UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
****
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
****

Mention : Agriculture Tropicale & Développement Durable
****

Parcours : Biofonctionnement des Sols et Environnement

Mémoire de Fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingéniorat au grade de Master II en agronomie
« Spécialisation Agriculture »

EFFETS DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION SUR LA DEGRADATION DU MULCH ET LA DYNAMIQUE D'AZOTE MINERAL.

Cas du riz pluvial dans la zone du Lac Alaotra

Présenté par RAKOTOMALALA Sandratravo Léon
Promotion KINGATSA
(2010-2015)

Soutenu publiquement le 27 Aout 2015 devant les membres de jury composés de:

Président	:	**Dr. Hery RAZAFIMAHATRATRA**
Examinateur	:	**Dr. Norosoa Christine RAZAFINDRAMANANA-RAKOTONIAINA**
Maître de stage	:	**Mme Lalaina RANAIVOSON**
Tuteur	:	**Dr. Denis RANDRIAMAMPIONONA**

« Midera Anao aho, amin'ny nanaovanao ahy ho zavaboaary mahatalanjona loatra ; mahatalanjona tokoa ny asanao, ary mamin'ny fanahiko ny miaiky izany. »

(Salamo 139: 14)

« Je Te loue de ce que je suis une créature si merveilleuse. Tes œuvres sont admirables, et mon âme le reconnaît bien. »

(Psaume 139: 14)

« I will give You praise, for I am stranglely and delicately formed; your works are great wonders, and of this my soul is fully conscious. »

(Psalms 139: 14)

Remerciement

Tout d'abord, remercions Dieu tout puissant Qui nous a donné forme, santé et courage dans tous ceux que nous avons entrepris pour effectuer cette étude et la rédaction de cette présente mémoire.

La présente étude n'aurait jamais pu être aussi réalisée sans l'aide de bons nombres de personnes à qui nous adressons nos remerciements les plus sincères en particulier :

- Monsieur **RAZAFIMAHATRATRA Hery**, Docteur en Sciences Agronomiques, Chef du parcours Biofonctionnement des Sols et Environnement de la mention Agriculture Tropicale & Développement Durable (AT2D) et Enseignant Chercheur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA), pour l'honneur qu'il nous fait de présider le jury de cette soutenance malgré ses lourdes responsabilités ;
- Madame **RAZAFINDRAMANANA-RAKOTONIAINA Norosoa Christine,** Docteur en Sciences Agronomiques, Enseignant Chercheur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, qui a bien voulu examiner ce travail et siéger parmi les membres du jury ;
- Madame **RANAIVOSON Lalaina Bakotiana**, Ingénieur de Recherche du projet ABACO, qui malgré ses diverses obligations et ses nombreuses occupations, nous a encadré professionnellement et pédagogiquement tout au long de cette étude et d'avoir accepté de siéger parmi les membres de jury de ce mémoire ;
- Monsieur **RANDRIAMAMPIONONA Denis**, Docteur en Sciences de la vie, Enseignant chercheur à l'ESSA, notre tuteur, qui nous a conseillé et encadré de près au cours de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons également à adresser nos vifs remerciements à:

- Monsieur NAUDIN Krishna, Chercheur du CIRAD, pour ses conseils et ses précieuses aides à la réalisation de ce document ;
- Madame RAZAFINDRAKOTO Charlotte, Chef du Centre Régional de Recherche-Moyen Est/FOFIFA Ambohitsilaozana Ambatondrazaka et toute son équipe pour leur accueil chaleureux durant notre séjour à la station CALA ;
- Madame RAHARIMALALA Monique, technicienne du projet ABACO à Ambohitsilaozana et tous les Mains d'Œuvre Temporaire (MOT), pour leurs aides si précieuses pendant la collecte des données ;
- Tous les enseignants et personnels administratifs de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques et de la mention AT2D;
- Toute ma famille et tous mes amis surtout Mirana;
- Ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette étude.

Veuillez trouver ici notre profonde gratitude. Merci à tous!

Résumé

Les systèmes en semis direct sur couverture végétale permanente (SCV) peuvent être une solution efficace pour augmenter la fertilité du sol en agriculture pluviale. Une étude sur l'efficacité du SCV pour améliorer l'azote minéral du sol en riziculture pluviale a été effectuée dans la région du lac Alaotra (saison culturale de 2013-2014). Les cinétiques de la dégradation des résidus de culture (mulch) par la méthode de litter bag (LB) et les dynamiques d'azote minéral du sol sur une profondeur allant de 0 à 90cm ont été évaluées. Le dispositif expérimental est constitué de deux types de rotation culturale (i) biennale de Maïs+Dolique et Riz ; (ii) une rotation triennale de Maïs+Stylosanthes, Stylosanthes et Riz. Ces deux rotations culturales se distinguent par les types de résidus de culture (Maïs+Dolique, **M+D** ou Stylosanthes, **Stylo**), par les modes de gestion du sol (semis direct sous couverture végétale, **SCV** ou labour, **LAB**) et par les niveaux d'enherbement de la parcelle (Enherbée, **E** ou propre, **NE**). La dégradation des résidus enfouis en LAB sont plus avancé que les résidus laissés en surface en SCV. Et en même temps, la dégradation du M+D est plus rapide que les Stylo. Cependant, les niveaux d'enherbement de la parcelle n'ont pas montré de différence. Quant à la dynamique de l'azote minéral dans le sol, elle est liée au régime pluviométrique et au stade phénologique du riz. Durant la phase de végétation, les stocks en azote minéral du sol diminuent. Au stade de la floraison, des fortes pluies favorisaient encore le processus de minéralisation entrainant une augmentation du stock en N minéral du sol. Et par la suite, les stocks ont diminué jusqu'à la fin du cycle de riz. Enfin, le rendement en riz en SCV est largement supérieur par rapport au système labouré.

Mots clés: *Agriculture pluviale, azote minéral du sol, labour, litter bag, résidus, SCV*

Abstract

Conservation agriculture (CA) system could be an effective solution to enhance soil fertility on rainfed agriculture. A study about the efficiency of CA to improve the soil mineral nitrogen under rainfed rice plot was carried out in the lake Alaotra region on 2013-2014 season. Kinetics of crop residues degradation by the Litter bag method and dynamics of soil mineral nitrogen under 0 to 90 cm of soil depth were assessed. Rice plot was from two types of crop rotation (i) biennial of Maize+Dolichos and Rice; (ii) a three-year rotation of Maize+Stlylosanthes, Stylosanthes and Rice. These two crop rotation differ themselves by the crop residues types (Maize+Dolichos **M+D** or Stylosanthes, **Stylo**), by the soil management (direct seeding under plant cover, **CA** or tillage, **TIL**) and by the levels of weed control (a grassy plot, **E** or cleaned plot, **NE**). Residues degradation buried in tilled plot are more quickly than the residues left on soil surface in CA. And at the same time, M+D degradation was faster than Stylo. However, levels of weed control showed no difference. Regarding the dynamics of soil mineral nitrogen, it was related to rainfall patterns and the rice growth stages. During the growing season, stocks of soil mineral nitrogen decreased. At flowering, stages heavy rains still promoting the mineralization process leading to an increase of soil mineral nitrogen stock. And then, the stocks have decreased until the end of rice cycle. Finally, rice yield under CA was much higher than tilled plot.

Keywords: *rainfed agriculture, soil mineral nitrogen, tillage, litter bag, residue, CA.*

Table des matières

Remerciement ---------- i
Résumé ---------- ii
Abstract ---------- iii
Table des matières ---------- iv
Liste des tableaux ---------- vi
Liste des figures ---------- vii
Liste des clichés ---------- vii
Liste des acronymes ---------- viii
INTRODUCTION ---------- 1
Partie 1. MATERIELS ET METHODES ---------- 4
1.1 Zone d'étude : La zone du lac Alaotra ---------- 4
1.1.1 Climat ---------- 5
1.1.2 Relief ---------- 6
1.1.3 Sol ---------- 6
1.2 Dispositif expérimental ---------- 7
1.2.1 Dispositif « CALA » ---------- 7
1.2.2 Les traitements étudiés ---------- 7
1.3 Conduite de l'expérimentation ---------- 10
1.3.1 Mesures et prélèvements sur terrain ---------- 10
1.3.1.1 Mesure journalière de la pluviométrie ---------- 10
1.3.1.2 Evaluation de la biomasse résiduelle ---------- 10
1.3.1.3 Suivi de la dégradation des mulch avec la méthode Litter Bag (LB) ---------- 11
➢ Description des LB ---------- 11
➢ Remplissage des LB ---------- 11
➢ Mise en place et prélèvement des LB ---------- 11
➢ Perte en masse ---------- 12
1.3.1.4 Suivi de la dynamique de l'azote minéral dans le profil cultural ---------- 12
➢ Méthodes de prélèvement ---------- 12
➢ Travaux de laboratoire : Extraction et dosage de l'azote minéral ---------- 14

1.3.1.5 Mesure du rendement en riz ---- 14
1.3.2 Traitement des données ---- 15
Partie 2. RESULTATS ET INTERPRETATION ---- 16
2.1 Variation de la pluviométrie durant l'expérimentation ---- 16
2.2 Quantité de la Biomasse résiduelle de la campagne 2012-2013 ---- 17
2.3 Dynamique de la dégradation des résidus durant le cycle cultural ---- 18
2.3.1 Relation entre la vitesse de dégradation des résidus et le cumul de pluie à chaque prélèvement ---- 18
2.3.2 Selon les modalités testées ---- 19
2.4 Dynamique de l'azote minéral dans le profil cultural ---- 22
2.4.1 Stock en azote minéral dans le sol à différents stades du riz ---- 22
2.4.1.1 Stade levée (P1) ---- 24
2.4.1.2 Stade tallage (P2) ---- 25
2.4.1.3 Stade initiation paniculaire (P3) ---- 26
2.4.1.4 Stade floraison (P4) ---- 27
2.4.1.5 Stade maturité (P5) ---- 28
2.4.2 Stock en azote minéral dans le sol à différents horizons ---- 29
2.5 Rendement en paddy ---- 32
Partie 3. DISCUSSIONS ---- 34
3.1 Dégradation des résidus ---- 34
3.1.1 Dégradation du mulch suivant les modes de gestion du sol ---- 34
3.1.2 Dégradation des résidus suivant le type utilisé ---- 35
3.1.3 Dégradation des résidus suivant les conditions climatiques ---- 36
3.2 Dynamique de l'azote minéral dans le profil cultural et son effet sur le rendement ---- 37
3.2.1 Stock en azote minéral dans le sol à différents stades du riz ---- 37
3.2.2 Stock en azote minéral dans le sol à différents horizon ---- 38
3.2.3 Rendement en riz ---- 39
CONCLUSION ---- 40
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ---- 42
LISTE DES ANNEXES ---- 47

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques principales du dispositif « CALA » d'après l'analyse du sol en 2009 par le laboratoire des radio-isotopes (LRI) dans l'horizon 0-20 cm ---------- 6
Tableau 2 : Caractéristiques des parcelles étudiées ---------- 8
Tableau 3 : Quantité de résidus dans les LB ---------- 18
Tableau 4 : Analyse de la variance à partir du pourcentage de la perte de MS des résidus ------ 20
Tableau 5 : Comparaison des moyennes des pourcentages de perte en masse des résidus selon les modes de gestion du sol ---------- 20
Tableau 6 : Comparaison des moyennes des pourcentages de perte en masse des résidus suivant les types utilisés ---------- 21
Tableau 7 : Comparaison des moyennes des pourcentages de perte en masse des résidus selon les niveaux d'enherbement de la parcelle ---------- 21
Tableau 8 : Comparaison des moyennes des pourcentages de perte en masse des résidus suivant l'interaction types de résidus et mode de gestion du sol ---------- 22
Tableau 9 : ANOVA sur les stocks de N minéral dans le profil cultural (0-90 cm) au stade levée ---------- 24
Tableau 10 : Stock moyenne en N minéral du sol de 0-90 cm pour tous les traitements au stade de la levée ---------- 24
Tableau 11 : ANOVA sur les stocks de N minéral dans le profil cultural (0-90 cm) au stade tallage ---------- 25
Tableau 12 : Stock moyenne en N minéral du sol de 0-90 cm pour tous les traitements au stade tallage ---------- 25
Tableau 13 : ANOVA sur les stocks de N minéral dans le profil cultural (0-90 cm) au stade initiation paniculaire ---------- 26
Tableau 14 : Stock moyenne en N minéral du sol de 0-90 cm pour tous les traitements au stade initiation paniculaire ---------- 26
Tableau 15 : ANOVA sur les stocks de N minéral dans le profil cultural (0-90 cm) au stade floraison ---------- 27
Tableau 16 : Stock moyenne en N minéral du sol de 0-90 cm pour tous les traitements au stade floraison ---------- 27
Tableau 17 : ANOVA sur les stocks de N minéral dans le profil cultural (0-90 cm) au stade maturité ---------- 28
Tableau 18 : Stock moyenne en N minéral du sol de 0-90 cm pour tous les traitements au stade maturité ---------- 28
Tableau 19 : Comparaison des rendements moyens en paddy selon les modalités testées ------- 33

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude ---------- 4
Figure 2 : Courbe ombrothermique de la Région du Lac Alaotra de 2003 à 2013 ---------- 5
Figure 3 : Plan du dispositif principal pour la saison culturale 2013-2014 ---------- 1
Figure 4 : Les dates de prélèvement des LB---------- 12
Figure 5 : Parcelle élémentaire avec les placettes d'observations (A, B, C, D E) et les points de prélèvements de sol; Les numéros 1 à 5 correspondent à l'emplacement des prélèvements aux 5 dates de mesures.---------- 13
Figure 6 : Prélèvements (Pr) de LB avec les précipitations relevées durant l'expérimentation - 16
Figure 7 : Quantité des résidus sur les parcelles en $kg.ha^{-1}$ suivant les deux modes de gestion du sol (SCV : sans labour, LAB : Labour) et les deux types de résidus de culture pour la campagne 2013-2014---------- 17
Figure 8 : Relation entre la dégradation des résidus et le cumul de pluie jusqu'au moment du prélèvement ---------- 18
Figure 9 : Dynamique de la dégradation des résidus suivant les trois facteurs étudiés ---------- 19
Figure 10 : Evolution dans le temps des stocks totaux (0-90cm) en N minéral (NO_3^- et NH_4^+) selon les facteurs étudiés---------- 23
Figure 11 : Distribution de l'azote nitrique ($N\text{-}NO_3^-$) en $kg.ha^{-1}$ suivant la profondeur de mesure à chaque stade de développement du riz pour les systèmes à base de l'association maïs + dolique ---------- 29
Figure 12 : Distribution de l'azote nitrique ($N\text{-}NO_3^-$) en kg.ha-1 suivant la profondeur de mesure à chaque stade de développement du riz pour les systèmes à base de stylosanthes------- 31
Figure 13 : Histogramme de comparaison des rendements moyens en riz à partir des poids des grains dans les placettes---------- 32

Liste des clichés

Cliché 1 : Pluviomètre à bague placé près des parcelles---------- 10
Cliché 2 : LB à la surface du sol sur une parcelle en SCV. Cas des résidus de Maïs+dolique -- 11
Cliché 3 : Enfouissement d'un litter bag dans le sol pour une parcelle en Labour---------- 11
Cliché 4 : Les différentes tarières pour le prélèvement ---------- 13
Cliché 5 : Méthode d'extraction au KCl 2N---------- 14

Liste des acronymes

ABACO	Agroecology-Based Aggradation-COnservation agriculture
AC	Agriculture de Conservation
ANOVA	Analyse de la variance
BD	Base de Données
CALA	Complexe Agronomique du Lac Alaotra
CENRAD ERU/FOFIFA	CEntre National de Recherche Appliquée au DEveloppement RUral/FOibe Fikarohana ampiharana amin'ny Fampandrosoana ny eny Ambanivohitra
CIRAD	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CRR-ME	Centre Régional de Recherche du Moyen-Est du FOFIFA à Ambatondrazaka
DDL	Degré de liberté
DRDR	Direction Régionale pour le Développement Rural
E	Enherbé
F	Coefficient de Fisher-Snedecor
F1	Sans fertilisation
FAO	Food and Agriculture Organisation
JAS	Jour après semis
LAB	Système labouré
LB	Litter Bag
LR	Labour avec restitution des residus de culture
LSR	Labour sans restitution des résidus de culture
M+D	Maïs + Dolique
M+Stylo	Maïs + Stylosanthes
MGS	Mode de géstion du sol
MS	Matière Seche
NE	Non enherbé ou Propre
P	Pluviometrie
Pr	Prélèvement
PRD	Plan Régional de Développement
Qté	Quantité
R	Riz
SC	Système de culture
SCV	Système de Culture Semis Direct sur couvertures végétales permanentes
Stylo	Stylosanthes
T	Température
UPS	Unité de Production de Semences

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le riz est l'aliment de base des malagasy. La consommation de riz par habitant est parmi les plus élevée au monde. Elle est de 170kg/personne/an (GRISP[1], 2013). Environ 80% des paysans cultivent du riz. Deux millions de familles paysannes et au moins 10 millions de personnes fondent leur économie sur le secteur rizicole (GRISP, 2013). Or, la progression de la production, de 1,2 % par an ne suit plus la croissance démographique s'élevant à 2,8% par an (Ralison et Goossens, 2006). De ce fait, la production en riz devrait être améliorée afin de subvenir au besoin de la population.

La première zone rizicole de Madagascar, la région du Lac Alaotra se situant à environ 250 km au Nord-Est d'Antananarivo assure en moyenne 40% de cette production et approvisionne les deux villes les plus peuplées du pays dont la capitale et Toamasina (Chabierski *et al.,* 2005). Les rizières de bas fond assurent la principale de cette production. Pour la campagne 2012-2013, avec 114.050 ha de superficie en riz irrigué, la production moyenne s'élève à 328.700 t (DRDR Alaotra Mangoro[2], 2015). Cependant, une baisse significatif de 29% par rapport à la campagne précédente (2011-2012) a été constatée à cause de la pluviométrie défavorable couplée à un mauvais fonctionnement des infrastructures hydro-agricoles dans cette région (Badjeck *et al.,* 2013). De plus, les bas-fonds sont saturés en raison de la forte pression foncière sur les terres inondées. Tous ceux-ci, afin d'améliorer cette production de 300.000 t en moyenne, ont favorisé le développement des pratiques culturales sur les *baiboho*[3] et les *tanety*[4] notamment avec la riziculture pluviale. Cependant, ce système de culture adopté par les paysans pour valoriser leur terrain est dans la majorité des cas un système extensif, peu productif et peu respectueux de l'environnement. L'absence d'apport d'engrais avec les pratiques culturales sur ces *tanety* accentuent la baisse de fertilité des sols et provoquant ainsi une baisse de rendement (BRL, 2010 ; Ramahatoraka *et al.*, 2011). Ainsi, il faut donc changer de comportement, innover en proposant une autre façon de produire, de nouveaux systèmes de culture fondés plus sur les processus naturels, pour répondre à la fois au besoin de sécurité alimentaire et une gestion plus équilibrée des ressources naturelles. Dans cette optique, des systèmes de culture tels que les semis directs sur couverture végétale permanente (SCV), aussi dénommés Agriculture de Conservation (AC) ont été mis au point.

[1] Global Rice Science Partnership
[2] D'après la statistique de la Direction Régionale pour le Développent Rural Alaotra Mangoro (2015)
[3] Bas-fonds exondés
4 Versants de colline : partie sommitale ou glacis.

Le SCV se repose sur trois principes à savoir la minimisation de la perturbation du sol, la couverture permanente du sol et les successions culturales diversifiées selon la définition de l'Organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture (www.fao.org, 2015). Par le biais du minimum de perturbation du sol, l'AC assure une minéralisation plus lente et progressive de l'azote organique du sol permettant ainsi d'augmenter significativement les stocks de carbone et azote organique du sol par rapport aux systèmes avec travail du sol (Six *et al.*, 2002 ; Bayer *et al.*,2006 ; Matlas, 2007). En effet, le système de culture conventionnel stimule la minéralisation du N organique du sol: par un effet direct sur l'oxygénation du sol qui accélère la minéralisation (Balesdent *et al.*, 2000) et par un effet indirect sur la diminution de la stabilité des agrégats (Balesdent *et al.*, 2000 ; Paustian *et al.* ,2000 ; Six *et al.*, 2002 ; Matlas, 2007). De plus, l'enracinement rapide et profond des plantes de couverture introduites dans les rotations culturales diversifiées, comme le cas du stylosanthes sont capables de prélever une partie de l'eau drainée et des nitrates lixiviés en profondeur du profil cultural. Ceux-ci permettent une amélioration de la production agricole par l'optimisation des ressources naturelles disponibles sur le court et le long terme. Les plantes de couverture se voient donc conférer différents rôles de recyclage de l'eau, de divers éléments nutritifs solubles et de la matière organique du sol à travers les mécanismes et les facteurs de la décomposition des paillis (Scopel *et al.*, 2005). Sans oublier aussi que les légumineuses en tant que plantes de couvertures sont fixatrices d'azote atmosphérique par le biais des nodosités entrainant ainsi une évolution positive des stocks d'azote total pour la culture suivante. Et enfin, le mulch ou couverture permanente du sol, par un effet à long terme du SCV, a une plus grande protection pour l'azote organique du sol. En ce qui concerne la couverture permanente du sol, la minéralisation des résidus de la plante de couverture est relativement lente et limitée de par leur localisation en surface. Ce qui permet de maintenir une biomasse importante sur le sol plus longtemps et une alimentation continue des plantes cultivées (Husson *et al.*, 2008 et 2010). Ainsi, les systèmes en SCV augmentent la fourniture d'azote à la culture commerciale sur le long terme grâce à la minéralisation lente des mulch et à l'augmentation du pool d'azote organique dans le sol sans immobilisation notable par les microorganismes (Balesdent *et al.*, 2000; Maltas *et al.*, 2009 ; Krishna *et al.*,2012).

Dans la région du Lac Alaotra, les systèmes SCV ont été introduits dès 1998 dans une contexte de pression agricole lié aux pratiques d'agriculture minière sur tanety (Devèse, 2007 ; Penot *et al.*, 2012). Et depuis ce temps, de nombreuses recherches sur l'étude des fonctions agro écologiques des systèmes SCV ont été réalisées afin d'assurer la diffusion de ces techniques auprès des producteurs. Toutefois le taux d'adoption reste faible. Et en 2013, 40% des paysans adoptants ont abandonné les pratiques SCV. En effet, 44% des surfaces cultivées en SCV sur tanety sont reconverties en système conventionnel contre 38% sur *baiboho* (Fevre et Flodrops, 2014).

Ainsi, les producteurs rencontrent diverses contraintes dans l'application des techniques en SCV. Cette étude a été réalisé afin d'apporter des éléments techniques en ce qui concerne l'efficacité des systèmes en SCV, notamment en terme d'amélioration de la nutrition azotée de la culture. Elle a été menée dans le cadre du projet ABACO (Agroecology-Based Aggradation-COnservation agriculture). Il s'agit d'un projet de recherche visant à l'étude et au développement de système SCV pour lutter contre la dégradation des sols et l'instabilité de la production.

