



**ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES  
DEPARTEMENT AGRICULTURE**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome  
« Spécialisation AGRICULTURE »

**EVALUATION DES STOCKS DE  
CARBONE DANS LA BIOMASSE  
RACINAIRE DES PRINCIPALES  
CULTURES ET PLANTES DE  
COUVERTURE UTILISEES DANS LES  
SYSTEMES SCV AU LAC ALAOTRA  
(MADAGASCAR)**

Présenté par :  
**BOTOELA Mahalova Odom**  
Promotion AMBIOKA (2008-2013)

Soutenu publiquement le 24 juin 2013 devant les membres de jury composé de :

Président de jury : Dr. Harilala ANDRIAMANIRAKA

Examineur interne : Mr. Benjamin RAKOTO

Maître de stage : Dr. Krishna NAUDIN

Encadreur : Dr. Norosoa Christine RAZAFINDRAMANANA-RAKOTONIAINA





**ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES  
DEPARTEMENT AGRICULTURE**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome  
« Spécialisation AGRICULTURE »

**EVALUATION DES STOCKS DE  
CARBONE DANS LA BIOMASSE  
RACINAIRE DES PRINCIPALES  
CULTURES ET PLANTES DE  
COUVERTURE UTILISEES DANS LES  
SYSTEMES SCV AU LAC ALAOTRA  
(MADAGASCAR)**

Présenté par :

**BOTOELA Mahalova Odom**  
Promotion AMBIOKA (2008-2013)

Soutenu publiquement le 24 juin 2013 devant les membres de jury composé de :

Président de jury : Dr. Harilala ANDRIAMANIRAKA

Examineur interne : Mr. Benjamin RAKOTO

Maître de stage : Dr. Krishna NAUDIN

Encadreur : Dr. Norosoa Christine RAZAFINDRAMANANA-RAKOTONIAINA





*« .....Repose-toi sur Yahvé de tout ton cœur, ne t'appuie pas sur ton propre entendement ; en tous tes démarches, reconnais-le et il aplanira tes sentiers ».*

**(Les proverbes 3 : 5-6)**

*« ..... Matokia an'Iaveh amin'ny fonao rehetra, fa aza miankina amin'izay sainao ihany. Mihevera azy amin'ny lalanao rehetra, dia hanarina ny sakeli-dalanao izy ».*

**(Bokin'ny ohabolana 3: 5-6)**

# REMERCIEMENT

---

Je rends grâce à Dieu tout puissant pour son amour et par sa bonté, de m'avoir donné la force et la santé durant la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Je tiens également à adresser mes vifs remerciements aux personnes physiques et morales qui m'ont soutenu et guidé sans qui ce travail de mémoire n'aurait pas pu être arrivé à termes. Je tiens à remercier tout particulièrement :

**Monsieur Harilala ANDRIAMANIRAKA**, Docteur en Science Agronomique, Enseignant-Chercheur et Chef de département Agriculture à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de cette soutenance ;

**Monsieur Benjamin RAKOTO**, Enseignant-Chercheur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, qui a bien voulu siéger parmi les membres du jury de cette soutenance, malgré ses nombreuses responsabilités et préoccupations;

**Monsieur Krishna NAUDIN**, Docteur en Science Agronomique et chercheurs au sein du CIRAD et **Mademoiselle Lalaina RANAIVOSON**, Ingénieur Agronome et chercheur du Foibem-pirenena momba ny fikarohana ampiharina ho fampandrosoana ny ambanivohitra (FOFIFA), nos maîtres de stage, qui ont apporté leurs aides et leurs précieuses conseils durant le travail sur terrain et l'élaboration d'une partie de ce travail de recherche ;

**Madame Norsoa Christine RAZAFINDRAMANANA-RAKOTONIAINA**, Docteur en Science Agronomique, Enseignant-Chercheur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, notre encadreur pédagogique, qui nous a apporté beaucoup d'aides, des instructions ainsi que des suggestions judicieuses pour la bonne exécution du manuscrit ;

**Madame Charlotte RAZAFINDRAKOTO**, Docteur en Entomologie, Chef du Centre Régional de Recherche-Moyen Est à Ambohitsilaozana Ambatondrazaka ; qui nous a accueilli chaleureusement ;

**Madame Monique RAHARIMALALA**, technicienne de l'URP-SCRiD Ambohitsilaozana et ses équipes, qui nous ont beaucoup aidé depuis le début jusqu'à la fin de la campagne 2012-2013. Qu'ils soient particulièrement remerciés pour leur patiente attention sur tous les travaux de terrain.

L'URP-SCRiD, le CIRAD, le FOFIFA, le GSDM, tous les personnels du CRR-ME Ambohitsilaozana, pour leurs soutiens matériels, financiers et techniques ;

Tous les Enseignants vacataires et permanents à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques pour nous avoir prodigué leurs expériences par le biais des formations que nous y avons suivies durant ces cinq années d'études ;  
Toute ma famille, pour leur amour, leurs encouragements et leur soutien inconditionnel, tous mes proches ainsi que à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Que ceux que je n'ai pas pu citer ici, veuillent bien m'excuser et qu'ils puissent trouver dans cet ouvrage, l'image de leur contribution et ma sincère gratitude.

A tous, infiniment MERCI !!!!

BOTOELA Mahalova Odom 

## RÉSUMÉ

---

Les préoccupations sur le réchauffement global et l'augmentation des teneurs en gaz à effet de serre principalement le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère conduisent à s'interroger au rôle des biomasses végétales en termes de puits de carbone. Cette présente étude vise à évaluer la quantité de biomasse racinaire des cultures principales et plantes de couverture, et par suite d'évaluer le stock de carbone apporté dans le sol par l'adoption des systèmes de culture sur couverture végétale (SCV) dans la Région du Lac Alaotra. Les échantillons de biomasses aériennes ont été prélevés par la méthode de récolte intégrale, les biomasses racinaires par la méthode du carottage (en surface et en fosse). Ceci permet d'obtenir la répartition de la densité de racine dans le profil et les quantités de biomasse. Des estimations de stock de carbone sont également entreprises ainsi que la modélisation (par le modèle de Hénin-Dupuis) de l'évolution du stock de carbone dans le sol selon le mode de gestion et la quantité des résidus restitués au sol (50 et 100 %). Les résultats obtenus montrent l'absence de différence significative des quantités des biomasses totales produites pour chaque culture entre les systèmes sur couverture végétale (SCV) et les systèmes conventionnels de labour sans restitution des résidus (LSR). Mais cette étude nous a permis d'avoir des ordres de grandeur sur les quantités de biomasses souterraines et aériennes des cultures principales et plantes de couverture utilisées dans les SCV et celles obtenues en système LSR. Quant au stockage de carbone, les systèmes LSR entraînent une perte de carbone dans le sol au fil du temps, ce qui n'était pas le cas des systèmes SCV, permettant son accroissement. En fait, 25% de ses accroissements en SCV proviennent des biomasses racinaires des plantes. Ceci permet de dire que l'apport de carbone racinaire est inférieur à ceux provenant des biomasses aériennes.

**Mots clés:** Stock de carbone, Rapport entre biomasse aérienne / biomasse racinaire, Carottage, sols tropicaux, Région Lac Alaotra.

## ABSTRACT

---

Concerns about global warming and rising levels of greenhouse gas emissions mainly CO<sub>2</sub> from the atmosphere lead us to question the role of plant biomass in terms of carbon sinks. This present study aims to assess the amount of root biomass of the main crops and cover crops, and hence to assess the carbon stock in the soil brought by the adoption of Conservation Agriculture (CA) in the Region Lake Alaotra. Aerial biomass samples were collected by the method of full harvest, root biomass by core drilling (surface and pit). This allows obtaining the distribution of the density profile in the root and the quantities of biomass. Estimates of carbon stocks are also companies and modeling (for model Hénin-Dupuis) the evolution of the stock of carbon in the soil according to the mode of administration and the amount of residues returned to the soil (50 and 100%). The results show no significant difference in the quantity of total biomass produced for each crop between CA systems and conventional tillage systems. But this study has allowed us to have an order of magnitude of the quantities of underground and aboveground biomass of the main crops and cover crops used in the CA and those obtained by tillage system without refund. In terms of carbon storage, the LSR systems result in a loss of soil carbon over time, which was not the case of CA systems, they provide a net increase in the stock of carbon in the soil. In fact, 25% of the increases in CA from the root biomass of plants. This allows us to say that the contribution of root carbon is lower than those from aerial biomass.

**Keywords:** Carbon storage, Shoot/root ratio, Coring, tropical soils, Region Lake Alaotra.

# SOMMAIRE

---

REMERCIEMENT.....	i
RÉSUMÉ.....	ii
ABSTRACT.....	ii
SOMMAIRE.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES CLICHES.....	v
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES.....	vi
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b><u>CHAPITRE I : ETATS DE CONNAISSANCE</u>.....</b>	<b>3</b>
I.1 Généralités sur les systèmes de culture sur couverture végétale.....	3
I.2 Stockage du carbone atmosphérique.....	5
I.3 Phytomasses végétales.....	7
<b><u>CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES</u>.....</b>	<b>11</b>
II.1 Présentation du milieu d'étude.....	11
II.2 Dispositif expérimental et traitements étudiés.....	14
II.3 Prélèvements sur terrain et traitements des échantillons.....	17
II.4 Calcul de stock de carbone.....	22
II.5 Traitements des données.....	24
<b><u>CHAPITRE III : RESULTATS</u>.....</b>	<b>25</b>
III.1 Biomasses produites.....	25
III.2 Estimation de l'apport en carbone au sol par les biomasses.....	32
III.3 Modélisation du stock de matière organique dans le sol sur une longue durée....	33
<b><u>CHAPITRE IV : DISCUSSION</u>.....</b>	<b>35</b>
IV.1 Effet du mode de gestion du sol sur la production de biomasses.....	35
IV.2 Effet du mode de gestion du sol sur le stock de carbone.....	40
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>42</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>43</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>50</b>

