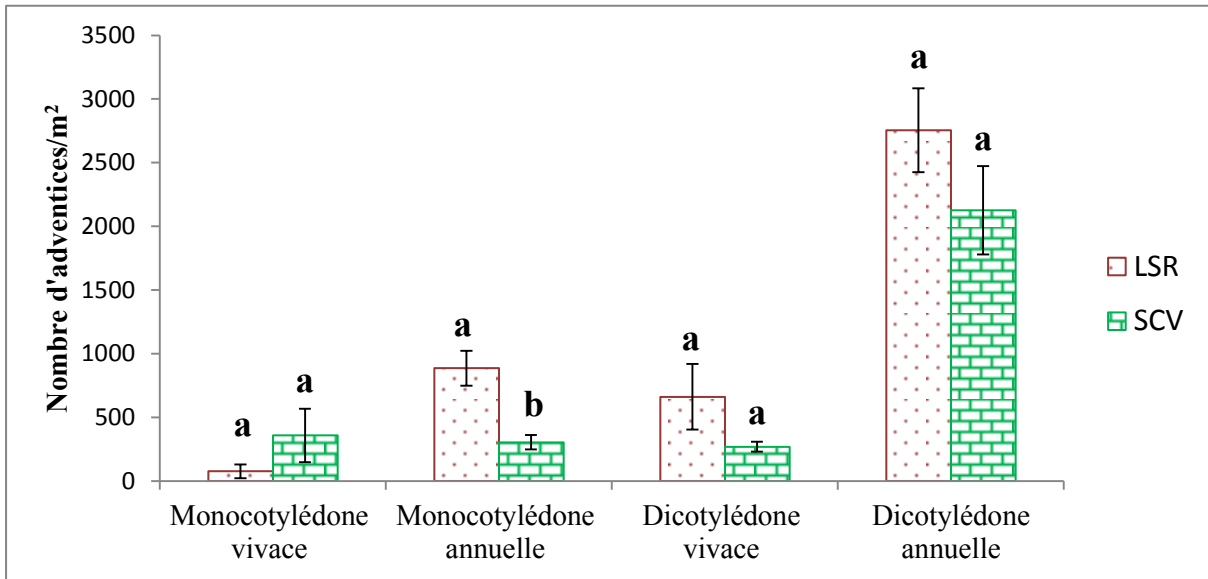


Figure 14: Diversité des adventices selon le mode de gestion de sol



Test *t* de Student : Comparaison entre LSR et SCV pour chaque type d'adventives, ns : $p > 0,05$; les barres d'erreur type indexés avec des lettres différentes sont différents entre les deux types de traitements

Figure 15: Diversité des adventives sur SCV et LSR selon leurs caractéristiques

Toutes les adventives de la matrice principale colonisent également les parcelles du dispositif MH mais certaines espèces ne représentent qu'une infime proportion telles que *Volubilis indica*, *Cassia tora*, *S.nigrum*, *S. guaniensis*, *D. lablab* et *C. tridens*. Leur ensemble ne représente que 0,14 % de toutes les adventives (fig.16). Parmi les adventives des parcelles, les dicotylédones annuelles sont les espèces les plus fréquentes. Elles présentent une différence significative par rapport aux espèces de monocotylédone vivace, monocotylédone annuelle et dicotylédone vivace (fig.16).

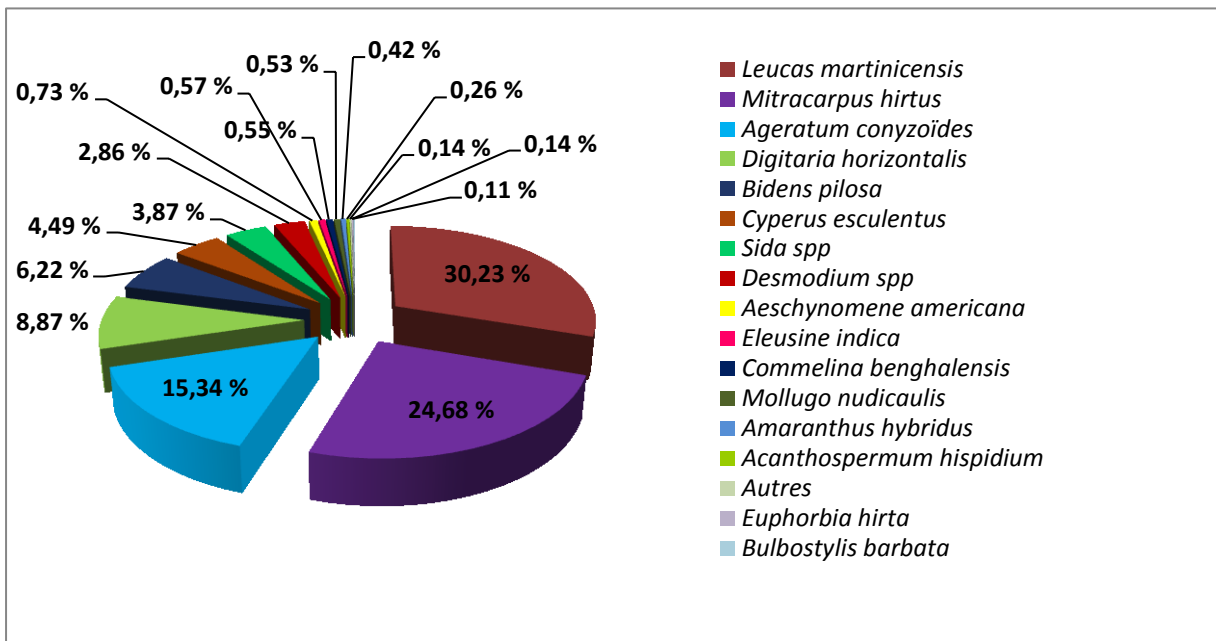
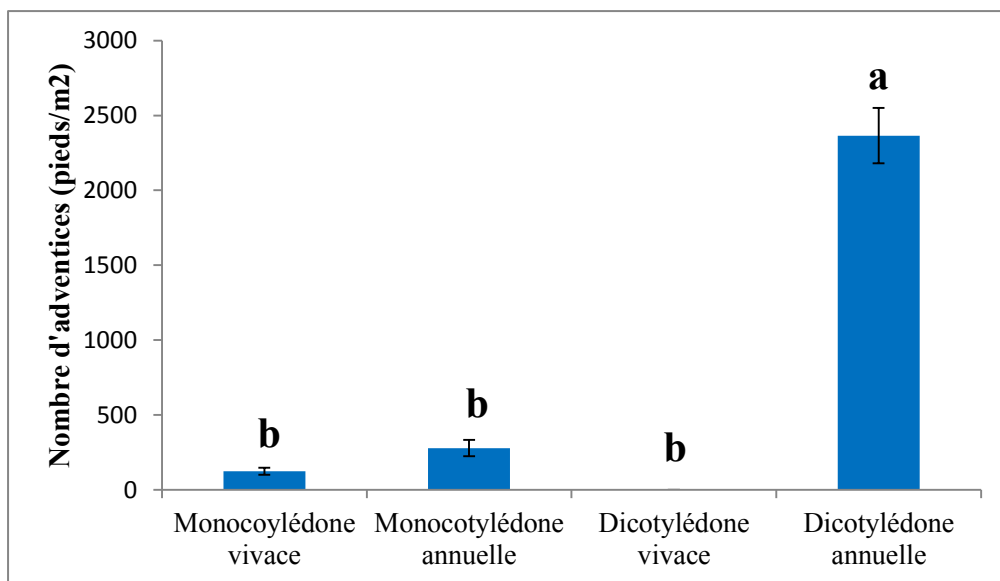


Figure 16 : Diversité des adventives sur le dispositif MH



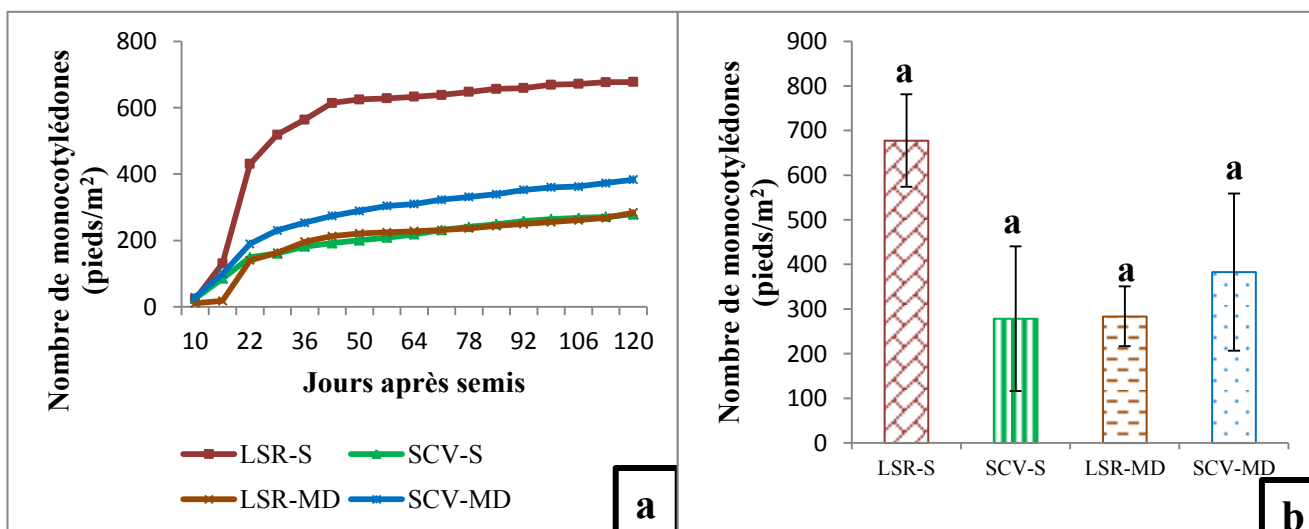
Test de Student : $s : p < 0,05$; les barres d'erreur indexés avec des lettres différentes sont significativement différentes

Figure 17: Diversité des adventices ssur dispositif MH selon leur caractéristique

4.4. Effet du système de culture et du mode de gestion du sol sur l'enherbement

4.4.1. Emergence des adventices

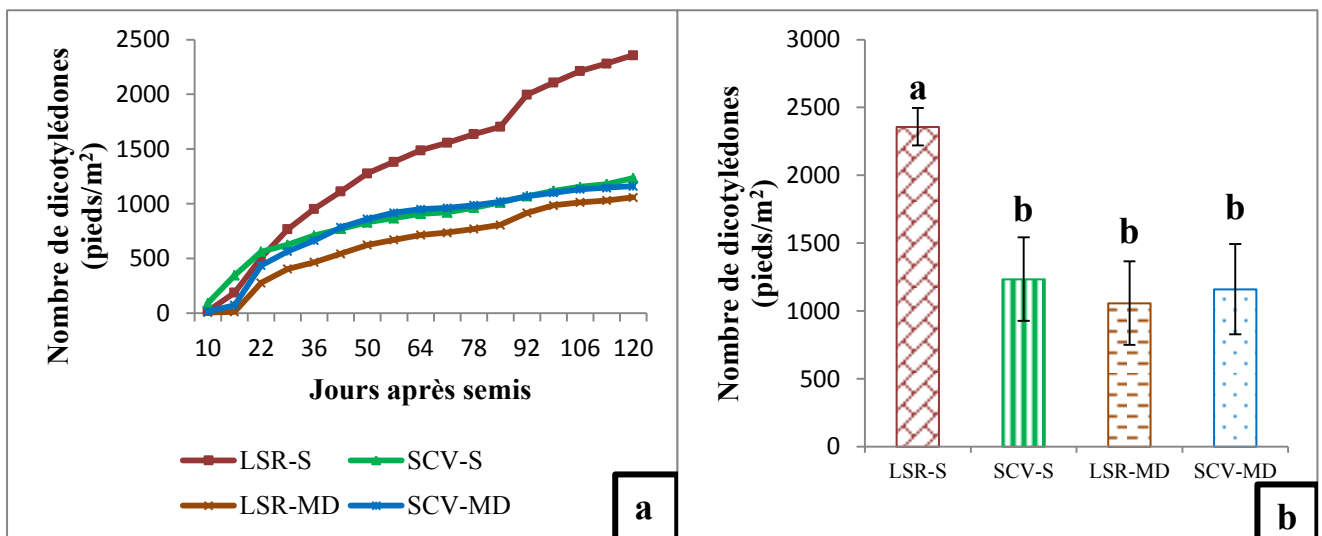
Le sol renferme beaucoup plus de dicotylédones que de monocotylédones. En effet, les monocotylédones représentent en moyenne 21,83 % de l'ensemble des adventices émergentes tandis que les dicotylédones représentent les 78,17 %.



Analyse de la variance : $ns : p > 0,05$, les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitement

Figure 18: a. Dynamique de l'émergence des monocotylédones, b. Nombre cumulé de monocotylédones émergentes le long du cycle cultural

Les monocotylédones émergent de façon exponentielle à partir du 15^{ème} jour après le semis (JAS) jusqu'au 22^{ème} (JAS). Ceci correspond à la période de la première pluie après le semis et à la levée du riz jusqu'au début tallage. Ce qui montre que la levée des monocotylédones est très sensible aux premières pluies. Puis l'émergence commence à ralentir du 22^{ème} au 43^{ème} jour, moment correspondant au tallage du riz. A partir du 50^{ème} JAS jusqu'à la récolte, l'émergence se stabilise (fig.18a). Ceci montre que les monocotylédones peuvent être très compétitives face à la culture principale au début du cycle cultural. Statistiquement, il n'y a pas de différence significative entre le contrôle de l'émergence des monocotylédones par les quatre traitements ($F = 3,7216$; $p = 0,0858$).