Une question centrale se pose ainsi, ***l'Agriculture de Conservation permet-elle une meilleure fourniture en azote au riz, quantité et disponibilité, que les systèmes de culture conventionnels ?***

L'***objectif principal*** de cette étude est de caractériser les effets des systèmes en SCV sur la dynamique de l'azote. Et les objectifs spécifiques consistent à :

- Faire le suivi de la précipitation durant cette campagne afin d'en expliquer ses éventuelles relations avec la dégradation des résidus et la dynamique de l'azote minéral du sol
- Faire le suivi de la dégradation de deux types de mulch suivant deux modes de gestion du sol et deux niveaux d'enherbement de la parcelle.
- Evaluer la disponibilité de l'azote minéral entre l'horizon de surface et l'horizon de profondeur

Pour mieux répondre à la question centrale et afin d'atteindre les objectifs cités précédemment, deux hypothèses ont été avancées :

- **Hypothèse 1 :** Les modes de gestion du sol, les types de couverture, les niveaux d'enherbement de la parcelle et les conditions climatiques influent sur la vitesse de dégradation des résidus.
- **Hypothèse 2 :** Les stocks d'azote minéral dans le sol diffèrent entre les types de résidus, les modes de gestion du sol ainsi que les niveaux d'enherbement de la parcelle en fonction du temps et de la pluviométrie affectant ainsi le rendement en paddy.

Le présent manuscrit sera structuré en trois grandes parties, à savoir, les matériels et méthodes utilisés pour l'étude dans un premier temps. Ensuite, la présentation et l'interprétation des résultats de l'expérimentation seront évoquées. Et enfin, la discussion des résultats obtenus.

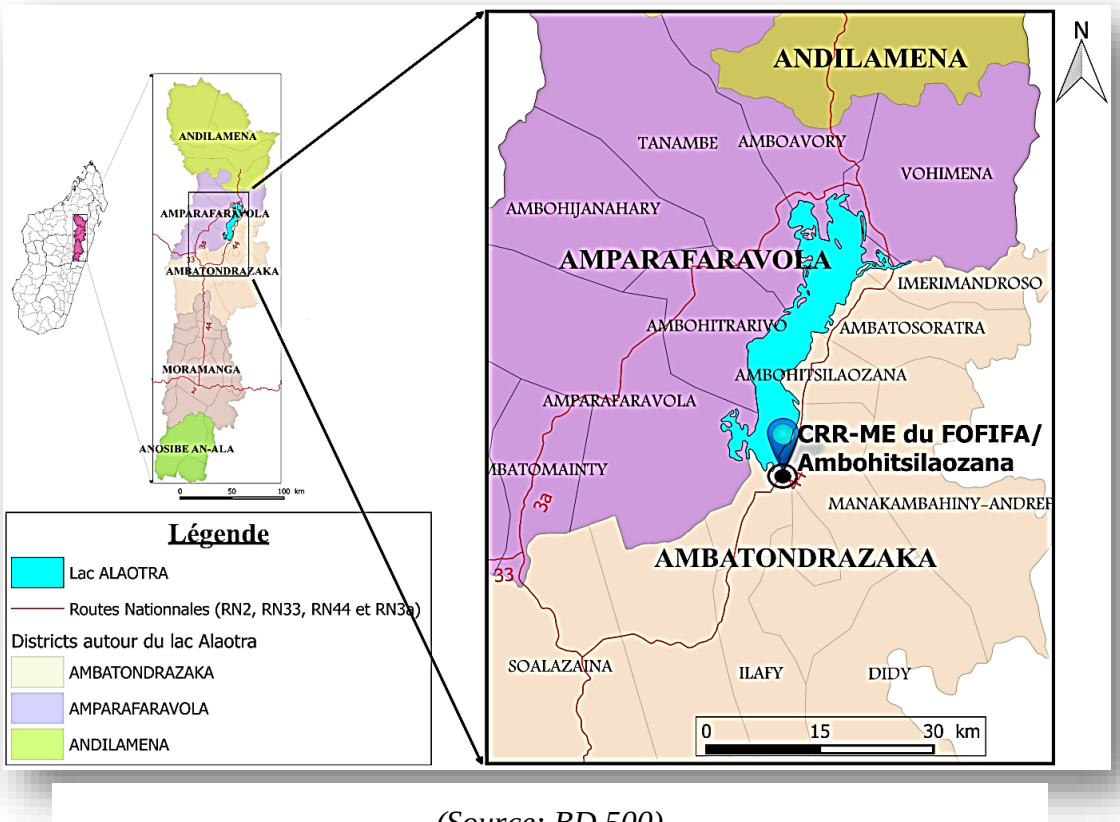
Partie 1 : MATERIELS ET METHODES

Partie 1. MATERIELS ET METHODES

1.1 Zone d'étude : La zone du lac Alaotra

L'étude a été réalisée dans le Centre Régional de Recherche du Moyen-Est (CRR-ME) du FOFIFA à Ambatondrazaka. Il se situe à 15 Km au nord de la ville d'Ambatondrazaka sur la Route Nationale n°44 dans la commune rurale d'Ambohitsilaozana, district d'Ambatondrazaka et région Alaotra Mangoro. Avec une superficie de 330 Ha en bordure de la rive Sud-Est du Lac Alaotra, le centre dispose de cinq (05) programmes de recherche dont l'amélioration variétale du riz, l'unité de production de semences (UPS), la Collection variétale, l'agrotechnie et l'entomologie (Annexe 1). Différents projets de recherche opèrent également dans le CRR-ME dont le Projet ABACO

La zone du Lac Alaotra se situe entre 17°38' latitude Sud et 48°30' de longitude Est dans la région Alaotra-Mangoro. La région est administrativement divisée en cinq (05) districts dont Anosibe An'Ala, Moramanga, Amparafaravola, Andilamena et Ambatondrazaka. (Figure 1)



(Source: BD 500)

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

1.1.1 Climat

La zone du lac Alaotra bénéficie d'un climat tropical d'altitude. La courbe ombrothermique de GAUSSEN « P=2T » (figure 2) a été élaborée d'après des données climatiques des dix dernières années de 2003 à 2013 enregistrées dans la station météorologique du CRR-ME du FOFIFA à Ambohitsilaozana (annexe 5). Elle a permis de caractériser les deux saisons nettement contrastées ainsi que les mois secs et humides de l'année dans cette zone.

Ainsi, les mois humides de Novembre à Mars caractérisent la saison chaude et humide. Le maximum de pluie s'observe en mois de février avec 251 mm en moyenne et le mois le plus chaud est le mois de décembre avec une température de 24,3°C en moyenne. Et les mois secs s'étendent du mois d'Avril à Octobre avec une précipitation minimale en mois d'Aout d'environ 6 mm en moyenne et une température minimale de 17,9°C en juillet

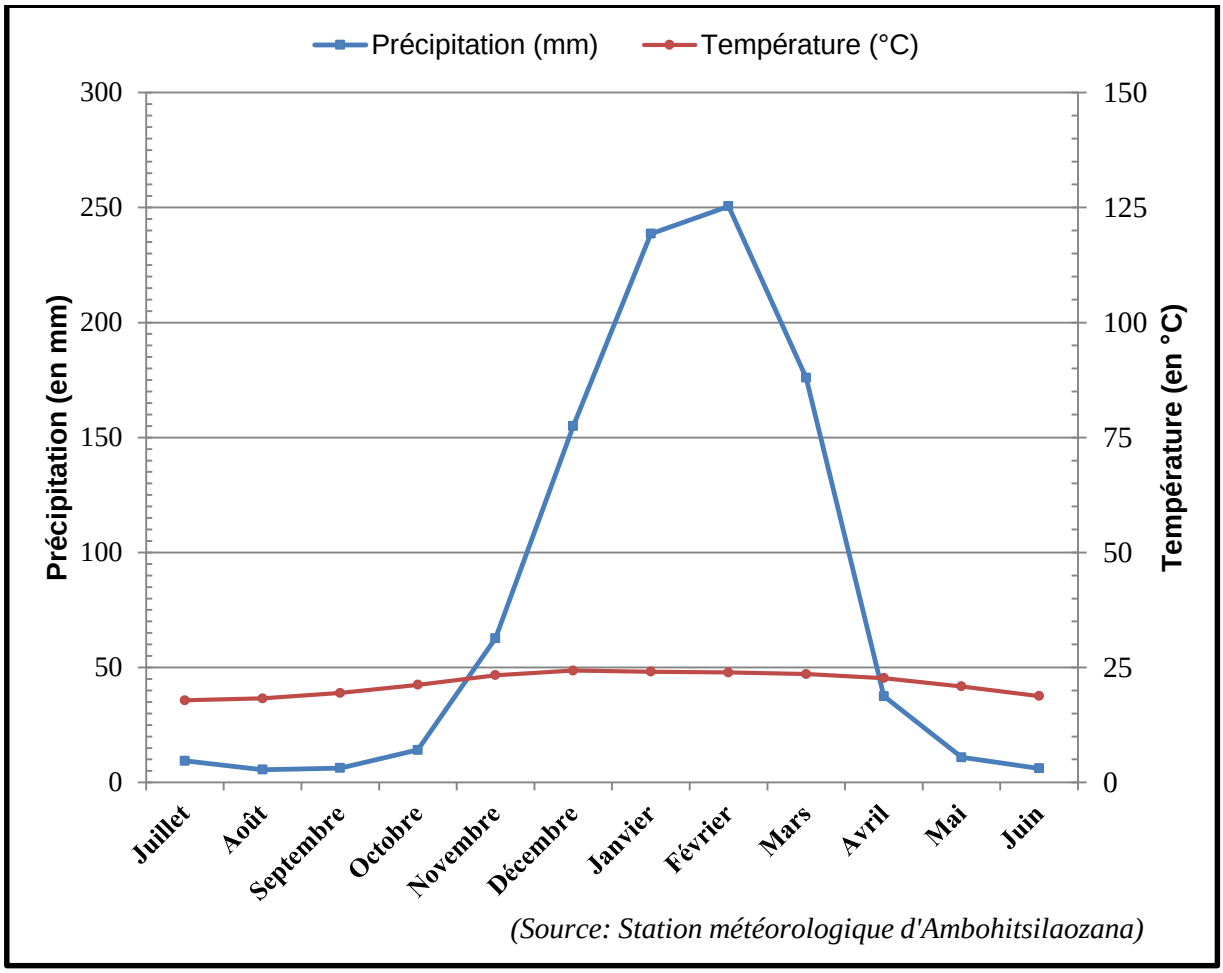


Figure 2 : Courbe ombrothermique de la Région du Lac Alaotra de 2003 à 2013

1.1.2 Relief

Dans l'ensemble, la zone du Lac Alaotra est implantée entre « la falaise de l'Angavo » à l'Ouest et « la falaise Betsimisaraka » à l'Est. Elle se présente ainsi comme une cuvette surmontée par des escarpements de montagnes.

La région est caractérisée 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 786 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 avec 70 km de long et environ 30 km de large. 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. (PRD[5], 2005)

1.1.3 Sol

Au niveau des bassins versants de l'Alaotra, les études pédologiques effectuées montrent que les sols sont de type ferralitique et caractérisés par la présence, en surface, d'une couche latéritique d'épaisseur variable (10 à 50 cm selon les endroits) reposant sur une roche mère en décomposition et sans aucune cohésion. Ces sols sont particulièrement sensibles et favorables à l'érosion en *lavaka*[6] et qui ne présentent aucun intérêt agricole. Ces lavaka se trouvent à l'origine d'un fort ensablement des cuvettes.

Sur les plaines fluvio-lacustres, les sols sont de type hydromorphes moyennement organiques, à texture très argileuse fine, aptes à la riziculture et sols hydromorphes tourbeux ayant une aptitude bonne à moyenne pour la riziculture inondée, moyenne pour l'agriculture de contre-saison sans irrigation.

Concernant l'étude, elle a été réalisée sur un bas de pente avec des sols ferralitiques jaunes et rouges à texture limono-argileux, associés à des sols peu évolués d'érosion à sable grossier (PRD, 2005 ; TBER[7], 2009). Le tableau 1 montre les caractéristiques du site d'expérimentation.

Tableau 1 : Caractéristiques principales du dispositif « CALA » d'après l'analyse du sol en 2009 par le laboratoire des radio-isotopes (LRI) dans l'horizon 0-20 cm

Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	pH eau	K ech ($mg.kg^{-1}$)	CEC[1] (meq/100g)	C.O[2] ($g.kg^{-1}$)	N total ($g.kg^{-1}$)
31.3	**41.8**	26.8	5.2	383.5	8.5	35.5	4.3

[1]*Capacité d'échange cationique en milliéquivalent/100g*
[2]*Carbonne organique*

[5] Plan Régional de Développement de l'Alaotra Mangoro
[6] Une énorme cavité creusée dans le flanc de la colline suite à un processus d'érosion en ravin
[7] Tableau de Bord Environnemental Régional de l'Alaotra Mangoro

1.2 Dispositif expérimental

1.2.1 Dispositif « CALA »

Le dispositif expérimental a été mis en place depuis 2009 et est situé à environ 2km du CRR-ME Ambohitsilaozana. Il a fait l'objet de suivi des processus biophysique avec des facteurs contrôlés dans le cadre de l'étude des systèmes en Agriculture de Conservation.

C'est un dispositif à 4 blocs de répétition avec :

- *2 systèmes de culture* caractérisés par des rotations culturales:
    - *Une rotation biennale* caractérisée par une association de Maïs + Dolique suivie du Riz (M+D//R) et
    - *Une rotation triennale* dont l'association de Maïs + Stylosanthes suivie d'une jachère améliorée de Stylosanthes puis le Riz (M+Stylo //Stylo//R) ;
- *3 modes de gestion de sol et de couvertures* : Labour sans restitution des résidus (LSR), labour avec restitution des résidus (LR) et le système SCV ;
- *2 niveaux de fertilisation :* pas de fertilisation (F1) et avec apport de 5T/ha de Fumier + 100kg/ha de NPK + 100kg d'Urée en deux apport (F2); et
- *2 niveaux d'enherbement* de la parcelle : une parcelle maintenue propre en terme d'adventice (NE) et une parcelle enherbée (E) sur laquelle on va laisser les adventices se développer avant de les sarcler.

Ces facteurs étudiés représentés par des modalités sont totalement randomisés dans le dispositif. Soit au total 240 parcelles de 10m X 5m chacune. La délimitation a été faite en fonction des modes de gestion des sols, des systèmes de culture et des niveaux de fertilisation et d'enherbement des parcelles. *(Figure 3)*

1.2.2 Les traitements étudiés

Cette étude a été réalisée sur les parcelles de riz dans les deux systèmes de cultures, sans apport de fertilisants (F1), menée en SCV ou en labour et avec les deux niveaux d'enherbement cités précédemment.

Au total 32 parcelles de 10m X 5m chacune du dispositif principal ont été suivies dont les caractéristiques sont récapitulées dans le tableau 2 de la page suivante.

Pour mener à bien l'étude sur les 32 parcelles *(figure 3),* le dispositif a été ramené à un bloc de Fisher constitué de 4 blocs de répétition. Trois facteurs ont été étudiés: les deux facteurs randomisés "mode de gestion du sol" et "système de culture" et le facteur en split qui est l'"enherbement". Les facteurs sont répartis au hasard dans le dispositif.

Tableau 2 : Caractéristiques des parcelles étudiées

Mode de gestion du sol	Type de mulch	Etat d'enherbement des parcelles	Fertilisation	Nombre de parcelle
SCV	Stylosanthes	E	F_1	4
SCV	Stylosanthes	NE	F_1	4
SCV	Maïs+dolique	E	F_1	4
SCV	Maïs+dolique	NE	F_1	4
LAB	Stylosanthes	E	F_1	4
LAB	Stylosanthes	NE	F_1	4
LAB	Maïs+dolique	E	F_1	4
LAB	Maïs+dolique	NE	F_1	4

LAB : système labouré ; **E :** enherbée ; **NE :** non enherbée (Propre) ; F_1 : sans fertilisation

Quant à la culture principale, le riz pluvial de variété B22 (fotsiambo) a été utilisé. Il s'agit d'une lignée introduite en 1987 obtenue par CIRAD et le FOFIFA, à cycle variant entre 155 et 160 jours selon les conditions pédoclimatiques. C'est une variété qui s'adapte bien aux conditions pédoclimatiques de la zone (FOFIFA, 2014)

Le semis a été réalisé le 28 et 29 novembre 2013 avec une interligne de 20cm et un interrang de 40cm (20cm x 40cm) dont chaque poquet contient environ 8-9 grains. En somme, la quantité de semences utilisées est de 60-90Kg à l'hectare.

Et concernant les paillages pour les couvertures permanentes du sol, le maïs (*Zea mays*) +Dolique (*Dolichos lablab*) et le *Stylosanthes guianensis* ont été utilisés durant cette étude. Il s'agit de résidus de culture issus des deux rotations culturales (M+D//Riz et M+Stylo//Stylo//Riz).

Le système de culture à base de maïs+ dolique est très intéressant. Il s'agit d'un système facile à réaliser et à forte production de biomasse (Husson et a*l.*, 2009). Il est adopté par certains producteurs de la région du Lac Alaotra pour les parcelles sur tanety. En ce qui concerne le système à base de stylosanthes, il présente l'avantage de produire une importante biomasse avec une faible exigence en intrant. Il est apparu durant la campagne 2005-2006 mais s'est surtout développé à partir de 2007 (Fevre et Flodrops, 2014)

Les plantes de couvertures se développant sur la parcelle durant l'intersaison fait l'objet d'un fauchage un mois avant le semis puis laissées en surface pour les parcelles en SCV *(figure 3).*

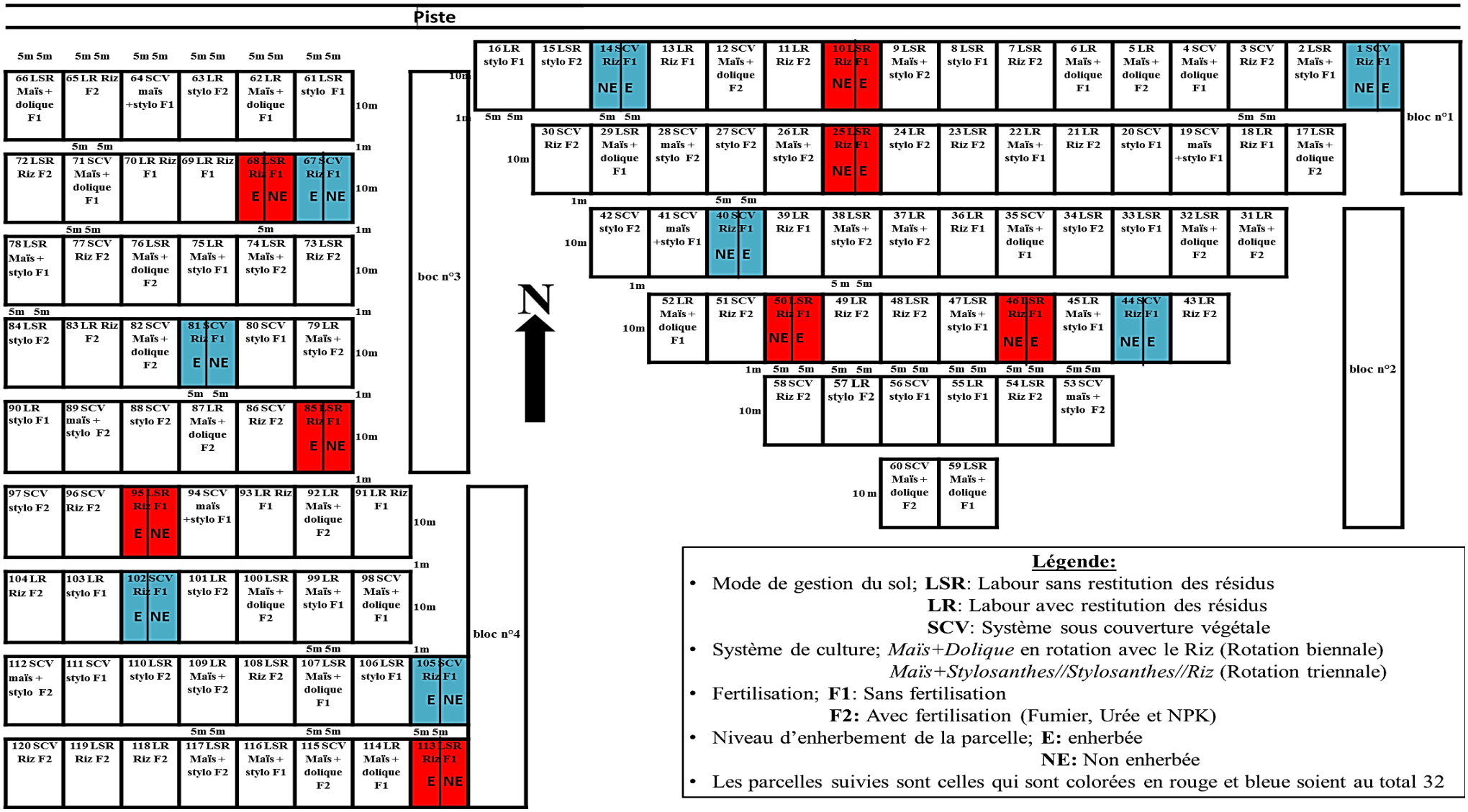


Figure 3 : Plan du dispositif principal pour la saison culturale 2013-2014

1.3 Conduite de l'expérimentation

1.3.1 Mesures et prélèvements sur terrain

1.3.1.1 Mesure journalière de la pluviométrie

Il est important de connaître la variation de la pluie durant l'expérimentation. Un pluviomètre à bague a été installé afin de mesurer directement les quantités de pluie sur le dispositif (cliché 1). Il s'agit d'un pluviomètre à mesure directe, gradué de 0 à 40 mm. Ceci permet d'expliquer les relations entre la quantité pluviométrique, la dégradation des résidus et la dynamique de l'azote dans le profil cultural. Les mesures ont été faites journalièrement et la quantité de pluie en mm a été relevée à chaque évènement de pluie.

Cliché 1 : Pluviomètre à bague placé près des parcelles

1.3.1.2 Evaluation de la biomasse résiduelle

L'évaluation de la biomasse résiduelle consiste à estimer la quantité de résidus présente sur chaque parcelle avant la saison culturale. Ceci permet d'évaluer les quantités de résidus à mettre dans les litter bag (LB) pour le suivi de la dégradation des résidus. Pour ce faire, quatre placettes de 1m² sont disposées dans chaque parcelle. Les résidus dans chaque placette sont coupés au ras du sol et pesés pour avoir le poids frais. Les résidus de maïs et dolique sont séparés afin de déterminer leur proportion respective. Ensuite, un échantillon composite de 500 g est prélevé et passé à l'étuve à 60°C pendant 48 heures pour avoir la teneur en matière sèche (MS). Après passage à l'étuve, l'échantillon est mis dans une enveloppe kraft pour la détermination de la teneur en azote total plus tard.

1.3.1.3 Suivi de la dégradation des mulch avec la méthode Litter Bag (LB)

Cette partie de l'étude consiste à suivre la dégradation des résidus suivant 2 systèmes de culture, 2 modes de gestion du sol (SCV et Labour) et 2 niveaux d'enherbement soit 8 traitements.

- Description des LB

Pour suivre la dégradation des résidus durant la saison culturale, des LB ont été utilisés. Il s'agit d'une toile moustiquaire synthétique de 1 mm x 1 mm de maille et d'une dimension de 20 cm x 25 cm créée avec du fil plastique et dont la surface utile est de 0,05 m² (Cliché 2).

- Remplissage des LB

Les LB ont été remplis soit par des résidus de stylosanthes, soit par des résidus de l'association maïs + dolique selon le système de culture. Les quantités de résidus ont été issues des valeurs de l'estimation de la biomasse résiduelle sur les parcelles ramenées à la superficie des LB. Dans cette étude, le remplissage des LB a été réalisé du 16 à 26 novembre 2013 soit environ 2 semaines avant le semis.