# LISTE DES FIGURES

---

Figure 1: les réservoirs et les flux de carbone qui constituent le cycle global du carbone .....	6
Figure 2: Localisation de la zone d'étude .....	11
Figure 3: Courbe ombrothermique de Gausсен d'Ambohitsilaozana (2002-2012) .....	12
Figure 4: Plan du dispositif expérimental .....	15
Figure 5: prélèvement des biomasses aériennes.....	18
Figure 6: Prélèvement de la carotte de sol dans une fosse .....	21
Figure 7: Représentation schématique du modèle de Hénin et Dupuis (1945).....	23
Figure 8: Quantité moyenne de biomasse aérienne sur tous les traitements étudiés.....	25
Figure 9: Modèle de distribution et densité des racines mesurées sous pied de maïs (a) et entre deux pieds de maïs (b).....	26
Figure 10: Modèle de distribution et densité des racines mesurées sous pied de stylosanthes de 3 ans (a) et entre deux pieds de stylosanthes de 3 ans (b).....	27
Figure 11: Modèle de distribution et densité des racines mesurées sous pied de stylosanthes 1 an (a) et entre deux pieds de stylosanthes 1 an (b).....	28
Figure 12: Modèle de distribution et densité des racines mesurées sous pied de Riz (a) et entre deux pieds de Riz (b).....	29
Figure 13: Quantité de biomasse racinaire des cultures selon le mode de gestion du sol.....	30
Figure 14: Le Ratio S/R pour les cultures selon le mode de gestion du sol.....	31
Figure 15: Quantité de C apportée par la rotation de maïs-stylosanthes // stylosanthes // Riz en SCV .....	32
Figure 16: Quantité de C apportée par la rotation de maïs-dolique // Riz en SCV .....	32
Figure 17: Quantité de C apportée par la rotation de Maïs // Riz en LSR .....	33
Figure 18: Simulation du stock de C en kg/Ha dans le sol en fonction du temps selon le modèle de Hénin Dupuis .....	34

## **LISTE DES TABLEAUX**

---

Tableau 1 : Caractéristiques des systèmes étudiés .....	16
Tableau 2: Densité de racines de maïs à partir de la fosse (en g.l <sup>-1</sup> ) .....	26
Tableau 3: Densité de racines de stylosanthes de 3 ans à partir de la fosse (en g.l <sup>-1</sup> ) .....	27
Tableau 4: Densité de racines de stylosanthes de 1 an à partir de la fosse (en g.l <sup>-1</sup> ).....	28
Tableau 5: Densité de racines de riz à partir de la fosse (en g.l <sup>-1</sup> ) .....	29
Tableau 6 : Différentes valeurs du ratio S/R pour le maïs .....	38
Tableau 7: Différentes valeurs du ratio S/R pour le stylosanthes .....	39
Tableau 8: Différentes valeurs de S/R pour le riz .....	39

## **LISTE DES CLICHES**

---

Cliché 1: Prélèvement des racines à l'aide d'une tarière.....	19
Cliché 2. Grosse tarière pour le carottage en surface et petite tarière pour le carottage dans une fosse.....	21
Cliché 3: Prélèvement dans une fosse .....	21

# LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

---

<b>AFD</b>	: Agence Française de Développement
<b>ANAE</b>	: Association Nationale d'Actions Environnementales
<b>ANOVA</b>	: Analyse de la variance
<b>AVSF</b>	: Agronome et Vétérinaire Sans Frontière
<b>BA</b>	: Biomasse Aérienne
<b>BR</b>	: Biomasse Racinaire
<b>BRL</b>	: Compagnie d'Aménagement de la Région du Bas-Rhône et du Languedoc
<b>C</b>	: Carbone
<b>CA</b>	: Conservation Agriculture
<b>CALA</b>	: Complexe Agronomique au Lac Alaotra
<b>CH<sub>4</sub></b>	: Méthane
<b>CIRAD</b>	: Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Dioxyde de carbone
<b>CRR-ME</b>	: Centre Régional de Recherche sur le Moyen-Est
<b>DGM</b>	: Direction Générale de la Météorologie
<b>ESSA</b>	: Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques
<b>FIFAMANOR</b>	: Etablissement public de recherche et développement avec appui de la Norvège
<b>FOFIFA</b>	: FOibeFIkarohanaampiharinaamin'nyFampanandrosoananyenyAmbanivohitra / Centre National de la Recherche appliquée au Développement Rural
<b>GES</b>	: Gaz à Effet de Serre
<b>GIEC</b>	: Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat
<b>GSDM</b>	: Groupement Semis Direct de Madagascar
<b>Gt</b>	: Gigatonnes
<b>IPCC</b>	: Inter Gouvernemental Panel on Climate Change
<b>log</b>	: Logarithme népérien
<b>LSR</b>	: Système conventionnel de Labour Sans Restitution des résidus
<b>MAEP</b>	: Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
<b>MO</b>	: Matières organiques
<b>MS</b>	: Matière sèche
<b>N<sub>2</sub>O</b>	: Oxyde nitreux
<b>NPK</b>	: Azote-Phosphore-Potassium
<b>ONG</b>	: Organisme Non Gouvernemental
<b>P</b>	: Pluviométrie
<b>R</b>	: Root
<b>S</b>	: Shoot
<b>S/R</b>	: Shoot / Root
<b>SCV</b>	: Système de culture sur Couverture Végétale
<b>T</b>	: Température
<b>URP-SCRiD</b>	: Unité de Recherche en Partenariat - Système de Culture et de Riziculture Durable
<b>ZTH</b>	: Zone Tropicale Humide

---

---

# **Introduction**

## INTRODUCTION

---

Les changements climatiques désignent une variation, statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longues périodes. Les analyses effectuées par le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat (GIEC) ou Inter Governmental Panel on Climate Change (IPCC) montrent une augmentation totale de température de 1850-1899 à 2001-2005 est de l'ordre de 0,76 °C ( $\pm 0,19$ ). La vitesse moyenne du réchauffement au cours des cinquante dernières années varie de 0,10 à 0,16 °C par décennie, est environ le double de la vitesse moyenne pour les cent dernières années (IPCC, 2007). Ce réchauffement planétaire est attribué essentiellement à l'augmentation de la concentration atmosphérique des trois principaux gaz à effet de serre (GES) à savoir : (i) le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), (ii) le méthane (CH<sub>4</sub>), et (iii) l'hémioxyde d'azote ou oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O). Ce changement climatique entraîne des impacts souvent négatifs à la vie des êtres vivants en l'occurrence l'augmentation du niveau de la mer, la famine, et la diminution nette de la fertilité du sol agricole.

L'ensemble de la Grande Ile n'est pas en marge des changements climatiques, l'analyse des données de températures quotidiennes pour une période de 1961 à 2005 indique une augmentation de la température minimale journalière. Durant la même période, sur les Hautes terres centrales et les Côte-Est, les précipitations des trimestres juin à août et septembre à novembre ont tendance à diminuer ; et un allongement des séquences sèches est également constaté (DGM, 2008). Ces modifications des climats pourraient avoir des effets négatifs notables sur la production agricole. Les zones à vocation agricole, comme le Lac Alaotra en seront les plus vulnérables. Or, il est reconnu que Lac Alaotra est le premier grenier du riz de Madagascar (MAEP, 2003), et reste une zone d'immigration importante malgré une population rurale qui double tous les 18 ans (Domas *et al*, 2008 ; Penot *et al*, 2010).

Face à cette situation, il est indispensable de proposer des pratiques agricoles permettant à la fois de limiter l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre atmosphérique (surtout CO<sub>2</sub>) et d'intensifier la production agricole. Parmi tant d'autres figurent les systèmes de culture sur couverture végétale (SCV). D'après les études effectuées à Madagascar, les SCV semble être une voie prometteuse de la conservation durable du sol, en augmentant le stock de carbone dans le sol (Razafimbelo, 2005) et en diminuant de façon significative le taux d'érosion et les pertes en nutriments par érosion hydrique (Razafindramanana, 2011).

L'écosystème cultivé pourrait être donc un excellent puits de carbone, à partir du stock de carbone dans le sol et la biomasse. Sur la parcelle cultivée, la biomasse se divise en plusieurs pools : (i) la biomasse aérienne, (ii) la biomasse racinaire, et (iii) la matière organique non encore décomposée (couverture morte). La plupart des études accordent une importance particulière sur la mesure de la biomasse aérienne et celle des issu de la matière organique non décomposée. Mais au vu de l'importance de la biomasse racinaire au niveau des systèmes SCV, issue des plantes principales et celle des couvertures végétales, ce compartiment

pourrait représenter un part important sur le stock de carbone, mais il a toujours été sous-estimé (Albrecht *et al*, 2002), « ***Quelle est la part des apports des biomasses racinaires dans les apports en carbone des plantes dans le sol ?*** ».

Face à ces questionnements, deux hypothèses de recherche sont testées au cours de cette étude :

**Hypothèse 1**: Les systèmes SCV permettent une production en biomasse plus élevée par rapport aux systèmes conventionnels de labour.

**Hypothèse 2**: Dans les systèmes SCV, la part de la biomasse racinaire pour augmenter le stock de carbone dans le sol est moins importante par rapport à celle de la biomasse aérienne.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la quantité de carbone apportée par la biomasse racinaire des principales cultures et plantes de couverture utilisées dans les systèmes SCV.

Les objectifs spécifiques consistent à (i) déterminer la quantité de biomasse aérienne et racinaire dans les systèmes SCV et les systèmes conventionnels avec labour, (ii) d'évaluer le stock de carbone dans les biomasses aériennes et racinaires, et (iii) de simuler l'évolution du stock de carbone contenu dans le sol au fil du temps selon la quantité des résidus restitués au sol.

En termes d'organisation, le manuscrit est divisé en quatre chapitres :

- **Chapitre I** : Etats de connaissances sur la thématique abordée,
- **Chapitre II** : Présentation de la démarche méthodologique adoptée pour mener à terme la recherche : « Matériels et méthodes »,
- **Chapitre III** : Interprétations des résultats, et
- **Chapitre IV** : Discussions des résultats et recommandations.