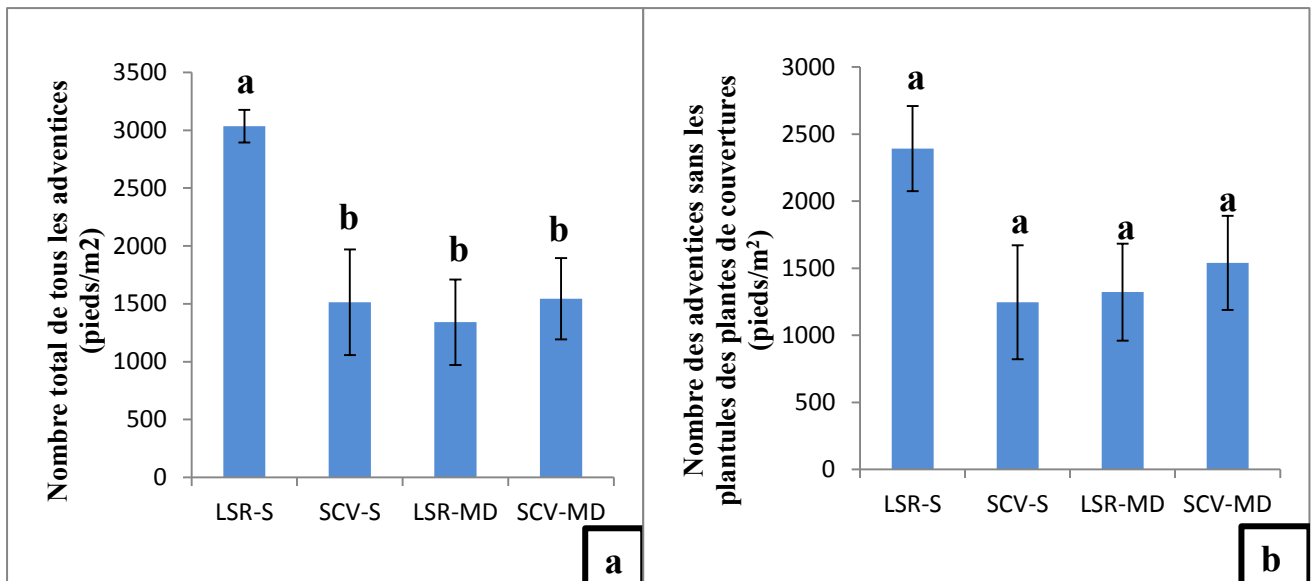


Analyse de la variance : $s : p < 0,05$; les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitement

Figure 19: a. Dynamique de l'émergence des dicotylédones, b. Nombre cumulé des dicotylédones émergentes le long du cycle cultural

L'émergence des dicotylédones ne se stabilise que vers la fin du cycle cultural, à partir de 99^{ème} JAS (fig.19a). D'après l'analyse de la variance, il n'y a pas de différence significative pour le contrôle de l'émergence des dicotylédones entre les modes de gestion de sol (LSR et SCV) ($F = 2,8747$; $p = 0,1242$). C'est entre les systèmes de culture qu'il y a une différence significative ($F = 5,2163$; $p = 0,0483$). Les dicotylédones émergent beaucoup sur les parcelles en LSR-S.

***Remarque :** Les quatre traitements : LSR-S, SCV-S, LSR-MD et SCV-MD ont un effet significatif sur le contrôle de l'ensemble des adventices ($F = 5,9247$; $p = 0,0377$) (fig.20A). Mais en enlevant les plantules des plantes de couverture qui ont émergées sur les parcelles : stylosanthes, maïs et dolique, il n'y pas de différence significative entre les systèmes de culture (MD ou S) et les modes de gestion de sol (SCV ou LSR) sur l'émergence des adventices ($F = 3,2802$; $p = 0,1035$) (fig.20b).

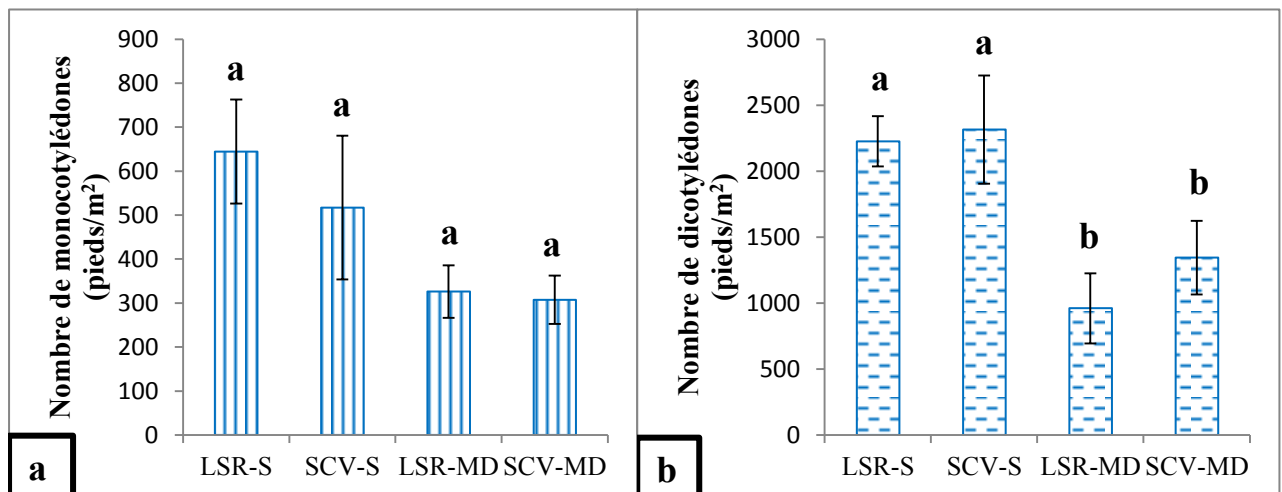


Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$; les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitements

Figure 20: a. Nombre total des adventices; b. Nombre des adventices sans les plantules des plantes de couvertures

4.4.1.1. Effet de la rotation culturale et de la gestion du sol sur le stock semencier du sol :

Le comptage effectué sur carrés de mesure sur les parcelles en LSR et sur les carrés de mesure où les mulch ont été enlevés sur les parcelles en SCV a permis d'établir les graphes de la fig.21.



Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$; les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitements

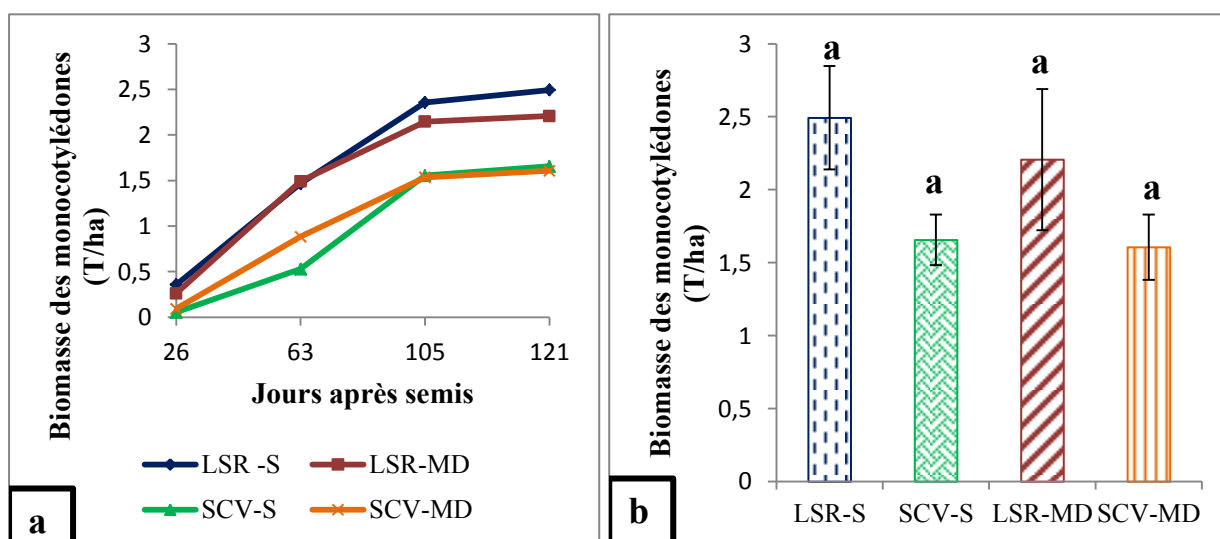
Figure 21: a. Stock de monocotylédones dans le sol selon les traitements, b. Stock de dicotylédones dans le sol selon les traitements

D'abord, il est noté que le sol renferme beaucoup plus de dicotylédones que de monocotylédones. D'après l'analyse statistique, il n'y a pas de différence significative entre les quatre traitements sur le stock de semence de monocotylédones ($F = 0,2637$; $p = 0,6199$)

(fig.21a). Statistiquement, le mode de gestion de sol n'a pas d'effet significatif sur le stock de semence de dicotylédones (fig.21b) ($F = 0,4949$; $p = 0,4995$). Par contre, la différence entre les résultats sur les parcelles conduites en rotation triennale et les parcelles conduites en rotation biennale est statistiquement significative ($F = 11,0324$; $p = 0,0089$). Cette différence est surtout due aux plantules de stylosanthes. En effet, en isolant les plantules des stylos, il n'y a plus de différence significative entre les traitements sur le stock semencier du sol ($F = 1,6108$; $p = 0,2362$) (Annexe 4).

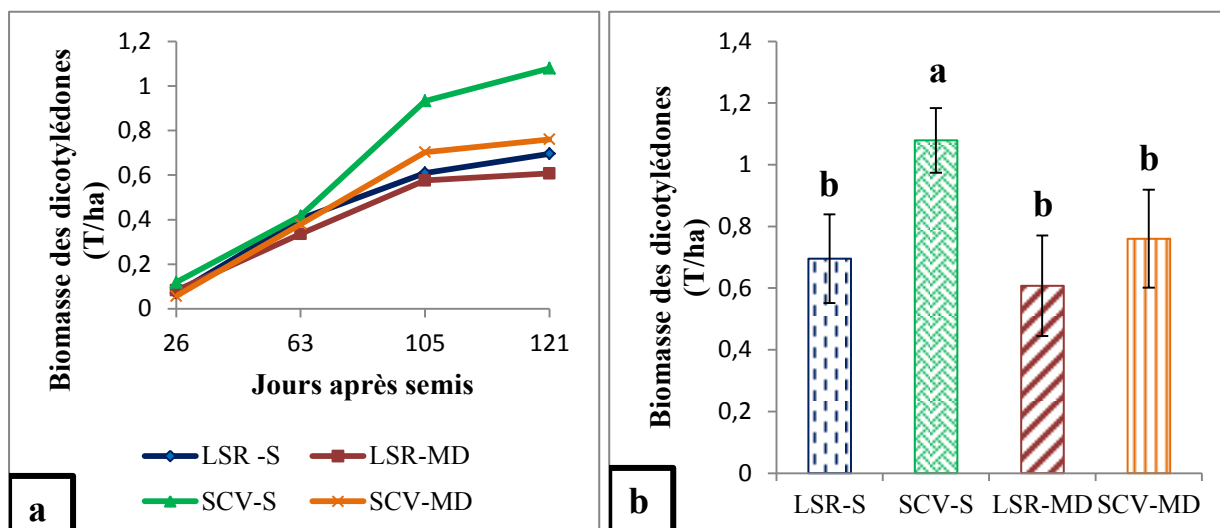
4.4.2. Biomasse aérienne des adventices

Même si le nombre de monocotylédones émergentes est largement inférieur à celui des dicotylédones, elles encombrant beaucoup plus les parcelles car elles se développent beaucoup plus que les dicotylédones. En effet, la biomasse aérienne des monocotylédones représentent 71,70 % l'ensemble de la biomasse des adventices pesées sur les parcelles.



Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$; les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitements

Figure 22: a. Dynamique de la production en biomasse aérienne des monocotylédones, b. Production cumulée de biomasse aérienne des monocotylédones le long du cycle cultural
D'après la fig.22a, les monocotylédones se développent remarquablement tout au long du cycle cultural. Ce développement ne se ralentit qu'à partir du troisième sarclage c'est-à-dire 105 jours après semis et à 20 jours avant la récolte, période correspondant à la fin de la montaison. Ceci est valable pour tous les types de traitements. Ce résultat montre la pression que peut exercer les monocotylédones sur le riz. D'après l'analyse statistique, il n'y a pas de différence significative entre les quatre traitements ($F = 0,1055$; $p = 0,7528$).



Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$; les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitement

Figure 23: a. Dynamique de la production de biomasse aérienne des dicotylédones, b. Production de biomasse cumulée des dicotylédones tout au long du cycle cultural

Comme pour le cas des monocotylédones, leurs développements sont remarquables et ne se stabilisent que vers la fin du cycle sauf pour les dicotylédones sur SCV-S qui n'arrête pas de croître jusqu'à la fin du cycle (fig.23a). Statistiquement, il y a des différences significatives entre les modes de gestion de sol ($F = 5,4146$, $p = 0,0450$). Les dicotylédones sur les parcelles en SCV produisent une biomasse plus élevée. Pour les systèmes de culture, il n'y a pas de différence significative entre les développements des dicotylédones ($F = 3,1238$; $p = 0,1110$).

4.4.3. Interception lumineuse du couvert végétal:

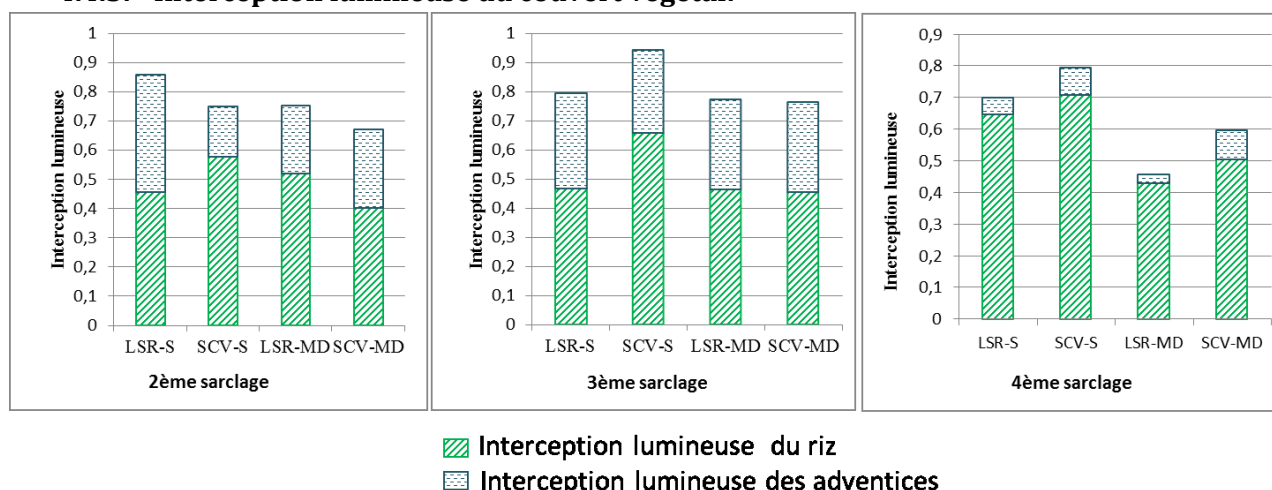


Figure 24: Part de lumière captée par le riz et les adventices à chaque sarclage

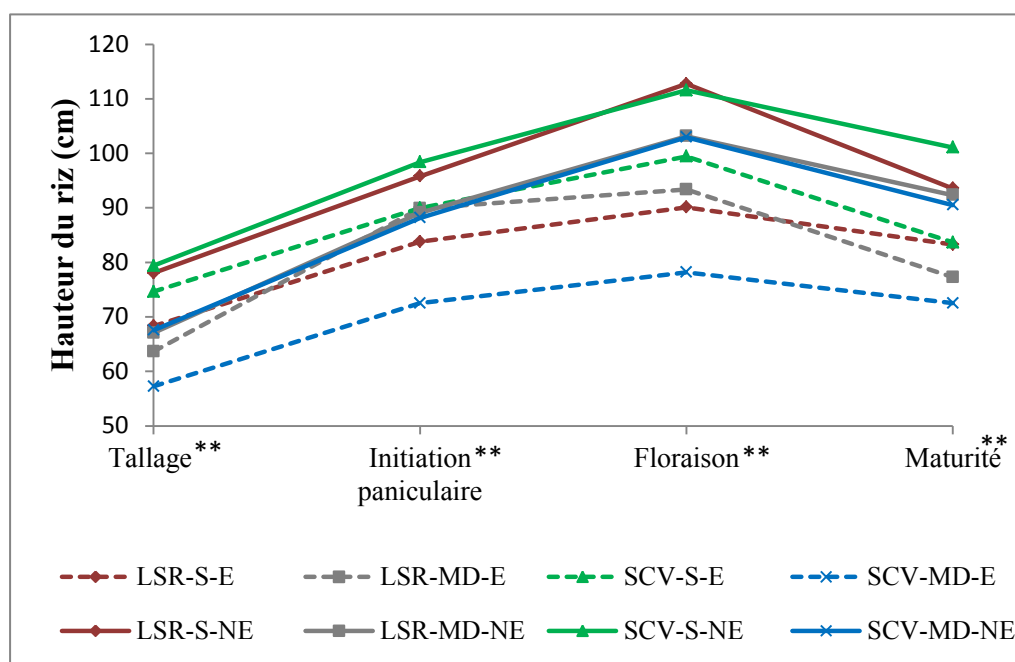
Au deuxième sarclage, les adventices accaparent 17 à 40 % de la lumière. Statistiquement, la différence entre la quantité de lumière captée par les adventices selon le système de culture et la mode de gestion du sol est significative ($F = 10,1107$; $p = 0,0112$). Au troisième sarclage,

les adventices accaparent 30 à 32 % de la lumière et statistiquement, cette différence n'est pas significative ($F = 0,0004$; $p = 0,9857$). Au dernier sarclage, les adventices ne reçoivent plus que 3 à 9 % de la lumière (Annexe 5).