- Mise en place et prélèvement des LB

Vingt-quatre LB par parcelle sont constitués au départ. Ils sont répartis et disposés au hasard dans chaque parcelle juste après le semis.

Pour les parcelles en SCV, les LB sont posés à la surface du sol de manière à bien représenter la disposition du mulch à la surface de la parcelle. Ils sont fixés à l'aide des clous (Cliché 2). Quant aux parcelles en labourées, les LB sont enfouis dans le sol à environ 10cm de profondeur et sont repérés par un fanion relié avec un fil (Cliché 3).

Cliché 2 : LB à la surface du sol sur une parcelle en SCV. Cas des résidus de Maïs+dolique

Cliché 3 : Enfouissement d'un litter bag dans le sol pour une parcelle en Labour

Les LB ont étés prélevés régulièrement du semis à la récolte avec un intervalle moyen de 10 jours (Figure 4).

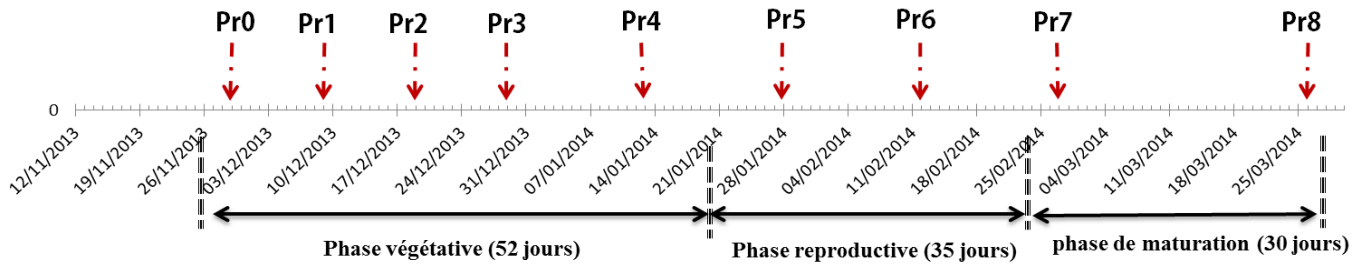


Figure 4 : Les dates de prélèvement des LB

Une fois arrivé au laboratoire, le contenu des LB est nettoyé de façon à le débarrasser de la terre adhérente et de la matière végétale susceptible de s'attacher ou de pousser à l'intérieur. Ce contenu est par la suite passé à l'étuve à 60°C pendant 48 heures et pesé.

- Perte en masse

La dégradation des mulch dans les LB a été caractérisée par sa perte en masse entre deux dates de prélèvement. Ainsi, elle se traduit par la différence entre le poids du contenu des LB à deux dates successives.

1.3.1.4 Suivi de la dynamique de l'azote minéral dans le profil cultural

Cette partie de l'étude consiste à évaluer la disponibilité de l'azote minéral entre l'horizon de surface et l'horizon de profondeur suivant le système de culture, la mode de gestion du sol et le niveau d'enherbement de la parcelle à différentes stades du riz.

- Méthodes de prélèvement

Le prélèvement de sol a été réalisé à cinq stades du riz dont la levée, le stade tallage, le stade initiation paniculaire, le stade floraison et à la maturité du riz

La dynamique de l'azote a été évalué sur un profil allant de la surface jusqu'à 90 cm de profondeur. Ainsi, le sol a été prélevé à 5 horizons du sol : 0 à 10 cm, 10 à 20 cm, 20 à 30 cm, 30 à 60 cm et 60 à 90 cm à l'aide de 3 tarières à gouge de différentes dimensions (cliché 4)

A chaque date, 5 prélèvements élémentaires par profondeur sont réalisés par parcelle en utilisant les placettes d'observation comme repère (figure 5). Ainsi, une carotte de sol est d'abord prélevée successivement sur les cinq points repérés par sondage à la tarière.

Les carottes de sol prélevées pour le même horizon en chaque point sont recueillies dans un seau métallique. Elles sont mélangées puis un échantillon moyen de 150 à 300 g est prélevé dans un sachet portant une étiquette (numéro et enherbement de la parcelle + profondeur du prélèvement).

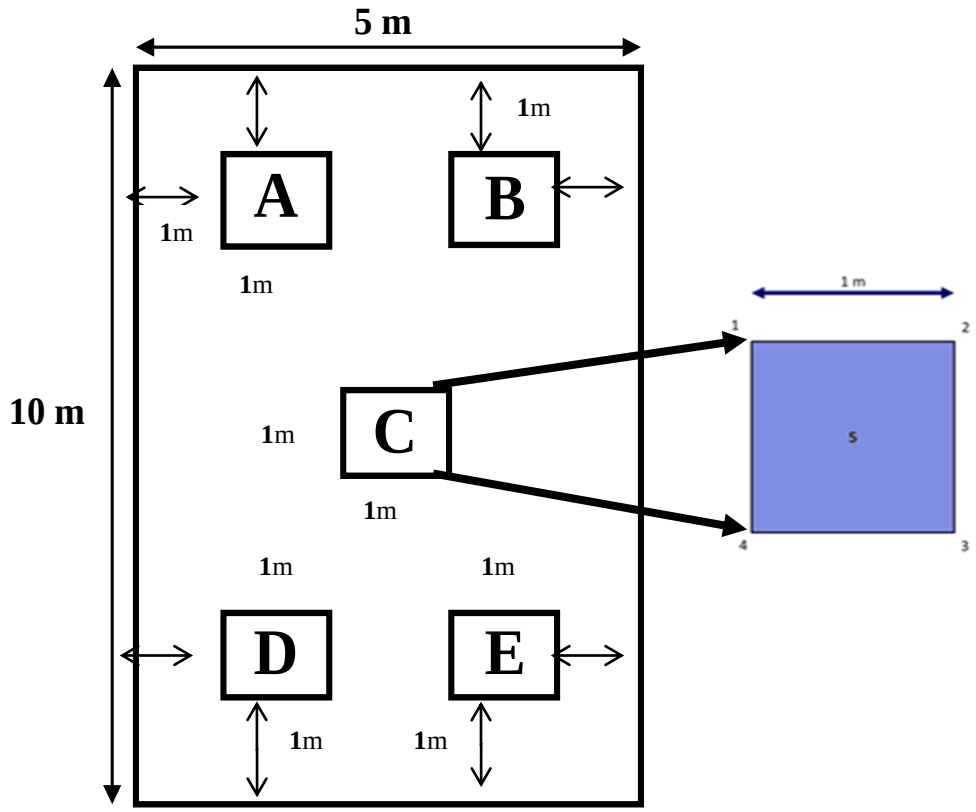


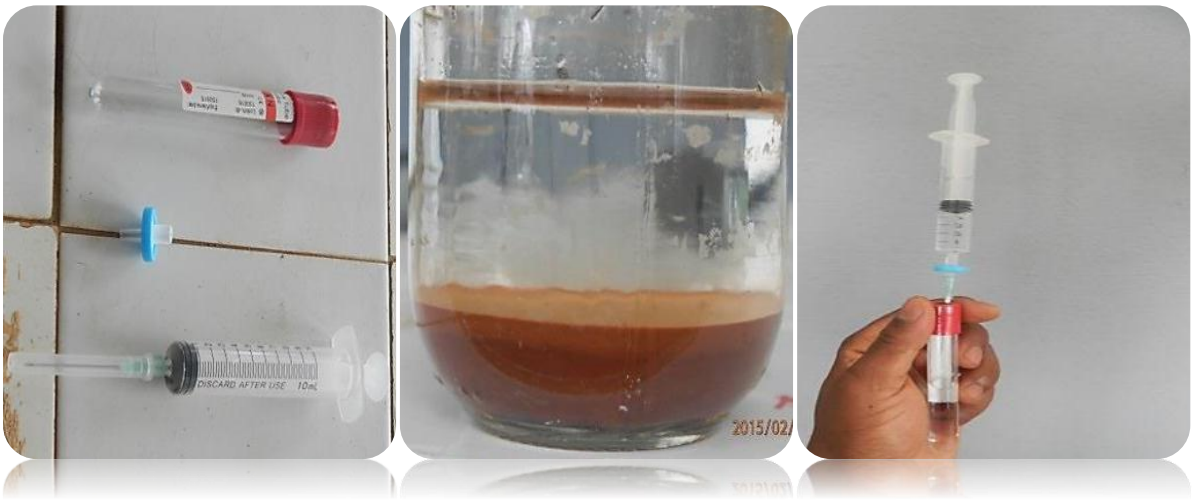
Figure 5 : Parcelle élémentaire avec les placettes d'observations (A, B, C, D et E) et les points de prélèvements de sol; Les numéros 1 à 5 correspondent à l'emplacement des prélèvements aux 5 dates de mesures.

Cliché 4 : Les différentes tarières pour le prélèvement

A gauche pour le prélèvement du sol à la profondeur de 60-90cm
Au centre : 30-60cm
A droite pour les profondeurs 0-10, 10-20 et 20-30cm

- Travaux de laboratoire : Extraction dans le laboratoire de CRR-ME du FOFIFA Ambohitsilaozana et dosage de l'azote minéral

A partir de l'échantillon mis en sachet depuis le dispositif expérimental, une aliquote de 50g est passée à l'étuve à 105°C pendant 24 heures pour avoir la teneur en matière sèche du sol. Une autre aliquote de 30g précis sera prélevé de l'échantillon et mise directement dans 100 ml de solution de chlorure de potassium (KCl 2N). Ensuite, le mélange est agité à l'aide d'un caisson en bois pendant une heure. Après une décantation d'au moins une heure, la solution surnageante est récupérée à l'aide d'une seringue et d'une aiguille à usage unique puis injectée au travers d'un filtre « *minisart 0,2µm* » de porosité et conditionnée dans un tube stérile (*cliché 5*) de 10 ml pour un dosage colorimétrique automatique selon la réaction de Berthelot pour l'azote ammoniacal N-NH_4^+ et celle de Griess après réduction des nitrates en nitrites sur colonne de cadmium pour l'azote nitrique N-NO_3^-.



A **B** **C**

Cliché 5 : Méthode d'extraction au KCl 2N

A : Respectivement, Venoject 10ml, Filtre à seringue et Seringue à usage unique ;

B : Le filtrat (Sol + KCl 2N) après une décantation d'au moins 1heure. Le surnagent clair est récupéré

C : Injection du surnagent clair dans le venoject à l'aide d'une seringue au travers d'un filtre à seringue

1.3.1.5 Mesure du rendement en riz

Le rendement en riz ainsi que les composantes du rendement dans les 5 placettes d'observation (A, B, C, D et E) dans la figure 5 ont été mesurés à la fin du cycle. Il est issu directement du pesage des grains contenant dans chaque placette suivi d'une extrapolation en T/ha. Ceci dans le but d'approcher de la réalité du fait que le rendement issu des composantes du rendement est surestimé.

1.3.2 Traitement des données

Pour chacune des mesures effectuées sur le terrain, les données brutes ont été saisies sur un tableur Microsoft Excel. Ensuite, elles sont analysées statistiquement par le logiciel XLSTAT 2014.5.3.

Les données sur les pertes en masse, la teneur en N minéral et le rendement en riz ont fait l'objet d'une analyse de variance pour voir les effets des traitements. Pour assurer la validité de l'ANOVA, les données qui ne suivaient pas la loi normale ont subies une transformation logarithmique. Les moyennes des traitements sont par la suite comparées par un test de Fisher à plus petite différence significative au seuil de probabilité $p = 0,05$

Le cumul de la précipitation et la perte en masse exprimée en pourcentage des résidus dans les LB sont soumis à un test de corrélation de type *Pearson*. Ce test a été par la suite couplé à une régression linéaire afin d'avoir le coefficient de détermination R^2 et la courbe de tendance linéaire entre ces deux facteurs.

Partie 2 : RESULTATS ET INTERPRETATION

Partie 2. RESULTATS ET INTERPRETATION

Conformément à la partie des matériels et méthodes et plus précisément dans la conduite de l'essai, les résultats traités dans cette deuxième partie se rapportent aux points suivants :

- La mesure de la pluviométrie durant le cycle cultural
- L'estimation de la biomasse résiduelle par parcelle avant la mise en place de la culture;
- Le suivi de la dégradation des résidus de culture suivant les systèmes de culture adoptés, les modes de gestion du sol et les niveaux d'enherbement de la parcelle ;
- La dynamique de l'azote minéral dans le profil cultural de 0 à 90 cm de profondeur.
- Le rendement en paddy selon les traitements.

2.1 Variation de la pluviométrie durant l'expérimentation

Les relevés pluviométriques journaliers sur le dispositif expérimental sont récapitulés dans la figure 6. Il s'agit d'une superposition de la pluviométrie durant le cycle cultural du riz avec les huit prélèvements des LB et les cinq prélèvements du sol durant l'expérimentation (annexe 4)

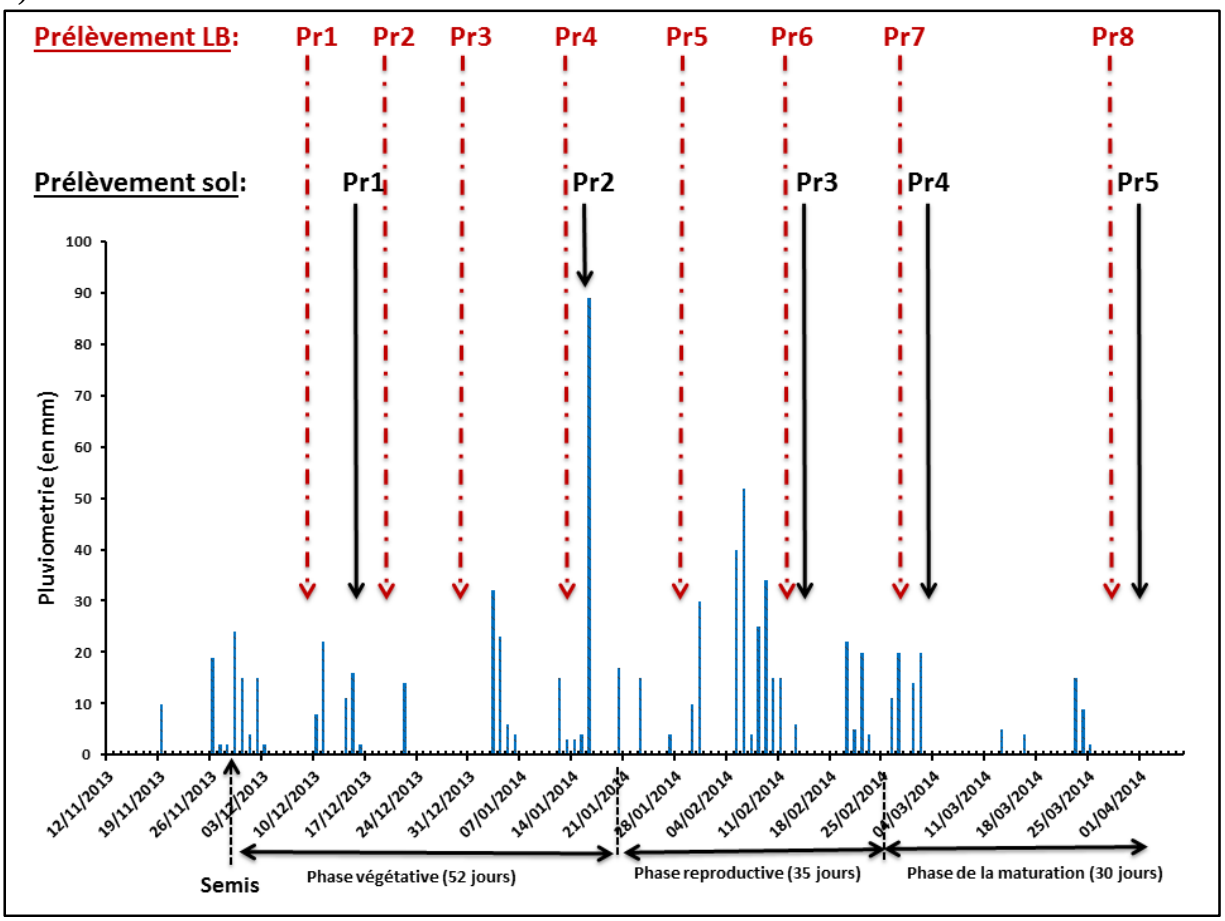


Figure 6 : Prélèvements (Pr) de LB avec les précipitations relevées durant l'expérimentation

La pluviométrie totale durant le cycle cultural du riz pluvial est de 763mm. Le maximum de pluie est observé le 16 janvier 2014 avec 89 mm. L'évolution de la précipitation montre une alternance bien distinguée de périodes sèches et humides.

Pour le cas des prélèvements des LB, les quatre premiers prélèvements ont été faits durant la phase végétative du riz, tandis que le 5ème et le 6ème prélèvement dans la phase reproductive. Les deux derniers prélèvements ont été effectués dans la phase de la maturation du riz. A chaque date, 3 LB par parcelle ont été prélevés.

En ce qui concerne les prélèvements du sol, le cumul de la quantité pluviométrique au P1 est de l'ordre de 119 mm. La plus grande quantité pluviométrique se trouve entre P2 et P4. En effet, entre les prélèvements P3 et P4, la pluie enregistrée est de 116 mm repartit huit jours sur dix-sept. Les événements de pluies commencent à diminuer seulement après le P4. . En effet, 35 mm de pluie seulement a été enregistré en 33jours avec une répartition irrégulière (5/33jours).

2.2 Quantité de la Biomasse résiduelle de la campagne 2012-2013

La figure 7 ci-dessous illustre la quantité de biomasse produite par les cultures précédentes.

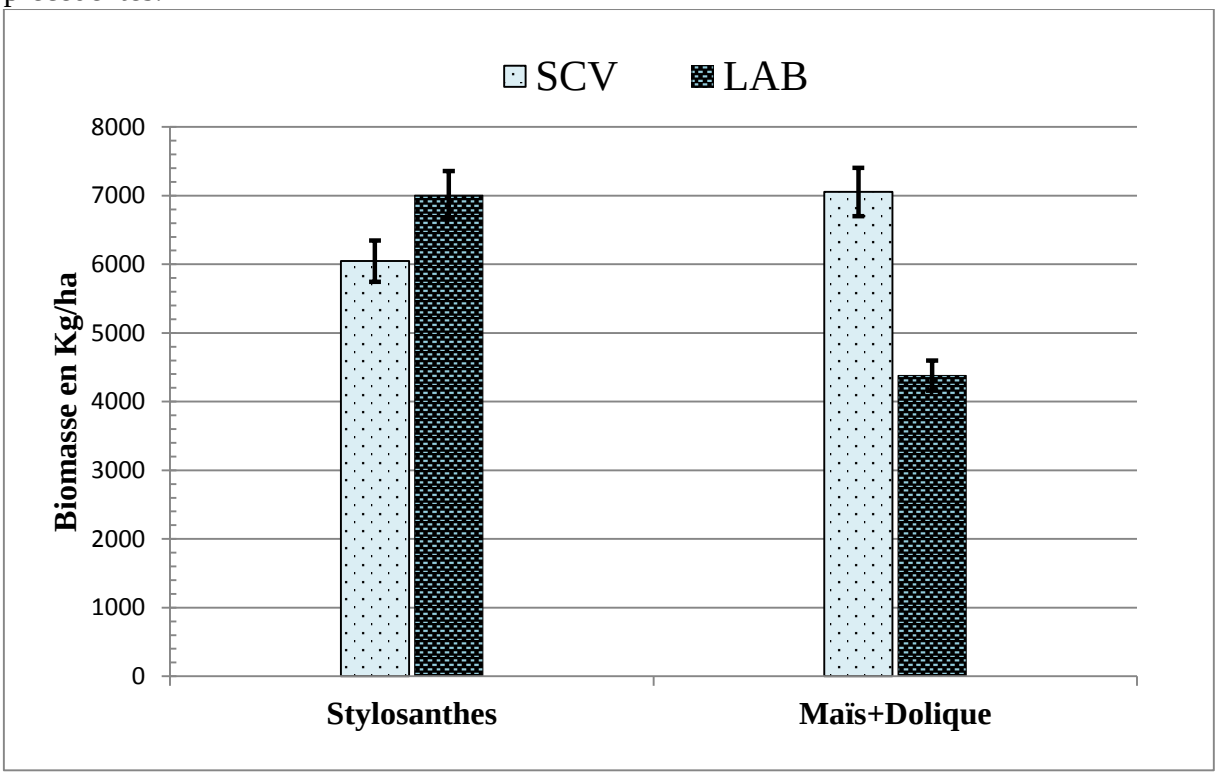


Figure 7 : Quantité des résidus sur les parcelles en kg.ha^{-1} suivant les deux modes de gestion du sol (SCV : sans labour, LAB : Labour) et les deux types de résidus de culture pour la campagne 2013-2014

D'après cette figure, la quantité des résidus sur les parcelles varie suivant les types de résidus et le mode de gestion des sols. Pour le cas du stylosanthes de la rotation triennale

(M+S//S//R), il y a un écart positif de 962Kg/ha entre le système labouré et le système SCV. Autrement dit, le développement du Stylosanthes est plutôt favorisé par le labour.
En ce qui concerne la rotation biennale, l'association Maïs avec dolique, le système en SCV offre plus de résidus par rapport au système conventionnel avec un écart de 2674Kg/ha. Les proportions respectives du Maïs et la dolique sont de 62,09% et de 37,91%.

Cette estimation nous a permis de calculer les quantités de résidus à insérer dans les LB (0,05m²) pour le suivi de sa dégradation. Les quantités de résidus à mettre dans les LB suivant les modes de gestion du sol sont récapitulés dans le tableau 3 suivant:

Tableau 3 : Quantité de résidus dans les LB

SC	Résidus	MGS	Qté de biomasse résiduelle (Kg/ha)	Qté de biomasse pour chaque LB (g/0,05m²)
M+S//S//R	Stylosanthes	LABOUR	7008	**35,04**
		SCV	6046	**30,23**
M+D//R	Maïs + Dolique	LABOUR	4380	**21,90**
		SCV	7054	**35,27**

SC : Système de culture ; MGS : Mode de gestion du sol ; Qté : Quantité ; *(Source : Auteur)*

2.3 Dynamique de la dégradation des résidus durant le cycle cultural

2.3.1 Relation entre la vitesse de dégradation des résidus et le cumul de pluie à chaque prélèvement

La figure 8 illustre la relation entre la perte en masse exprimée en pourcentage et le cumul de pluie jusqu'au moment du prélèvement.