## **Chapitre I**

---

---

# **Etats de connaissance**

## CHAPITRE I : ETATS DE CONNAISSANCE

---

### I.1 GENERALITES SUR LES SYSTEMES DE CULTURE SUR COUVERTURE VEGETALE

#### I.1.1 Historique des systèmes de culture sur couverture végétale dans le monde

Les SCV existaient déjà depuis longtemps sous les tropiques humides (côte Pacifique de l'Amérique Centrale et de la Colombie, bassin amazonien, Papouasie Nouvelle Guinée...). Cette modalité très ancienne de semis direct sur couverture végétale du sol, était connue sous la dénomination espagnole « *tapado* » (couvert) ou anglaise « *slash and mulch* ». Cette dernière consistait à semer ou à repiquer dans une forêt primaire ou une jachère. Une fois les semences étaient en place, la végétation était abattue, *in situ*, ce qui formait un *mulch* au travers duquel les plantes cultivées vont se développer. Un autre type particulier de *slash and mulch* consistait aussi à exploiter des jachères herbacées : c'est apparemment le système *slash and mulch* le plus répandu actuellement. Les plantes cultivées ont été semées à la volée dans des jachères de courte durée, dont la composition floristique servait d'indicateur pour décider de la remise en culture. (Dounias, 2001). De même, cette pratique était aussi adoptée dans les temps de révolution néolithique (6500 ans) en Mésopotamie, dans la vallée et le delta du Nil par les agriculteurs de l'Egypte ancienne et les Incas des Andes d'Amérique du Sud pendant des milliers d'années. Chez ces régions, les techniques culturales consistaient à se servir seulement d'une branche pour creuser le sol, y mettre la graine puis la couvrir par la terre (Derpsh, 1998).

Vers les années 60, après une phase expérimentale et pionnière de vingt ans, les Etats unis ont commencé à pratiquer en vraie grandeur les systèmes SCV. Le développement de cette pratique de systèmes SCV moderne était dû à plusieurs facteurs. Le premier facteur était d'ordre environnemental. En effet, les principales zones de production des Etats unis ont été victime des graves problèmes d'érosion éolienne qui a provoqué un nuage de poussières spectaculaire (*Dust Bowl*). Le second facteur était l'apparition des herbicides chimiques. Leur arrivée sur le marché permet de remettre en question l'utilité d'un labour, dont l'une des premières fonctions est justement le contrôle des adventices (Dounias, 2001).

À partir des années 80, le « *Ley Farming* », système de culture dans lequel les prairies entrent pour plusieurs années en rotation avec des cultures annuelles; sous sa forme moderne s'est également diffusé dans la partie tropicale semi-aride de l'Australie septentrionale, zone d'élevage extensif, le maïs ou le sorgho remplaçant le blé. Les SCV avec des techniques nouvelles s'étaient développés également dans d'autres pays de la zone tempérée (Canada et Argentine).

Après la diffusion de systèmes SCV dans ces zones tempérées, le retour de cette technique sous leur forme moderne dans les pays tropicaux était aussi constaté notamment au Brésil. Vers 1985, Le CIRAD et ses collaborateurs brésiliens de recherche et du développement ont construit, puis maîtrisé et diffusé progressivement des systèmes SCV en accompagnant

l'avancée des fronts pionniers dans la région Centre Nord Mato Grosso. (Séguy, Bouzinac *et al.*, 2008).

Dans certains endroits également, des systèmes ont été créés spontanément par les agriculteurs. Ce qui était d'ailleurs le cas de la zone humide d'Amérique Centrale, au Nord-Honduras, dans les années 70, l'association maïs-Mucuna dérivait probablement des techniques *frijol tapado*. Les terrains d'expérimentation étaient nombreux, avec des objectifs variables, et touchaient l'Amérique Latine, l'Afrique, l'Asie, Madagascar, La Réunion, etc. (Dounias, 2001).

### **I.1.2 Historique du SCV à Madagascar et au Lac Alaotra**

L'histoire des systèmes SCV à Madagascar, comme dans le reste du monde, est très récente. Ils ont été introduits à Madagascar vers le début des années 1990 (GSDM, 2004). Des dispositifs agronomiques de démonstration ont été installés par l'ONG TAFE (Tany sy Fampanandroana ou Terre et Développement) avec l'appui technique du CIRAD, dans diverses régions aux contextes pédoclimatiques différents (Timothée et Giraud, 2008). À partir de 1998, les premières opérations de diffusion ont eu lieu avec l'aide de plusieurs organismes (ANAE, BRL, AVSF, FIFAMANOR, INTER AIDE...) et avec le soutien financier de l'AFD depuis 2002 (Husson *et al.*, 2006). En 2009, environ 9.000 agriculteurs pratiquaient l'agriculture de conservation à Madagascar et l'aire sous SCV a été estimée à près de 5000 ha à travers tout le pays (GSDM, 2004). La Région du lac Alaotra figure parmi les zones d'expérimentation et de vulgarisation des systèmes SCV. Dans cette zone, Rakotondramanana *et al.* (2010) a estimé que la zone couverte par le SCV a été 1.420 ha en 2009.

### **I.1.3 Définition et principe fondamental des systèmes SCV**

Les systèmes SCV sont basés sur les trois principes fondamentaux (Séguy *et al.*, 2009) :

- minimiser la perturbation du sol et de la litière (pas de travail mécanique du sol).
- maintenir le sol couvert en permanence par des couvertures mortes (les résidus de récolte, les adventices et/ou les plantes de couverture sont totalement contrôlés avant la mise en place de la culture) ou vivantes (une couverture végétale pérenne est simplement contrôlée par le temps de la culture, sans être tuée, ce qui lui permet de poursuivre sa croissance après la récolte de la culture).
- Produire et restituer au sol une forte biomasse par associations/successions d'une diversité de plantes aux fonctions multiples.

### **I.1.4 Avantages et inconvénients du SCV**

#### **I.1.4.1 Avantages**

L'adoption de systèmes SCV présente des multiples avantages. Ils permettent de contrôler l'érosion hydrique du sol (Douzet *et al.*, 2010 ; Van Hulst *et al.*, 2011), améliorent la structure et l'activité biologique du sol (Blanchart E. *et al.*, 2007), diminuent la pression des maladies

et des ravageurs (Sester *et al.*, 2010), contribuent la protection de la biodiversité (Villenave *et al.*, 2010), et permettent d'augmenter le stock du carbone (Razafimbelo, 2005).

Les bénéfices économiques liés aux SCV s'observent à court terme, comme la réduction des coûts de production ou à long terme comme la stabilisation des rendements. Ils peuvent être directs pour l'agriculteur (diminution du temps de travail) ou indirects (réduction des dépenses d'entretien des infrastructures).

#### **I.1.4.2 Inconvénients**

Cette technique présente cependant des limites rencontrées dans la pratique et la diffusion des SCV. Du point de vue paysan, ce sont la maîtrise des techniques nouvelles et les intrants qui leur posent souvent des contraintes par le manque de moyen pour les acquérir.

## **I.2 STOCKAGE DU CARBONE ATMOSPHERIQUE**

### **I.2.1 Généralités sur le stock du carbone**

#### **I.2.1.1 Définition de la séquestration et du stock de carbone**

La séquestration du carbone par l'agriculture ou la foresterie est souvent définie comme la capture et le stockage à long terme du carbone atmosphérique par un système sol-plante donné, pendant une durée et sur un espace donné (Bernoux *et al.*, 2006). La notion de séquestration du C doit être étendue à l'ensemble des flux de gaz à effet de serre (GES) que ceux soient carbonés (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) ou non (N<sub>2</sub>O). Tous sont exprimés en « équivalent C-CO<sub>2</sub> » en tenant compte de leur potentiel de réchauffement global relatif au dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) : 23 pour le CH<sub>4</sub> et 296 pour le N<sub>2</sub>O. Dans le cadre de cette étude, la mesure de stock concerne exclusivement l'étude de la quantité de carbone contenue dans le système sol - plante. Les mesures du CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O n'ont pas été réalisées. Ainsi le terme de « stock de carbone » est employé.

#### **I.2.1.2 Cycle global du carbone**

Le carbone fait l'objet de nombreux échanges entre des divers constituants. En fait, les principaux réservoirs naturels capables d'échanger du carbone sur une échelle courte sont l'atmosphère, l'océan et surtout la biomasse continentale (végétaux et sols) (*citée dans* Agence pour l'environnement et le développement soutenable, 2008). Le carbone dans ses réservoirs peut migrer de l'un à l'autre sous l'action de forces identifiables. Ces forces sont nombreuses et variées. Elles peuvent avoir une nature physique, chimique ou biologique, plus ou moins active, plus ou moins constante. Parmi ces forces, il y a les forces de la biosphère (photosynthèse, minéralisation, fermentation), les forces de la lithosphère (sédimentation, volcanisme), les forces de l'hydrosphère (dissolution, érosion, dégazage), et les forces de l'atmosphère (Renaudat, 2005).

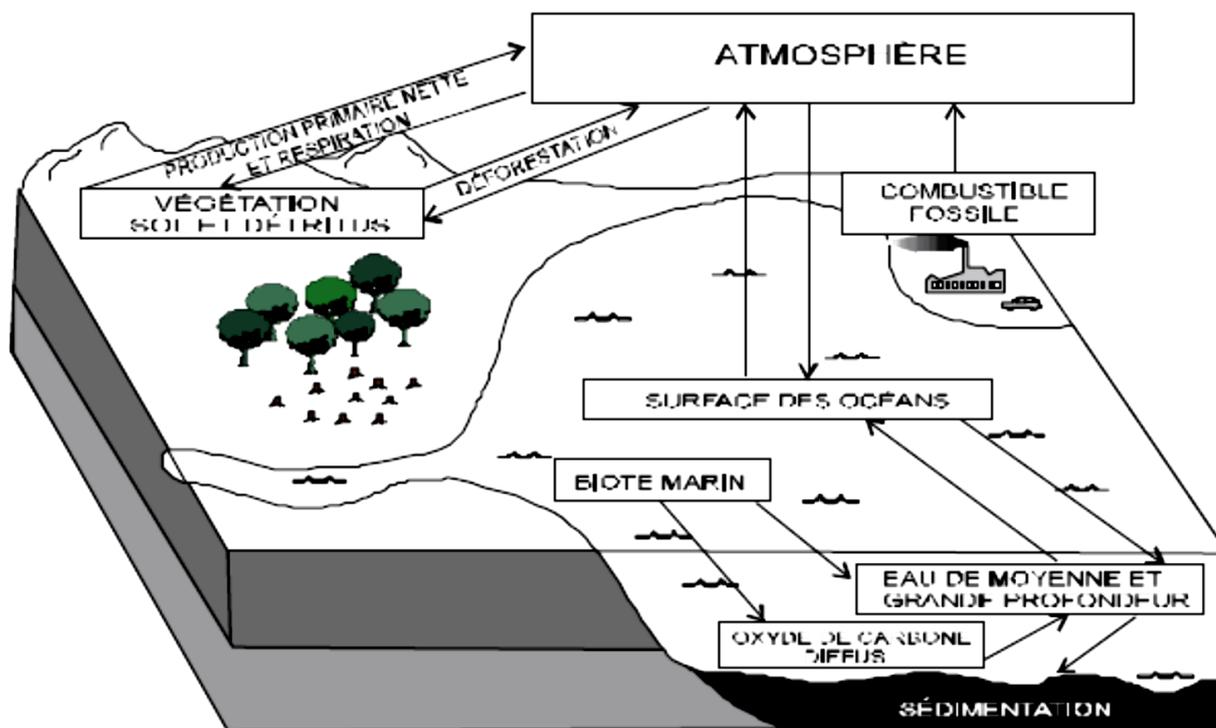


Figure 1: les réservoirs et les flux de carbone qui constituent le cycle global du carbone  
 Source : Houghton *et al.*, 1995

## I.2.2 Stock de carbone dans le sol

Le stockage du carbone dans le sol représente à la fois des enjeux agronomiques en améliorant les propriétés physico-chimiques du sol et environnementaux par la réduction de la quantité de CO<sub>2</sub> atmosphérique (Razafimbelo, 2005).