4.4.4. Développement végétatif du riz

4.4.4.1. Développement en hauteur

Le riz atteint son développement en hauteur maximal au stade floraison. La diminution à la maturité est due à la senescence du riz (fig25). Statistiquement, les traitements présentent une différence significative à tous les stades du cycle de riz : du tallage à la maturité. Le riz se développe le plus sur les parcelles SCV-S non enherbé et se développe le moins sur les parcelles SCV-MD enherbé. Que ce soit sur LSR ou SCV, statistiquement, le développement du riz sur les parcelles enherbées est moindre par rapport à celui sur les parcelles propres (Annexe 6).

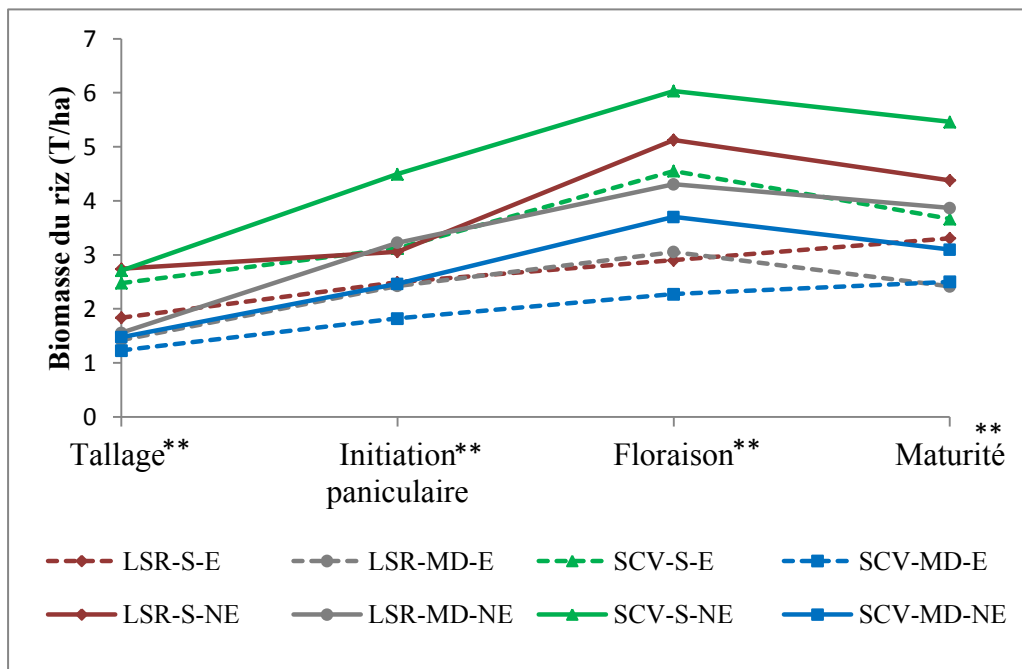


Analyse de la variance : *ns : $p > 0,05$, ** $p < 0,05$

Figure 25: Hauteur du riz pour chaque traitement selon son stade de développement

4.4.4.2. Développement en biomasse aérienne

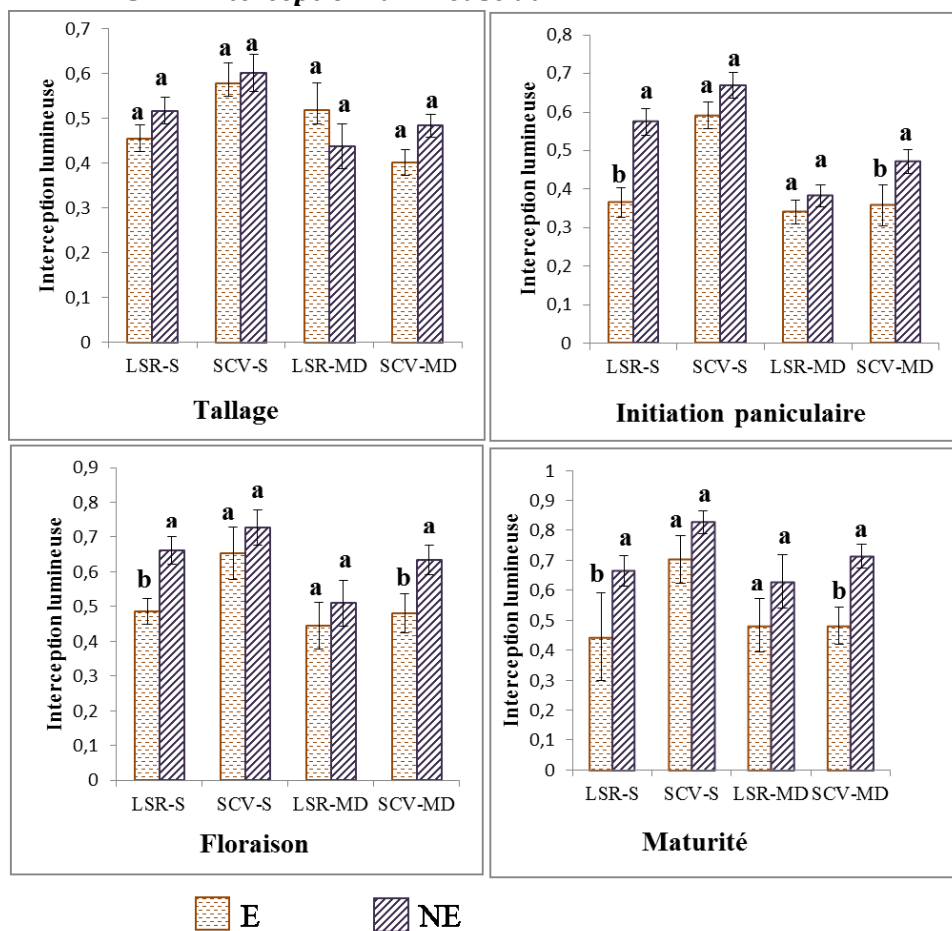
Statistiquement, sur la production en biomasse, il y a une différence significative entre le système de culture ($F = 10,0165$; $p = 0,0042$) : celle sur stylosanthes est meilleur. Pour le mode de gestion de sol, il n'y a pas de différence significative sur la production de biomasse ($F = 0,2870$; $p = 0,5971$). La biomasse sur les parcelles enherbées est moindre et diffère significativement de celle des parcelles propres ($F = 8,5605$; $p = 0,0074$) (Annexe 7).



Analyse de la variance : *ns : $p > 0,05$, ** $p < 0,05$

Figure 26: Biomasse du riz pour chaque traitement selon son stade de développement

4.4.4.3. Interception lumineuse du riz

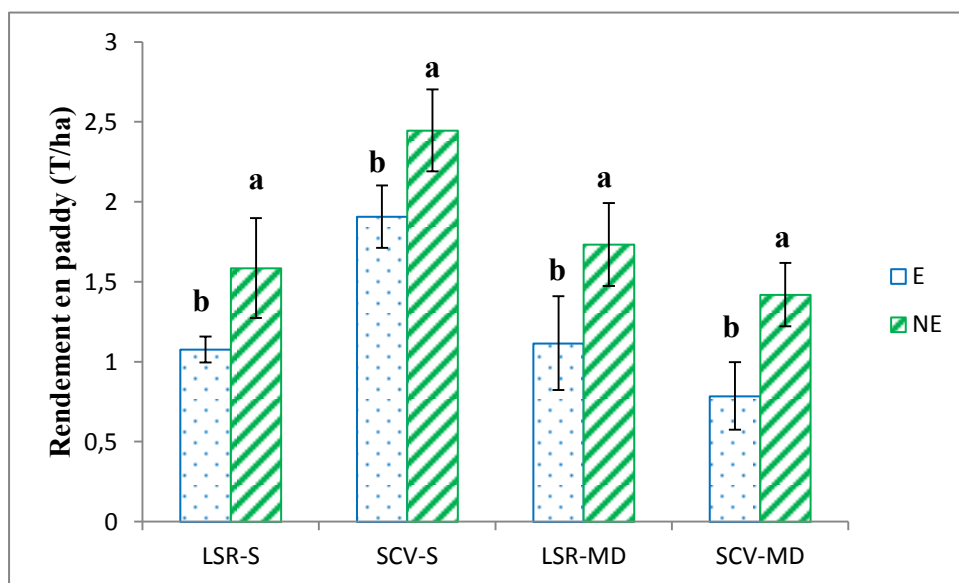


Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$, les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitement

Figure 27: Interception lumineuse du riz à chaque stade de développement

Au stade tallage, il n'y a pas de différence significative entre l'interception lumineuse du riz sur les parcelles enherbées et les parcelles non enherbées ($F = 0,6994$; $p = 0,4124$). Mais au cours du développement du riz, la différence entre l'interception lumineuse du riz devient significative entre les parcelles enherbées et non enherbées. A l'initiation paniculaire $F = 29,3724$ et $p < 0,0001$. A la floraison, $F = 21,0133$ et $p = 0,0002$. A la maturité, $F = 17,2985$ et $p = 0,0006$.

4.4.5. Rendement



Analyse de la variance : $ns : p > 0,05$, les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitements

Figure 28: Rendement selon les traitements

D'après l'analyse statistique, il y a une différence significative entre les rendements selon le système de culture ($F = 11,300$; $p = 0,00295$) : le rendement de la rotation triennale MS//S//R est meilleur que le rendement de la rotation biennale MD//R. Le mode de gestion de sol n'a pas d'influence significative sur le rendement ($F = 3,22709$, $p = 0,08683$). L'enherbement influence significativement le rendement ($F = 15,51762$; $p = 0,00075$) : le rendement est moindre sur les parcelles enherbées. Les rendements sur les parcelles non enherbées en SCV-S sont les meilleurs.

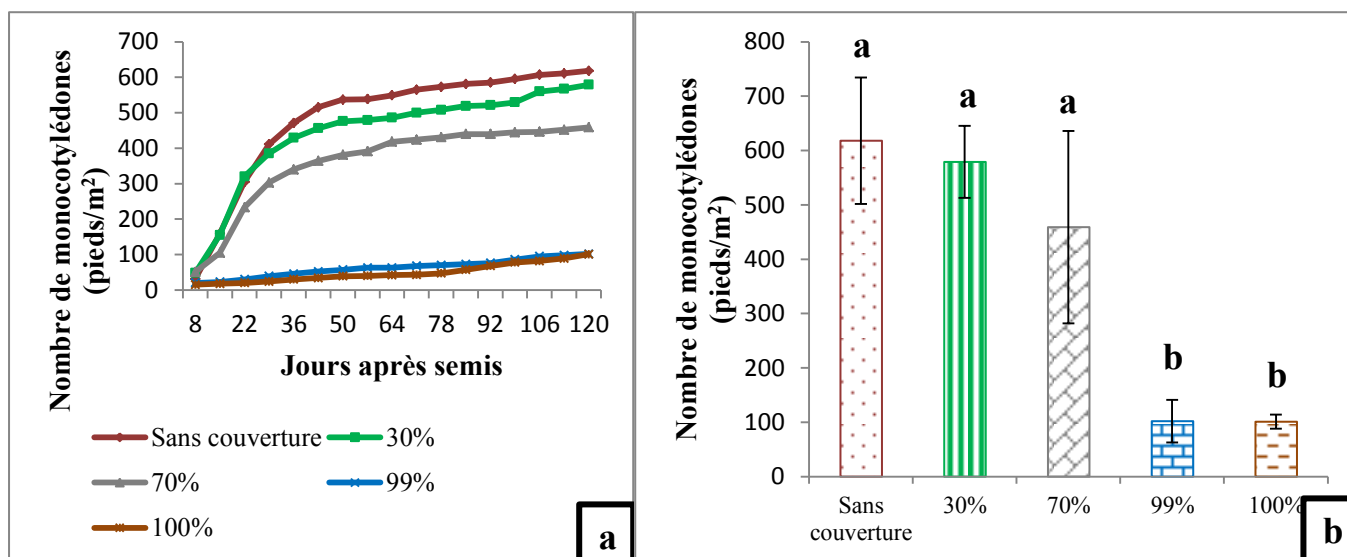
4.5. Importance des adventices selon le taux de couverture

4.5.1. Emergence des adventices

Comme pour le cas observé sur le dispositif principal, il y a beaucoup plus de dicotylédones que de monocotylédones émergentes sur le dispositif satellite. En effet, les dicotylédones représentent en moyenne 86,52 % de l'ensemble des adventices émergentes et les monocotylédones ne constituent que 13,48 %.

Sur les deux types de mulch, l'émergence des monocotylédones sur les parcelles couvertes à 99 % et à 100 % n'évolue pas beaucoup au cours du cycle cultural par rapport à celle des autres traitements. Il y a beaucoup plus de monocotylédones émergentes sur les parcelles couvertes de paillis de stylosanthes que sur les parcelles couvertes de paillis de maïs et dolique.