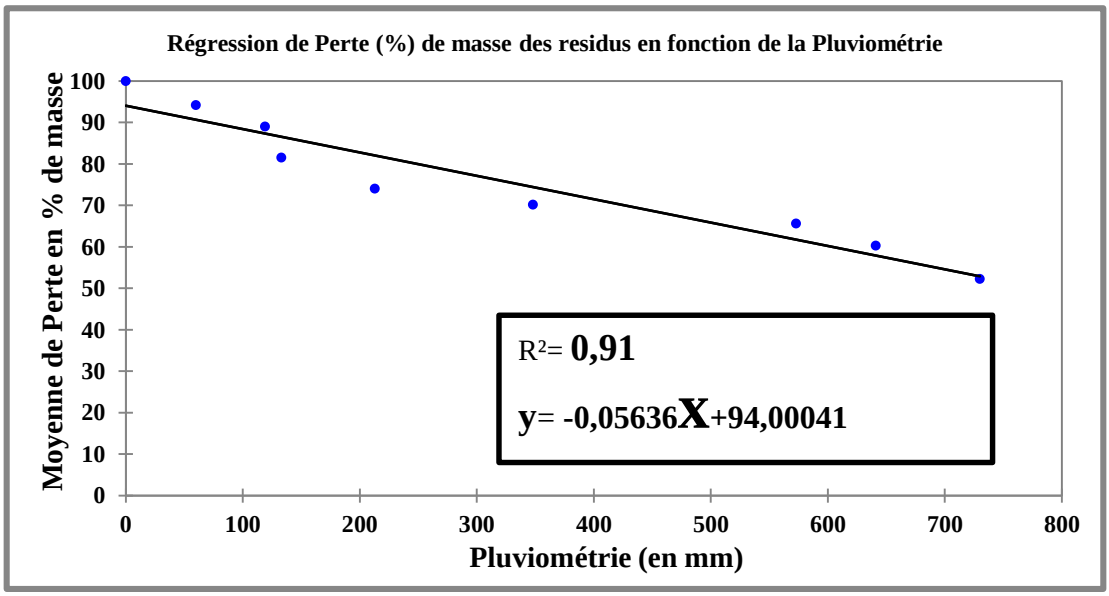


Figure 8 : Relation entre la dégradation des résidus et le cumul de pluie jusqu'au moment du prélèvement

Elle nous montre une corrélation négative très forte (**R= -0,95**). Cela signifie qu'une valeur importante de la pluie correspond à une forte dégradation des résidus donc un taux de minéralisation accrue du mulch. A tout cela s'ajoute les fortes températures durant le mois de décembre et janvier.

2.3.2 Selon les modalités testées

La figure 9 met en relation le pourcentage de perte en masse des résidus dans les LB avec le temps et suivant les facteurs étudiés.

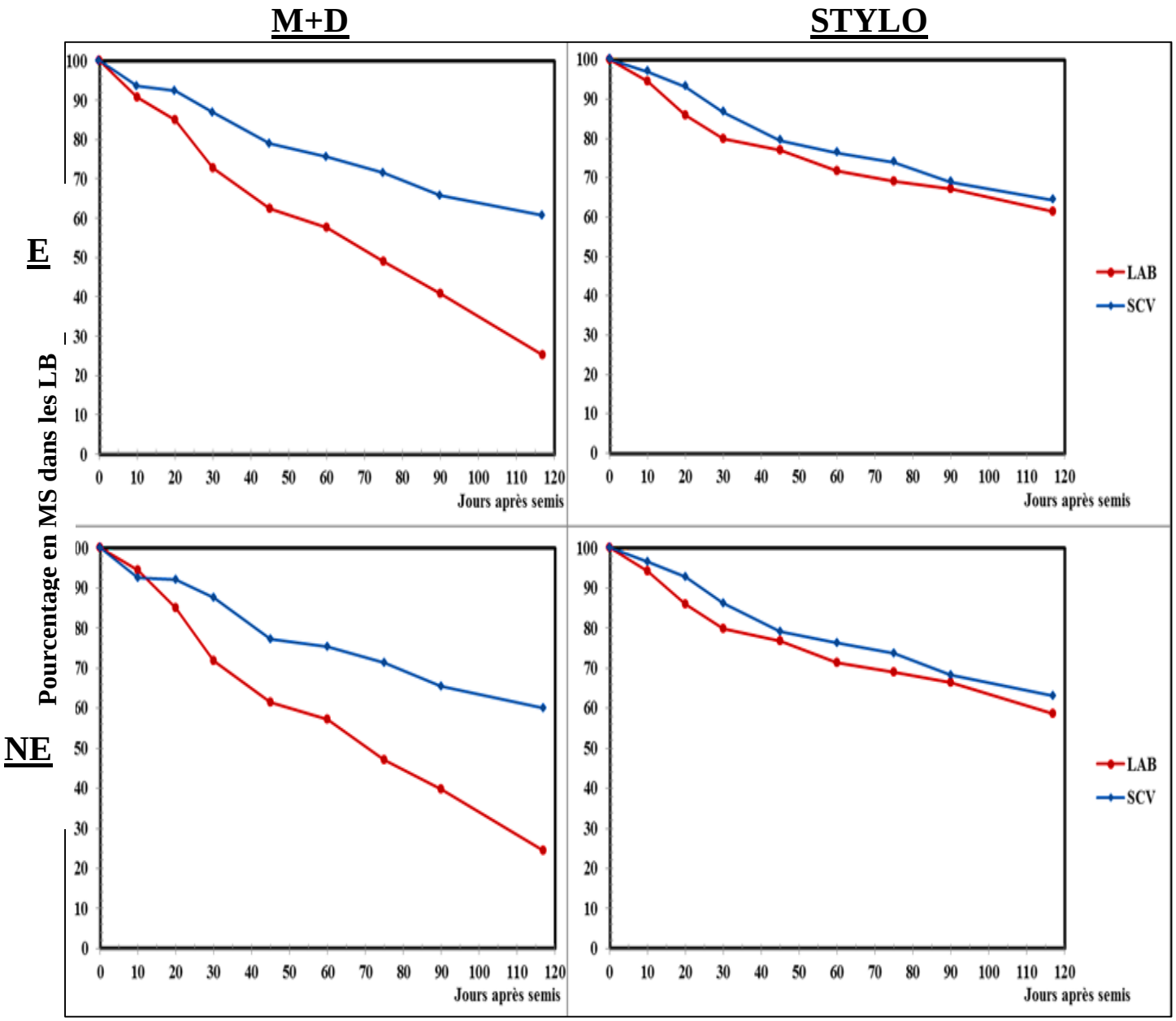


Figure 9 : Dynamique de la dégradation des résidus suivant les trois facteurs étudiés

En général, l'allure des courbes varie suivant le type de résidus (Stylo vs M+D) et le mode de gestion du sol (SCV vs LAB).

Pour le cas des résidus de Stylosanthes, la dégradation suit la même allure pour les deux modes de gestion du sol. Tandis qu'avec les résidus de M+D, la dégradation est continue du semis à la récolte pour le cas des systèmes labourés. En ce qui concerne les systèmes SCV-M+D, SCV-Stylo et LAB-Stylo, la dégradation est importante du semis à 45 jours après semis (JAS), correspondant aux 4 premiers prélèvements. A partir du 5^{e} prélèvement, la dégradation commence à se stabiliser.

Le résultat de l'analyse de variance est synthétisé dans le tableau 4 de la page suivante. Les probabilités calculées (*p*) inférieures au seuil de signification α=0,05 sont en gras. Celles-ci signifient que le facteur correspondant a une influence significative sur la cinétique de dégradation.

Tableau 4 : Analyse de la variance à partir du pourcentage de la perte de MS des résidus

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	*p* > F
MGS	1	6757,84	6757,84	245,10	< **0,0001**
SC	1	4150,34	4150,34	150,53	< **0,0001**
Enherbement	1	11,51	11,51	0,42	0,519
N° bloc	3	0,10	0,03	0,00	0,999
SC*MGS	1	2606,89	2606,89	94,55	< **0,0001**
SC*MGS* Enherbement	3	1,33	0,44	0,02	0,997
Modèle	18	79435,17	4413,06	160,05	< **0,0001**
Erreur	269	7416,95	27,57		
Total corrigé	**287**	**86852,12**			

SC (système de culture) : Maïs+dolique ou Stylosanthes ; MGS (Mode de gestion du sol) : SCV ou labour ; Enherbement : E ou NE ; DDL : Degré de liberté ; F : coefficient de Fischer-Snedecor ; *p* : seuil de probabilité pour qu'une valeur de F soit inférieure à 0,05

- ***Effets des modes de gestion du sol***

Les résultats de la comparaison des moyennes des pourcentages de perte en masse des résidus suivant les modes de gestion du sol sont récapitulés dans le tableau 5

Tableau 5 : Comparaison des moyennes des pourcentages de perte en masse des résidus selon les modes de gestion du sol

Facteurs	Modalités	Moyenne estimée du pourcentage en masse des résidus restant dans les LB	Probabilité calculée (*p*)
Mode de Gestion du Sol	SCV	81,20±0,44 (A)	< **0,0001 (S)**
	LAB	71,52±0,44 (B)	

Les chiffres suivis par des lettres différents sont significativement différents; ***p*** <0,05 (S)

Le tableau 5 nous montre une dégradation plus poussée des résidus enfouis au labour (LAB) que ceux restés en surface en SCV quelque soit le type de couvertures et les niveaux d'enherbement de la parcelle. En effet, les résidus enfouis en labour connaissent une dégradation de l'ordre de 28.48%, tandis que ceux laissés en surface en SCV se dégradent seulement à 18%.

- ***Par rapport au type de résidus***

Les résultats de la comparaison des moyennes des pourcentages de perte en masse des résidus selon les types utilisés sont résumés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Comparaison des moyennes des pourcentages de perte en masse des résidus suivant les types utilisés

Facteurs	Modalités	Moyenne estimée du pourcentage en masse des résidus restant dans les LB	Probabilité calculée (*p*)
Type de résidus	Stylos	80,16±0,44 (A)	**< 0,0001 (S)**
	M+D	72,56±0,44 (B)	

Les chiffres suivis par des lettres différents sont significativement différents; p <0,05 (S)

Les pertes en masse se distinguent de manière significative suivant le type de résidus utilisés sur la parcelle (Stylosanthes ou Maïs + dolique). L'association de maïs + dolique perd sa masse initiale beaucoup plus rapidement que le stylosanthes. En effet, elle présente une diminution notable de 27,44% par rapport à 19,84% pour le stylosanthes

- ***Par rapport au niveau d'enherbement de la parcelle***

Les résultats de la comparaison des moyennes des pourcentages de perte en masse des résidus suivant les niveaux d'enherbement de la parcelle sont synthétisés dans le tableau 7

Tableau 7 : Comparaison des moyennes des pourcentages de perte en masse des résidus selon les niveaux d'enherbement de la parcelle

Facteurs	Modalités	Moyenne estimée du pourcentage en masse des résidus restant dans les LB	Probabilité calculée (*p*)
Enherbement de la parcelle	E	76,56±0,44 (A)	**0,519 (NS)**
	NE	76,16±0,44 (A)	

Les chiffres suivis par la même lettre ne sont pas significativement différents. 0,05< p : non significative (NS)

Il en ressort que les niveaux d'enherbement de la parcelle n'ont pas d'effet significatif sur la dégradation des résidus quelque soient le mode de gestion du sol et le type de résidus utilisé.

- ***Effets de l'interaction des facteurs : type de résidus et mode de gestion du sol***

Les résultats de la comparaison des moyennes des pourcentages de perte en masse des résidus suivant l'interaction entre les types utilisés et les modes de gestion du sol sont résumés dans le tableau 8

Tableau 8 : Comparaison des moyennes des pourcentages de perte en masse des résidus suivant l'interaction types de résidus et mode de gestion du sol

Facteurs	Modalités	Moyenne estimée du pourcentage en masse des résidus restant dans les LB	Probabilité calculée (*p*)
Interaction Type de résidus* Mode de Gestion du Sol	Stylo*SCV	81,99±0,62 (A)	**< 0,0001 (S)**
	M+D*SCV	80,42±0,62 (A)	
	Stylo*LAB	78,32±0,62 (B)	
	M+D*LAB	64,72±0,62 (C)	

Les chiffres suivis par la même lettre ne sont pas significativement différents. 0,05< *p* : non significative (NS) ; Pr<0,05 : significative(S)

Il en ressort que la vitesse de dégradation des résidus est lente en SCV par rapport au labour quelque soit le type de résidus. Mais en plus, dans les systèmes labourés, le maïs+dolique se dégrade le plus rapidement que le stylosanthes.

2.4 Dynamique de l'azote minéral dans le profil cultural

Cette partie concerne les résultats sur la dynamique de l'azote minéral dans le profil cultural. Il s'agit d'abord des données sur le stock en azote minéral, qui est la somme du stock en $N\text{-}NO_3^-$ et en $N\text{-}NH_4^+$, dans l'horizon 0 à 90cm, puis de la dynamique de l'azote nitrique ($N\text{-}NO_3^-$) en profondeur.

2.4.1 Stock en azote minéral dans le sol à différents stades du riz

La figure 10 dans la page suivante met en évidence l'évolution dans le temps des stocks de l'azote minéral dans l'horizon 0 à 90cm selon les types de résidus utilisés, les modes de gestion du sol et les niveaux d'enherbement de la parcelle.

Tous les traitements effectués ont montré des courbes à peu près de même allure sur l'évolution de ces stocks durant le cycle cultural ;

D'abord, une diminution des stocks a été remarquée entre la levée des plants (P1) et l'initiation paniculaire (P3). Entre ces deux périodes marque la phase de développement végétatif du riz pluvial où les racines des plants de riz se développent suffisamment et absorbent l'azote minéral du sol. De plus, le maximum de pluie a été enregistré pendant ces périodes ***(§ 2.1)***

Ensuite les stocks d'azote minéral en P3 croissent au 4ème prélèvement correspondant au stade floraison (95 jours après semis) pour atteindre un niveau similaire à ceux à la levée.

Des pluies assez fortes et régulières (116mm en 17 jours avec une répartition de 8jours/17) surviennent aussi entre ces deux prélèvements.

Et enfin, les stocks d'azote minéral finissent par décroitre jusqu'à la maturité en P5. Cette période de récolte marque la fin de la saison pluvieuse dont les conditions pédoclimatiques ne sont plus favorables à de nouveau processus de minéralisation. Seulement 35 mm a été enregistré en 33 jours avec une répartition irrégulière (5/33jours).

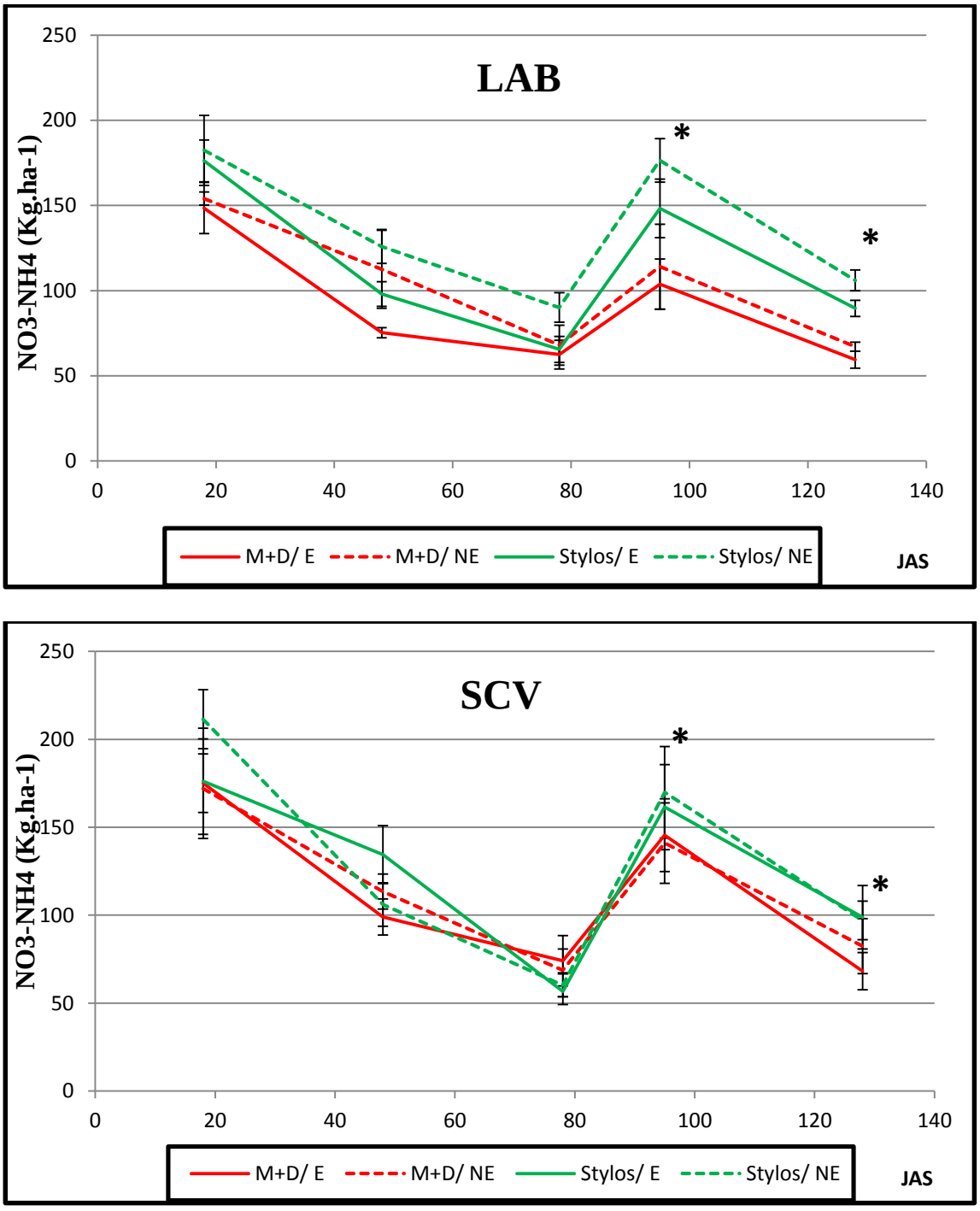


Figure 10 : Evolution dans le temps des stocks totaux (0-90cm) en N minéral (NO_3^- et NH_4^+) selon les facteurs étudiés

* Indique les différences significatives entre les traitements étudiés à Pr<0,05

Pour mieux cerner de plus près cette évolution de ce stock, une comparaison des traitements a été faite à chaque stade du développement du riz.

2.4.1.1 Stade levée (P1)

Le tableau de l'analyse de la variance (tableau 9) montre les effets des traitements sur le stock en N minéral pour le prélèvement 1 au stade de la levée.

Tableau 9 : ANOVA sur les stocks de N minéral dans le profil cultural (0-90 cm) au stade levée

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	*p* > F
SC	1	0,022	0,022	4,230	0,053
MGS	1	0,015	0,015	2,803	0,110
Enherbement	1	0,006	0,006	1,188	0,289
BLOC	3	0,081	0,027	5,212	0,008
SC*MGS	1	0,001	0,001	0,276	0,605
SC*Enherbement	1	0,004	0,004	0,813	0,378
MGS*Enherbement	1	0,001	0,001	0,251	0,622
SC*MGS*Enherbement	1	0,007	0,007	1,430	0,246
Modèle	10	0,142	0,014	2,711	0,028
Erreur	20	0,104	0,005		
Total corrigé	30	0,246			

Comme toutes les probabilités calculées (*p*) sont supérieures au seuil de signification α=0.05, il n'y a donc pas des effets des traitements sur le stock en N minéral du sol. Autrement dit, les stocks en N minéral (0-90cm) à la levée ne présentaient aucune différence significative.

La comparaison des moyennes du stock en N minéral (annexe 8) est résumée dans le tableau 10.

Tableau 10 : Stock moyenne en N minéral du sol de 0-90 cm pour tous les traitements au stade de la levée

	LAB-E	LAB-NE	SCV-E	SCV-NE
M+D	**148,46 ±15,00 (B)**	**154,02 ±3,88 (B)**	175,02 ±12,36 (AB)	171,96 ±20,52 (AB)
STYLO	176,15 ±13,68 (AB)	182,36 ±28,28 (AB)	176,12 ±30,25 (AB)	**211,43 ±16,85 (A)**

Les valeurs suivies par la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de signification α=0,05 selon le test de Fisher (LSD).

A la levée des plants du riz, la modalité STYLO-SCV-NE avait le stock de N minéral le plus élevé avec 211,43kg.ha^{-1}. Les parcelles de riz menées en système labouré avec résidu M+D comme antécédents culturaux représentent les stocks les plus bas.

2.4.1.2 Stade tallage (P2)

Le tableau de l'analyse de la variance (tableau 11) montre les effets des traitements sur le stock en N minéral pour le prélèvement 2 au stade tallage.

Tableau 11 : ANOVA sur les stocks de N minéral dans le profil cultural (0-90 cm) au stade tallage

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	*p* > F
SC	1	0,028	0,028	3,187	0,092
MGS	1	0,018	0,018	2,019	0,173
Enherbement	1	0,019	0,019	2,101	0,165
BLOC	3	0,029	0,010	1,092	0,379
SC*MGS	1	0,002	0,002	0,211	0,652
SC*Enherbement	1	0,018	0,018	2,084	0,167
MGS*Enherbement	1	0,036	0,036	4,026	0,061
SC*MGS*Enherbement	1	0,005	0,006	0,527	0,478
Modèle	10	0,161	0,016	1,827	0,132
Erreur	17	0,150	0,009		
Total corrigé	27	0,311			

Comme dans P1 (levée), toutes les probabilités calculées (*p*) sont supérieure au seuil de signification α=0.05, il n'y a donc pas des effets des traitements sur le stock en N minéral du sol.

La comparaison des moyennes du stock en N minéral (annexe 8) est résumée dans le tableau 12.

Tableau 12 : Stock moyenne en N minéral du sol de 0-90 cm pour tous les traitements au stade tallage

	LAB-E	LAB-NE	SCV-E	SCV-NE
M+D	**75,30 ± 2,92 (B)**	**112,57 ±22,83 (A)**	98,92 ± 7,20(AB)	**113,40 ±9,93 (A)**
STYLO	97,99 ±10,27 (AB)	**125,95 ± 9,99 (A)**	**134,47 ±16,46 (A)**	106,11 ±12,37 (AB)

Par rapport aux valeurs observées dans P1, les valeurs du stock en N minéral de toutes les modalités testées ont connu une baisse notable. Depuis la levée, le riz assez développé commence à favoriser sa croissance végétative. Le besoin de la plante en azote pour sa croissance se révèle donc plus intense.

2.4.1.3 Stade initiation paniculaire (P3)

Le tableau de l'analyse de la variance (tableau 13) montre les effets des traitements sur le stock en N minéral pour le prélèvement 3 au stade de l'initiation paniculaire.

Tableau 13 : ANOVA sur les stocks de N minéral dans le profil cultural (0-90 cm) au stade initiation paniculaire

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	*p* > F
SC	1	0,001	0,001	0,031	0,854
MGS	1	0,007	0,007	0,713	0,408
Enherbement	1	0,009	0,009	0,854	0,366
BLOC	3	0,092	0,031	2,894	0,059
SC*MGS	1	0,046	0,041	4,342	0,050
SC*Enherbement	1	0,010	0,010	0,985	0,332
MGS*Enherbement	1	0,013	0,013	1,267	0,273
SC*MGS*Enherbement	1	0,001	0,001	0,053	0,819
Modèle	10	0,179	0,018	1,693	0,149
Erreur	21	0,222	0,011		
Total corrigé	31	0,401			

Il n'y a pas des effets des traitements sur le stock en N minéral du sol. La comparaison des moyennes du stock en N minéral (annexe 8) est résumée dans le tableau 14.