### I.2.2.1 Différentes formes de carbone

Il existe deux différents types de forme de carbone:

- **Carbone inorganique** : est associé à des composés inorganiques c'est-à-dire à des composés qui ne sont pas et n'ont pas été du vivant et qui ne contiennent pas de lien C-C et CH comme le CO<sub>2</sub> atmosphérique ou celui des calcaire CaCO<sub>3</sub>.
- **Carbone organique** : est représenté par CH<sub>2</sub>O : la forme la plus simple d'hydrate de carbone. En fait, il s'agit de molécules beaucoup plus grosses et plus complexes dont la base demeure les éléments C, H, et O, mais auxquelles viennent se joindre d'autres éléments en faibles quantité comme azote (N), phosphore (P) et/ou soufre (S) (*in* Andriamampandry, 2009).

### I.2.2.2 Dynamique du carbone organique dans le sol

Le stock de carbone organique dans les sols naturels présente un équilibre dynamique entre les apports de débris végétaux et la perte due à leur décomposition (minéralisation) ou sous l'effet de l'érosion. Dans les conditions normales d'aérobic des sols, la majorité partie du carbone apportée est labile et seulement une petite fraction (1%) de ce qui entre dans le sol (55 Gt/an) s'accumule dans la fraction stable qu'est la fraction humique (0,4 Gt/an) (FAO, 2000). La teneur en carbone du sol dépend des principaux facteurs à long terme de la

formation du sol, mais elle peut être fortement modifiée, dégradée ou améliorée par les changements d'utilisation du sol et la gestion du sol (FAO, 2000).

### **I.2.3 Contribution des écosystèmes terrestres au stockage de carbone**

Le carbone organique du sol représente le plus grand réservoir en interaction avec l'atmosphère et est estimé entre 1.500 et 2.000 Gt C à 1 m de profondeur. Le carbone inorganique représente à peu près 750 Gt, mais il est capturé dans des formes plus stables comme les carbonates. La végétation (650 Gt) et l'atmosphère (750 Gt) emmagasinent considérablement moins que les sols (Renaudat, 2005). Les flux entre le carbone terrestre ou le carbone organique du sol et l'atmosphère sont importants et peuvent être positifs (séquestration) ou négatifs (émission de CO<sub>2</sub>).

Les principaux facteurs jouant sur l'évolution de la matière organique concernent la végétation (apport de résidus, composition de la plante), puis les facteurs climatiques (température/conditions d'humidité) et les propriétés des sols (texture, teneur en argile, minéralogie, acidité). Les autres facteurs, relatifs à la fertilisation du sol, ou l'irrigation, ont un effet sur la production de la plante et donc sur la teneur en matière organique. Le taux de minéralisation de la matière organique dépend principalement de la température et de la disponibilité d'oxygène (drainage), de l'utilisation des terres, du système de culture, et de la gestion des sols et des cultures (Lal *et al*, 1995).

### **I.2.4 Systèmes SCV en milieu tropical et le stock de carbone**

La gestion du sol et des cultures peut considérablement améliorer le temps de résidence et un nouveau stockage de carbone dans le sol (Buyonavshi et Wagner, 1998). Diverses études effectuées en milieux tropicaux rapportent des effets généralement positifs des systèmes SCV sur le stockage du C dans le sol (Razafimbelo, 2005). La présence d'une plante de couverture du sol en l'absence de travail du sol permet en générale la séquestration accrue du carbone organique au niveau des horizons superficiels (Triomphe, 1999 ; Scopel *et al*, 2005). En fait, en milieu tropical, le stockage moyen de carbone est de 325 Kg C. ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> (Six *et al*, 2002). Ce stockage est lié essentiellement à une diminution de la minéralisation en non travail du sol et combiné à l'apport d'amendement organique par les exsudats racinaires et les résidus de la plante de couverture (Fortin *et al*, 1996).

## **I.3 PHYTOMASSES VEGETALES**

La phytomasse ou masse végétale correspond au poids total de la matière vivante (ou biomasse) et morte (ou nécromasse) exprimé en matière sèche. Elle est généralement rapportée à une unité de surface (g.m<sup>-2</sup> ou kg.ha<sup>-1</sup>) ou à une unité de volume (Akpo, 1996). On distingue deux types de biomasses : les biomasses aériennes et les biomasses racinaires.

### **I.3.1 Biomasse épigée ou aérienne**

La biomasse aérienne correspond à toute biomasse vivante au-dessus du sol, y compris les tiges, les souches, les branches, l'écorce, les graines et le feuillage (FAO, 2010).

## **I.3.2 Biomasse hypogée ou racinaire**

### **I.3.2.1 Généralité sur le système racinaire**

#### ***I.3.2.1.1 Définition***

L'enracinement d'une plante à un instant donné peut être considéré comme l'état de son système racinaire qui est l'ensemble des racines présentes dans le milieu, à cet instant, tel qu'il résulte des interactions entre la plante et le milieu dans lequel elle croit et se développe (Picard, 1969).

#### ***I.3.2.1.2 Différentes parties de la racine***

La morphologie racinaire montre la présence de trois parties bien distinctes: (i) les radicules, (ii) les poils absorbants, et (iii) la coiffe. Les radicules ou racines secondaires, sont de petites racines nées sur la racine principale. Elles se ramifient beaucoup et forment une infinité de petits filaments qui donnent à la racine l'aspect d'une touffe de cheveux. À une petite distance de l'extrémité, la radicule est couverte de petits poils nombreux et serrés : ce sont les poils absorbants. Toute racine ou radicule est terminée par un petit renflement brun, ferme, résistant qui la recouvre comme un chapeau : c'est la coiffe. Pendant l'allongement de la racine, la coiffe pénètre à la manière d'un soc de charrue entre les particules de terre et permet de s'enfoncer dans le sol (Chaubaud et Rasolofo., 2010).

#### ***I.3.2.1.3 Rôle des racines***

Les racines peuvent jouer plusieurs fonctions mais les plus fréquentes sont les suivantes.

- Ancrage de la plante au sol

La racine fixe la plante au sol. En effet, des nombreuses radicules s'entrecroisent et emprisonnent une énorme motte de terre qui fixe la plante au sol. D'autre part, la terre retenue par les radicules, s'éboule avec moins de facilité quand elle est humide. En outre, elle limite les transports des particules solides du sol par le ruissellement (Gregory, 2006)

- Absorption des éléments nutritifs dans le sol

La racine absorbe l'eau et les éléments nutritifs nécessaires à la croissance et au développement de la plante (Groot, Traoré et Koné, 1998)

- Source de biomasse dans le sol

La biomasse racinaire contribue à l'apport de matière organique dans le sol, et favorise ainsi le développement racinaire des cultures (Groot *et al.*, 1998)

#### ***I.3.2.1.4 Modèle de distribution de la racine***

La biomasse racinaire décroît de façon exponentielle avec la profondeur. Les études entreprises par Singh et Yadava (1974) ; Groot *et al.*, (1998) ; et Woodward et Osborne (2000), en milieu tropical sèche (Inde) ont montré que les 54,5 à 85 % de la biomasse racinaire totale se trouvent dans les 10 premiers centimètres du sol. Une observation similaire est constatée par Bille (1977), il a publié que les 50 premiers centimètres du sol renferment généralement plus de 85 % de la biomasse hypogée.

### **I.3.2.2 Limite de l'étude du système racinaire**

Mesurer précisément la biomasse racinaire dans des conditions de terrain est difficile et, par conséquent, l'étude de la biomasse racinaire a été souvent négligée (Bolinder *et al.*, 2002). Les investigations racinaires présentent jusqu'à présent des difficultés majeures sur le plan méthodologique. L'étude des racines est fastidieuse. Le temps consacré à l'extraction des racines du sol est long et elle nécessite une main d'œuvre importante, mais elle aboutit souvent à une récolte incomplète (Böhm, 1979 ; Van Noordwijk, 1993). Il est également difficile de différencier les racines vivantes des racines mortes (Groot *et al.*, 1998).

### **I.3.2.3 Dynamique du système racinaire vis-à-vis du carbone atmosphérique**

#### ***I.3.2.3.1 Racine, un organe puits et source de carbone***

Le carbone alloué au système racinaire est directement utilisé pour le métabolisme des cellules ou stocké, principalement sous forme d'amidon dans les tissus de réserves (Wallart, 1980 ; Moing *et al.*, 1992). Jackson *et al.* (1997) estime que près de 33% des émissions mondiales de productivité primaire annuelle nette sont utilisées pour la production des racines fines. Lorsque ces racines meurent et se décomposent, une partie de leur C est libéré dans l'atmosphère, et l'autre partie se transforme en matière organique du sol (MOS) (Norby et Jackson, 2000). Chez les céréales, environ 20 à 30 % de la fraction de carbone total assimilé sont transférés aux racines, chez les espèces prairiales elle atteint jusqu'à 30 à 40 % (Kuzyakov et Domanski, 2000).

#### ***I.3.2.3.2 Interaction CO<sub>2</sub> – racines – sols***

Les racines sont des importants canaux par lesquels le C pénètre dans le sol (Norby et Jackson, 2000). L'apport annuel en carbone dans le sous-sol peut être divisé en deux composantes: (i) le C dans la biomasse racinaire à la récolte, et (ii) la C extra-racine produite au cours de la saison de croissance, ce sont les exsudats racinaires (Bolinder *et al.*, 1999 ; Bolinder *et al.*, 1997). La première source est généralement soit mesurée sur terrain ou soit calculée en utilisant des estimations à partir du rapport entre la quantité de la partie aérienne et celle de la partie souterraine. Tandis que la quantité des apports de carbone provenant de la composante extra-racine (exsudats racinaires) est difficile à quantifier sur le terrain (Bolinder *et al.*, 1997). Il nécessite des analyses au laboratoire.