4.5.1.1. Emergence des monocotylédones sur maïs et dolique

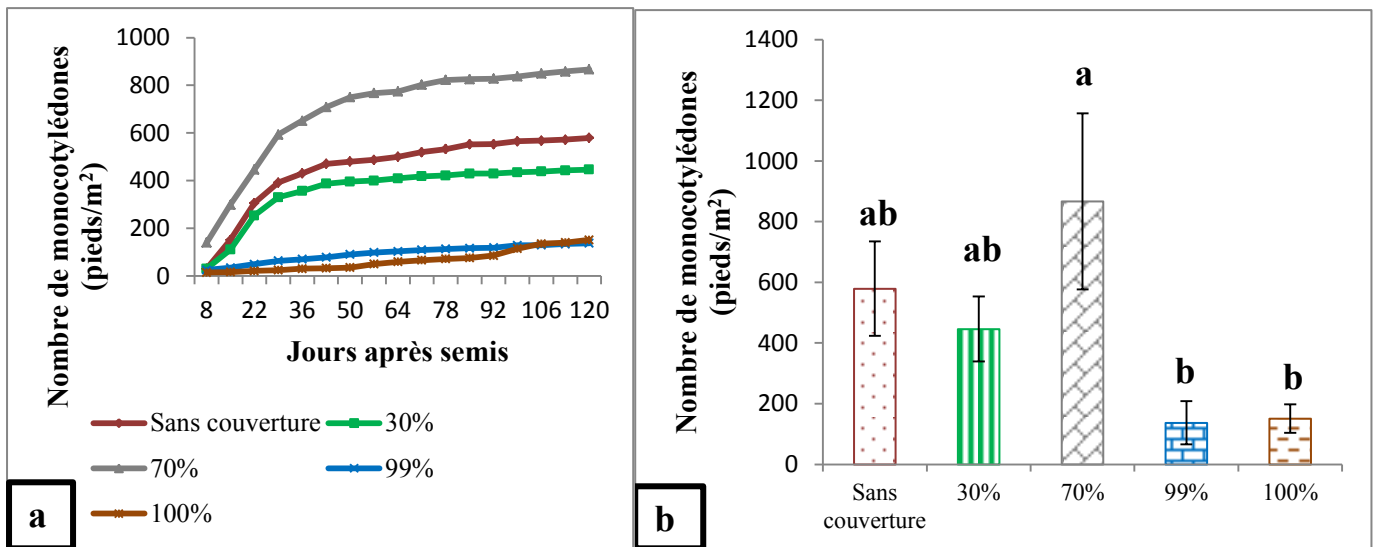


Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$, les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitement

Figure 29: a. Dynamique de l'émergence des monocotylédones sur mulch de MD, b. Nombre cumulé des monocotylédones émergentes tout au long du cycle

Comme sur le dispositif principal, l'émergence des monocotylédones se stabilise à partir du 43^{ème} jour après le semis (fig.29a). D'après l'analyse de la variance, il y a une différence significative entre les cinq traitements ($F = 6,4239$; $p = 0,0053$). En se référant au témoin sans couverture, les taux de couverture à 99 % et à 100 % contrôlent l'émergence des monocotylédones. Par contre, le contrôle de l'émergence des monocotylédones sur les parcelles couvertes à 30 % et 70 % de couverture ne diffère pas statistiquement de celui du témoin sans couverture (fig.29b).

4.5.1.2. Emergence des monocotylédones sur stylosanthes



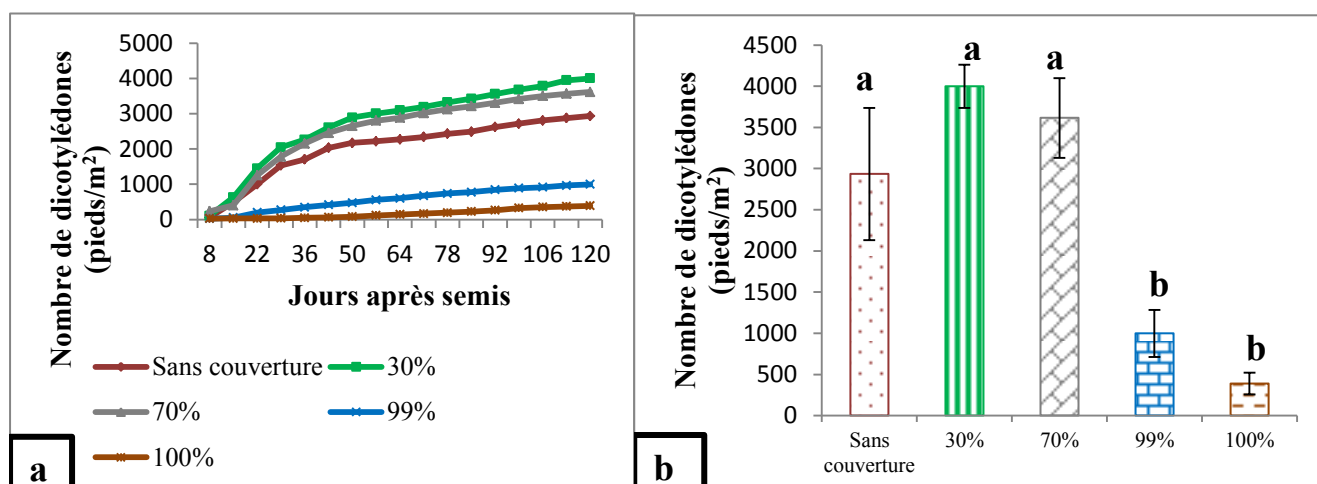
Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$, les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitement

Figure 30: a. Dynamique d'émergence des monocotylédones sur mulch de S, b. Nombre cumulé des monocotylédones émergentes tout au long du cycle

Les courbes de l'émergence commencent à se stabiliser 50 jours après semis. Le nombre de pieds émergents/m² le plus élevé s'observe sur les parcelles couvertes à 70 % de couverture. Il est noté que le nombre de pieds émergents sur les parcelles couvertes à 100 % tout au long du cycle cultural est égal au nombre de pieds émergents sur les parcelles couvertes à 70 % seulement 8 jours après le semis et atteint le septuple du nombre de pieds émergents sur les parcelles couvertes à 100 % à la fin cycle (fig.30a). Statistiquement, il y a une différence significative entre les traitements ($F = 3,7816$, $p = 0,0326$). Par rapport au témoin sans couverture, l'émergence des monocotylédones sur les parcelles couvertes à 30 % n'est pas différente statistiquement. Par contre, l'émergence sur les parcelles couvertes à 70 %, à 99 % et à 100 % est statistiquement différente du témoin sans couverture : l'émergence sur les parcelles couvertes à 70 % est supérieure et celle sur 99 % et 100 % est inférieure (fig.30b).

Sur les deux types de mulch, les dicotylédones émergent tout au long du cycle cultural, cas observé sur les parcelles du dispositif principal, même si pour celle des parcelles couverte à 99 % et à 100 % de maïs et dolique, cette émergence évolue peu par rapport à celle des autres traitements. L'émergence des dicotylédones sur les parcelles couvertes à 100 % de stylosanthes est assez exceptionnelle car celle-ci est plus ou moins constante tout au long du cycle.

4.5.1.3. Emergence des dicotylédones sur maïs et dolique

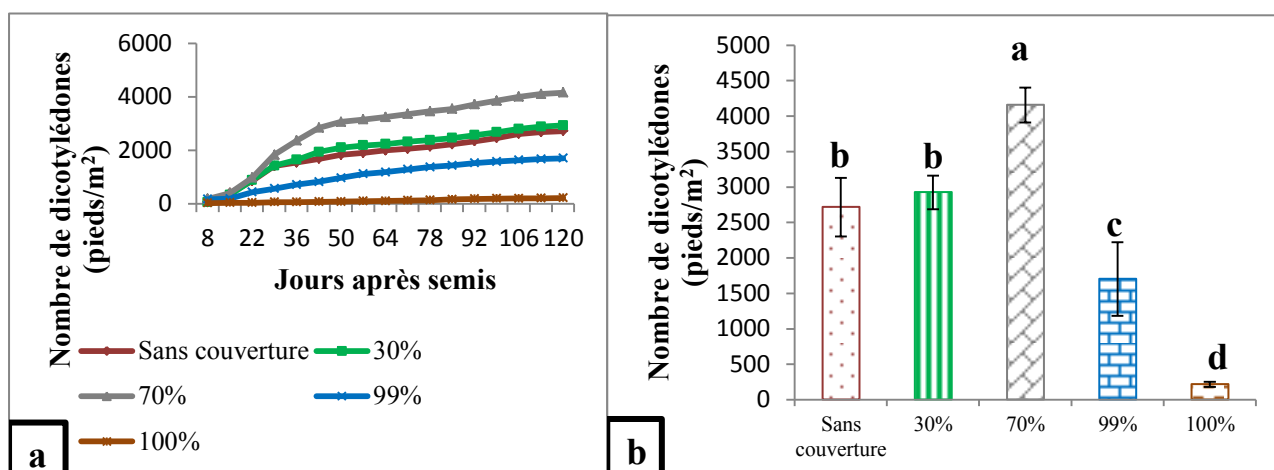


Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$, les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitement

Figure 31: a. Dynamique de l'émergence des dicotylédones sur mulch de MD, b. Nombre cumulé des dicotylédones tout au long du cycle

D'après l'analyse de la variance, il existe une différence significative entre les traitements ($F = 12,9894$; $p = 0,0003$). Par rapport au témoin sans couverture, il n'existe pas de différence significative pour les parcelles couvertes à 30 % et à 70 %. Par contre, il existe une différence significative entre le témoin et les parcelles couvertes à 99 % et à 100 % de couverture. Ces deux taux de couverture peuvent donc contrôler l'émergence des dicotylédones.

4.5.1.4. Emergence des dicotylédones sur stylosanthes



Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$, les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitement

Figure 32: a. Dynamique de l'émergence des dicotylédones sur S, b. Nombre cumulé des dicotylédones émergeants tout au long du cycle

D'après l'analyse statistique, il existe une différence significative entre les traitements ($F = 20,2014$; $p < 0,0001$). La couverture à 70 % favorise l'émergence tandis que la couverture à 99 % et à 100 % la limitent.

4.5.1.5. Relation entre stock en eau du sol et émergence des adventices

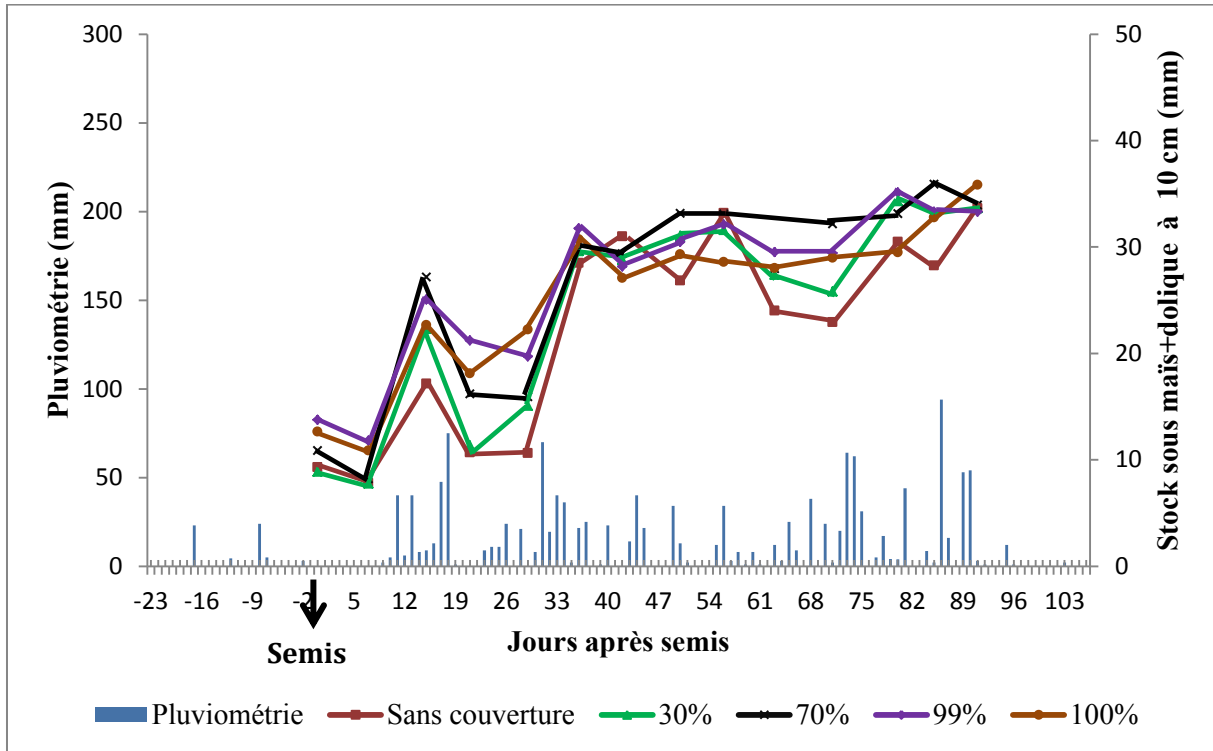


Figure 33: Evolution du stock en eau du sol sous couverture de maïs+dolique à la profondeur de 10 cm superposée aux données pluviométriques

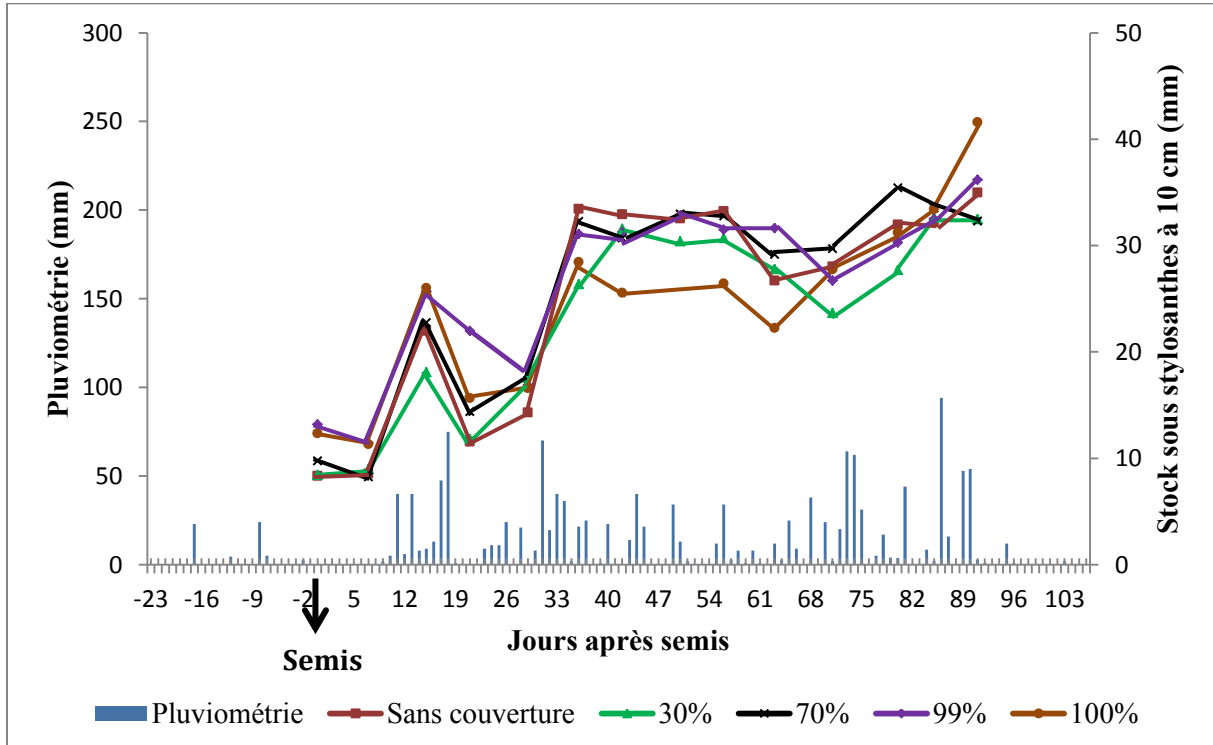


Figure 34: Evolution du stock en eau du sol sous couverture de stylosanthes à la profondeur de 10 cm superposée aux données pluviométriques

Le stock en eau du sol varie en fonction de la pluviométrie (fig.33 et 34). Dès qu'il y a une période sans pluie, la quantité d'eau stockée diminue. Quand la pluie commence à être plus ou moins bien répartie et sa quantité augmente, le stock en eau du sol reste plus ou moins stable.