Tableau 14 : Stock moyenne en N minéral du sol de 0-90 cm pour tous les traitements au stade initiation paniculaire

	LAB-E	LAB-NE	SCV-E	SCV-NE
M+D	62,49 ±8,41 (AB)	68,01 ±11,76 (AB)	73,99 ±7,62 (AB)	68,75 ±8,69 (AB)
STYLO	65,50 ±6,73 (AB)	**90,12 ±19,55 (A)**	**56,69 ±3,13 (B)**	**60,17 ±6,41 (B)**

En rapport avec P2, le plant de riz continue encore de favoriser son développement végétatif jusqu'à l'initiation paniculaire. Les racines suffisamment grandes accentuent de plus en plus l'absorption de l'azote minéral du sol. Le niveau des stocks en azote minéral du sol diminue encore pour atteindre en P3 un niveau entre 60-90kg.ha^{-1}

Pour le cas du Stylosanthes, les parcelles menées en SCV représentent le stock en Nmin le plus bas par rapport au labour. Il y a donc un effet de la gestion du sol sur le stock en N minéral ;

Pour le cas du maïs+dolique, les deux modes de gestion du sol présentent des valeurs similaires en stock

2.4.1.4 Stade floraison (P4)

Le tableau de l'analyse de la variance (tableau 15) montre les effets des traitements sur le stock en N minéral pour le prélèvement 4 au stade floraison.

Tableau 15 : ANOVA sur les stocks de N minéral dans le profil cultural (0-90 cm) au stade floraison

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	*p* > F
SC	1	0,122	0,122	9,636	0,006
MGS	1	0,023	0,023	1,796	0,196
Enherbement	1	0,014	0,014	1,133	0,300
BLOC	3	0,127	0,042	3,329	0,042
SC*MGS	1	0,034	0,034	2,647	0,120
SC*Enherbement	1	0,005	0,005	0,429	0,521
MGS*Enherbement	1	0,006	0,006	0,454	0,509
SC*MGS*Enherbement	1	0,002	0,002	0,176	0,680
Modèle	10	0,314	0,031	2,472	0,043
Erreur	19	0,241	0,013		
Total corrigé	29	0,556			

Les types de résidus utilisés comme paillage ont des effets sur le stock en N minéral du sol avec une probabilité inférieur au seuil de signification α=0.05.

La comparaison des moyennes du stock en N minéral (annexe 8) est résumée dans le tableau 16.

Tableau 16 : Stock moyenne en N minéral du sol de 0-90 cm pour tous les traitements au stade floraison

	LAB-E	LAB-NE	SCV-E	SCV-NE
M+D	**103,79 ±14,74 (C)**	114,09 ±24,89 (BC)	145,45 ±17,18 (ABC)	140,97 ±12,75 (ABC)
STYLO	148,29 ±20,70 (ABC)	**176,43 ± 22,92 (A)**	161,45 ±24,22 (AB)	**169,82 ±26,08 (A)**

En rapport avec les valeurs observées en P3, les stocks en N minéral ont connu une augmentation jusqu'au stade de la floraison. En fait, le plant de riz depuis l'initiation paniculaire ne favorise guère la nutrition azotée

Plus précisément, les stocks en azote minéral des parcelles utilisant le stylosanthes comme antécédents culturaux sont supérieurs à ceux des parcelles avec maïs+dolique. Et pour le cas du stylosanthes, il n'y a pas de différence entre SCV et labour. Quant à l'association maïs+dolique, le SCV présente un stock élevé par rapport au labour.

2.4.1.5 Stade maturité (P5)

Le tableau de l'analyse de la variance (tableau 17) montre les effets des traitements sur le stock en N minéral pour le prélèvement 5 au stade maturité.

Tableau 17 : ANOVA sur les stocks de N minéral dans le profil cultural (0-90 cm) au stade maturité

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	*p* > F
SC	1	0,162	0,162	22,663	0,000
MGS	1	0,011	0,011	1,501	0,234
Enherbement	1	0,022	0,022	3,043	0,096
BLOC	3	0,064	0,021	2,988	0,054
SC*MGS	1	0,011	0,011	1,551	0,227
SC*Enherbement	1	0,002	0,002	0,307	0,585
MGS*Enherbement	1	0,001	0,001	0,089	0,769
SC*MGS*Enherbement	1	0,004	0,004	0,542	0,470
Modèle	10	0,277	0,027	3,866	0,004
Erreur	21	0,150	0,007		
Total corrigé	31	0,427			

Ceci aussi nous montre que les types de résidus utilisés comme paillage ont des effets considérables sur le stock en N minéral du sol. (cf. tableau 16)

La comparaison des moyennes du stock en N minéral (annexe 8) est résumée dans le tableau 16.

Tableau 18 : Stock moyenne en N minéral du sol de 0-90 cm pour tous les traitements au stade maturité

	LAB-E	LAB-NE	SCV-E	SCV-NE
M+D	**59,44 ± 5,01 (C)**	67,06 ±2,67 (BC)	68,18 ±4,71 (BC)	**82,39 ± 6,10 (A)**
STYLO	89,60 ±10,57 (AB)	**106,01 ±15,70 (A)**	**98,82 ±18,09 (A)**	**96,99 ±10,93 (A)**

A la fin de la culture du riz pluvial, les traitements menés avec le stylosanthes ont présenté des stocks plus élevés en N minéral que ceux avec le maïs+dolique.

Avec le maïs+dolique, les modes de gestion du sol ont un effet significatif sur les stocks en N minéral. C'est le SCV qui a présenté le stock supérieur par rapport au labour.

.

2.4.2 Stock en azote minéral dans le sol à différents horizons

Cette partie concerne la distribution de l'azote nitrique (NO_3^-) à différentes profondeurs du sol. Il s'agit de la forme d'azote qui représente essentiellement l'azote disponible pour la plante.

➢ **Systèmes à base de M+D**

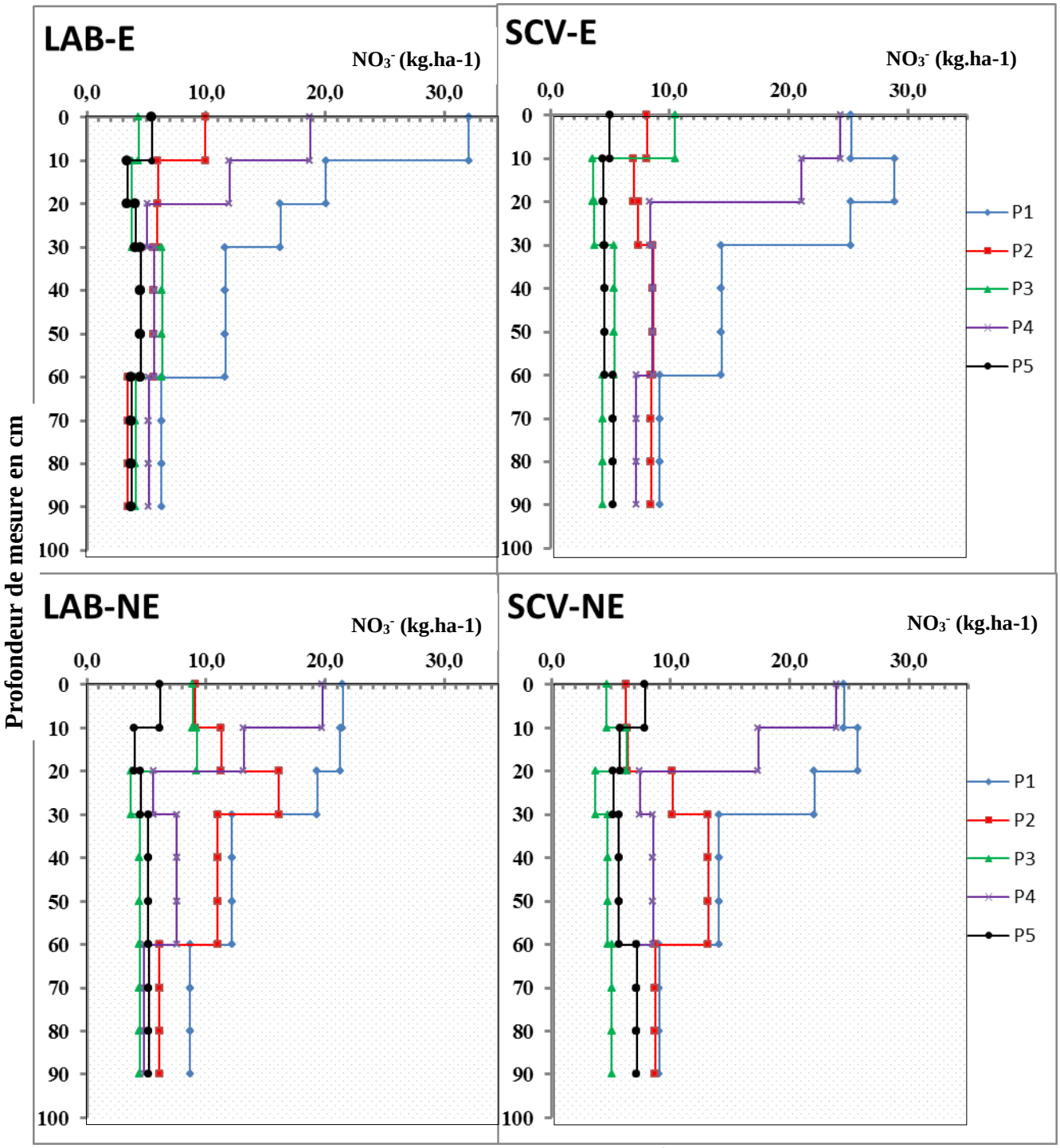


Figure 11 : Distribution de l'azote nitrique (N-NO_3^-) en kg.ha^{-1} suivant la profondeur de mesure à chaque stade de développement du riz pour les systèmes à base de l'association maïs + dolique

a. Pour les systèmes à base de l'association maïs + dolique (figure 11),

Au stade de la levée, le stock en NO_3^- élevé en surface décroit progressivement en profondeur. Le traitement LAB-E représente dans l'horizon 0-10cm la teneur en NO_3^- la plus élevée.

Au stade tallage, une diminution sur tout le profil a été remarquée pour les parcelles enherbées (E). Tandis que la baisse ne concerne que les horizons 0 à 30 cm pour les parcelles non enherbées (NE).

Au stade initiation paniculaire, il y a une légère diminution de la teneur en NO_3^- par rapport à P2 sur tout le profil. Et la teneur en NO_3^- est à peu près similaire sur tous les horizons.

Au stade floraison, il y a une légère augmentation de la teneur en NO_3^- dans l'horizon 0 à 20cm par rapport au P3 pour tous les traitements.

A la fin au stade maturité, la teneur en NO_3^- décroît et reste similaire sur tout le profil.

b. En ce qui concerne les systèmes à base de stylosanthes (figure 12 de la page suivante),

Au stade de la levée, en général, une concentration élevée de NO_3^- dans les horizons de 0-30 cm est observée. Pour les systèmes labourés, l'horizon 10 à 20 cm est le plus remarquable. Tandis qu'en SCV, tous les horizons 0 à 30cm représentaient cette teneur élevée en NO_3^-.

Au stade tallage, il y une diminution du stock sur tout le profil en LAB-E et une diminution dans l'horizon 0 à 20cm pour les autres traitements LAB-NE, SCV-E et SCV-NE.

Au stade initiation paniculaire, une baisse de la teneur en NO_3^- est remarquée par rapport à P2 dans tous les traitements. La teneur en NO_3^- est à peu près similaire sur tout le profil.

Au stade floraison, une augmentation du stock s'observe sur tout le profil notamment dans l'horizon 0 à 20 cm.

Et enfin, au stade maturité, la teneur en NO_3^- décroît et a le même stock dans tout le profil.

➢ Systèmes à base de Stylo

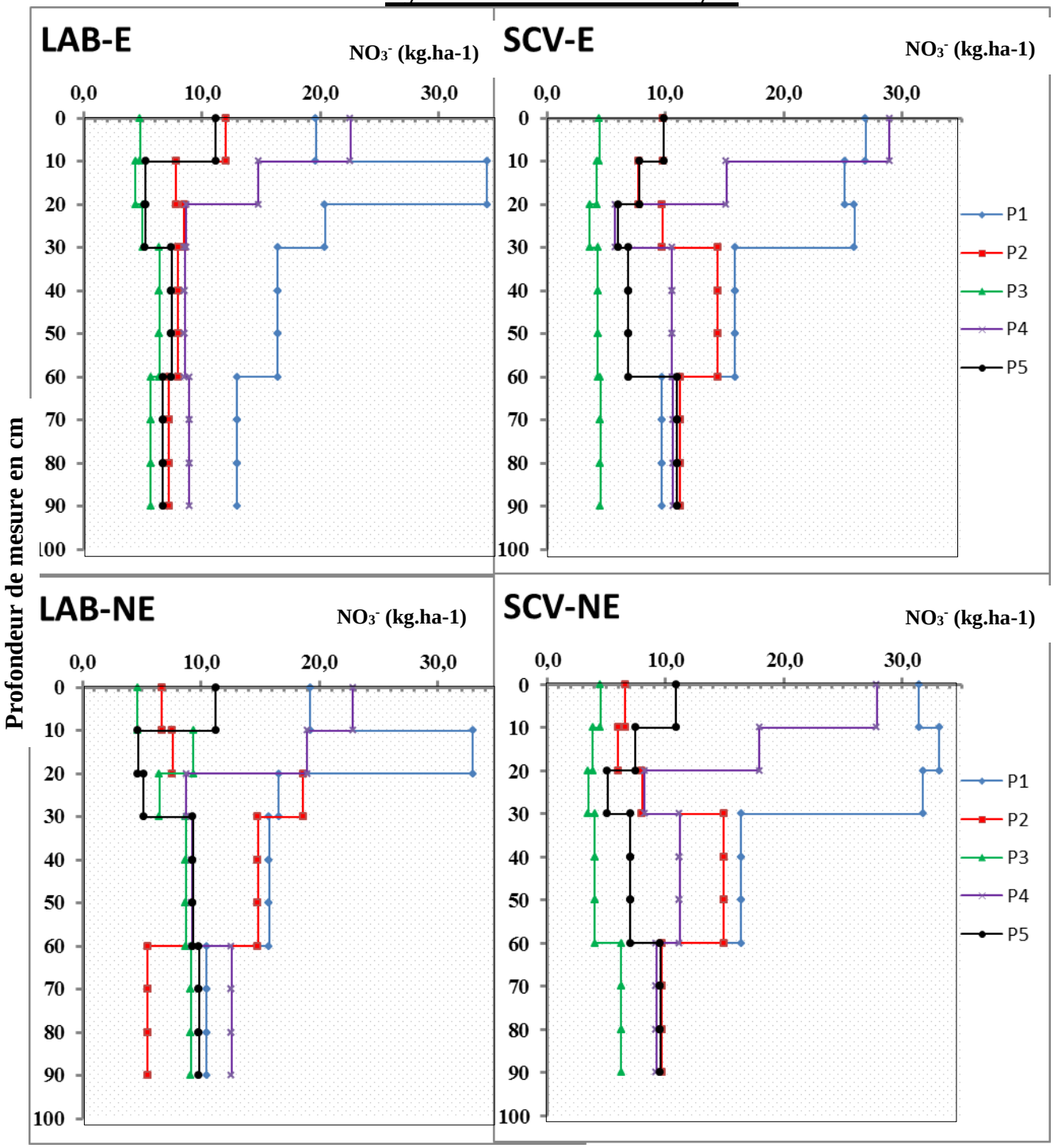


Figure 12 : Distribution de l'azote nitrique (N- NO_3^-) en kg.ha-1 suivant la profondeur de mesure à chaque stade de développement du riz pour les systèmes à base de stylosanthes

2.5 Rendement en paddy

Le rendement pour la campagne 2013-2014 a été aussi mesuré à la fin du cycle. La figure 13 nous montre les rendements moyens en paddy selon les deux modes de gestion du sol, les deux types de résidu utilisé et les deux niveaux d'enherbement de la parcelle. (annexe 10)

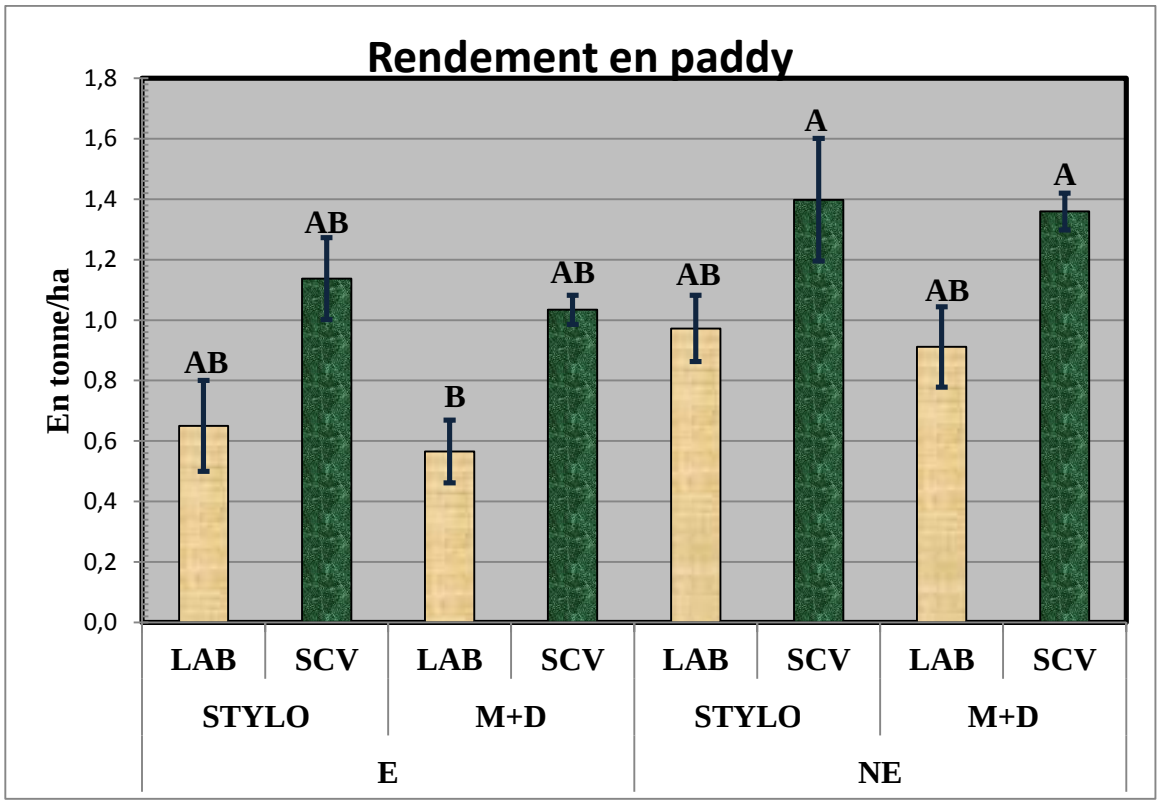


Figure 13 : Histogramme de comparaison des rendements moyens en riz à partir des poids des grains dans les placettes

Le rendement en riz durant la campagne 2013-2014 varie entre 0,57t/ha avec le traitement LAB/MD/E et 1,40t/ha avec le traitement SCV/STYLO/NE.

Quant aux facteurs étudiés séparément, les résultats sur le rendement en riz obtenus sont synthétisés dans le tableau 19 de la page suivante.

Tableau 19 : Comparaison des rendements moyens en paddy selon les modalités testées

Facteurs	Modalités	Rendement moyens en paddy (en T/ha)	Probabilités calculées (Pr)
Mode de gestion du sol	SCV	1,23±0,12 (A)	**0,018 (S)**
	LAB	0,77±0,13 (B)	
Type de Résidus	Stylo	1,04±0,13 (A)	**0,69 (NS)**
	M+D	0,97±0,12 (A)	
Enherbement de la parcelle	NE	1,16±0,12 (A)	**0,09 (NS)**
	E	0,85±0,13 (A)	

Ceci nous démontre que ni le type de résidu utilisé, ni le niveau d'enherbement de la parcelle n'influent le rendement en paddy. Cependant, les modes de gestion du sol montrent une grande différence. En moyenne, le riz pluvial mené en SCV donne en moyenne 1,23T.ha^{-1} contre 0,77T.ha^{-1} en système labouré.

En d'autre part, même si la probabilité calculée Pr pour le facteur « niveau d'enherbement de la parcelle » est supérieure au seuil de signification (α=0.05), nous pouvons en déduire d'après le tableau 19 qu'il y a une différence entre les parcelles maintenues propre (NE) et celles enherbées (E).

Partie 3 : DISCUSSIONS

Partie 3. DISCUSSIONS

3.1 Dégradation des résidus

Dans cette expérimentation, les résultats obtenus ont montré que les facteurs environnementaux dont la pluviométrie et la température, les modes de gestion du sol ainsi que les types de résidu utilisés ont des effets sur la dégradation des résidus. Heal *et al.* (1997) affirmait que la dégradation des paillis est contrôlée par la combinaison de trois groupes de facteurs interactifs : l'environnement physico-chimique (A), la qualité des matières organiques (B) sur lesquels réagissent les organismes décomposeurs (C).

3.1.1 Dégradation du mulch suivant les modes de gestion du sol

D'après nos résultats, les résidus de culture enfouis dans le sol se dégradent plus rapidement que ceux laissés à la surface du sol comme paillages mortes. . En effet, les résidus enfouis perdaient beaucoup plus rapidement leurs matières sèches initiales. Ces résultats peuvent s'expliquer par les activités des microorganismes du sol dans la dégradation et la minéralisation des résidus.

En SCV, cette minéralisation est réduite du fait de l'accumulation des résidus de cultures à la surface du sol. Effectivement, la surface de contact entre les substances organiques et les particules minérales du sol est ainsi limitée. Ce faible contact entre le sol et le résidu entraine une colonisation microbienne plus faible que celle des résidus enfouis (Maltas, 2007 ; Rakotoarisoa, 2011). De plus, Dayegamiye *et al. (*2007) ont affirmé que la réduction du travail du sol permet de conserver la matière organique du sol, car celle-ci ainsi que les résidus organiques se minéralisent plus lentement. On peut alors assisté à une immobilisation plus importante d'azote. Mais soulignons qu'en SCV du fait de cette minéralisation lente et progressive, l'immobilisation de l'azote minéral par les biomasses microbiennes est généralement plus faible (Corbeels *et al.*, 2003 ; Coppens *et al.*, 2006 et Maltas, 2007).

Tandis qu'en labour, les sols sont dominés par des espèces microbiennes aérobies avec une haute activité métabolique (Spedding *et al.*, 2004). En effet le labour, d'après Balesdent *et al.* (2000) ; Paustian *et al.* (2000) ; Six *et al.* (2002) et Maltas (2007), est un stimulateur de la minéralisation du N organique du sol par un effet direct sur l'oxygénation du sol et par un effet indirect sur la diminution de la stabilité des agrégats. Ainsi, les résidus de culture incorporés dans le sol se décomposent plus rapidement que ceux restés en surface. Cette incorporation dans le sol augmente ainsi la surface d'attaque des microorganismes responsable du processus de décomposition.

3.1.2 Dégradation des résidus suivant le type utilisé

La vitesse de la décomposition des matières organiques dépend également de la nature des résidus. La vitesse de dégradation du stylosanthes et l'association maïs+dolique sont différentes. Le stylosanthes a montré une vitesse dégradation plus lente et progressive par rapport à l'association maïs+dolique. Cette différence de cinétique de dégradation peut s'expliquer par leur nature et leur qualité biochimique (Heal *et al.,* 1997 ; Vanlauwe *et al.,* 1997 ; Coppens, 2005 et Bouajila *et al.,* 2013).

En effet, le stylosanthes est une légumineuse pérenne très vivace avec des tiges lignifiées (Husson *et al.,* 2008). Alors que l'association maïs+dolique est une association d'une graminée et d'une légumineuse. Le dolique est une légumineuse annuelle volubile se dégradant rapidement. Tandis que le maïs est une graminée se dégradant lentement (Husson *et al,* 2009 et 2010).