### **I.3.3 Rapport Shoot / Root**

Le rapport Shoot/Root (ou biomasse aérienne/biomasse racinaire) mesuré lorsque les cultures sont à maturité, est souvent utilisé pour estimer les apports annuels de C laissés dans le sol par la biomasse racinaire des plantes. En effet, Il existe une forte corrélation ( $r = 0,92$  en moyenne) entre les 2 types de biomasses (Wallance *et al.*, 1974). La quantification de ce rapport est soumise à de nombreuses sources de variation. D'une part, les facteurs qui influencent la production de biomasse aérienne, tels que la fertilité des sols et le mode de gestion, le climat affectent le rapport S/R (M RB Olinder, 2002). À titre indicatif, l'indice S/R peut diminuer quand le sol est sec, car le système racinaire se développe pour obtenir plus d'eau tout en réduisant ses feuillages afin de minimiser l'évapotranspiration (Turner et Begg

1978). Le S/R tend également à diminuer avec la diminution de N disponible dans le sol (Troughton, 1982 et Werger, 1983). D'autre part, la méthodologie utilisée pour la mesure de la biomasse racinaire peut aussi induire des variations considérables de S/R. Par exemple, la stratégie d'échantillonnage est importante, en particulier pour les cultures en rang annuel. Outre, Une partie de cette variation de la valeur de S/R peut être aussi expliqué par des facteurs génétiques et environnementaux (Bolinder *et al.*, 1999). Une certaine variation peut également être attribuée à l'utilisation de différentes tailles de tamis.

Les estimations des ratios S/R pour les céréales à petits grains varient de 1,6 à 11,0 (Bolinder *et al.*, 1997), pour le maïs ce rapport S/R est comprise entre à 4,0 à 6,7 (Bolinder *et al.*, 1999). Le rapport biomasse racinaire sur biomasse épigée est supérieur pour les plantes xérophiles par rapport aux plantes mésophiles (Bray, 1963).

## Chapitre II

---

---

# Matériels et Méthodes

## CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

### II.1 PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

#### II.1.1 Situation géographique

L'étude a été entreprise dans la Commune Rurale d'Ambohitsilaozana, District Ambatondrazaka, Région Alaotra mangoro. Elle est située d'environ à 270 km de la Capitale. Elle est délimitée géographiquement entre 17°02' et 18°10' de latitude Sud et 48°00' et 48°40' de longitude Est et à une altitude comprise entre 750 et 790 m. Avec une superficie de 33.441 km<sup>2</sup>, cette Région est administrativement divisée en 05 districts dont Anosibe an'ala, Moramanga, Amparafaravola, Andilamena et Ambatondrazaka, avec 79 Communes et de 719 Fokontany (Cellules régionale de centralisation et d'analyse, 2010)

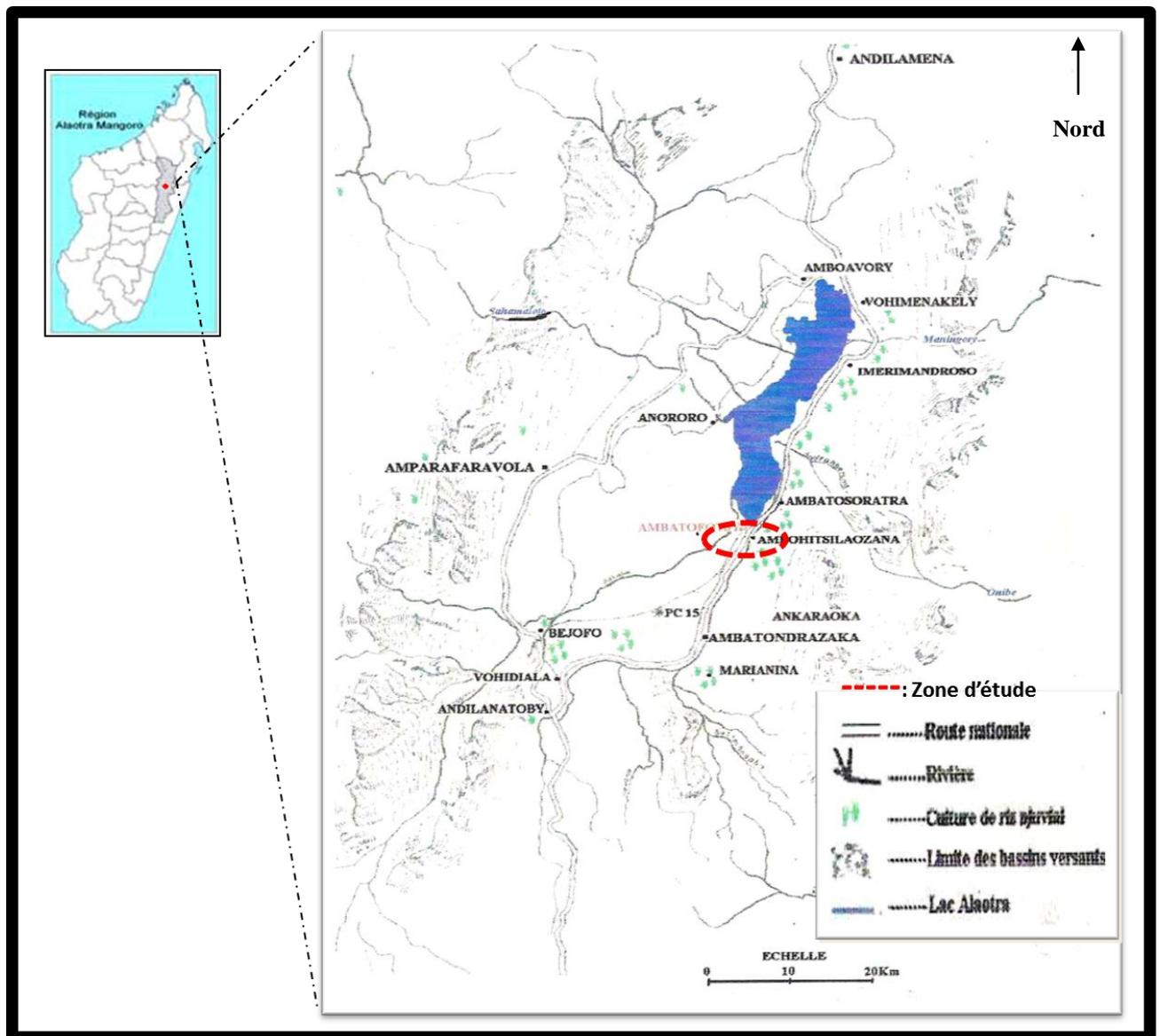


Figure 2: Localisation de la zone d'étude

Source : FTM, 2006

## II.1.2 Relief

Le relief est surtout caractérisé par la cuvette de l'Alaotra qui est situé sur une altitude moyenne de 700 m. Des massifs latéritiques forment les abords aux bassins versants lesquels couvrent une superficie de 7.000 km<sup>2</sup> environ (MAEP, 2003).

Dans les collines ou « *tanety* », les phénomènes d'érosion sont intenses à cause de la finesse des particules argileuses, des pluies violentes et de l'insuffisance de la couverture végétale depuis le déboisement (Riquier et Ségale, 1949). Les lavaka sont une forme d'érosion en ravine souvent rencontrée dans les paysages de la Région du Lac Alaotra. Les zones montagneuses sont situées près de 800 m à 1200 m d'altitude à cheval entre les hautes terres et la Côte-Est de la Grande Ile (MAEP, 2003). Dû à l'activité anthropique (déboisement et feux de brousse), il ne reste plus que des lambeaux des forêts primaires. Cette activité entraîne aussi la formation des ravinements très marqués.

## II.1.3 Climat

La région du Lac Alaotra est marquée par un climat tropical humide et tempéré par l'altitude. Du fait du déplacement des masses d'air de la zone de convergence intertropicale, le climat est caractérisé par l'alternance de deux saisons nettement marquées : (i) une saison chaude et pluvieuse de novembre à mars (5 mois), pendant laquelle se concentrent plus de 80 % des précipitations annuelles, et (ii) une saison sèche d'avril à octobre (7 mois).

Des données climatiques recueillies sur dix ans (2002 à 2012) dans la station météorologiques du CRR-ME au sein du centre d'Ambohitsilaozana (Cf. annexe 1) nous permettent d'établir la courbe ombrothermique de Gaussen ( $P \leq 2T$ ). (Figure 3)

Les températures moyennes minimales et maximales annuelles sont respectivement de 17°C et 24°C. La pluviométrie moyenne mensuelle dans l'année varie entre 4 et 308 mm.

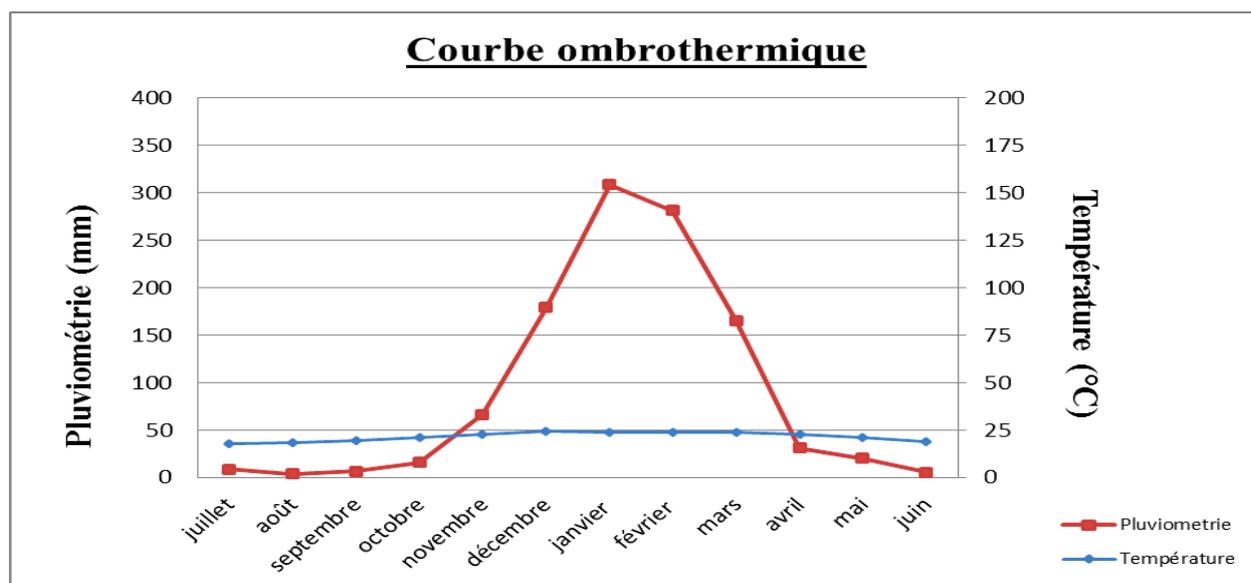


Figure 3: Courbe ombrothermique de Gaussen d'Ambohitsilaozana (2002-2012)

Source : Station météorologique du CRR-ME Ambohitsilaozana

#### II.1.4 Régime hydrographique

Plusieurs rivières alimentent le lac, mais les plus importantes sont l'*Anony* au nord (bassin versant d'environ 1600 km<sup>2</sup>), et la *Sahabe* au sud (bassin versant d'environ 1200 km<sup>2</sup>). Ces derniers s'écoulent de façon gravitaire des bassins versants vers le lac, dont le seul exutoire, le Maningory, chemine à travers la frange montagneuse vers la rive Est de l'Ile.