D'après l'analyse statistique, le stock en eau du sol sous les différents niveaux de couverture des deux types de paillis diffère significativement du semis jusqu'au 21^{ème} jour après semis. Ensuite, à partir du 36^{ème} jour après le semis jusqu'au 90^{ème} jour après le semis, il n'y a plus de différence significative entre le stock en eau du sol (Annexe 8).

D'après la régression linéaire, les coefficients de détermination R^2 sont faibles. Ce qui ne permet pas d'en tirer des conclusions.

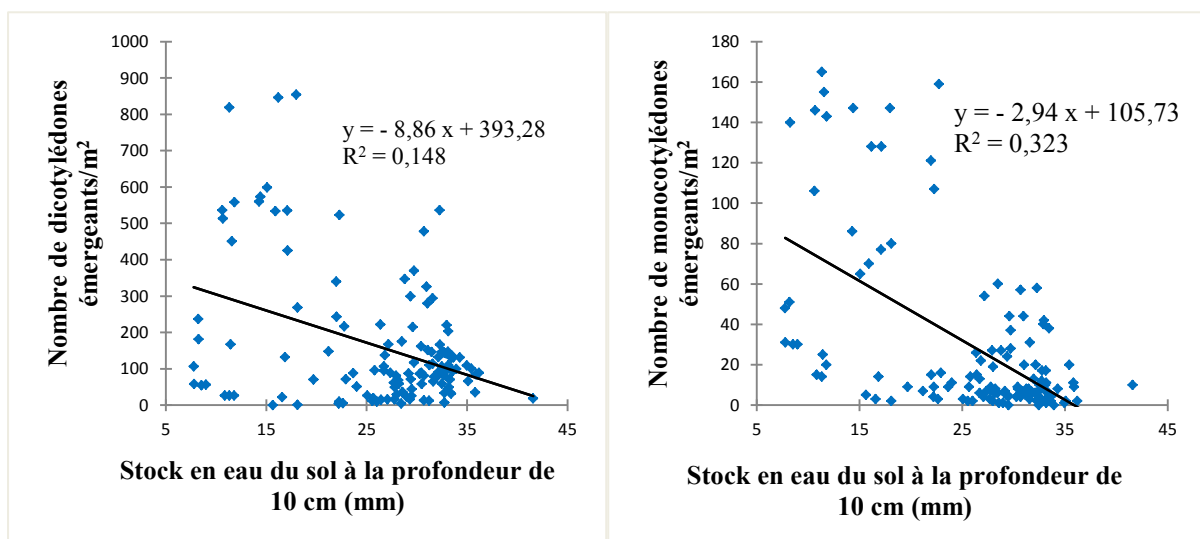


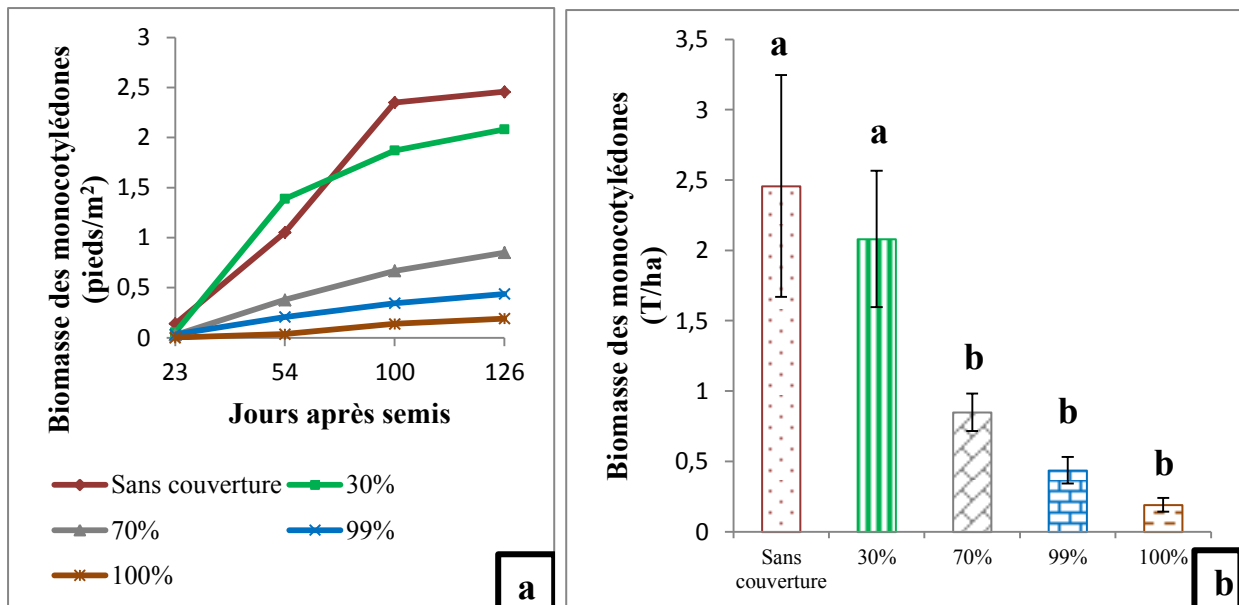
Figure 35: Relation entre stock en eau du sol et émergence des adventices

4.5.2. Biomasse aérienne des adventices

Comme sur le dispositif principal, les monocotylédones se développent beaucoup plus que les dicotylédones. La biomasse des monocotylédones constitue 54,68 % de la biomasse totale des adventices même si le nombre de pieds émergents ne représentait que 13,48 % de l'ensemble des adventices sur la parcelle.

4.5.2.1. Biomasse des monocotylédones sur maïs et dolique

Les monocotylédones sur mulch de maïs et dolique se développent remarquablement le long du cycle surtout sur les parcelles couvertes à 30 % et sur le témoin (fig.36a). Statistiquement, il n'y a pas de différence significative entre la biomasse produite sur les parcelles couvertes à 30 % et le témoin. La biomasse produite diminue au fur et à mesure que le taux de couverture est élevé. Pour une couverture du sol supérieure à 70%, la biomasse des monocotylédones est significativement faible par rapport au témoin sans couverture ($F = 7,4728$; $p = 0,0029$).

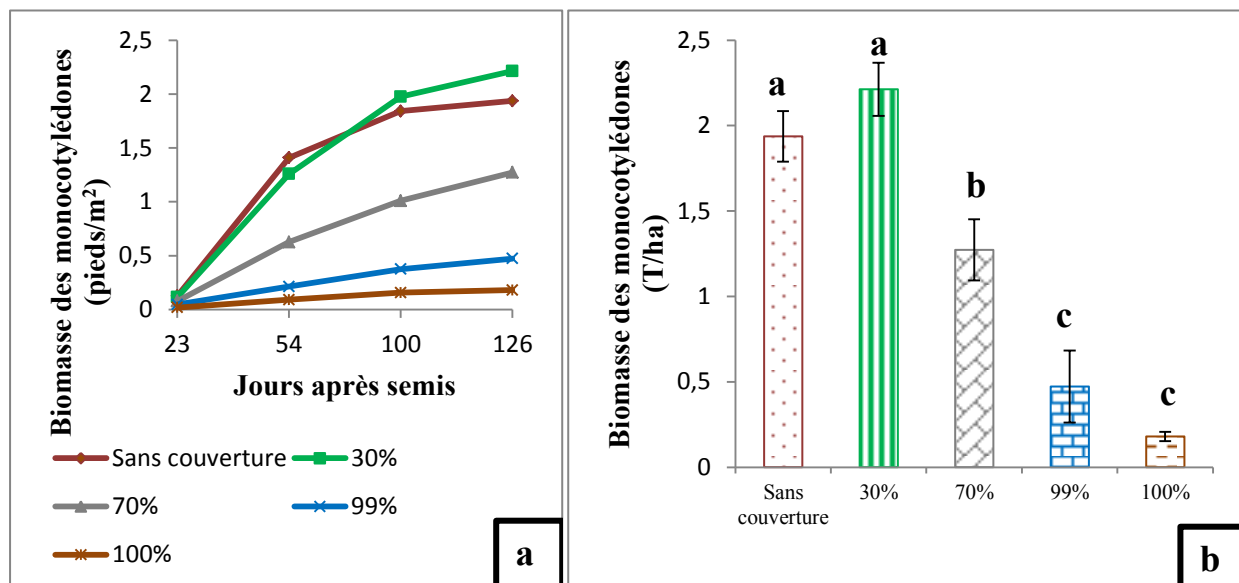


Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$, les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitement

Figure 36: a. Dynamique de la production en biomasse aérienne des monocotylédones sur mulch de MD, b. Biomasse cumulée des monocotylédones tout au long du cycle

4.5.2.2. Biomasse des monocotylédones sur stylosanthes

Comme pour le cas sur maïs et dolique, le développement des monocotylédones sur mulch de stylosanthes est remarquable tout au long du cycle (fig.37a). Statistiquement, il n'y a pas de différence significative entre la biomasse produite sur les parcelles couvertes à 30 % et celle produite sur la parcelle témoin. La biomasse produite sur les parcelles couvertes à 70 %, à 99 % et à 100 % sont différentes significativement de celle produite sur la parcelle témoin ($F = 74,0820$, $p < 0,0001$).

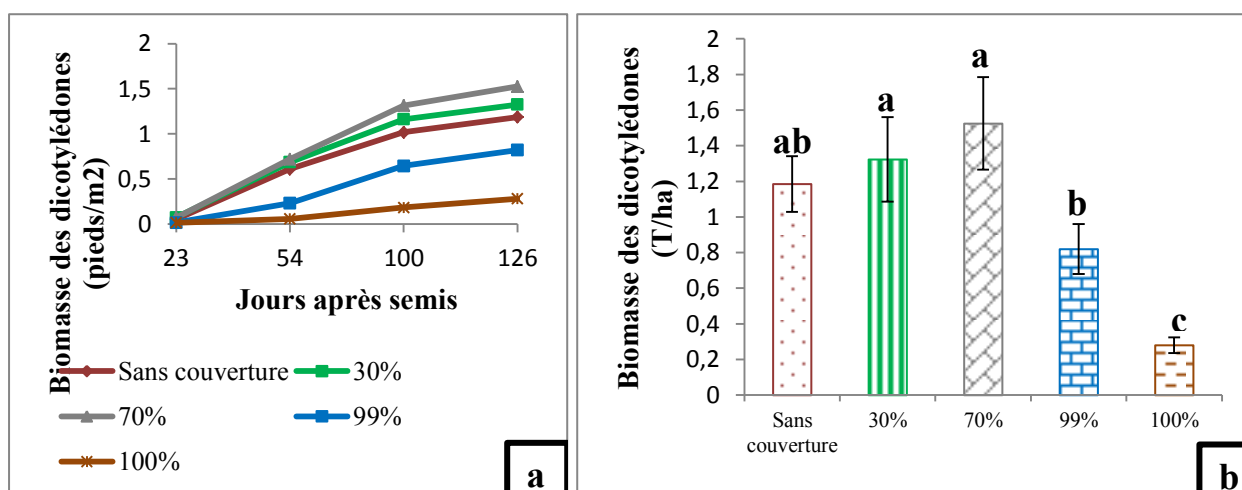


Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$, les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitement

Figure 37: a. Dynamique de la production de biomasse aérienne des monocotylédones sur mulch de S, b. Biomasse cumulée des dicotylédones tout au long du cycle

4.5.2.3. Biomasse des dicotylédones sur maïs et dolique

Les dicotylédones sur mulch de MD se développent beaucoup le long du cycle. Ceci est valable pour tous les types de traitements. La plus haute valeur de biomasse se trouve sur le sol couvert à 70 % et elle présente une faible différence significative par rapport au témoin sans couverture d'après l'analyse statistique. Il en est de même pour le résultat sur 30 % de couverture. Par contre, les résultats sur le sol couvert à 99 % et ceux sur les parcelles couvertes à 100 % diffèrent significativement de celui du témoin ($F = 9,7279$, $p = 0,0010$).

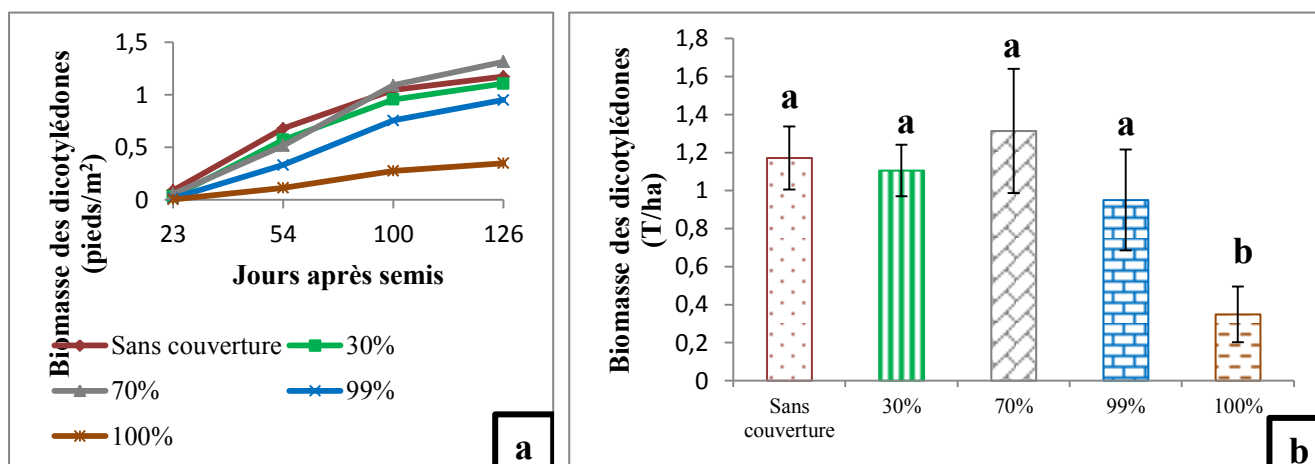


Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$, les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitement

Figure 38: a. Dynamique de la biomasse de dicotylédone sur mulch de MD, b. Biomasse cumulée des dicotylédones