Quant à leur qualité biochimique, il a été démontré que la composition chimique et biochimique des résidus influence leur dégradation. En effet, plus les résidus organiques sont riches en lignine, plus leur biodégradation est difficile suite à la récalcitrance de ces polymères végétaux (Melillo *et al.,* 1982 ; Oglesby and Fownes, 1992 et Bouajila et al., 2013). De plus, les teneurs en cellulose et hémicellulose des résidus ont une corrélation positive avec cette dégradation.

Une étude de Rakotosolofo (2010) montre que le stylosanthes a une teneur supérieure en lignine par rapport au maïs et à la dolique. Le stylosanthes, le maïs et le dolique ont respectivement 11,05±1,74, 8,23±1,31 et 6,96±0,91% de lignine. Et concernant la teneur en cellulose et hémicellulose, celle de l'association maïs + dolique est largement supérieure par rapport au stylosanthes avec respectivement 30,1% MS et 29,9 %MS en cellulose et 22,7%MS et 14,21%MS en hémicellulose. Ceci confirme nos résultats qui ont montrés que les résidus de stylosanthes se dégradent plus lentement que ceux du maïs+dolique que ce soit en labour ou en SCV dans les deux niveaux d'enherbement (E ou NE).

3.1.3 Dégradation des résidus suivant les conditions climatiques

Les conditions climatiques notamment la pluviométrie et la température jouent aussi un rôle non négligeable dans cette dégradation. En effet, le climat modifie de façon marquée la nature et la rapidité de décomposition des débris végétaux à la surface du sol, et exerce de ce fait une forte influence sur le caractère et l'abondance de la matière organique. L'humidité et la température sont parmi les variables les plus déterminantes. Elles affectent à la fois le développement de la couverture végétale et les activités de micro-organismes qui sont des agents très importants dans la formation des sols (Duguet, 2005).

L'année 2013-2014 (année de l'expérimentation) a été caractérisée par une alternance de périodes sèches et humides. Cette alternance durant tout le cycle cultural du riz joue un rôle important dans la dégradation des litières comme affirmaient Singh et Tripathi (1999) et Autfray (2012). D'après les résultats, les dégradations rapides se manifestent surtout du semis à 45 JAS. Ce qui correspond aux périodes de fortes pluies durant le cycle. De plus, les températures élevées sont enregistrées pendant le mois de décembre et janvier, avec une moyenne de 24,1°C et 24,3°C. Ceux-ci sont en relation étroite avec la dégradation des résidus d'après Wood (1974).

Ainsi, concernant la première hypothèse stipulant que ***« Les modes de gestion du sol, les types de couverture, les niveaux d'enherbement de la parcelle et la pluviométrie influent sur la vitesse de dégradation des résidus »*** est partiellement vérifiée du fait que les niveaux d'enherbement de la parcelle n'ont pas montré de différence significative sur cette dégradation.

3.2 Dynamique de l'azote minéral dans le profil cultural et son effet sur le rendement

3.2.1 Stock en azote minéral dans le sol à différents stades du riz

L'allure générale des courbes d'après nos résultats a montré une diminution entré la levée des plants jusqu'à l'initiation paniculaire. Puis à la floraison, tous les stocks ont augmenté et finissaient par décroitre à la maturité. La quantité pluviométrique à différentes stades phénologiques du riz permet d'expliquer en partie cette évolution du stock en azote minéral.
En fait, d'un côté, le processus de minéralisation intensifié lors de l'apparition de la première pluie le 19 novembre 2013 se poursuit de la levée à l'initiation paniculaire. Cette situation favorisait la disponibilité de l'azote minéral du sol (N'Dayegamiye *et al.,* 2007). Et de l'autre côté, le riz est en pleine croissance végétative et prélevait ainsi l'azote minéral du sol. Kirk et Kronzucker (2000) montrent que le riz absorbe 50% de son azote entre 35 et 45 jours après repiquage. Ce qui explique la diminution du stock de la levée à l'initiation paniculaire quelque soit le traitement.
Et après, la plante favorisait la formation des grains et a de ce fait un besoin moindre en azote par rapport à la phase végétative (Kirk et Kronzucker, 2000). Mais les pluies élevées après ce stade ont favorisé l'activité biologique dans le sol. Ce qui peut expliquer la hausse du stock en N minéral entre le stade initiation paniculaire et le stade floraison.
Et enfin, depuis la floraison, les pluies sont devenues rares. Celles-ci ne sont plus favorables à de nouveau processus de minéralisation. C'est pourquoi, le stock d'azote minéral continuait par la suite de décroître jusqu'à la récolte. Cette évolution du stock a été également démontré dans les travaux de Rakotoarisoa (2011) et ceux de Maltas *et al.* (2009).

En ce qui concerne l'évolution du stock en N minéral selon le mode de gestion du sol, nous avons démontré que l'azote minéral du sol sous SCV avait un stock supérieur au stade levée du riz par rapport à une parcelle labourée. Or au stade initiation paniculaire, ce stock a remarquablement diminué par rapport à celui de labour. Cela nous indique durant la phase de végétation, l'azote minéral du sol est plus efficient en SCV qu'en labour. Coppens (2005) affirmait que la minéralisation nette de l'azote disponible pour une plante est beaucoup plus élevée en SCV grâce à l'humidité procurée par les mulch.

Enfin, concernant l'évolution du stock en N minéral selon le type de résidus au stade de la levée, à la floraison et à la maturité, les parcelles ayant le stylosanthes comme mulch ont eu des stocks supérieurs par rapport à celles avec l'association M+D quelque soit le mode de gestion du sol et le niveau d'enherbement de la parcelle. Cette différence peut s'expliquer par la différence sur la vitesse de dégradation des résidus. Le stylosanthes se dégradant lentement par rapport au M+D assure une offre continue en N minéral. Elle peut aussi être due à la différence de la teneur en N des résidus. D'après les études réalisées par Naudin *et al.* (2012) dans la région

du lac Alaotra, les teneurs moyens de l'azote dans les résidus sont respectivement 2,7% et 1,8% de matière de sèche pour le Stylosanthes et pour l'association maïs+dolique. En calculant la teneur en N issus de la dégradation des résidus à partir de la perte en masse, le stylosanthes en SCV donne en moyenne 29,40kgN.ha^{-1} contre 24,87kgN.ha^{-1} en maïs+dolique. Tandis qu'en labour, le stylosanthes donne en moyenne, 41,02kgN.ha^{-1} contre 27,82 kgN.ha^{-1} en maïs + dolique. Cependant au stade de tallage et l'initiation paniculaire, les types de résidus utilisés n'influent pas sur ce stock en N minéral dans l'horizon 0-90cm. En effet, Maltas *et al.* (2009) ont trouvé qu'en général, les traitements avec les couvertures en SCV ont peu d'effet significatif sur la dynamique de l'azote minéral dans l'horizon (0-120 cm) durant la saison de croissance du maïs. Appuyé par Franzluebbers et Stuedemann (2013), la couverture permanente du sol a un effet neutre sur l'accumulation de l'azote nitrique du sol.

3.2.2 Stock en azote minéral dans le sol à différents horizon

Durant la phase de décroissance du stock entre les trois premiers prélèvements, c'est l'horizon de 0-30 cm qui est le plus concerné. Puis viennent ensuite les horizons 30-60cm. Ces horizons sont en particulier les zones d'influence de la racine qui jouent le rôle dans l'absorption de l'azote minéral du sol. D'après l'étude de Botoela en 2012, 98 % des racines du riz se trouvent dans l'horizon 0-40 cm. Par conséquent, les teneurs en N minéral du sol en profondeur notamment dans l'horizon de 60-90 cm sont considérées comme perdues par lixiviation des nitrates.

Puis l'augmentation de la teneur en N minéral surtout marquée dans l'horizon 0-20 cm au stade de la floraison peut aussi s'expliquer par la poursuite de la minéralisation couplée avec la diminution du besoin de la plante en azote minérale (Kirk et Kronzucker, 2000). Les légères augmentations de la teneur sur le reste du profil notamment l'horizon de 60-90 cm peuvent se traduire encore par un lessivage.

Et enfin, la diminution des stocks de tous les profils à la maturité peut être due à de nombreuses causes dont, (i) une minéralisation défavorable à cause de la rareté de la pluie, (ii) une perte par dénitrification de NO_3^- en milieu anaérobique, mais souvent limité en système conventionnelle et en SCV (Metay, 2005) et (iii) une perte par lessivage souvent accru en SCV (Scopel *et al.*, 2004) que labour mais pouvant être prélevé par les cultures dans la rotation culturale

3.2.3 Rendement en riz

Nos résultats ont montré que l'azote minéral est plus efficient en SCV qu'en labour (§3.2.1). Et parallèlement, les systèmes en SCV ont donné un rendement élevé par rapport aux systèmes labourés quelque soit le type de résidus utilisé et le niveau d'enherbement de la parcelle. Ceci est aussi comparable à celui trouvé par Rakotoarisoa (2011) pour un même type de résidus de culture.

En ce qui concerne le système de culture adopté, le type de résidu utilisé n'a pas montré une différence significative durant la phase végétative du riz (§3.2.1). En conséquence, les parcelles avec le stylosanthes montrent un rendement assez semblable à celles du maïs+dolique (en moyenne respectif de 1,04T.ha-1 et 0,97T.ha-1). Ce résultat est aussi comparable à celui trouvé par Rakotoarisoa (2011).

Ainsi la deuxieme hypothèse stipulant « ***les stocks de l'azote minéral du sol diffèrent entre les types de résidus et les modes de gestion du sol en fonction du temps et de la pluviométrie affectant ainsi le rendement en paddy »*** est vérifiée.

CONCLUSION

CONCLUSION

En guise de conclusion, cette étude a permis de déterminer les effets de système de culture sous couverture végétale sur la dégradation du paillis et l'amélioration du stock en azote minéral du profil cultural.

Les systèmes en AC, de par le minimum de travail du sol, la couverture permanente du sol et la rotation culturale, affectent le bilan azoté du sol. L'estimation de la biomasse sur les parcelles avant la mise en culture et le suivi de sa dégradation nous a montré que la vitesse de dégradation du mulch dépend du type de résidus et du mode de gestion du sol. Il en ressort que les résidus riches en lignines tel le stylosanthes se dégradent plus lentement que les résidus de maïs et dolique. Et les résidus enfouis par le labour dans le système conventionnel se dégradent plus rapidement que ceux restés en surface en SCV quelque soit le type de résidus.

En ce qui concerne la dynamique de l'azote dans le sol, les résultats nous a montré que les stocks en N minéral dans l'horizon 0 à 90 cm durant le cycle cultural évolue de la même manière quelque soit le système de culture, le mode de gestion de sol et l'enherbement de la parcelle. Toutefois, au stade floraison et maturité du riz, les parcelles avec le stylosanthes ont un teneur plus élevé en N minéral par rapport aux parcelles avec le maïs + dolique. Quant à la distribution spatiale de l'azote nitrique, les horizons de surface montre une teneur assez élevée par rapport aux horizons de profondeur au début de la phase de croissance et à la phase de floraison du riz. Et les autres stades, notamment à l'initiation paniculaire et à la maturité, représentaient une teneur similaire en NO_3^- sur tout le profil. A l'initiation paniculaire, c'est en rapport avec l'absorption de N minéral du sol par la plante durant la phase de croissance. Tandis qu'à la floraison, c'est plutôt lié à l'arrêt des pluies qui inhibe la minéralisation et le transfert de NO_3^- vers la profondeur.

Les mesures des rendements en riz à la fin de la saison culturale ont montré une différence significative selon les modes de gestion du sol quelque soit les types de résidus utilisés et les niveaux d'enherbement de la parcelle. En fait les parcelles menées en SCV ont données des rendements en paddy assez élevés par rapport à celles labourées.

Néanmoins, la cinétique de la dégradation des résidus et l'évolution du stock d'azote minéral dans le profil cultural sont insuffisantes pour expliquer le bilan azoté du sol. En fait, d'autres flux notamment les entrées et les sorties d'azotes autres de ce que nous avions démontrés interagissent encore dans ce bilan. Faire le bilan total d'azote minéral sur le cycle du riz pluvial selon les modes de gestion du sol, les types de résidus ainsi que les niveaux d'enherbement de la parcelle est une condition sine qua none. Pour ce faire, il faudra aussi bien quantifier les entrées que les sorties d'azote. Ainsi en vue d'amélioration de cette recherche, nos recommandations sont : (i) Faire des analyses des résidus à chaque date de prélèvement afin d'évaluer la quantité d'azote potentielle fournies suite à la dégradation des résidus (ii) Faire des

analyses des plants de riz à différents stades pour quantifier la teneur en azote assimilés par la plante; (iii) quantifier les éventuels azotes perdus : par volatilisation et par les adventices. Ce qui nous permettra de faire le bilan azoté durant le cycle cultural.

. En somme, l'importance des trois principes de l'agriculture de conservation dans l'amélioration du bilan azoté du sol est vérifiée en partie. Le travail minimum du sol entraine une dégradation plus lente et progressive des résidus de culture. La couverture permanente du sol quant à elle associée à la rotation culturale diversifiée entraine un meilleur statut azoté du profil cultural. A tout cela s'ajoute un meilleur rendement en paddy sans obligation de recourir à une forte utilisation d'intrants chimiques couteux et néfastes pour l'environnement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Autfray P., 2012. Effet des litières sur l'offre en azote d'origine organique dans des systèmes de culture de maïs à couvertures végétales. Etude de cas dans la zone à forêt semi-décidue de Côte d'Ivoire- Sciences du Vivant/Sciences agricoles/Agronomie Effets. 108pages
- Azontonde H. A., 2000. Dynamique de la matière organique et de l'azote dans le système Mucuna-Maïs sur un sol ferrallitique (Terres de Barre) au Sud Bénin. Thèse de doctorat. Ministère de l'Agriculture - Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier - Institut de Recherche pour le Développement - Institut National des Recherches Agricoles du Bénin p 71-171.
- Badjeck B. et Cheikh I. N. (FAO) et Slaviero F. (PAM) ; 9 Octobre 2013. Mission fao/pam d'évaluation de la sécurité alimentaire à Madagascar, 72 pp (http://www.wfp.org/food-security/reports/CFSAM)
- Balesdent, J., Chenu C., Balabane M.. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. Soil & Tillage Research 53:215-230.
- Bayer, C, Martin-Neto L., Mielniczuk J., Pavinato A., Dieckow J.. 2006. Carbon séquestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. Soil & Tillage Research 86:237-245.
- Bouajila K., Ben Jeddi F., Taamallah H., Jedidi N., Sanaa M., 2013. Effets de la composition chimique et biochimique des résidus de cultures sur leur décomposition dans un sol Limono-Argileux du semi-aride. J. Mater. Environ. Sci, 5 : 159-166
- BRL, 2010. Diffusion des techniques de semis direct sur couverture végétale, Rapport final de campagne agricole de la saison 2009-2010 du lot 3, Projet BV Lac, MAEP. 78 p.
- CEntre National de Recherche Appliquée au DEveloppement Rural (FOFIFA), 2014. Fiche technique de Fotsiambo (B22), p.32
- Chabierski S., Dabat M., Grandjean P., Ravalitera A. et Andriamalala H., 21 mars au 9 avril 2005. Une approche socio-éco-territoriale en appui à la diffusion des techniques agroécologiques au Lac Alaotra- Madagascar. Rapport de Mission à Madagascar. 8 pp
- Coppens F., Merckx R. et Recous S., 2006. Impact of crop residue location on carbon and nitrogen distribution in soil and water-stable aggregates. European Journal of Soil Science, 57, pp. 570-582.
- Coppens F., 2005. Water, carbon and nitrogen dynamics in soil. Influence of crop residue location and quality. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique Paris Grignon, 203 pages.
- Corbeels M., O'Connell A.M., Grove T.S., Mendham D.S., and S.J. Rance. 2003. Nitrogen release from eucalypt leaves and légume resitiues as influenced by their biochemical quality and degree of contact with soil. Plant and Soil 250:15-28.

- Deveze JC. 2007. Evolution des agricultures familiales du Lac Alaotra, Madagascar. 13 p.
- Duguet F., Mars 2005. minéralisation de l'azote et du phosphore dans les sols organiques cultivés du sud-ouest du Québec ; Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en sols et environnement pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M. Sc.), 105 pages
- Fabrizzi, K.P., Moron A. and Garcia F.O., 2003. Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded mollisols in Argentina. Soil Science Society of America Journal 67:1831-1841.
- Fevre V., Flodrops P. et Penot E., février 2014. Etude des trajectoires d'innovations et modes d'adoption sur l'agriculture de conservation dans la région du Lac Alaotra, Document de travail UMR innovation CIRAD ; Synthèse des 3 enquêtes 2013/2014 sur l'adoption des techniques de l'agriculture de conservation au lac Alaotra, 26 pages
- Franzluebbers, A. J., & Stuedemann, J. a., 2013. Soil-profile distribution of inorganic N during 6 years of integrated crop-livestock management. Soil and Tillage Research, 134, 83–89. http://doi.org/10.1016/j.still.2013.07.010
- Global Rice Science Partnership (GRISP), 2013. Rice Almanac, 4th edition. Los Banos (Philippines). International Rice Research Institute.
- Heal, O. W., Anderson, J. M. , Swift, M. J., 1997. Plant litter quality and decomposition: an historical review. Dans: Cadisch, G., Giller, K.E. (Eds.), Driven by Nature, Plant Quality and Decomposition, CAB, Wallingford, 3-30.
- Husson O., Charpentier H., Naudin K., Razanamparany C., Moussa N., Michellon R., Andrianasolo R., Razafintsalama H., Rakotoarinivo C., Rakotondramanana, Enjalric F. , Seguy L., Septembre 2009, Le choix des cultures, associations et successions adaptées aux contraintes agro-climatiques, Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Volume II. Chapitre 1, 24 pages
- Husson O., Charpentier H., Razanamparany C., Moussa C., Michellon R., Naudin K., Razafintsalama H., Rakotoarinivo C, Rakotondramanana, Seguy L. ; Juin 2008, Stylosanthes guianensis, Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Volume III. Chapitre 2. § 1, 12 pages
- Kirk, G. J. D. and H. J. Kronzucker, 2000. Nitrogen uptake by rice roots. Carbon and Nitrogen Dynamics in Flooded Soils.
- Le FOFIFA, le CIRAD et l'Université d'Antananarivo ; 14 et 15 octobre 2009; Actes de l'atelier national sur la recherche et le développement du riz pluvial à Madagascar ; Dans le cadre de l'Unité de Recherche en Partenariat Sur les Systèmes de Culture et Rizicultures Durables (URP SCRiD) à La Résidence Sociale ANTSIRABE
- M. Dashtban, H. Schraft, T.A. Syed and W. Qin, Int. J. Biochem. Mol. Biol. 1, 36, 2010, 12 pages

- Maltas, A. 2007. Analyse par expérimentation et modélisation de la dynamique de l'azote dans les systèmes sous semis direct avec couverture végétale des Cerrados brésiliens, Thèse de doctorat. Université de Montpellier IL Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier.
- Maltas A., Corbeels M, Scopel E.,Wery J. et Macena da Silva F.A., 2009. Cover crop and Nitrogen effects on maize productivity in no tillage systems of the Brazilian Cerrados. Agronomy Journal, 101 (5), pp. 1036-1046.
- Melillo, J.M.; Aber, J.D. and Muratore, J.F. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. Ecology. 63: 621-626.
- Metay, A. 2005. Séquestration de carbone et flux de gaz à effet de serre. Comparaison entre semis direct et système conventionnel dans les Cerrados brésiliens. Thèse de doctorat de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon- 216 p.
- Naudin, K., Scopel, E., Andriamandroso, A. L. H., Rakotosolofo, M., Andriamarosoa Ratsimbazafy, N. R. S., Rakotozandriny, J. N., Salgado, P., and K. E. Giller (2012). Trade-offs between biomass use and soil cover. The case of rice-based cropping systems in the lake Alaotra region of Madagascar. Experimental Agriculture, chapter 3 ; 48(02), 194–209.
- Nicolas, 2010 ; cycle de l'azote 20 pages
- N'Dayegamiye A., Giroux M. et Gasser M. O. ; 2007 ; La contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la MO : facteur climatique et régies agricoles influençant les taux de minéralisation d'azote, 28pages
- Naudin K., Scopel E., Andriamandroso A.L.H., Rakotosolofo M., Andriamarosoa Ratsimbazafy N.R.S., Rakotozandriny J.N., Salgado P., et Giller K.E., 2012. 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.
- Oglesby, K.A. and Fownes, J.H., 1992. Effects of chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of 7 tropical leguminous trees. Plant and Soil. 143: 127-132.
- Paustian, K., Six J., Elliott E.T., Hunt H.W.. 2000. Management options for reducing CO2 émissions from agricultural soils. Biogeochemistry 48.
- Penot E., Domas R., Raharisoa B., Rakotondravelo JC, Andriamalala H. ; 18 décembre 2012 ; Évolution des itinéraires techniques à base de riz pluvial et adoption paysanne des techniques de l'agriculture de conservation depuis 2003 au lac Alaotra (Madagascar), version 1, 13pages.
- Rakotoarisoa J., 2011 ; Comparaison de l'efficience de la nutrition azotée du riz pluvial en labour et en semis direct sous couverture végétale-cas des sols ferralitiques humifères d'Andranomanelatra dans la région du Vakinankaratra ; Université d'Antananarivo

Faculté des Sciences Département de Biologie et Ecologie Végétale_ Thèse de Doctorat en Science de la Vie

- Rakotosolofo M., 25 juin 2010 ; Productivité et valeur nutritive des plantes de couvertures (Stylosanthes guianensis, Brachiaria. brizantha, B. ruziziensis, B. humidicola, Vigna unguiculata, Dolichos lablab) et des résidus de récoltes (pailles de riz et de maïs) utilisés en Systèmes de culture sous-Couverture Végétale (SCV) au Lac Alaotra ; mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, Université d'Antananarivo- Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques département Elevage, 102pages (page 10 de l'annexe)
- Ralison E. et Goossens F. ; Janvier 2006 Madagascar: Profil des marchés pour les évaluations d'urgence de la sécurité alimentaire, Programme Alimentaire Mondial, Service de l'Evaluation des besoins d'urgence (ODAN), 98pp
- Ramahatoraka H. A., Rakotondravelo J. C., Penot E. et Faure G. ; Septembre 2011 ; Analyse des services agricoles liés à l'adoption des systèmes de culture sous couverture végétale (SCV). Cas de la zone du lac Alaotra ; Document de travail BV lac n° 67 ; projet de mise en valeur et de protection des Bassins Versants au Lac Alaotra ; 42 pages
- Razaka R. D., juillet 2011, Alaotra Mangoro, grenier à riz, une descente effectuée par les techniciens du Ministère du Commerce et de la Consommation,
- Repoblikan'i Madagasikara. 2005 - Plan Régional de Développement, Région Alaotra Mangoro. Province Autonome de Toamasina.
- Scopel. E. A. Findeling. E.C. Guerra. and M. Corbeels. 2005. Impact of direct sowing mulch-based cropping Systems on soil carbon. soil érosion and maize yield. Agronomy for Sustainable Development 25:425-432.
- Scopel, E., F.A.M. Da Silva, M. Corbeels, F.O. Affholder, and F, Maraux. 2004. Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. Agronomie 24:383-395.
- Singh, P.K., Tripathi, S.K., 1999. Litterfall, litter decomposition and nutrient release patterns in four native tree species raised on coal mine spoil at Singrauli, India. Biology Fertility Soils 29, 371-378.
- Six, J., Conant R.T., Paul E.A., and Paustian K., 2002a. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. Plant and Soil 241.
- Spedding, T.A., Hamel, C., Mehuys, G.R., et C.A. Madramootoo. 2004. Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. Soil Biology & Biochemistry 36:499-512.
- Stevenson F.J.. 1986. - Cycles of soil : carbon, nitrogen, sulfur, micronutients.J. Wiley et Sons Ed., New-York, 1-44.