Le lac et ses marais jouent un rôle régulateur dans le fonctionnement hydrographique de la région. Par conséquent, il y a une crue saisonnière. En effet, le niveau de l'eau monte de 2 à 4 m chaque année en saison des pluies. L'étendue du plan d'eau peut se trouver augmentée de 100 km<sup>2</sup> en saison pluvieuse par rapport à sa côte la plus basse. Le lac connaît son niveau le plus bas en novembre-décembre puis une brusque période de montée des eaux en janvier. Le maximum est atteint en février et décroît lentement (Ducrot, 1996)

#### II.1.5 Sol

Dans la zone étude, on en trouve plusieurs grands types de sol. Dans les plaines fluvio-lacustres<sup>1</sup>, on rencontre les sols hydromorphes moyennement organiques, sols à texture très argileuse fine, aptes à la riziculture. Par ailleurs, il y a aussi des sols hydromorphes tourbeux qui ont une aptitude bonne à moyenne pour la riziculture inondée. Mais ils sont moyennement utilisés pour l'agriculture de contre-saison sans irrigation (Raunet, 1999 ; MAEP, 2003). Sur les glacis<sup>2</sup>-plaines, les sols sont essentiellement hydromorphes minéraux. Ce sont des sols massifs et compacts, engorgés en saison pluvieuse. L'aptitude principale reste la riziculture inondée (MAEP, 2003). De plus, on en découvre aussi des sols alluvionnaires récents ou « *Baiboho* », de texture variée, selon l'importance des crues, ils présentent une texture discontinue (pouvant passer du sable pur à l'argile pure). Ce sont sur ces sols que sont les plus fréquemment situées les rizières hors périmètre irrigué (Raunet, 1999).

Les collines sont caractérisées par des sols ferrallitiques jaunes ocre/rose difficilement exploitables pour l'agriculture; et des *sols* ferrallitiques jaunes limono-sableux, associés à des sols peu évolués d'érosion à sable grossier (MAEP, 2003).

#### II.1.6 Population et ses secteurs d'activité

Les « *Sihanaka* » constituent la grande majorité de la population de la région Alaotra Mangoro. Les « *Merina* » suivent de très loin, et les « *Betsimisaraka* » en troisième position, avant les « *Betsileo* » et les « *Antandroy* ». Le reste est composé de groupes minoritaires de diverses provenances de l'Ile (Belloncle, 2002 ; MAEP, 2003). En fait, la population avoisine 1.175.581 habitants en 2009 dans une superficie de 33.441 km<sup>2</sup> (Cellule régionale de centralisation et d'analyse, 2010) et avec une croissance moyenne annuelle de l'ordre de 4 %. La taille moyenne des ménages est de 7 personnes (Penot *et al.*, 2010).

---

<sup>1</sup> Dû à l'action d'un cours d'eau alimenté par un lac

<sup>2</sup> Surface d'érosion formant un plan légèrement incliné

Le secteur d'activité dominant dans la région est l'agriculture. 90 % de la population travaille dans le domaine agricole. La riziculture demeure l'activité principale, suivie de la pêche, l'élevage et les cultures maraîchères. Cette Région est souvent qualifiée de « grenier à riz de Madagascar ». Elle compte en effet près de 80.000 ha de rizières pour une production annuelle de riz de 200.000 t (Penot *et al.*, 2012). Ces rendements demeurent cependant faibles par rapport aux pays asiatiques, conséquence d'une mauvaise irrigation et de l'ensablement des rizières. La région est également propice à d'autres cultures vivrières : manioc, maïs, arachide, fruits et légumes, canne à sucre etc.

La pêche traditionnelle constitue une activité importante pour la population riveraine du lac. Les espèces pêchées sont essentiellement la carpe royale et le tilapia (Franco, 1981). Dans la plaine du lac Alaotra, les bovins sont surtout utilisés pour divers travaux agricoles. Il s'agit d'un élevage de type extensif. La filière laitière est peu répandue. L'aviculture (poules, oies, canards) est très fréquente, et de type traditionnel. L'élevage porcin est également très développé. Il permet en effet de valoriser les sous-produits de l'agriculture (Franco, 1981).

## **II.2 DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET TRAITEMENTS ETUDIES**

### **II.2.1 Description du dispositif expérimental**

Le dispositif expérimental a été mis en place en 2008 au Centre de Recherche Régionale du Moyen Est (CRR-ME) (ex-station CALA) par l'URP-SCRID. Il se trouve à 15 Km au Nord de la ville d'Ambatondrazaka, plus précisément au Fokontany d'Ambatofotsy, Commune Rurale d'Ambohitsilaozana. Le terrain d'expérimentation est situé à 795 m d'altitude.

Le dispositif expérimental est composé par quatre blocs, avec :

- Deux types de rotations : (i) une rotation triennale de Maïs + Stylosanthes // Stylosanthes // Riz (SC<sub>3</sub>) et (ii) une rotation biennale de Maïs + Dolique // Riz (SC<sub>2</sub>).
- Deux niveaux de fertilisation : avec ou sans apport de N<sub>11</sub>P<sub>22</sub>K<sub>16</sub> et d'urée 46% (dose d'application 150 Kg/ha pour N<sub>11</sub>P<sub>22</sub>K<sub>16</sub> et 100 Kg/ha pour l'urée 46%)
- Trois types de mode de gestion du sol : systèmes SCV (sans labour et avec restitution totale des résidus), deux systèmes conventionnels de labour, avec et sans restitution des résidus de culture.



Dans la figure 4 précédente, les premiers chiffres indiquent le numéro de la parcelle (1 à 120). Ce dernier est suivi par le mode de gestion du sol (SCV, Labour sans restitution ou LSR, Labour avec restitution ou LR), ensuite suivi par la culture en cours. Et terminé par le mode de fertilisation du sol (avec apport de fertilisant F2 ou sans apport de fertilisant F1).

## II.2.2 Traitements étudiés

Les deux traitements étudiés sont :

- SCV, avec semis direct et conservation des résidus de culture et plante de couverture pour constituer le mulch.
- LSR, labour sans restitution des résidus.

Les parcelles étudiées n'ont reçus ni des fumures minérales ni fumiers.

Les prélèvements ont été faits sur 3 parcelles élémentaires pour chaque traitement (Tableau 1).

### II.2.2.1 Cultures étudiées

Cet essai est composé par des cultures associées de Maïs-stylosanthes, cultures associées de Maïs-dolique, des cultures pures de stylosanthes, et des cultures pures du riz (Cf. annexe 2). La synthèse de cultures mise en jeu est présentée dans le Tableau 1 ci-dessous.

**Tableau 1 : Caractéristiques des systèmes étudiés**

Cultures	Numéro des parcelles		Fertilisation (minérale et organique)	Rotation culturale
	SCV	LSR		
Maïs-stylosanthes	56, 111, 80	61, 106,33	Sans apport	Rotation triennale Maïs-stylosanthes // Stylosanthes // Riz
Maïs-dolique	14, 40,102	46, 95, 85	Sans apport	Rotation biennale Maïs-dolique // Riz
Riz	19, 41,64	2,47, 116	Sans apport	Rotation triennale Maïs-stylosanthes // Stylosanthes // Riz
Stylosanthes	1, 44, 81	68, 50,25	Sans apport	Rotation triennale Maïs-stylosanthes // Stylosanthes // Riz

### II.2.2.2 Préparation des parcelles

Pour les parcelles labourées, l'opération de labour s'effectue manuellement à l'aide de l'*angady*<sup>3</sup> et les résidus des cultures sont enlevés des parcelles cultivées (traitement LSR). Pour les systèmes SCV, les résidus des cultures précédentes sont restitués au sol.

### II.2.2.3 Semis

L'époque du semis est la même pour tous les traitements étudiés. La densité et la disposition des plantes varient selon la culture.

- **Pour la culture de maïs-stylosanthes**, une ligne de maïs est suivie par deux lignes de stylosanthes. L'écartement pour le maïs est de 100 cm x 50 cm et celui du stylosanthes est de 50 cm x 40 cm. La distance de l'interligne entre un pied de maïs et un pied de stylosanthes est de 25 cm. Le semis a lieu le 05/12/12.

<sup>3</sup> Bèche traditionnelle Malagasy

- **Pour la culture de maïs-dolique marron**, deux rangées de maïs espacées de 50 cm entre-elle sont suivies par trois rangées de dolique dont l'écartement est de 40 cm x 50 cm. La distance entre les deux doubles rangs de maïs est égale à 1,50 m. le semis a été réalisée le 07/12/12. le nombre de grain de maïs par poquet est de 2 à 3 (avec un taux de germination égal à 85 %).

- **Pour la culture du riz** : l'écartement entre pieds est de 40 cm x 20 cm. Le nombre de grain de riz par poquet est de 2 à 3. Le semis a lieu le 06/12/12.

- **La culture de stylosanthes** : l'écartement est de 50 cm x 50 cm. Cette culture pure de stylosanthes a été semée l'année précédente.

#### **II.2.2.4 Variétés utilisées**

La B22 a été la variété du riz utilisée, pour le stylosanthes la variété utilisée a été le CIAT 184 et enfin pour le maïs, le CIRAD 412 a été utilisée.