4.5.2.4. Biomasse des dicotylédones sur stylo

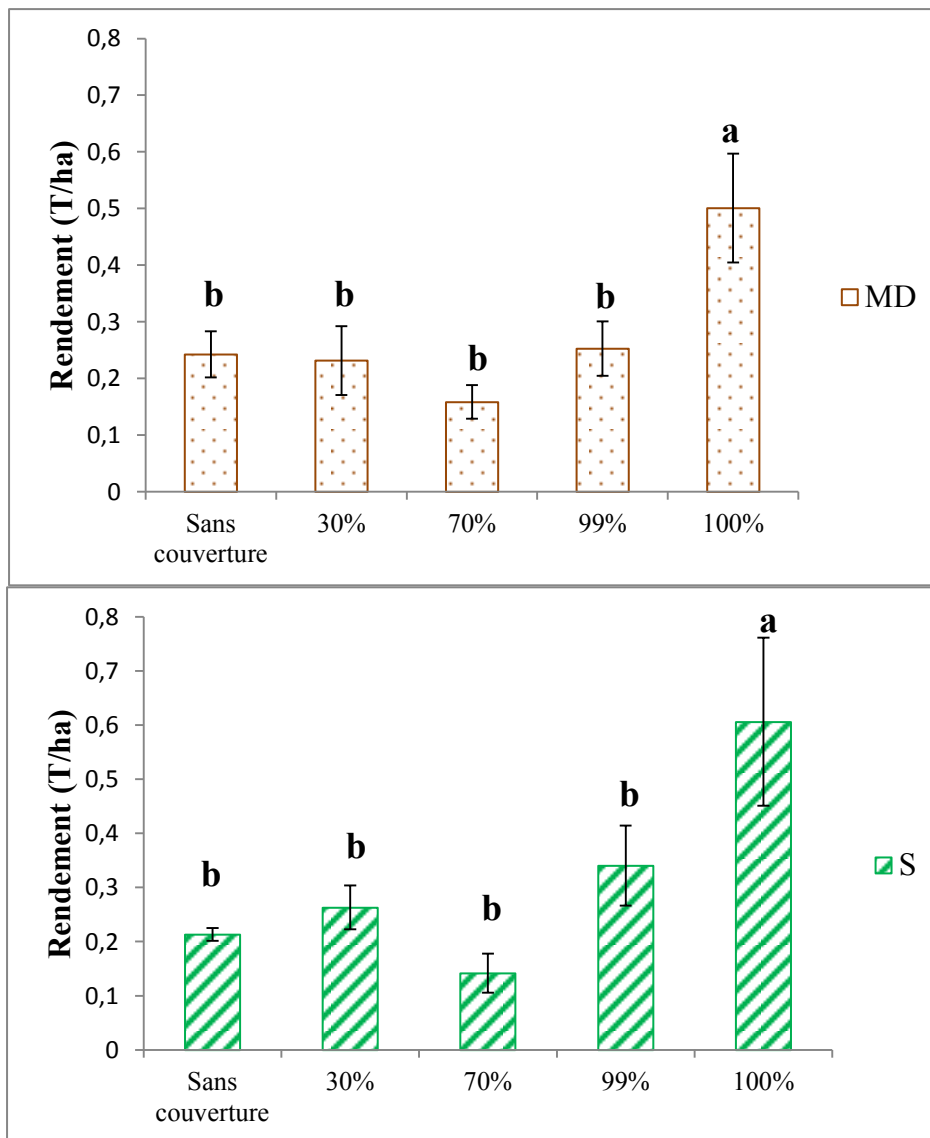
Les résultats observés sur mulch de stylosanthes est le même que ceux observés sur maïs et dolique. La couverture à 100 % est la plus performante dans le contrôle du développement des dicotylédones et statistiquement, c'est le seul traitement qui présente une différence significative par rapport au témoin ($F = 4,3943$; $p = 0,0204$).



Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$, les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitement

Figure 39: a. Dynamique de production de biomasse sur stylosanthes, b. Biomasse des dicotylédones

4.5.3. Rendement



Analyse de la variance : ns : $p > 0,05$, les barres d'erreur type indexées avec des lettres différentes sont différentes entre les types de traitement

Figure 40: Rendement selon le taux et le type de couverture

Statistiquement, il n'y a pas de différence significative entre le rendement selon le type de couverture ($F = 1,0830$; $p = 0,3073$). Seuls les parcelles couvertes à 100 % présentent un rendement nettement élevé par rapport aux autres niveaux de couverture et au témoin (pour stylosanthes : $F = 6,88613$; $p = 0,00404$ et pour maïs et dolique : $F = 9,94925$, $p = 0,00087$).

5. Discussions

5.1. Diversité des adventices observées et leur dynamique d'émergence

Les résultats de l'identification ont montrés que les parcelles de l'expérimentation hébergent au moins 18 espèces de dicotylédones et seulement 5 espèces de monocotylédones. La majorité de ces espèces sont des espèces annuelles. Des études sur les mauvaises herbes en riziculture pluviale menées au Côte d'Ivoire ont montré que toutes les adventices de la riziculture pluviale sont des espèces annuelles ou du moins se comportant comme telles en milieu cultural (Merlier, 1982). D'après Pande *et al.*, (1997) les graminées, les carex et les adventices annuels à grandes feuilles constituent la flore indésirable du riz pluvial.

Les résultats ont aussi montrés que les espèces retrouvées sur LSR sont toutes retrouvées sur SCV mais à des proportions différentes. En effet, d'après Wilson et Froud-williams (1988), la différence de composition est moins nette entre labour et travail superficiel. Néanmoins, d'après Le Bourgeois et Merlier (1995), les espèces vivaces sont favorisées en système « non labour ». Ce qui est en accord avec notre résultat en se référant au cas du souchet comestible. En SCV, il constitue 11,70 % de l'ensemble des adventices si en LSR, il ne représente que 1,73 %.

Concernant la dynamique d'émergence de l'ensemble des adventices, pour tous les traitements, elle commence à se stabiliser à partir du 50^{ème} jour après le semis, période correspondant au début montaison. En effet, les mauvaises herbes présentes quatre semaines après le semis de la culture, représentent d'habitude la proportion la plus importante de la population totale de mauvaises herbes, au moins du point de vue contrôle des mauvaises herbes dans la culture (FAO, 2005).

5.2. Effet de l'agriculture de conservation sur l'enherbement et la production de riz

D'après les résultats, le système de culture et le mode de gestion des sols n'a pas d'effet significatif sur le contrôle de l'émergence des adventices. De plus, les résultats de l'évaluation du stock semencier du sol entre les systèmes labourés et les SCV ont montré qu'il n'y a pas de différence significative pour le contrôle des deux types d'adventices. Ainsi, le labour et le non labour peuvent favoriser ou défavoriser l'émergence des adventices. En effet, le labour a pour effet, d'une part, l'enfouissement des graines qui se trouvent en surface à des profondeurs variables, ce qui concourt à limiter les infestations dans la culture suivante et d'autre part la remontée des semences anciennes depuis les horizons profonds. D'un autre côté, il semble que le travail minimum du sol tend à garder la banque de graines en surface. Les graines sont donc en meilleure position pour germer, lever et interférer avec la culture (Chauhan *et al.*, 2006).

Concernant le rôle du système de culture et du mode de gestion de sol dans la maîtrise du développement des adventices, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements. Ce qui indique qu'une fois que les adventices aient pu traverser la couche de paillis, elles peuvent se développer normalement. Husson *et al.* (2009) affirme que si le paillage est insuffisant, les adventices peuvent se développer, en profitant même de l'amélioration des conditions physiques du sol. De plus, le développement des adventices pendant l'année de culture 2014-2015 a été favorisé par la forte pluviométrie. Doré (2006) affirme que la croissance et le développement des mauvaises herbes levées sont très rapides dans les conditions tropicales à cause des températures et de la pluviométrie élevées. Ce qui n'était pas le cas de l'année de culture précédente où la pluie était mal répartie et de faible quantité. Ainsi, les résultats de Rakotonjanahary (2013-2014) ont montré que le développement des adventices en SCV sur stylosanthes a été limité et présentait une différence significative par rapport aux autres traitements.

Le mode de gestion de sol n'a pas d'influence significative sur le développement en hauteur et en biomasse aérienne du riz. Par contre, l'enherbement de la parcelle influence significativement le développement du riz. Selon Caussanel (1989), dans un champ, les mauvaises herbes entrent en compétition avec la culture pour assurer leur développement. Cette compétition se traduit généralement par une baisse de production de la culture contrainte à une utilisation collective des éléments nutritifs.

Le niveau d'enherbement des parcelles influence aussi le rendement. Ce résultat montre l'action de compétition des adventices sur le riz. Selon Karkour (2012), la réduction de rendement des récoltes est causée surtout par les mauvaises herbes dans les exploitations agricoles. Concernant l'effet du système de culture sur le rendement, une différence significative a été obtenue entre le rendement sur les parcelles conduites en SCV et en LSR sur stylosanthes. Tandis qu'il n'y a aucune différence significative entre le rendement des parcelles conduites en SCV et en LSR sur maïs et dolique. En effet, si les deux systèmes : agriculture conventionnelle et agriculture de conservation sont pratiqués sur deux parcelles placées dans les mêmes conditions agro-écologiques et de fertilité, on ne peut pas s'attendre à de grandes différences de productivité pendant les premières années. Toutefois, après plusieurs années de culture des mêmes plantes sur les mêmes parcelles, les différences entre les deux systèmes deviennent plus évidentes et nettes (FAO, 2015). Ce qui est le cas du système sous stylosanthes dans notre expérimentation. De plus, à part le contrôle des adventices, d'autres facteurs peuvent également intervenir au niveau des systèmes SCV par rapport aux systèmes conventionnels, par exemple le fait de conserver l'humidité dès le début du cycle, le piégeage des éléments nutritifs par le contrôle de l'érosion (Husson *et al.*, 2010). Aussi, par rapport aux systèmes labourés sans restitution de résidus, les SCV bénéficient des apports d'éléments nutritifs grâce aux paillis. Selon Naudin *et al.*, 2012, les résidus de

stylosanthes fournissent au sol une quantité d'azote de l'ordre de 2,7% de la matière sèche dégradé et 1,8% de la MS pour le paillis de dolique

5.3. Importance des adventices en fonction du taux de couverture

Les résultats ont montrés qu'en général, l'émergence sur les parcelles couvertes à 30 % et à 70 % de paillis est beaucoup plus importante que l'émergence sur les parcelles témoins sans couverture. En effet, de faibles quantités de résidus peuvent stimuler l'émergence des mauvaises herbes. Parfois, plus de mauvaises herbes émergeront en condition de faible niveau de résidu de plantes de couverture que dans des parcelles de contrôle non couvertes (Teasdale et Mohler, 1993 et 2000). De faibles niveaux de résidus ne suffisent pas pour inhiber l'émergence des mauvaises herbes et peuvent créer un environnement plus favorable pour leur germination et leur émergence. Ces résidus peuvent retarder l'évaporation de l'eau du sol et fournir des conditions d'humidité plus uniformes pour la germination et l'émergence des adventices, que sur les sols nus. Aussi, les composés azotés libérés dans la zone de germination, particulièrement des légumineuses de couverture, peuvent stimuler la germination d'espèces sélectionnées de mauvaises herbes (FAO, 2005). Pour les parcelles couvertes à 99 % et à 100 % de paillis, les résultats sur le contrôle de l'émergence sont significativement différents de ceux sur les parcelles témoins sans couverture. Ceci s'explique par le fait que le sol est totalement couvert à ces niveaux de couverture. Selon Pollock (2013), une couche de paillis organique de 10 cm est nécessaire pour assurer une lutte contre les mauvaises herbes adéquate.

Malheureusement, les résultats de l'analyse statistique sur la relation entre le taux d'humidité du sol et l'émergence des adventices ne permettent pas d'en tirer des conclusions à cause des coefficients de détermination R^2 trop faible.

L'étude sur la relation entre la biomasse des adventices et l'interception lumineuse a montré que la lumière a une influence positive sur le développement des adventices. De tous les facteurs environnementaux, le rayonnement solaire est le plus important car il est la source d'énergie qui conduit à la production biologique de matière sèche (Flore et Lakso, 1989; Lakso, 1994). Les résultats sur le dispositif MH ont montré l'importance de la couverture du sol dans la maîtrise du développement des adventices en interceptant la lumière. Pour les deux types de paillis, leur rôle dans la maîtrise des monocotylédones est significatif à partir de 70 % de couverture de sol. Mais il faut que le sol soit couvert à au moins 99 % de paillis pour pouvoir maîtriser les dicotylédones. La compétition pour la lumière (ombrage) avec le paillage est un handicap sur le développement des flores adventices (Séguy *et al.*, 2009). Ces résultats sont semblables aux résultats obtenus par Rakotonjanahary (2013-2014). L'étude de Bilalis *et al.* (2003) menée en Grèce concernant l'effet des différents taux de couverture du sol (0%, 30%, 60% et supérieur à 90%) sur la biomasse d'adventices a aussi montré des

résultats similaires aux résultats de notre expérimentation avec une plus faible biomasse produite sur les parcelles couvertes à plus de 90 % de paillis.

Les rendements obtenus sur le dispositif MH sont nettement inférieurs à ceux obtenus sur le dispositif principal et à la potentialité de la variété de riz B22. Etant donné que la campagne 2014-2015 est la cinquième année de culture du dispositif principal et la première année de culture du dispositif MH conduite en SCV, ce résultat peut être expliqué par le fait que l'agriculture de conservation comprend habituellement quatre étapes, chacune durant deux années ou plus. Les rendements peuvent être moindres dans les premières années (SOCO, 2009). Toutefois, les rendements sur les parcelles couvertes à 100 % de paillis que ce soit stylosanthes ou maïs et dolique sont significativement plus élevés par rapports à ceux des autres traitements. Ceci peut être expliqué par le fait que sur ces parcelles couvertes à 100 %, les adventices sont mieux contrôlées. Dans la partie résultat, il a été vu que plus le paillis est épais, plus il se dégrade plus vite. Ainsi, il libère plus d'éléments nutritifs au sol en assurant en même temps une nutrition continue au riz. Une étude au Brésil a montré que globalement, un tiers de l'azote contenu dans les paillis est restitué au système durant le cycle du riz (Reyes, 2002).

5.4. Analyse de la méthodologie

Nous n'avons pas pu avoir les mesures avant le premier sarclage. Plusieurs fois, l'ordinateur n'arrivait pas à détecter le centrale d'acquisition des données des barres de PAR pour mesuré l'interception lumineuse. La manipulation ce matériel a été très difficile. Or, c'est la mesure qui s'avère être la plus intéressante car il a été vu dans les résultats que adventices émergentes 50 jours après le semis du riz, représentent la proportion la plus importante de la population totale d'adventices. De plus, Le Bourgeois (1993) affirme que les mauvaises herbes se développent vite que les cultures car ils absorbent plus vite les nutriments que la culture. Ainsi, elles peuvent bénéficier beaucoup plus la lumière que le riz pendant la première phase de développement du riz. Des matériels plus faciles à utiliser contribueraient au bon déroulement de l'étude.

Les conditions climatiques lors de la campagne 2014-2015 n'a pas permis de mettre en évidence la concurrence des adventices au riz sur l'humidité du sol. En effet, la pluviométrie de 1457,8 mm dépasse largement le besoin en eau du riz pluvial qui n'est que d'environ 650 mm (Jacquot et Courtois, 1983). Les études ayant comme facteur l'humidité du sol seraient donc plus intéressantes si elles sont conduites au cours des années plus sèches.

En vue d'une lutte contre les adventices plus efficace, l'évaluation du stock semencier du sol ainsi que l'identification des espèces devraient être faites avant la mise en culture car le potentiel semencier des graines viables dans le sol et les espèces présentes dans les parcelles sont ainsi connus d'avance. Schaub (2010) affirme que « Afin de définir une bonne stratégie

de maîtrise des mauvaises herbes ou adventices, il est primordial de bien reconnaître les espèces présentes dans vos parcelles ». Pour cela, la méthode d'évaluation utilisée dans notre expérimentation pourrait être améliorée en prélevant des échantillons de sol dans la parcelle, les disposer dans des bacs de germination en conditions contrôlées et effectuer des relevés floristiques (ITAB, 2014).