- Tableau de Bord Environnemental Régional (TBER), 2009 ; Rapport de synthèse sur l'état de l'environnement de la région Alaotra Mangoro : le 15ème tableau de bord environnemental régional élaboré. 40pp (http://www.pnae.mg)
- Vanlauwe, B., Diels, J., Sanginga, N., Merckx, R., 1997. Residue quality and decomposition: an unsteady relationship? Dans: Cadisch, G., Giller, K.E. (Eds.), Driven by Nature, Plant Quality and Decomposition, CAB, Wallingford, 157-166
- WOOD, T.G. 1974. Field investigations on the decomposition of leaves of Eucalyptus delegatensia in relation to environmental factors. Pedobiol. 14:343-371.
- http://www.fao.org/ag/ca/1a.html

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: CRR-ME du FOFIFA Ambohitsilaozana/Ambatondrazaka ---------- I

Section Amélioration variétale du riz ---------- I

Section Unité de Production de Semences (UPS) ---------- I

Section Collection variétale ---------- I

Section Agrotechnie ---------- I

Section Entomologie ---------- II

Annexe 2 : Projet ABACO (Agroecology-Based Aggradation Conservation Agriculture) ----- II

Annexe 3 : plantes de couvertures et système de culture ---------- III

Stylosanthes guianensis ---------- III

Dolique + maïs ---------- IV

Annexe 4 : Valeur de la pluviométrie durant l'expérimentation à lecture directe près du dispositif ---------- V

Annexe 5 : Données météorologique sur 10 ans 2003-2013 ---------- VI

Annexe 6: Fiche collecte de données sur la dégradation des résidus ---------- VII

Annexe 7: tableau des moyennes de Perte en % de masse suivant les modalités testées d'après le Tableau croisé dynamique de l'Excel : ---------- XII

Annexe 8 : Tableau de l'évolution dans le temps des stocks moyennes en NO_3^- + NH_4^+ en kg/ha de 0 à 90 cm ---------- XII

Annexe 9 : Stocks en NO_3^- (en kg.ha-1) suivant la profondeur ---------- XII

Annexe 10: Tableau des moyennes du rendement selon les modalités testées d'après le tableau croisé dynamique de l'Excel : ---------- XIV

Annexe 1: CRR-ME du FOFIFA Ambohitsilaozana/Ambatondrazaka

Le FOFIFA du Moyen-Est ou Centre Régional de Recherches du Moyen Est (CRR-ME) est connu sous le nom de CALA ou Complexe Agronomique sur Lac Alaotra. Il se trouve à Ambohitsilaozana, à 15km au Nord de la ville d'Ambatondrazaka sur la RN44, occupant actuellement une superficie de 330ha.

Actuellement, le FOFIFA/CALA dispose cinq (05) programmes de recherche sur des activités différentes dont :

Section Amélioration variétale du riz

Dans cette branche, les activités peuvent être divisées en :

- Amélioration variétale du riz proprement dite
- Production de semences de pré base G0 et G1
- Collection variétale du riz : environ 300 variétés de riz sont enregistrées dans la collection qui proviennent en majorité des pays asiatiques (Philippines, Inde, Indonésie,…).
- Criblage variétal qui consiste à faire ressortir une ou plusieurs variétés (sélection variétale) selon le thème voulu (ex. changement climatique

NB : Pour la campagne 2013-2014, la section Amélioration variétale de riz produit deux semences pré base G0 et G1 sur un terrain de 40 ares en partenariat avec JICA/PAPRIZ, il s'agit de variété de riz MKX et MK34.

Section Unité de Production de Semences (UPS)

L'UPS consiste à produire des semences de base G2 de qualité pour approvisionner les producteurs et les centres multiplicateurs de semences ainsi que d'assurer la disponibilité de quelques variétés.

D'après une étude en 2012 par les chercheurs du centre, il a été montré que la variété B22 utilisée en culture pluviale commence à être dépréciée par les agriculteurs due à la détérioration de son adaptation

Section Collection variétale

Cette section consiste à maintenir les collections variétales dont le maïs avec 184 variétés ; le manioc avec 198 variétés et les légumineuses plus de 507 variétés

Section Agrotechnie

Ses activités se résument par des recherches sur l'amélioration de la productivité agricole et sur l'innovation technique et technologie agricoles par le renforcement des techniques de fertilisation et culturales adaptées aux situations paysannes et aux changements climatiques.

Section Entomologie

Cette section assure le maintien et l'entretien des collections entomologiques d'insectes sur le riz et sur les cultures maraîchères dans l'Alaotra et l'étude sur la lutte biologique contre les insectes terricoles *Heteronychus plebeius* (Coleoptera - Scarabeidae) ou « Voana ».

En effet, les *Heteronychus plebeius* furent depuis longtemps un grand problème sur les cultures pluviales (riz et maïs) en nuisant le collet des jeunes plants, conduisant ainsi à leur mort. Or, la méthode de lutte chimique pose de nombreuses difficultés concernant son coût, sa disponibilité et son impact sur l'environnement (toxicité)…

Ainsi, l'arrivée du projet BVLAC dans la région Alaotra (2005-2012) a pu financer l'étude sur la lutte biologique contre les *Heteronychus*. Il s'agit de l'utilisation de champignon entomopathogène *Metarhizium anisopliae*. L'essai a été effectué sur 250 ha de culture.

Le centre dispose aussi des différents projets de recherche dont l'ABACO, PHRD, Amsul et un projet sur le changement climatique

Annexe 2 : Projet ABACO (Agroecology-Based Aggradation Conservation Agriculture)

1. Présentation

Le projet européen ABACO vise à l'étude et au développement des systèmes en Agriculture de Conservation (AC), aussi dénommés systèmes en semis direct avec couverture végétale (SCV), pour lutter contre la dégradation des sols et l'instabilité de la production des cultures vivrières dans les zones semi-arides de l'Afrique. Il intervient également en Afrique de l'Ouest (Burkina Faso), en Afrique de l'Est (Kenya, Tanzanie) et en Afrique Australe (Zimbabwe, Mozambique). A Madagascar, ABACO s'intéresse au Lac Alaotra de par la grande instabilité des conditions climatiques et par le fort développement des techniques AC dans cette région. Le projet a débuté en 2012 et se terminera en fin 2014.

2. Objectifs

Le projet a pour objectif de réduire la vulnérabilité des paysans face aux risques environnementaux et de soutenir les paysans à faible productivité agricole. Ainsi, il développe des options techniques adaptées aux différents problèmes auxquels sont soumis les pratiquants des SCV.

3. Activités menées par le projet ABACO

Le projet effectue :

- Expérimentation en milieu contrôlé au CRR-ME pour vérifier les impacts des systèmes AC sur la valorisation des pluies et sur la fertilité des sols.
- Expérimentation en milieu réel avec les producteurs afin d'impliquer les producteurs dans l'évaluation et dans l'adaptation des techniques AC selon leurs contraintes.

Annexe 3 : plantes de couvertures et système de culture

Stylosanthes guianensis

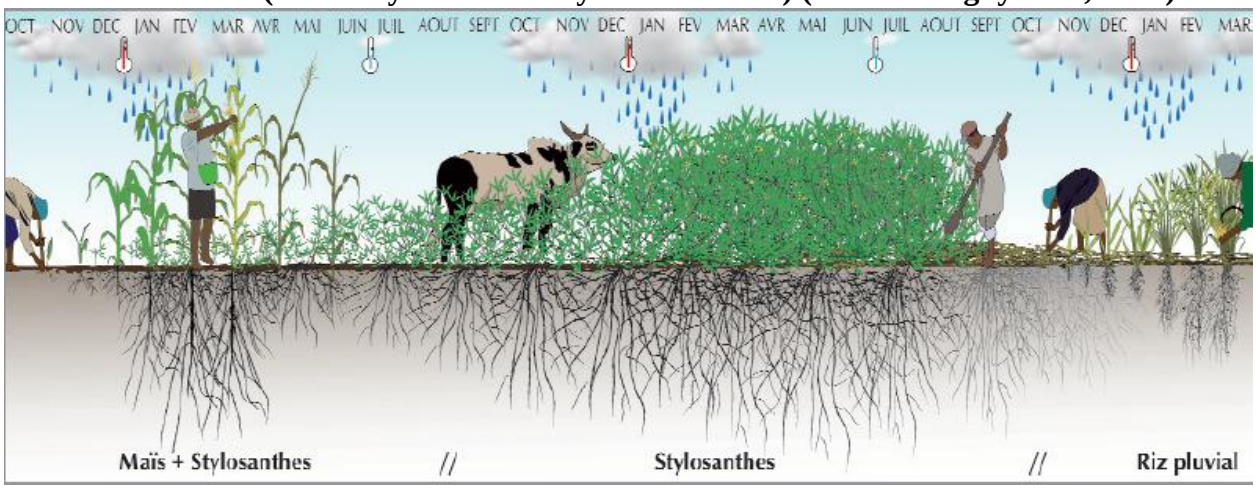
C'est une légumineuse herbacée, érigée à semi-érigée. C'est une espèce pérenne, de durée de vie assez courte (3 ans environ). Il peut s'adapter à toutes les zones climatiques de Madagascar, de 0 à 1600 m d'altitude avec une précipitation de 600 mm à plus de 3 000 mm. Il se comporte particulièrement bien en climat tropical humide et en climat de moyenne altitude, même avec une saison sèche marquée. (HUSSON O. et *al.*, 2008).

Cette plante est très bénéfique dans :

- Décompaction des sols et augmentation du taux de matière organique
- Protection contre l'érosion
- Fixation d'azote
- Recyclage et mobilisation des bases et éléments nutritifs
- Production totale de biomasse
- Facilité d'utilisation (production de semences, mise en place, contrôle, etc.)
- La possibilité d'utilisation en fourrage (HUSSON O. et *Al.*, 2009 Vol.2, chapitre 1)

Ce système est apparu durant la campagne 2005-2006 mais s'est surtout développé à partir de 2007-2008 et est toujours resté à peu près stable (11% en moyenne des surfaces encore en SCV). Ce système présente l'avantage de produire une importante biomasse avec une faible exigence en intrant. De plus, il peut être associé à de nombreuses cultures comme le riz, le maïs et l'arachide où il peut être une solution face au problème de renouvellement de la biomasse avec cette dernière. C'est un système pérenne mais qui nécessite parfois une année de jachère supplémentaire pour avoir une production de biomasse suffisante sur tanety ce qui suppose d'avoir des réserves en terres cultivables au sein de l'exploitation. (Fevre et Flodrops, 2014)

Rotation triennale (Maïs+Stylosanthes//Stylosanthes//Riz) (*Source :* Séguy *et al.*, 2009)



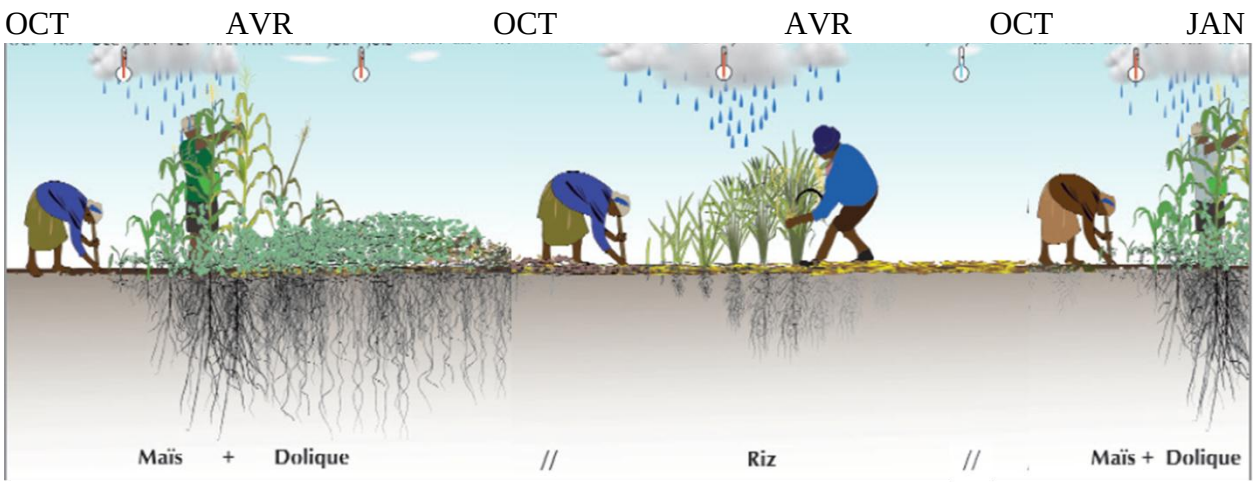
Dolique + maïs

Dolichos lablab qui est une légumineuse volubile annuelle très répandue dans la Région de l'Alaotra et très conseillée par les chercheurs comme plantes de services. En fait, elle est apte à produire durant les périodes marginales (saison sèche, froide). De plus, elle est facile d'utilisation (production de semences, mise en place, contrôle)

Le ***Zea mays***, une graminée annuelle, a en général la préférence des paysans et offre de meilleures opportunités de commercialisation

En outre, le système maïs (***Zea mays***) + dolique (légumineuse volubile) est une association très intéressante et facile à réaliser, très profitable, à forte production de biomasse en général (plus de 8 t/ha, avec une plante volubile qui a recouvert les autres) pour avoir contrôlé la plupart des adventices et pour pouvoir conduire la saison suivante une culture de riz sans herbicide. (HUSSON O. et *Al.*, 2009 Vol.2, chapitre 1)

Rotation biennale (Maïs+dolique//Riz) (*Source :* Séguy *et al.*, 2009)



Annexe 4 : Valeur de la pluviométrie durant l'expérimentation à lecture directe près du dispositif

Mois	Novembre 2013		Décembre 2013		Janvier 2014		Février 2014		Mars 2014	
	19/11/2013	**10**	01/12/2013	**4**	03/01/2014	**32**	05/02/2014	**40**	01/03/2014	**14**
	26/11/2013	**19**	02/12/2013	**15**	04/01/2014	**23**	06/02/2014	**52**	02/03/2014	**20**
	27/11/2013	**2**	03/12/2013	**2**	05/01/2014	**6**	07/02/2014	**4**	13/03/2014	**5**
	28/11/2013	**2**	10/12/2013	**8**	06/01/2014	**4**	08/02/2014	**25**	16/03/2014	**4**
	29/11/2013	**24**	11/12/2013	**22**	12/01/2014	**15**	09/02/2014	**34**	23/03/2014	**15**
	30/11/2013	**15**	14/12/2013	**11**	13/01/2014	**3**	10/02/2014	**15**	24/03/2014	**9**
			15/12/2013	**16**	14/01/2014	**3**	11/02/2014	**15**	25/03/2014	**2**
			16/12/2013	**2**	15/01/2014	**4**	13/02/2014	**6**		
			22/12/2013	**14**	16/01/2014	**89**	20/02/2014	**22**		
					20/01/2014	**17**	21/02/2014	**5**		
					23/01/2014	**15**	22/02/2014	**20**		
					27/01/2014	**4**	23/02/2014	**4**		
					30/01/2014	**10**	26/02/2014	**11**		
					31/01/2014	**30**	27/02/2014	**20**		
Total de pluies mensuel		**72**		**94**		**255**		**273**		**69**
Cumul pluie		**72**		**166**		**421**		**694**		**763**

Annexe 5 : Données météorologique sur 10 ans 2003-2013

- **Précipitation :**

Mois	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	2012-13	moyenne sur 10 ans
sept	8,0	4,9	6,7	1,4	11,3	17,6	3,2	0,0	9,5	0,0	**6,3**
oct.	31,4	0,0	0,1	0,8	11,8	80,7	6,6	0,0	7,5	2,7	**14,2**
nov.	54,2	7,1	57,4	84,7	12,3	233,4	54,7	17,2	29,0	76,9	**62,7**
déc.	160,4	366,8	221,4	60,5	140,2	106,7	103,9	123,8	186,0	80,2	**155,0**
janv.	220,2	142,8	138,4	513,9	212,0	239,6	431,4	102,1	238,0	147,7	**238,6**
févr.	129,8	484,0	86,3	446,0	409,9	192,0	75,5	188,0	331,0	163,1	**250,6**
mars	128,2	342,1	107,3	156,1	41,3	219,8	404,9	161,5	62,0	136,8	**176,0**
avr.	16,3	46,6	13,0	50,5	2,3	146,9	2,6	10,0	38,0	48,9	**37,5**
mai	5,2	7,4	4,7	8,0	15,0	7,9	10,3	37,0	6,5	7,1	**10,9**
juin	8,2	5,1	8,9	3,3	14,3	1,2	5,8	5,0	6,0	3,8	**6,2**
juil.	3,0	33,5	6,8	14,0	6,8	1,2	14,4	4,0	10,0	0,6	**9,4**
août	2,8	8,4	15,2	2,4	0,6	3,2	4,9	3,5	8,0	7,0	**5,6**
TOTAL	**767,7**	**1448,7**	**666,2**	**1341,6**	**877,8**	**1250,2**	**1118,2**	**652,1**	**931,5**	**674,8**	**972,9**

- **température moyenne :**

	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	2012-13	Moyenne sur 10 ans
sep	19,5	19,8	18,8	19,2	19,0	20,4	20,2	19,2	20,0	18,4	**19,4**
oct	21,5	21,8	20,2	20,8	20,7	21,2	21,7	21,1	22,0	21,4	**21,2**
nov	23,2	22,9	23,0	23,4	23,0	23,3	23,5	22,8	24,0	24,1	**23,3**
déc	23,7	23,7	24,6	23,9	24,2	23,6	24,5	24,6	24,9	25,5	**24,3**
jan	24,1	24,4	23,4	24,4	23,8	24,4	24,0	24,1	24,4	24,2	**24,1**
fév	23,7	24,8	23,7	23,9	22,8	23,3	24,0	23,8	24,7	24,2	**23,9**
mars	23,0	24,2	23,5	23,1	22,7	24,0	24,2	23,5	24,1	23,2	**23,5**
avr	22,2	22,9	22,6	21,7	22,7	22,2	22,6	23,7	23,4		**22,7**
mai	19,8	20,6	21,1	21,2	19,9	21,0	21,9	21,9	21,1	20,5	**20,9**
juin	17,7	18,8	19,1	17,9	18,3	19,5	20,0	19,9	19,0	17,6	**18,8**
juil	17,9	17,5	17,9	18,3	17,3	17,9	17,7	18,5	17,3	18,6	**17,9**
août	18,3	17,7	18,4	18,3	18,3	19,0	18,2	19,7	17,8	17,2	**18,3**

Annexe 6: Fiche collecte de données sur la dégradation des résidus

SC	MGS	Enherbement	JAS	N° bloc	LB moyenne Sèche (g)	Perte en % de masse	Cumul de Pluies (mm)
Stylo	SCV	E	0	1	30,23	100	0
Stylo	SCV	NE	0	1	30,23	100	0
M+D	LSR	E	0	1	21,90	100	0
M+D	LSR	NE	0	1	21,90	100	0
M+D	SCV	E	0	1	35,27	100	0
M+D	SCV	NE	0	1	35,27	100	0
Stylo	LSR	E	0	1	35,04	100	0
Stylo	LSR	NE	0	1	35,04	100	0
M+D	SCV	E	0	2	35,27	100	0
M+D	SCV	NE	0	2	35,27	100	0
Stylo	SCV	E	0	2	30,23	100	0
Stylo	SCV	NE	0	2	30,23	100	0
M+D	LSR	E	0	2	21,90	100	0
M+D	LSR	NE	0	2	21,90	100	0
Stylo	LSR	E	0	2	35,04	100	0
Stylo	LSR	NE	0	2	35,04	100	0
M+D	SCV	E	0	3	35,27	100	0
M+D	SCV	NE	0	3	35,27	100	0
Stylo	LSR	E	0	3	35,04	100	0
Stylo	LSR	NE	0	3	35,04	100	0
Stylo	SCV	E	0	3	30,23	100	0
Stylo	SCV	NE	0	3	30,23	100	0
M+D	LSR	E	0	3	21,90	100	0
M+D	LSR	NE	0	3	21,90	100	0
M+D	LSR	E	0	4	21,90	100	0
M+D	LSR	NE	0	4	21,90	100	0
M+D	SCV	E	0	4	35,27	100	0
M+D	SCV	NE	0	4	35,27	100	0
Stylo	SCV	E	0	4	30,23	100	0
Stylo	SCV	NE	0	4	30,23	100	0
Stylo	LSR	E	0	4	35,04	100	0
Stylo	LSR	NE	0	4	35,04	100	0
Stylo	SCV	E	10	1	29,33	97,01	60
Stylo	SCV	NE	10	1	29,22	96,65	60
M+D	LSR	E	10	1	19,83	90,56	60
M+D	LSR	NE	10	1	20,70	94,52	60
M+D	SCV	E	10	1	33,03	93,64	60
M+D	SCV	NE	10	1	32,66	92,61	60
Stylo	LSR	E	10	1	33,14	94,57	60
Stylo	LSR	NE	10	1	33,03	94,26	60
M+D	SCV	E	10	2	33,01	93,59	60
M+D	SCV	NE	10	2	32,68	92,65	60
Stylo	SCV	E	10	2	29,26	96,78	60
Stylo	SCV	NE	10	2	29,27	96,82	60
M+D	LSR	E	10	2	19,88	90,78	60
M+D	LSR	NE	10	2	20,63	94,19	60
Stylo	LSR	E	10	2	33,17	94,67	60
Stylo	LSR	NE	10	2	33,01	94,20	60
M+D	SCV	E	10	3	33,01	93,60	60
M+D	SCV	NE	10	3	32,62	92,49	60
Stylo	LSR	E	10	3	33,14	94,58	60
Stylo	LSR	NE	10	3	33,00	94,19	60
Stylo	SCV	E	10	3	29,30	96,93	60