#### **II.2.2.5 Entretiens**

L'entretien des cultures était constitué principalement par le resemis et le sarclage. Tous les poquets qui n'ont pas été levée deux semaines après le semis ont été ressemés. Le sarclage s'effectuait manuellement, il a été réalisé un mois après le semis.

Le GAZIDIM 400 EC (matière active : dimethoate 400 g/l) était le produit phytosanitaire utilisé pour lutter contre l'attaque des pucerons, avec une dose de 1 l.ha<sup>-1</sup> soit 10 cc.10m<sup>-2</sup>.

### **II.3 PRELEVEMENTS SUR TERRAIN ET TRAITEMENTS DES ECHANTILLONS**

Les échantillons ont été prélevés pendant la période de floraison (février-mars). En effet, durant cette période que les biomasses des plantes aériennes et racinaires sont les plus importantes.

#### **II.3.1 Méthodes de prélèvement des biomasses aériennes**

La récolte intégrale a été utilisée pour prélever les échantillons des biomasses. Elle consiste à faucher au ras du sol l'ensemble de la végétation dans une surface prédéfinie et d'effectuer sur terrain la mesure de poids de matière fraîche et la prise d'un échantillon pour la détermination de l'humidité. La teneur en matière sèche est déterminée plus tard au laboratoire après dessiccation à l'étuve (Levang et Grouzis, 1980 ; Rasolohery, 2000).

- Dans la culture de maïs-stylosanthes, on a prélevé les biomasses aériennes de maïs dans les 2 lignes de maïs sur 3 poquets dans chaque ligne. Celles des stylosanthes sont prises à l'intérieur de la surface de maïs concernés précédemment (Figure 5a).
- Pour le riz pur et le stylosanthes pur, l'aire de prélèvement est 1m<sup>2</sup> (1m x 1m) prise au hasard sur la parcelle.
- Et pour le maïs-dolique, les BA de maïs sont prélevées sur un double rang et sur 3 poquets dans chaque ligne. Et celles de dolique sont prélevées dans la surface située entre 2 doubles rangs successifs de Maïs (Figure 5b).

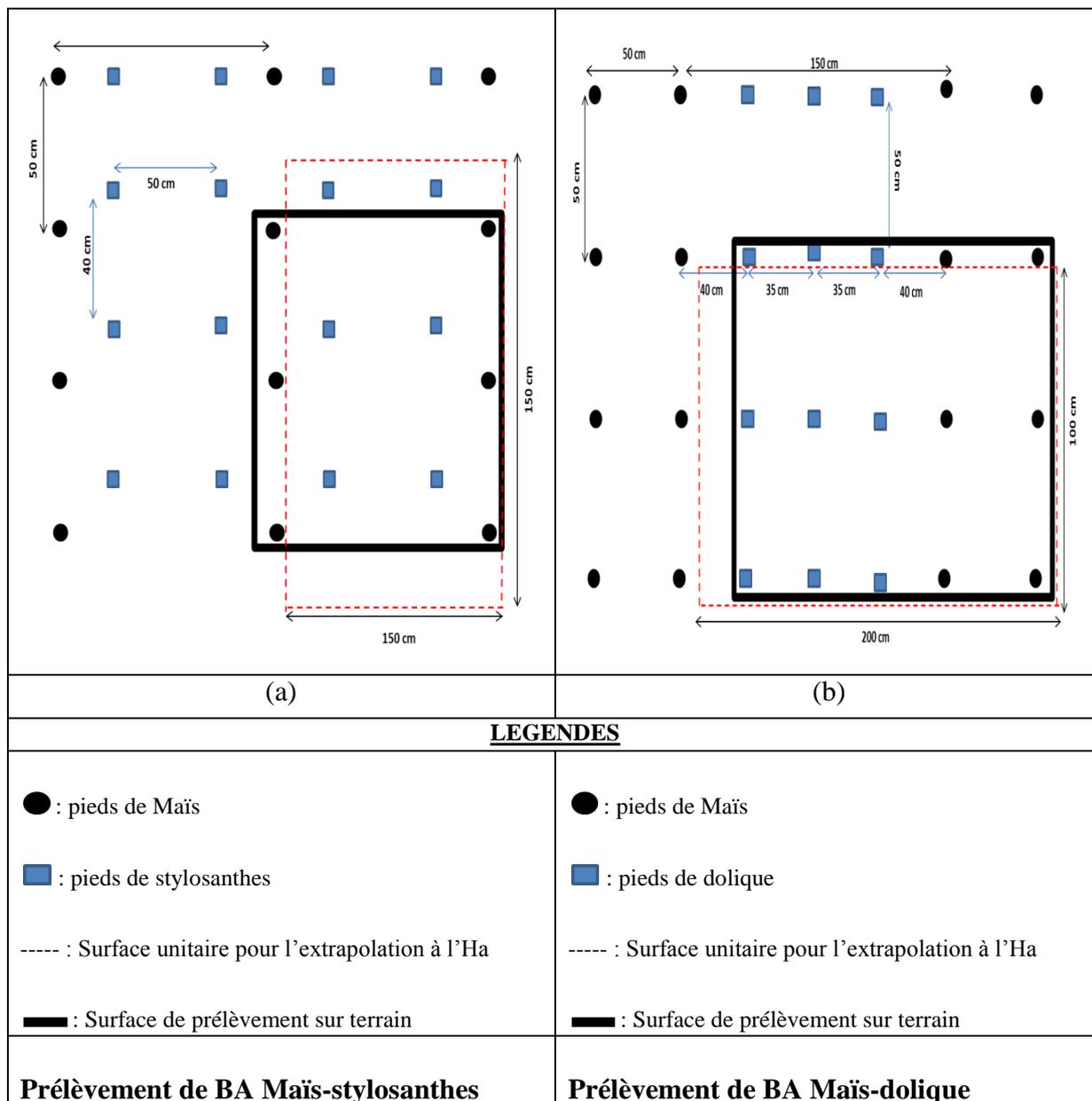


Figure 5: prélèvement des biomasses aériennes

En fait, pour déterminer le poids de la matière fraîche, les tiges et les feuilles recueillies dans chaque placette sont pesées directement sur terrain, après un échantillon de 500 g environ est transportée au laboratoire. Il est ensuite passé à l'étuve réglé à 68°C durant 48 heures afin de mesurer la teneur en matière sèche (Levang & Grouzis, 1980).

### II.3.2 Méthodes de prélèvements des biomasses racinaires

Les biomasses racinaires des plantes ont été prélevées par carottage. Elle consiste à effectuer des prélèvements de bloc de sol à l'aide d'une tarière. Les prélèvements des carottes ont été faits de deux manières : le carottage en surface et le carottage dans une fosse.

### ***II.3.2.1. Carottage en surface***

Le carottage en surface consiste à enfoncer une tarière verticalement dans le sol (Cliché 1). Sa réalisation est difficile dans le cas des sols compacts (César, 1971 ; César et Menaut, 1974). Elle semble également mal adaptée pour une étude de systèmes racinaires peu dense (Wallace et al., 1974 ; César et Menaut, 1974 ; Chopart et Nicou, 1976).



**Cliché 1: Prélèvement des racines à l'aide d'une tarière**

*Prise de vue : Botoela Mahalova Odom*

Le prélèvement s'effectue sur les surfaces où on a coupé la partie aérienne. Les échantillons sont prélevés à l'aide d'un cylindre de 10,1 cm de diamètre et 40 cm de hauteur. La carotte de 40 cm de haut ainsi obtenue est séparée ensuite en deux horizons (0-20 et 20-40) cm.

Pour le maïs-stylosanthes, six points de prélèvements ont été réalisés (Cf. annexe 3) :

- un sur le pied du maïs(a),
- un entre deux pieds de maïs (b),
- un au milieu d'un carré du Maïs (c),
- un entre le pied de maïs et de stylosanthes (d),
- un sur le pied de stylosanthes (e), et
- un dernier entre deux pieds de stylosanthes (f).

Pour le stylosanthes, les prélèvements s'effectuent sur quatre points (Cf. annexe 3):

- un sur le pied de stylosanthes (g),
- deux sont pris à une position intermédiaire du pied de stylosanthes (g et h), et
- un sur le milieu de quatre pieds de stylosanthes (i).

Pour le riz, quatre prélèvements sont réalisés (Cf. annexe 3):

- un sur le pied du riz (k),
- deux au milieu de deux pieds (l et m), et
- le dernier au milieu de quatre pieds de riz en carré (n).

Pour le maïs-dolique, six prélèvements ont été effectués (Cf. annexe 3)

- un sur le pied de maïs (o),
- un entre deux pieds de maïs (p),
- un au milieu d'un carré formé par deux pieds de dolique, et deux pieds de Maïs (q),
- un entre deux pieds de doliques (r),
- un entre un pied de dolique et un pied de maïs (s), et
- un dernier sur le pied de la Dolique (t).

### ***II.3.2. Carottage dans une fosse pédologique***

Les prélèvements ont été faits sur des parcelles qui ne sont pas dans la matrice citée précédemment (n'est pas dans le dispositif expérimental). Ils ont été effectués sur des parcelles où il n'y avait que des cultures pures de maïs, de stylosanthes moins d'un an, de stylosanthes âgée de trois ans, et du riz.

Le prélèvement consistait à creuser une fosse de 2 m de profondeur, 1,5 m de longueur, et 1 m de largeur, située tout près du pied de la plante. Deux séries de prélèvements ont été effectués au niveau de chaque fosse, dont un sur la ligne du pied de la plante et l'autre sur la ligne située entre deux pieds des plantes. Les carottes ont été prélevées à l'aide de cylindres en acier de 8 cm de diamètre et 10 cm de hauteur (Cliché 2b), à des profondeurs de -10 cm, -30 cm, -50 cm, -70 cm, -90 cm, -110 cm, et -150 cm pour les cultures pure de Maïs et des stylosanthes ; et à des profondeurs de -10 cm, -20 cm, -30 cm, -40 cm, -50 cm, -60 cm pour le riz cultivé en pure (Figure 10). Contrairement au carottage en surface, la tarière était introduite de façon horizontale sur le côté de la fosse c'est-à-dire la tarière était disposée perpendiculairement par rapport au côté de la fosse.