Conclusion

A Madagascar, les projets concernant l'agriculture de conservation ont beaucoup intervenus dans la zone du Lac Alaotra qui est l'un des greniers à riz de Madagascar. Ainsi, ces projets se sont intéressés à la riziculture pluviale. Outre les problèmes de fertilité et d'érosion sur les tanety, les adventices aussi constituent un des problèmes majeurs dans la riziculture pluviale. Or, dans des nombreuses études effectuées sur les avantages de l'agriculture de conservation, il s'avère que la couverture permanente du sol contribue à la suppression des adventices en empêchant leur germination. Ce qui nous a amené à entreprendre cette étude qui consistent à mieux approfondir l'importance de l'agriculture de conservation dans la maîtrise des mauvaises herbes dans la riziculture pluviale.

Les résultats de l'étude ont permis de rejeter la première hypothèse qui stipule que « *Les adventices sont mieux contrôlées en agriculture de conservation qu'en agriculture conventionnelle* » car en effet, l'influence des systèmes de culture et des modes de gestion de sol sur la maîtrise des mauvaises herbes n'est pas significative tant sur l'émergence que sur leur développement. Les résultats ont aussi montré l'importance de la quantité de paillis utilisé en agriculture de conservation pour maîtriser les adventices. La quantité de mulch doit être importante. Un paillage insuffisant peut favoriser l'enherbement. Ainsi, la deuxième hypothèse stipulant que: « *La couverture permanente du sol assure la maîtrise des adventices quelque soit le type et la quantité de paillis utilisé* » est aussi rejetée. La troisième hypothèse est partiellement vérifiée : « *Les adventices exercent une concurrence au riz pour l'accès à l'eau et à la lumière et cette concurrence s'exprime dans leurs développements* ». En effet, les adventices captent une assez grande partie de la lumière. Malheureusement, l'étude sur l'humidité du sol et l'émergence des adventices n'a pas pu mettre en évidence la concurrence en eau des adventices car l'année de culture 2014-2015 a été une année bien arrosée. Une étude sur la concurrence en éléments nutritifs entre les adventices et la culture principale s'avère aussi être très intéressante. Il a été vu dans l'étude que le développement végétatif du riz et le rendement sur les parcelles propres sont meilleurs et cette différence est statistiquement significative.

A l'issu de cette étude, nous pouvons dire que le contrôle des adventices en agriculture de conservation est assuré par le paillis mais pour qu'il soit efficace, la quantité doit être important. Une étude économique pourrait être envisagée sur le coût de la maîtrise des adventices par l'utilisation des paillis. Par exemple, nous pouvons étudier jusqu'à quel taux de couverture, le sarclage ou autre moyen de lutte contre les adventices n'est plus nécessaire. L'étude de la concurrence des adventices en éléments nutritifs ne serait-ce que l'azote s'avère aussi être intéressante car l'azote fait partie des facteurs limitants au développement de la culture.

Bibliographie

Andriamandroso A. L. H., 2010, Évaluation de la quantité et de la qualité de la biomasse produite dans les systèmes de culture sous couverture végétale et son utilisation pour l'élevage, cas de la région du lac Alaotra, Mémoire de fin d'étude pour obtenir le diplôme d'ingénieur Agronome, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, département élevage, Université d'Antananarivo-Madagascar. 53 p.

Bilalis D., Sidiras N., Economou G., & Vakali C. (2003), Effect of Different Levels of Wheat Straw Soil Surface Coverage on Weed Flora in *Vicia faba* Crops, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189, 233–241.

Cavers P.B et Benoit D.L., 1989, Seed banks in arable land (chapter 14): p.309-328 in M.A. Leck, V.T. Parker et R.L. Simpson (eds.), *Ecology of Soil Seed Banks*. Académie Press, Inc., San Diego, Ca.

Caussanel J.P. Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle: situation de concurrence bispécifique. *Agronomie*, EDP Sciences, 1989, pp.219-240

Chauhan B.S., Gill G., Preston C., 2006, Influence of tillage systems on vertical distribution, seedling recruitment and persistence of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) seed bank. *Weed Science* 54, pp.669-676.

Dabat M. H., Pons B. et Razafimandimby S., 2008, Novembre-décembre 2008, *Varia* : Les produits agricoles emblématiques Madagascar, Guinée et les Antilles françaises, Des consommateurs malgaches sensibles à la qualité du riz

Doré T., 2006, *L'agronomie aujourd'hui*, Ed. Quae, Synthèse (INRA), 367 p

DRDR Alaotra Mangoro, 2015, Evolution de la production rizicole Alaotra Mangoro de 2009 à 2014

Dupin B., 2011, Analyse des conditions d'adoption paysanne de diverses techniques agro-écologiques à partir des expériences de coopération d'AVSF, VSF-CICDA – Agronomes et Vétérinaires sans frontières, 74 p.

E. Penot, R. Domas, H. Andriamalala, P. Hyac, B. Dupin, C. Durand, S. Nave, T. H. Rabenandro, J. Rasolomanjaka, 2009, Rôle et place du riz pluvial dans les exploitations du lac Alaotra. Atelier national sur la recherche et le développement du riz pluvial à Madagascar, pp.54-60

FAO, 2005, Gestion des mauvaises herbes pour les pays en développement: Addendum 1, Volume 1, 285 p

Flore J. A., Lakso A. N., 1989, Environmental and physiological regulation of photosynthesis in fruit crops, *Hortic. Rev.* 11: p. 111-157.

FOFIFA, 2014, Fiche descriptive de variétés de riz : variété « Fotsiambo », p.32

Frick B., Johnson E., 2012, Utilisation des cultures allélopathiques et des couvre-sol pour maîtriser les mauvaises-herbes, Organic Agriculture Centre of Canada (OACC)

GSDM, 2015, L'agriculture de conservation dans le monde

Husson O., Charpentier H., Razanamparany C., Moussa N., Michellon R., Naudin K., Razafintsalama H., Rakotoarinivo C., Rakotondramanana, Seguy L., 2008, *Stylosanthes guianensis*, Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Volume III. Chapitre 3, 12 p.

Husson O., Charpentier H., Naudin K., Razanamparany C., Moussa N., Michellon R., Andrianasolo H., Razafintsalama H., Rakotoarinivo C., Rakotondramanana, Enjalric, Seguy L., 2009. Le choix des cultures, associations et successions adaptées aux contraintes agro-climatiques. Manuel de pratique du semis direct à Madagascar. Volume II. Chapitre 1, 24 p.

Husson O., Charpentier H., Razanamparany C., Moussa N., Michellon R., Naudin K., Razafintsalama H., Rakotoarinivo C., Rakotondramanana, Enjalric F., Seguy L., Novembre 2010, Fiches techniques: Cultures sur couverture morte avec production de biomasse, Manuel pratique du semis direct à Madagascar.

ITAB, 2014, Inventaire des mesures et observation permettant de caractériser la flore adventice et son évolution, Boîte à outils RoTAB – Module « Adventices »

Jacquot M., et Courtois B., 1983, *Le Riz Pluvial*, G.-P. Maisonneuve et Larose, 134 p.

Karkour L., 2012, La dynamique des mauvaises herbes sous l'effet des pratiques culturales dans la zone des plaines intérieures, Mémoire, Département des sciences agronomiques, option Production végétale et Agriculture de conservation, 159pp.

Lakso A. N., 1994, Environmental physiology of the apple, In: *Environmental Physiology of Fruit Crops*, Vol. 2, Schaffer B., Andersen P. C. (Eds.), CRC Press: p.3-42.

Leblanc M.L., Cloutier D.C., Leroux G.D. et Hamel C., 1998, Facteurs impliqués dans la levée des mauvaises herbes au champ, *Phytoprotection*, vol. 79, n° 3, p. 111-127.

Le Bourgeois T., 1993, Les mauvaises herbes dans la rotation cotonniere au Nord- Cameroun Madagascar, 64pp.

Le Bourgeois T. et Merlier H., 1995, Adventrop, Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne, CIRAD-CA, 637 pages

MEI/CREAM, 2009, Monographie de la région Alaotra Mangoro sur www.monographiemada.com

Mollier P., 2014, L'agriculture de conservation : faut-il labourer le sol?, INRA

Merlier H., 1982, La lutte contre les mauvaises herbes en riziculture pluviale en Côte d'Ivoire *in* L'agronomie tropicale, vol XXXVII, n° 4, p. 408 - 410

Montergut J. et Merlier H., 1982, Adventices tropicales, ORSTOM-GERDAT-ENSH, 490 pages.

Naudin, K., Scopel, E., Andriamandroso, A. L. H., Rakotosolofo, M., Andriamarosa Ratsimbazafy, N. R. S., Rakotozandriny, J. N., Salgado, P., and K. E. Giller, 2011, Trade-offs between biomass use and soil cover. The case of rice-based cropping systems in the lake Alaotra region of Madagascar. *Experimental Agriculture*, 48(02), 194–209.

ONE, 2007, Rapport de synthèse sur l'état de l'environnement de la région Alaotra Mangoro sur www.pnae.mg

Pande H. K., Dat Van Tran, Trinh Ton That, 1997, Systèmes améliorés de riziculture pluviale, FAO

Pollock T., 2013, Lutte contre les mauvaises herbes dans votre plantation agroforesterie. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Indian Head, SK. 13 pp.

Rakotonjanahary S. A., 2014, Caractérisation des effets des systèmes de culture en semis direct sur couverture végétale permanente sur le contrôle des adventices au Lac Alaotra, ESSA, département Agriculture

Rakotondramananana, Husson O., Enjalric, F., 2010. Document de synthèse de l'Agriculture de Conservation à Madagascar (FAO). GSDM, 92 p.

Ramahatoraka H. A., Rakotondravelo J. C., Penot E. et Faure G., Septembre 2011, Document de travail BV lac n° 67, Analyse des services agricoles liés à l'adoption des systèmes de culture sous couverture végétale (SCV) Cas de la zone du lac Alaotra.

Randriamanana L., 2007, Effet du système de culture sur la dispersion de la pyriculariose dans une parcelle de riz pluvial, mémoire de fin d'étude, Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des sciences agronomiques, Département Agriculture

Randrianandrasana L. N., 2012, Effet de la nutrition azotée sur la pyriculariose du riz pluvial dans la région de Vakinankaratra, Mémoire de fin d'étude, Université d'Antananarivo, Ecole supérieure des sciences agronomiques, Département Agriculture

Reyes G. V., Quantification et modélisation des flux hydriques, thermiques et azotés dans les systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale dans la région des Cerradosbrésiliens, Thèse de doctorat de l'université des sciences et techniques du Languedoc (USTL), Montpellier, France, 2002, 204 p.

Roberts H.A. et Potter M.E., 1980, Emergence patterns of weed seedlings in relation to cultivation and rainfall. *Weed Res.* 20: p.377-386.

Schaub C., octobre 2010, Mieux connaître les mauvaises herbes pour mieux maîtriser le désherbage, Service Environnement – innovation

Séguy L., Husson O., Charpentier H., Bouziniac S., Michellon R., Chabanne A., Boulakia S., Tivet F., Enjalic F., Ramarison I., Rakotondramanana, 2009, Principes et fonctionnement des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente, Manuel de pratique du semis direct à Madagascar, Volume I, Chapitre 1, 32 pp.

Sester M., Raveloson H., Tharreau D., Dusserre J., 2013, Conservation agriculture cropping system to limit blast disease in upland rainfed rice, *Plant Pathology*, pp. 373-381

SOCO (Sustainable Agriculture and Soil Conservation), 2009, Fiche technique N°9 : Agriculture de Conservation, Communautés Européennes

Souty N. et Rode C., 1994, La levée des plantules au champ : un problème de mécanique? *Sécheresse* 5 : p.13-22

Teasdale J.R. et Mohler C.L., 1993, Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agron. J.* 85: p.673-680

Teasdale J.R. et Mohler C.L., 2000, The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Sci.* 48: p.385-392

Wilson B.J. et Froud-williams R.J., 1988, The effect of tillage on the population dynamics of *Galium aparine* L. (cleavers), *Proc. 8ème Int. Symp.on Biol. Ecol. System. Of Weeds*, Dijon : p.81-90

Faostat3.org

Annexes :

Annexe 1 : Projet ABACO	i
Annexe 2 : Données météorologiques des dix dernières années (2005-2014).....	ii
Annexe 3 : Résultat de l'ANOVA de la vitesse de dégradation des paillis.....	iv
Annexe 4 : Tableau de l'ANOVA du stock semencier du sol sans les graines de stylosanthes	v
Annexe 5 : Résultat de l'ANOVA de l'interception lumineuse des adventices selon les traitements	v
Annexe 6 : Résultat de l'ANOVA du développement en hauteur du riz à chaque stade :	vi
Annexe 7 : Résultat de l'ANOVA du développement en biomasse du riz à chaque stade : ..	viii
Annexe 8 : Tableau de probabilité correspondant à l'ANOVA relatif à l'évolution du stock en eau du sol à la profondeur de 10 cm.....	x

Annexe 1 : Projet ABACO

Financé par la Commission Européenne, le projet ABACO (Agro-ecologyBased Aggradation-Conservation agriculture), vise à réduire la vulnérabilité des petits agriculteurs des zones semi-arides d'Afrique au changement climatique. A travers des plates-formes de co-innovation, il s'agit d'inventer, d'évaluer et de mettre en œuvre des solutions techniques inspirées de l'agriculture de conservation et de l'agro-écologie pour mieux réduire la dégradation des sols et l'insécurité alimentaire. Le projet est coordonné par ACT (African Conservation Tillage) et réunit de nombreux partenaires, parmi lesquels le Cirad (France), le CIRDES (Afrique de l'Ouest), le FOFIFA (Madagascar), l'Université de Harare (Zimbabwe), Wageningen (Pays-Bas), le Natural Resources Institute (Greenwich University, UK) et l'Embrapa (Brésil).

Le projet comporte de nombreuses gammes de sujets selon le pays. A Madagascar, le projet ABACO s'intéresse au Lac Alaotra par la grande instabilité des conditions climatiques et par le fort développement des techniques d'agriculture de conservation dans cette région. Le projet a débuté en 2012 et s'est terminé en juin 2015. Il a pour objectif de réduire la vulnérabilité des paysans face aux risques environnementaux et à la faible productivité agricole. Ainsi, il développe des options techniques adaptées aux différents problèmes auxquels sont soumis les pratiquants des SCV.