Stylo	SCV	NE	10	3	29,18	96,54	60
M+D	LSR	E	10	3	19,88	90,76	60
M+D	LSR	NE	10	3	20,68	94,41	60
M+D	LSR	E	10	4	19,81	90,46	60
M+D	LSR	NE	10	4	20,69	94,47	60
M+D	SCV	E	10	4	33,07	93,77	60
M+D	SCV	NE	10	4	32,67	92,63	60
Stylo	SCV	E	10	4	29,27	96,82	60
Stylo	SCV	NE	10	4	29,16	96,47	60
Stylo	LSR	E	10	4	33,10	94,47	60
Stylo	LSR	NE	10	4	33,01	94,22	60
Stylo	SCV	E	20	1	28,14	93,08	119
Stylo	SCV	NE	20	1	28,04	92,76	119
M+D	LSR	E	20	1	18,62	85,02	119
M+D	LSR	NE	20	1	18,60	84,93	119
M+D	SCV	E	20	1	32,68	92,65	119
M+D	SCV	NE	20	1	32,45	92,01	119
Stylo	LSR	E	20	1	30,19	86,15	119
Stylo	LSR	NE	20	1	30,11	85,94	119
M+D	SCV	E	20	2	32,58	92,37	119
M+D	SCV	NE	20	2	32,39	91,84	119
Stylo	SCV	E	20	2	28,17	93,20	119
Stylo	SCV	NE	20	2	28,03	92,73	119
M+D	LSR	E	20	2	18,55	84,69	119
M+D	LSR	NE	20	2	18,70	85,39	119
Stylo	LSR	E	20	2	30,13	85,99	119
Stylo	LSR	NE	20	2	30,07	85,83	119
M+D	SCV	E	20	3	32,61	92,46	119
M+D	SCV	NE	20	3	32,50	92,15	119
Stylo	LSR	E	20	3	30,12	85,95	119
Stylo	LSR	NE	20	3	30,14	86,01	119
Stylo	SCV	E	20	3	28,13	93,05	119
Stylo	SCV	NE	20	3	28,10	92,94	119
M+D	LSR	E	20	3	18,52	84,58	119
M+D	LSR	NE	20	3	18,57	84,81	119
M+D	LSR	E	20	4	18,71	85,43	119
M+D	LSR	NE	20	4	18,55	84,72	119
M+D	SCV	E	20	4	32,55	92,29	119
M+D	SCV	NE	20	4	32,43	91,94	119
Stylo	SCV	E	20	4	28,16	93,16	119
Stylo	SCV	NE	20	4	28,11	92,99	119
Stylo	LSR	E	20	4	30,17	86,10	119
Stylo	LSR	NE	20	4	30,10	85,90	119
Stylo	SCV	E	30	1	26,22	86,72	133
Stylo	SCV	NE	30	1	26,08	86,26	133
M+D	LSR	E	30	1	15,95	72,83	133
M+D	LSR	NE	30	1	15,76	71,98	133
M+D	SCV	E	30	1	30,70	87,04	133
M+D	SCV	NE	30	1	30,99	87,87	133
Stylo	LSR	E	30	1	28,03	80,00	133
Stylo	LSR	NE	30	1	28,00	79,90	133
M+D	SCV	E	30	2	30,73	87,12	133
M+D	SCV	NE	30	2	30,83	87,42	133
Stylo	SCV	E	30	2	26,22	86,72	133
Stylo	SCV	NE	30	2	26,05	86,17	133
M+D	LSR	E	30	2	15,91	72,63	133
M+D	LSR	NE	30	2	15,70	71,70	133
Stylo	LSR	E	30	2	28,01	79,93	133
Stylo	LSR	NE	30	2	28,01	79,93	133

M+D	SCV	E	30	3	30,69	87,01	133
M+D	SCV	NE	30	3	30,94	87,71	133
Stylo	LSR	E	30	3	28,06	80,09	133
Stylo	LSR	NE	30	3	28,01	79,94	133
Stylo	SCV	E	30	3	26,20	86,67	133
Stylo	SCV	NE	30	3	26,08	86,26	133
M+D	LSR	E	30	3	16,00	73,06	133
M+D	LSR	NE	30	3	15,69	71,66	133
M+D	LSR	E	30	4	15,92	72,69	133
M+D	LSR	NE	30	4	15,75	71,90	133
M+D	SCV	E	30	4	30,62	86,83	133
M+D	SCV	NE	30	4	30,89	87,59	133
Stylo	SCV	E	30	4	26,24	86,79	133
Stylo	SCV	NE	30	4	26,12	86,39	133
Stylo	LSR	E	30	4	28,00	79,90	133
Stylo	LSR	NE	30	4	28,01	79,94	133
Stylo	SCV	E	45	1	24,01	79,41	213
Stylo	SCV	NE	45	1	23,94	79,18	213
M+D	LSR	E	45	1	13,72	62,63	213
M+D	LSR	NE	45	1	13,40	61,19	213
M+D	SCV	E	45	1	27,92	79,16	213
M+D	SCV	NE	45	1	27,26	77,29	213
Stylo	LSR	E	45	1	27,05	77,21	213
Stylo	LSR	NE	45	1	26,90	76,77	213
M+D	SCV	E	45	2	27,84	78,94	213
M+D	SCV	NE	45	2	27,23	77,21	213
Stylo	SCV	E	45	2	23,98	79,33	213
Stylo	SCV	NE	45	2	23,90	79,06	213
M+D	LSR	E	45	2	13,64	62,27	213
M+D	LSR	NE	45	2	13,50	61,66	213
Stylo	LSR	E	45	2	27,02	77,12	213
Stylo	LSR	NE	45	2	26,87	76,69	213
M+D	SCV	E	45	3	27,82	78,88	213
M+D	SCV	NE	45	3	27,20	77,12	213
Stylo	LSR	E	45	3	27,04	77,17	213
Stylo	LSR	NE	45	3	26,91	76,80	213
Stylo	SCV	E	45	3	24,00	79,40	213
Stylo	SCV	NE	45	3	23,92	79,12	213
M+D	LSR	E	45	3	13,64	62,30	213
M+D	LSR	NE	45	3	13,50	61,66	213
M+D	LSR	E	45	4	13,76	62,82	213
M+D	LSR	NE	45	4	13,45	61,42	213
M+D	SCV	E	45	4	27,83	78,92	213
M+D	SCV	NE	45	4	27,23	77,20	213
Stylo	SCV	E	45	4	24,00	79,40	213
Stylo	SCV	NE	45	4	23,91	79,09	213
Stylo	LSR	E	45	4	27,01	77,08	213
Stylo	LSR	NE	45	4	26,96	76,93	213
Stylo	SCV	E	60	1	23,10	76,40	348
Stylo	SCV	NE	60	1	23,03	76,18	348
M+D	LSR	E	60	1	12,62	57,64	348
M+D	LSR	NE	60	1	12,55	57,29	348
M+D	SCV	E	60	1	26,73	75,78	348
M+D	SCV	NE	60	1	26,59	75,40	348
Stylo	LSR	E	60	1	25,18	71,87	348
Stylo	LSR	NE	60	1	25,01	71,38	348
M+D	SCV	E	60	2	26,63	75,49	348
M+D	SCV	NE	60	2	26,66	75,60	348
Stylo	SCV	E	60	2	23,06	76,27	348

Stylo	SCV	NE	60	2	23,02	76,15	348
M+D	LSR	E	60	2	12,61	57,58	348
M+D	LSR	NE	60	2	12,58	57,44	348
Stylo	LSR	E	60	2	25,10	71,64	348
Stylo	LSR	NE	60	2	25,00	71,36	348
M+D	SCV	E	60	3	26,74	75,81	348
M+D	SCV	NE	60	3	26,62	75,47	348
Stylo	LSR	E	60	3	25,12	71,69	348
Stylo	LSR	NE	60	3	25,05	71,50	348
Stylo	SCV	E	60	3	23,08	76,35	348
Stylo	SCV	NE	60	3	23,07	76,33	348
M+D	LSR	E	60	3	12,59	57,47	348
M+D	LSR	NE	60	3	12,54	57,26	348
M+D	LSR	E	60	4	12,60	57,53	348
M+D	LSR	NE	60	4	12,48	56,99	348
M+D	SCV	E	60	4	26,73	75,79	348
M+D	SCV	NE	60	4	26,49	75,10	348
Stylo	SCV	E	60	4	23,12	76,49	348
Stylo	SCV	NE	60	4	23,00	76,09	348
Stylo	LSR	E	60	4	25,18	71,87	348
Stylo	LSR	NE	60	4	25,01	71,38	348
Stylo	SCV	E	75	1	22,35	73,94	573
Stylo	SCV	NE	75	1	22,29	73,73	573
M+D	LSR	E	75	1	10,67	48,74	573
M+D	LSR	NE	75	1	10,33	47,18	573
M+D	SCV	E	75	1	25,20	71,45	573
M+D	SCV	NE	75	1	25,20	71,45	573
Stylo	LSR	E	75	1	24,26	69,24	573
Stylo	LSR	NE	75	1	24,18	69,00	573
M+D	SCV	E	75	2	25,29	71,71	573
M+D	SCV	NE	75	2	25,27	71,66	573
Stylo	SCV	E	75	2	22,34	73,89	573
Stylo	SCV	NE	75	2	22,20	73,44	573
M+D	LSR	E	75	2	10,77	49,16	573
M+D	LSR	NE	75	2	10,42	47,56	573
Stylo	LSR	E	75	2	24,28	69,29	573
Stylo	LSR	NE	75	2	24,17	68,98	573
M+D	SCV	E	75	3	25,22	71,51	573
M+D	SCV	NE	75	3	25,17	71,37	573
Stylo	LSR	E	75	3	24,23	69,16	573
Stylo	LSR	NE	75	3	24,16	68,94	573
Stylo	SCV	E	75	3	22,33	73,87	573
Stylo	SCV	NE	75	3	22,27	73,68	573
M+D	LSR	E	75	3	10,76	49,13	573
M+D	LSR	NE	75	3	10,29	46,97	573
M+D	LSR	E	75	4	10,69	48,83	573
M+D	LSR	NE	75	4	10,31	47,09	573
M+D	SCV	E	75	4	25,11	71,19	573
M+D	SCV	NE	75	4	25,11	71,19	573
Stylo	SCV	E	75	4	22,34	73,90	573
Stylo	SCV	NE	75	4	22,24	73,57	573
Stylo	LSR	E	75	4	24,27	69,25	573
Stylo	LSR	NE	75	4	24,17	68,98	573
Stylo	SCV	E	90	1	20,87	69,04	641
Stylo	SCV	NE	90	1	20,69	68,43	641
M+D	LSR	E	90	1	8,96	40,90	641
M+D	LSR	NE	90	1	8,77	40,03	641
M+D	SCV	E	90	1	23,18	65,73	641
M+D	SCV	NE	90	1	23,07	65,42	641

Stylo	LSR	E	90	1	23,50	67,08	641
Stylo	LSR	NE	90	1	23,28	66,44	641
M+D	SCV	E	90	2	23,19	65,76	641
M+D	SCV	NE	90	2	23,07	65,41	641
Stylo	SCV	E	90	2	20,80	68,81	641
Stylo	SCV	NE	90	2	20,59	68,11	641
M+D	LSR	E	90	2	8,84	40,38	641
M+D	LSR	NE	90	2	8,73	39,88	641
Stylo	LSR	E	90	2	23,54	67,17	641
Stylo	LSR	NE	90	2	23,26	66,38	641
M+D	SCV	E	90	3	23,22	65,83	641
M+D	SCV	NE	90	3	23,12	65,56	641
Stylo	LSR	E	90	3	23,54	67,18	641
Stylo	LSR	NE	90	3	23,23	66,29	641
Stylo	SCV	E	90	3	20,84	68,94	641
Stylo	SCV	NE	90	3	20,66	68,33	641
M+D	LSR	E	90	3	8,96	40,91	641
M+D	LSR	NE	90	3	8,73	39,88	641
M+D	LSR	E	90	4	8,94	40,82	641
M+D	LSR	NE	90	4	8,71	39,77	641
M+D	SCV	E	90	4	23,17	65,68	641
M+D	SCV	NE	90	4	23,00	65,22	641
Stylo	SCV	E	90	4	20,81	68,84	641
Stylo	SCV	NE	90	4	20,68	68,40	641
Stylo	LSR	E	90	4	23,54	67,18	641
Stylo	LSR	NE	90	4	23,29	66,46	641
Stylo	SCV	E	117	1	19,47	64,40	730
Stylo	SCV	NE	117	1	19,12	63,25	730
M+D	LSR	E	117	1	5,47	24,96	730
M+D	LSR	NE	117	1	5,36	24,46	730
M+D	SCV	E	117	1	21,50	60,96	730
M+D	SCV	NE	117	1	21,19	60,09	730
Stylo	LSR	E	117	1	21,57	61,56	730
Stylo	LSR	NE	117	1	20,60	58,78	730
M+D	SCV	E	117	2	21,32	60,45	730
M+D	SCV	NE	117	2	21,22	60,16	730
Stylo	SCV	E	117	2	19,46	64,36	730
Stylo	SCV	NE	117	2	19,05	63,03	730
M+D	LSR	E	117	2	5,53	25,27	730
M+D	LSR	NE	117	2	5,38	24,58	730
Stylo	LSR	E	117	2	21,57	61,57	730
Stylo	LSR	NE	117	2	20,55	58,64	730
M+D	SCV	E	117	3	21,57	61,16	730
M+D	SCV	NE	117	3	21,18	60,06	730
Stylo	LSR	E	117	3	21,54	61,48	730
Stylo	LSR	NE	117	3	20,58	58,74	730
Stylo	SCV	E	117	3	19,36	64,05	730
Stylo	SCV	NE	117	3	19,16	63,39	730
M+D	LSR	E	117	3	5,50	25,11	730
M+D	LSR	NE	117	3	5,39	24,63	730
M+D	LSR	E	117	4	5,50	25,11	730
M+D	LSR	NE	117	4	5,37	24,54	730
M+D	SCV	E	117	4	21,41	60,70	730
M+D	SCV	NE	117	4	21,11	59,86	730
Stylo	SCV	E	117	4	19,53	64,60	730
Stylo	SCV	NE	117	4	19,12	63,24	730
Stylo	LSR	E	117	4	21,55	61,51	730
Stylo	LSR	NE	117	4	20,59	58,75	730

Annexe 7: tableau des moyennes de Perte en % de masse suivant les modalités testées d'après le Tableau croisé dynamique de l'Excel :

Jour Après Semis	perte en pourcentage des résidus								8 modalités testées confondues
	M+D				Stylo				
	LSR		SCV		LSR		SCV		
	E	NE	E	NE	E	NE	E	NE	
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100,00
10	90,64	94,40	93,65	92,59	94,57	94,22	96,89	96,62	94,20
20	84,93	84,96	92,44	91,99	86,05	85,92	93,12	92,85	89,03
30	72,80	71,81	87,00	87,65	79,98	79,93	86,73	86,27	81,52
45	62,50	61,48	78,97	77,21	77,15	76,80	79,39	79,11	74,08
60	57,56	57,25	75,72	75,39	71,77	71,40	76,38	76,19	70,21
75	48,96	47,20	71,47	71,42	69,24	68,97	73,90	73,61	65,60
90	40,75	39,89	65,75	65,40	67,15	66,39	68,91	68,32	60,32
117	25,11	24,55	60,82	60,04	61,53	58,73	64,35	63,23	52,30

Annexe 8 : Tableau de l'évolution dans le temps des stocks moyennes en NO_3^- + NH_4^+ en kg/ha de 0 à 90 cm

	LSR				SCV			
	M+D		Stylo		M+D		Stylo	
JAS	E	NE	E	NE	E	NE	E	NE
18	148,46	154,02	176,15	182,35	175,01	171,96	176,12	211,43
48	75,30	112,56	97,98	125,95	98,92	113,40	134,46	106,10
78	62,48	68,00	65,50	90,12	73,99	68,75	56,68	60,16
95	103,78	114,08	148,28	176,43	145,45	140,97	161,45	169,81
128	59,43	67,05	89,60	106,01	68,18	82,38	98,81	96,99

Annexe 9 : Stocks en NO_3^- (en kg.ha-1) suivant la profondeur

		M+D/R				M+S/S/R			
		LSR		SCV		LSR		SCV	
Prlvt	Profondeur en cm	E	NE	E	NE	E	NE	E	NE
P1	0	32,09	21,47	25,25	24,57	19,61	19,23	26,91	31,38
	10	32,09	21,47	25,25	24,57	19,61	19,23	26,91	31,38
	10	20,05	21,26	28,92	25,73	34,07	32,95	25,13	33,13
	20	20,05	21,26	28,92	25,73	34,07	32,95	25,13	33,13
	20	16,25	19,36	25,21	22,07	20,36	16,54	25,95	31,72
	30	16,25	19,36	25,21	22,07	20,36	16,54	25,95	31,72
	30	11,65	12,21	14,39	14,06	16,37	15,74	15,89	16,41
	40	11,65	12,21	14,39	14,06	16,37	15,74	15,89	16,41
	40	11,65	12,21	14,39	14,06	16,37	15,74	15,89	16,41
	50	11,65	12,21	14,39	14,06	16,37	15,74	15,89	16,41
	50	11,65	12,21	14,39	14,06	16,37	15,74	15,89	16,41
	60	11,65	12,21	14,39	14,06	16,37	15,74	15,89	16,41
	60	6,28	8,65	9,20	9,05	12,94	10,47	9,69	9,68
	70	6,28	8,65	9,20	9,05	12,94	10,47	9,69	9,68

	70	6,28	8,65	9,20	9,05	12,94	10,47	9,69	9,68
	80	6,28	8,65	9,20	9,05	12,94	10,47	9,69	9,68
	80	6,28	8,65	9,20	9,05	12,94	10,47	9,69	9,68
	90	6,28	8,65	9,20	9,05	12,94	10,47	9,69	9,68
P2	0	9,96	9,11	8,13	6,26	12,00	6,71	9,83	6,60
	10	9,96	9,11	8,13	6,26	12,00	6,71	9,83	6,60
	10	5,99	11,27	7,02	6,40	7,82	7,59	7,71	6,00
	20	5,99	11,27	7,02	6,40	7,82	7,59	7,71	6,00
	20	5,91	16,14	7,40	10,16	8,52	18,62	9,75	8,03
	30	5,91	16,14	7,40	10,16	8,52	18,62	9,75	8,03
	30	5,62	10,98	8,62	13,17	7,97	14,80	14,41	14,95
	40	5,62	10,98	8,62	13,17	7,97	14,80	14,41	14,95
	40	5,62	10,98	8,62	13,17	7,97	14,80	14,41	14,95
	50	5,62	10,98	8,62	13,17	7,97	14,80	14,41	14,95
	50	5,62	10,98	8,62	13,17	7,97	14,80	14,41	14,95
	60	5,62	10,98	8,62	13,17	7,97	14,80	14,41	14,95
	60	3,46	6,12	8,45	8,71	7,23	5,48	11,24	9,69
	70	3,46	6,12	8,45	8,71	7,23	5,48	11,24	9,69
	70	3,46	6,12	8,45	8,71	7,23	5,48	11,24	9,69
	80	3,46	6,12	8,45	8,71	7,23	5,48	11,24	9,69
	80	3,46	6,12	8,45	8,71	7,23	5,48	11,24	9,69
	90	3,46	6,12	8,45	8,71	7,23	5,48	11,24	9,69
P3	0	4,36	8,88	10,48	4,63	4,78	4,64	4,42	4,51
	10	4,36	8,88	10,48	4,63	4,78	4,64	4,42	4,51
	10	3,78	9,24	3,55	6,33	4,37	9,35	4,21	3,86
	20	3,78	9,24	3,55	6,33	4,37	9,35	4,21	3,86
	20	3,79	3,69	3,71	3,69	5,00	6,49	3,63	3,49
	30	3,79	3,69	3,71	3,69	5,00	6,49	3,63	3,49
	30	6,30	4,42	5,36	4,71	6,38	8,70	4,30	4,05
	40	6,30	4,42	5,36	4,71	6,38	8,70	4,30	4,05
	40	6,30	4,42	5,36	4,71	6,38	8,70	4,30	4,05
	50	6,30	4,42	5,36	4,71	6,38	8,70	4,30	4,05
	50	6,30	4,42	5,36	4,71	6,38	8,70	4,30	4,05
	60	6,30	4,42	5,36	4,71	6,38	8,70	4,30	4,05
	60	4,07	4,44	4,37	5,08	5,68	9,14	4,50	6,27
	70	4,07	4,44	4,37	5,08	5,68	9,14	4,50	6,27
	70	4,07	4,44	4,37	5,08	5,68	9,14	4,50	6,27
	80	4,07	4,44	4,37	5,08	5,68	9,14	4,50	6,27
	80	4,07	4,44	4,37	5,08	5,68	9,14	4,50	6,27
	90	4,07	4,44	4,37	5,08	5,68	9,14	4,50	6,27
P4	0	18,74	19,75	24,35	23,95	22,52	22,81	28,90	27,83
	10	18,74	19,75	24,35	23,95	22,52	22,81	28,90	27,83
	10	11,97	13,19	21,11	17,37	14,76	18,98	15,16	17,94
	20	11,97	13,19	21,11	17,37	14,76	18,98	15,16	17,94
	20	5,06	5,60	8,39	7,41	8,66	8,77	5,75	8,26
	30	5,06	5,60	8,39	7,41	8,66	8,77	5,75	8,26
	30	5,65	7,54	8,60	8,55	8,53	9,22	10,55	11,22
	40	5,65	7,54	8,60	8,55	8,53	9,22	10,55	11,22
	40	5,65	7,54	8,60	8,55	8,53	9,22	10,55	11,22
	50	5,65	7,54	8,60	8,55	8,53	9,22	10,55	11,22
	50	5,65	7,54	8,60	8,55	8,53	9,22	10,55	11,22
	60	5,65	7,54	8,60	8,55	8,53	9,22	10,55	11,22
	60	5,22	4,80	7,22	7,19	8,93	12,58	10,64	9,22
	70	5,22	4,80	7,22	7,19	8,93	12,58	10,64	9,22
	70	5,22	4,80	7,22	7,19	8,93	12,58	10,64	9,22
	80	5,22	4,80	7,22	7,19	8,93	12,58	10,64	9,22
	80	5,22	4,80	7,22	7,19	8,93	12,58	10,64	9,22
	90	5,22	4,80	7,22	7,19	8,93	12,58	10,64	9,22
P5	0	5,44	6,13	5,00	7,86	11,15	11,25	9,86	10,92
	10	5,44	6,13	5,00	7,86	11,15	11,25	9,86	10,92
	10	3,39	4,00	4,43	5,77	5,25	4,69	7,79	7,48
	20	3,39	4,00	4,43	5,77	5,25	4,69	7,79	7,48
	20	4,10	4,53	4,52	5,18	5,18	5,17	6,01	5,10
	30	4,10	4,53	4,52	5,18	5,18	5,17	6,01	5,10
	30	4,50	5,16	4,58	5,68	7,45	9,31	6,87	7,04
	40	4,50	5,16	4,58	5,68	7,45	9,31	6,87	7,04
	40	4,50	5,16	4,58	5,68	7,45	9,31	6,87	7,04
	50	4,50	5,16	4,58	5,68	7,45	9,31	6,87	7,04
	50	4,50	5,16	4,58	5,68	7,45	9,31	6,87	7,04

	60	4,50	5,16	4,58	5,68	7,45	9,31	6,87	7,04
	60	3,72	5,21	5,31	7,17	6,70	9,81	10,97	9,55
	70	3,72	5,21	5,31	7,17	6,70	9,81	10,97	9,55
	70	3,72	5,21	5,31	7,17	6,70	9,81	10,97	9,55
	80	3,72	5,21	5,31	7,17	6,70	9,81	10,97	9,55
	80	3,72	5,21	5,31	7,17	6,70	9,81	10,97	9,55
	90	3,72	5,21	5,31	7,17	6,70	9,81	10,97	9,55

Annexe 10: Tableau des moyennes du rendement selon les modalités testées d'après le tableau croisé dynamique de l'Excel :

Enherbement	Type de résidus	Mode de gestion du sol	Rendement à partir des poids des grains dans les placettes (T/ha)	Erreur type	Groupes
E	STYLO	LAB	0,65005	0,15	AB
		SCV	1,13705	0,14	AB
	M+D	LAB	0,56539	0,10	B
		SCV	1,03393	0,05	AB
NE	STYLO	LAB	0,97244	0,11	AB
		SCV	1,39806	0,20	A
	M+D	LAB	0,91153	0,13	AB
		SCV	1,35917	0,06	A