Annexe 2 : Données météorologiques des dix dernières années (2005-2014)

4.1. Précipitation en mm

Années	sept	oct	nov	Dec	janv	fev	mar	avr	mai	juin	juil	août	TOTAL
2004-2005	4,9	0	7,1	366,8	142,8	484	342,1	46,6	7,4	5,1	33,5	8,4	1448,7
2005-2006	6,7	0,1	57,4	221,4	138,4	86,3	107,3	13	4,7	8,9	6,8	15,2	666,2
2006-2007	1,4	0,8	84,7	60,5	513,9	446	156,1	50,5	8	3,3	14	2,4	1341,6
2007-2008	11,3	11,8	12,3	140,2	212	409,9	41,3	2,3	15	14,3	6,8	0,6	877,8
2008-2009	17,6	80,7	233,4	106,7	239,6	192	219,8	146,9	7,9	1,2	1,2	3,2	1250,2
2009-2010	3,2	6,6	54,7	103,9	431,4	75,5	404,9	2,6	10,3	14,4	14,4	4,9	1126,8
2010-2011	0	0	17,2	123,8	102,1	188	161,5	10	37	5	4	3,5	652,1
2011-2012	9,5	7,5	29	186	238	331	62	38	6,5	5,5	0	0	913
2012-2013	0	2,7	76,9	80,2	147,7	163,1	136,8	48,9	7,1	3,8	0,6	7	674,8
2013-2014	0	2,7	76,9	80,2	237	330,5	44	2,5	2	0,5	1	0	777,3
moyenne	5,46	11,29	64,96	146,97	240,29	270,63	167,58	36,13	10,59	6,2	8,23	4,52	972,85

4.2. Température maximale (°C)

Années	sept	oct	Nov	Dec	Janv	fev	Mar	avr	mai	juin	juil	août
2004-2005	26	27,7	28,8	28,4	29,2	29,6	28,8	28,4	24,9	23,8	22,6	22,8
2005-2006	24,2	26,4	29,1	30,2	28,4	28,4	28,3	28,2	26,6	24,5	22,6	24
2006-2007	25	27	29,2	28,6	28,5	27,9	28	26,4	26	23,3	23,1	23,8
2007-2008	24,1	26,3	29,6	30,2	28,5	26,5	27,3	28	25,1	23,3	22,4	23,9
2008-2009	26,4	27	28	29,1	29,3	28,3	28,9	26,8	26,7	25,3	22,8	24,1
2009-2010	25,8	28	29,2	29,7	28,4	28,5	28,7	28,1	27,5	24,8	22,9	23,2
2010-2011	25,2	27,2	29,3	30,8	28,7	28,3	28,1	30,1	29,1	27,3	25,9	27
2011-2012	27,53	29,67	31,95	31,73	29,08	30,1	30,26	29,16	27,41	25,23	23,1	23,8
2012-2013	25,52	26,97	30,3	31,25	29,5	29	27,71		25,38	22,29	25,2	22,51
2013-2014	27,7		31,5	31,3	29,7	29,8	30,6	30,1	28,5	26,6	24,3	26,7

4.3. Température minimale (°C)

Années	sept	oct	Nov	Dec	janv	fev	mar	avr	mai	juin	juil	août
2004-2005	13,7	15,8	16,9	18,9	19,5	20	19,7	17,4	16,2	13,9	12,3	12,6
2005-2006	13,5	14	16,8	19	18,5	19	18,6	17,1	15,6	13,7	13,1	12,8
2006-2007	13,4	14,6	17,5	19,1	20,2	20	18,3	16,9	16,3	12,5	13,6	12,8
2007-2008	13,9	15,1	16,5	18,2	19,2	19,1	18,1	17,3	14,6	13,3	12,1	12,7
2008-2009	14,3	15,4	18,6	18,1	19,4	18,4	19,1	17,7	15,2	13,7	12,9	13,8
2009-2010	14,5	15,5	17,8	19,2	19,7	19,5	19,7	17,1	16,3	15,2	12,4	13,3
2010-2011	13,2	15	16,4	18,3	19,4	19,2	18,8	17,3	14,7	12,5	11,1	12,3
2011-2012	12,48	14,29	16,14	18,11	19,66	19,39	17,9	17,73	14,88	12,96	12,4	12,7
2012-2013	11,3	15,8	17,9	19,8	18,8	19,3	18,7	16,8	15,6	13	11,9	11,8
2013-2014	11,1		16,6	18,2	18,7	18,9	17,3	15,4	13,8	12,8	12,4	12,1

4.4. Température moyenne (°C)

Années	sept	oct	Nov	Dec	janv	fev	mar	avr	mai	juin	juil	août
2004-2005	19,9	21,8	22,9	23,7	24,4	24,8	24,3	22,9	20,6	18,9	17,5	17,7
2005-2006	18,9	20,2	23	24,6	23,5	23,7	23,5	22,7	21,1	19,1	17,9	18,4
2006-2007	19,2	20,8	23,4	23,9	24,4	24	23,2	21,7	21,2	17,9	18,3	18,3
2007-2008	19	20,7	23,1	24,2	23,9	22,8	22,7	22,7	19,9	18,3	17,3	18,3
2008-2009	20,4	21,2	23,3	23,6	24,4	23,4	24	22,3	21	19,5	17,9	19
2009-2010	20,2	21,8	23,5	24,5	24,1	24	24,2	22,6	21,9	20	17,7	18,3
2010-2011	19,2	21,1	22,8	24,6	24	23,7	23,5	23,7	21,9	19,9	18,97	19,7
2011-2012	20	21,98	24,05	24,92	24,37	24,74	24,08	23,45	21,14	19,09	17,8	18,2
2012-2013	18,41	21,38	24,1	25,52	24,15	24,15	23,2		20,49	17,64	18,55	17,15
2013-2014	19,4		24,1	24,7	24,2	24,4	23,9	22,7	21,1	19,7	18,3	19,4
Moyenne	19,461	19,096	23,425	24,424	24,142	23,969	23,658	20,475	21,033	19,003	18,022	18,445

Annexe 3 : Résultat de l'ANOVA de la vitesse de dégradation des paillis

1. Dégradation du maïs + dolique

$$R^2 = 60,20 \%$$

Tableau de l'ANOVA :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
n° bloc	3	0,0056	0,0019	2,1982	0,1411
Taux de couverture	4	0,0099	0,0025	2,8894	0,0689
Modèle	7	0,0155	0,0022	2,5932	0,0705
Erreur	12	0,0102	0,0009		
Total corrigé	19	0,0257			

Regroupement des moyennes :

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
100 %	0,0624	A		
99 %	0,0469	A	B	
70%	0,0225	A	B	C
30%	0,0169		B	C
Sans couverture	0,0000			C

2. Dégradation du stylosanthes

$$R^2 = 80,63 \%$$

Tableau de l'ANOVA

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
n° bloc	3	0,0001	0,0000	0,3160	0,8136
Taux de couverture	4	0,0029	0,0007	12,252	0,0003
Modèle	7	0,0030	0,0004	7,1371	0,0017
Erreur	12	0,0007	0,0001		
Total corrigé	19	0,0037			

Regroupement des moyennes

Modalité	Moyenne estimée	Groupes		
100 %	0,0342	A		
99 %	0,0205		B	
70 %	0,0155		B	C
30 %	0,0047			C
Sans couverture	0,0000			D

Annexe 4 : Tableau de l'ANOVA du stock semencier du sol sans les graines de stylosanthes

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Système de culture	1	1030225,0000	1030225,0000	4,2213	0,0701
Mode de gestion de sol	1	625,0000	625,0000	0,0026	0,9607
N° bloc	3	442357,0000	147452,3333	0,6042	0,6286
Système de culture*Mode de gestion de sol	1	393129,0000	393129,0000	1,6108	0,2362
Modèle	6	1866336	311056	1,27453702	0,35668896
Erreur	9	2196487	244054,1111		
Total corrigé	15	4062823			

Annexe 5 : Résultat de l'ANOVA de l'interception lumineuse des adventices selon les traitements

1. Au deuxième sarclage :

$$R^2 = 68,70 \%$$

Tableau de l'ANOVA :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
N° Bloc	3	0,0240	0,0080	1,1379	0,3849
Mode de gestion de sol	1	0,0389	0,0389	5,5405	0,0430
Système de culture	1	0,0048	0,0048	0,6881	0,4283
Mode de gestion de sol*Système de culture	1	0,0711	0,0711	10,1107	0,0112
Modèle	6	0,1388	0,0231	3,2922	0,0533
Erreur	9	0,0632	0,0070		
Total corrigé	15	0,2021			

Regroupement des moyennes :

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
LSR*MS/S/R	0,4026	A
SCV*MD/R	0,2692	A B
LSR*MD/R	0,2346	B
SCV*MS/S/R	0,1707	B

2. Au troisième sarclage :

$$R^2 = 51,02 \%$$

Tableau de l'ANOVA :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
N° Bloc	3	0,0699	0,0233	1,6878	0,2838
Mode de gestion de sol	1	0,0001	0,0001	0,0094	0,9267
Système de culture	1	0,0011	0,0011	0,0774	0,7919
Mode de gestion de sol*Système de culture	1	0,0000	0,0000	0,0004	0,9857
Modèle	6	0,0719	0,0120	0,8680	0,5733
Erreur	5	0,0690	0,0138		
Total corrigé	11	0,1409			

Regroupement des moyennes :

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SCV*MD/R	0,3173	A
LSR*MD/R	0,3082	A
SCV*MS/S/R	0,2962	A
LSR*MS/S/R	0,2899	A

Annexe 6 : Résultat de l'ANOVA du développement en hauteur du riz à chaque stade :

1. Au tallage

$$R^2 = 90,68 \%$$

Tableau de l'ANOVA :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
N° Bloc	3	351,0866	117,0289	12,4514	< 0,0001
Système de culture	1	1007,4438	1007,4438	107,1878	< 0,0001
Mode de gestion de sol	1	1,5532	1,5532	0,1653	0,6885
Enherbement	1	397,5025	397,5025	42,2926	< 0,0001
Système de culture*Mode de gestion de sol	1	91,5192	91,5192	9,7373	0,0052
Système de culture*Mode de gestion de sol*Enherbement	3	72,4013	24,1338	2,5677	0,0817
Modèle	10	1921,5067	192,1507	20,4440	< 0,0001
Erreur	21	197,3762	9,3989		
Total corrigé	31	2118,8829			

2. A l'initiation paniculaire

$$R^2 = 70,91 \%$$

Tableau de l'ANOVA :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
N° Bloc	3	222,4136	74,1379	1,9432	0,1536
Système de culture	1	398,7723	398,7723	10,4520	0,0040
Mode de gestion de sol	1	45,5138	45,5138	1,1929	0,2871
Enherbement	1	622,1334	622,1334	16,3063	0,0006
Système de culture*Mode de gestion de sol	1	365,4231	365,4231	9,5779	0,0055
Système de culture*Mode de gestion de sol*Enherbement	3	298,8160	99,6053	2,6107	0,0783
Modèle	10	1953,0722	195,3072	5,1191	0,0008
Erreur	21	801,2106	38,1529		
Total corrigé	31	2754,2827			

3. A la floraison :

$$R^2 = 88,70 \%$$

Tableau de l'ANOVA :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
N° Bloc	3	103,8116	34,6039	1,5017	0,2431
Système de culture	1	655,3708	655,3708	28,4416	< 0,0001
Mode de gestion de sol	1	25,9500	25,9500	1,1262	0,3006
Enherbement	1	2400,3788	2400,3788	104,1709	< 0,0001
Système de culture*Mode de gestion de sol	1	277,7921	277,7921	12,0555	0,0023
Système de culture*Mode de gestion de sol*Enherbement	3	335,3263	111,7754	4,8508	0,0102
Modèle	10	3798,6297	379,8630	16,4852	< 0,0001
Erreur	21	483,8968	23,0427		
Total corrigé	31	4282,5265			

4. A la maturité :

$$R^2 = 74,24$$

Tableau de l'ANOVA

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Pr > F
--------	-----	------------------	--------------------	--------

		carrés	des carrés		
N° Bloc	3	45,5663	15,1888	0,3689	0,7762
Système de culture	1	418,1109	418,1109	10,1550	0,0044
Mode de gestion de sol	1	0,8878	0,8878	0,0216	0,8847
Enherbement	1	1847,7627	1847,7627	44,8780	< 0,0001
Système de culture*Mode de gestion de sol	1	105,5968	105,5968	2,5647	0,1242
Système de culture*Mode de gestion de sol*Enherbement	3	74,1768	24,7256	0,6005	0,6218
Modèle	10	2492,1012	249,2101	6,0528	0,0003
Erreur	21	864,6328	41,1730		
Total corrigé	31	3356,7340			

Annexe 7 : Résultat de l'ANOVA du développement en biomasse du riz à chaque stade :

1. Au tallage

$R^2 = 78,63 \%$

Tableau de l'ANOVA :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
N° bloc	3	7,0118	2,3373	10,2139	0,0002
Système de culture	1	8,3200	8,3200	36,3584	< 0,0001
Mode de gestion du sol	1	0,0565	0,0565	0,2469	0,6245
Enherbement de la parcelle	1	1,1481	1,1481	5,0171	0,0360
Système de culture*Mode de gestion du sol*Enherbement de la parcelle	4	1,1423	0,2856	1,2480	0,3214
Modèle	10	17,6787	1,7679	7,7256	< 0,0001
Erreur	21	4,8055	0,2288		
Total corrigé	31	22,4842			

2. A l'initiation paniculaire

$R^2 = 53,35$

Tableau de l'ANOVA

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
N° bloc	3	4,2190	1,4063	2,4734	0,0860
Système de culture	1	5,2166	5,2166	9,1748	0,0058
Mode de gestion du sol	1	0,2454	0,2454	0,4315	0,5175
Enherbement de la parcelle	1	5,7120	5,7120	10,0460	0,0041

Mode de gestion du sol*Enherbement de la parcelle	1	0,2125	0,2125	0,3738	0,5467
Modèle	7	15,6055	2,2294	3,9209	0,0055
Erreur	24	13,6459	0,5686		
Total corrigé	31	29,2514			

3. A la floraison

R² = 74,38 %

Tableau de l'ANOVA

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
N° bloc	3	3,7543	1,2514	1,6012	0,2191
Système de culture	1	13,9505	13,9505	17,8491	0,0004
Mode de gestion du sol	1	0,6883	0,6883	0,8807	0,3587
Enherbement de la parcelle	1	20,3935	20,3935	26,0928	< 0,0001
Système de culture*Mode de gestion du sol*Enherbement de la parcelle	4	8,8606	2,2151	2,8342	0,0503
Modèle	10	47,6472	4,7647	6,0963	0,0003
Erreur	21	16,4131	0,7816		
Total corrigé	31	64,0602			

4. A la maturité

R² = 55,34 %

Tableau de l'ANOVA

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
N° bloc	3	8,7124	2,9041	3,2413	0,0426
Système de culture	1	12,1504	12,1504	13,5612	0,0014
Mode de gestion du sol	1	0,2855	0,2855	0,3187	0,5784
Enherbement de la parcelle	1	12,0831	12,0831	13,4861	0,0014
Système de culture*Mode de gestion du sol*Enherbement de la parcelle	4	3,8433	0,9608	1,0724	0,3950
Modèle	10	37,0748	3,7075	4,1380	0,0030
Erreur	21	18,8153	0,8960		
Total corrigé	31	55,8901			

Annexe 8 : Tableau de probabilité correspondant à l'ANOVA relatif à l'évolution du stock en eau du sol à la profondeur de 10 cm

JAS	MD		S	
	R ²	p	R ²	p
	66,25	0,0254	76,85	0,0062
	72,20	0,0039	58,64	0,0585
	74,38	0,0060	66,55	0,0161
	84,32	0,0003	68,87	0,0119
	78,86	0,007	42,37	0,5194
	47,05	0,7404	55,94	0,1628
	42,36	0,8056	38,23	0,1903
	23,17	0,3792	36,28	0,7336
	49,13	0,3027	27,61	0,4104
	32,26	0,5329	33,59	0,3821
	40,78	0,7357	40,13	0,5248
	68,06	0,0723	41,12	0,2769
	46,07	0,3409	22,22	0,9941
	35,24	0,7578	37,38	0,2367