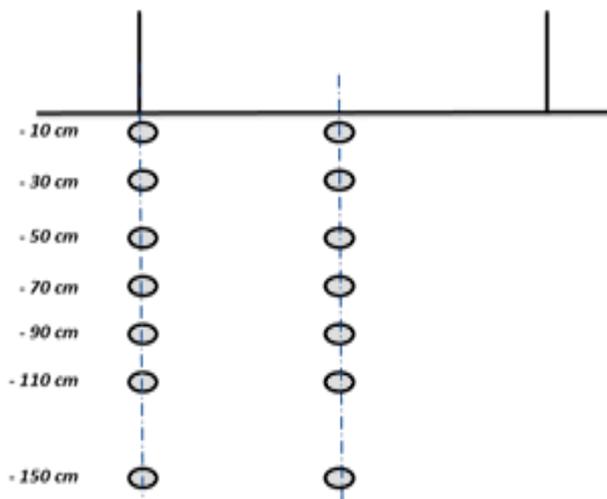
(a)



(b)

Cliché 2. Grosse tarière pour le carottage en surface et petite tarière pour le carottage dans une fosse

Prise de vue : Botoela Mahalova Odom



**LEGENDES**

I : pieds des plantes

○ : position du cylindre de prélèvement

Figure 6: Prélèvement de la carotte de sol dans une fosse



Cliché 3: Prélèvement dans une fosse

Prise de vue : Botoela Mahalova Odom

Les sols contenus dans la tarière (pour le carottage en surface et pour le carottage en fosse) ont été ensuite retirés et placés dans un sachet plastique étiqueté, les échantillons ont été laissés sécher à l'air libre avant leurs traitements.

Au laboratoire, les carottes de sol-racine ont été trempées dans une cuvette remplie d'eau afin de désagréger les sols (« méthode de flottaison successive »). Cette opération facilite la suite la séparation du bloc sol-racines. Ensuite, le mélange était tamisé sous un jet d'eau avec un

tamis à double maille métallique de 1 mm afin d'en extraire les racines fraîches. Ces dernières ont été mises dans une enveloppe en papier. Les racines fraîches ont été pesées puis elles ont été passées à l'étuve réglée à 60°C pendant 72 heures, puis pesées afin de déterminer le poids de la matière sèche. Dans le cas où le poids de la matière sèche ne se stabilise après cette durée ; les échantillons sont remis dans l'étuve jusqu'à l'obtention du poids constants.

### **II.3.2.1 Méthode pour l'extrapolation des mesures des carottes**

#### ***II.3.2.1.1 Carottage en fosse***

En intégrant l'équation de régression des distributions des racines sur le profil du sol, on peut obtenir la quantité des racines entre des horizons. En fait pour l'horizon 0-40, fixe les bornes d'intégration par -40 et 0. Et pour avoir la quantité en-dessous de 40 cm, il suffit de faire l'intégration de l'équation sur les bornes de  $-\infty$  à -40 (Cf. annexe 4).

#### ***II.3.2.1.2 Carottage en surface***

Pour avoir la quantité de racine à l'hectare, tout d'abord on a pondéré les valeurs des racines selon les positions des cylindres de prélèvement dans une surface élémentaire qui peut représenter la parcelle. Autrement dit, on a multiplié la quantité de racines obtenues avec chaque cylindre avec le nombre de répétition de la position de ce cylindre dans la surface considérée (Cf. annexe 5). Puis, on a fait la moyenne de ses valeurs afin d'obtenir la quantité de racines / surface de cylindre (Cf. annexe 6). Enfin, on a effectué par ses derniers l'extrapolation à l'hectare. Et, on obtient la quantité de racines dans les horizons 0-20 et 20-40 par hectare.

## **II.4 CALCUL DE STOCK DE CARBONE**

### **II.4.1 Estimation du stock de carbone dans les biomasses**

La teneur en carbone est directement liée à la teneur en matière organique qui est représentée par son poids sec. Pour le maïs, la teneur de carbone dans les biomasses (aérienne et racinaires) est égale à 40 % de son poids sec (Bolinder *et al.*, 1999). Pour le stylosanthes, la quantité de carbone au niveau racinaire est de 43,9 % de la biomasse racinaire (Segundo *et al.*, 1998) et selon les études entreprises par l'URP/SCRiD, la quantité de carbone dans la biomasse aérienne est de 43,4 % de cette biomasse. Pour la dolique, la teneur moyenne de C dans les biomasses des Légumineuses a été utilisée comme référence, celle-ci est égale à 30 % de la matière sèche (Tschirley, 2009). Pour le riz, la valeur de la teneur en C moyenne de la céréale est employée comme référence, elle est de 45 % de la matière sèche (Agence de l'environnement et de la maîtrise d'énergie Bretagne, 2004).

## II.4.2 Modèle de simulation de stock de matière organique dans le sol : Modèle de Hénin-Dupuis

Le modèle de Hénin Dupuis est basé sur un bilan entre le taux d'humification de la matière organique fraîche apportée au sol, et le taux de minéralisation de la matière organique humifiée du sol. Il s'agit d'un modèle mono-compartimental qui décrit, avec un pas de temps d'une année, l'évolution de la matière organique du sol dont la dynamique est supposée homogène. Le stock de MO du sol au temps t est augmenté par un flux d'humification issu de la décomposition des résidus organiques frais. Ce stock est diminué par un flux de minéralisation qui est supposé proportionnel au stock de MO du sol. La formule de Hénin-Dupuis peut être présentée comme suit (Roussel *et al.*, 2001) :

$$y_t = y_0 \cdot e^{-K_2 t} + K_1 \cdot x(1 - e^{-K_2 t})/K_2$$

Où  $y_t$  : quantité de matière organique humifiée dans le sol au temps t (en tonnes de C);

$y_0$  : quantité de matière organique humifiée dans le sol au temps t = 0 (en tonnes de C);

t : temps ;

x : apport annuel de matière organique (en tonnes de matière sèche);

$K_1$  : coefficient isohumique, dépend de la nature des apports organiques;

$K_2$  : coefficient de minéralisation, dépendant des conditions pédoclimatiques.

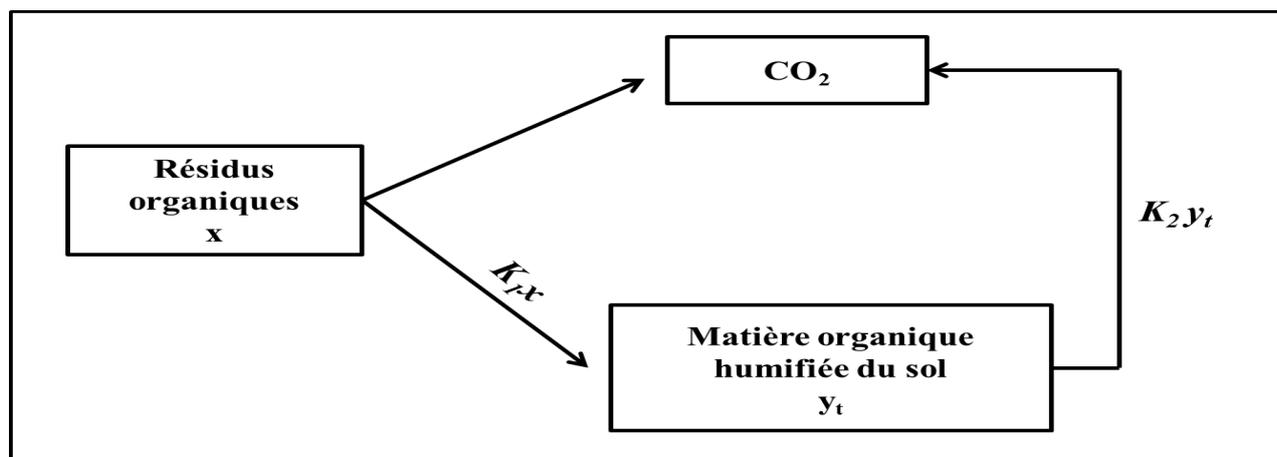


Figure 7: Représentation schématique du modèle de Hénin et Dupuis (1945)

Source: Roussel *et al.*, 2001

Les valeurs des coefficients  $K_1$  et  $K_2$  pour quelques plantes sont les suivantes:

- $K_1$  est égal à 0,12 pour le maïs ; 0,15 pour le riz ; 0,18 pour les légumineuses (stylosanthes et dolique) (Charreau, 2009) et ;
- $K_2$  est égal à 0,017 pour les sols en semis direct et 0,046 pour les sols labourés (Schvartz, Muller et Decroux, 2005).

Ce modèle mono-compartimental présente des avantages, dans la mesure où il ne nécessite pas beaucoup de paramètre et permet de donner des simulations pertinentes sur les parcelles non inondées comme les tanety.

## **II.4.3 Stock de carbone dans le sol au Lac alaotra**

### **II.4.3.1 Biomasses restituées au sol**

Les biomasses restituées au sol sont constituées par les biomasses aériennes et les biomasses racinaires. Les biomasses aériennes restituées au sol sont : les tiges et les feuilles, sans les épis pour le cas du maïs. Pour ce dernier, on ne restitue pas les épis. Or, durant notre prélèvement sur terrain des biomasses aériennes de maïs, tout a été pesé (tige + feuilles + épis). Pour n'avoir que les poids des biomasses de tiges + feuilles, on a enlevé le poids des épis du poids total en considérant que le poids des épis à floraison constitue environ 12% du poids total de la plante de maïs (Ning *et al.*, 2012).

### **II.4.3.2 Teneur en carbone dans le sol**

Les teneurs en carbone organique dans l'horizon 0-20 et 20-40 cm du sol sont respectivement de 3,24 % et 2,04 %. Les densités apparentes du sol sont respectivement de 0,92 dans l'horizon 0-20 cm et de 0,98 dans l'horizon 20-40 cm (Cf. annexe 7).

## **II.5 TRAITEMENTS DES DONNEES**

Les données sont enregistrées sous Microsoft Excel. Elles ont été analysées par l'intermédiaire du tableau croisé dynamique. Ce dernier permet de générer une synthèse d'une table de données brutes, d'en effectuer une analyse interactive et de proposer une représentation synthétique des résultats. En outre, les données brutes sont aussi traitées sur le logiciel XLSTAT 2008. On a utilisé la fonction de régression non linéaire de XLSTAT où l'équation employée est :  $Y = pr1 * \text{Exp}(pr2 * X1)$ . L'analyse de la variance (ANOVA) a été aussi effectuée sur ce logiciel en utilisant le *test de Tukey* pour voir une existence ou pas de différence significative entre les traitements étudiés (Cf. annexe 8 et 9).

**Chapitre III**



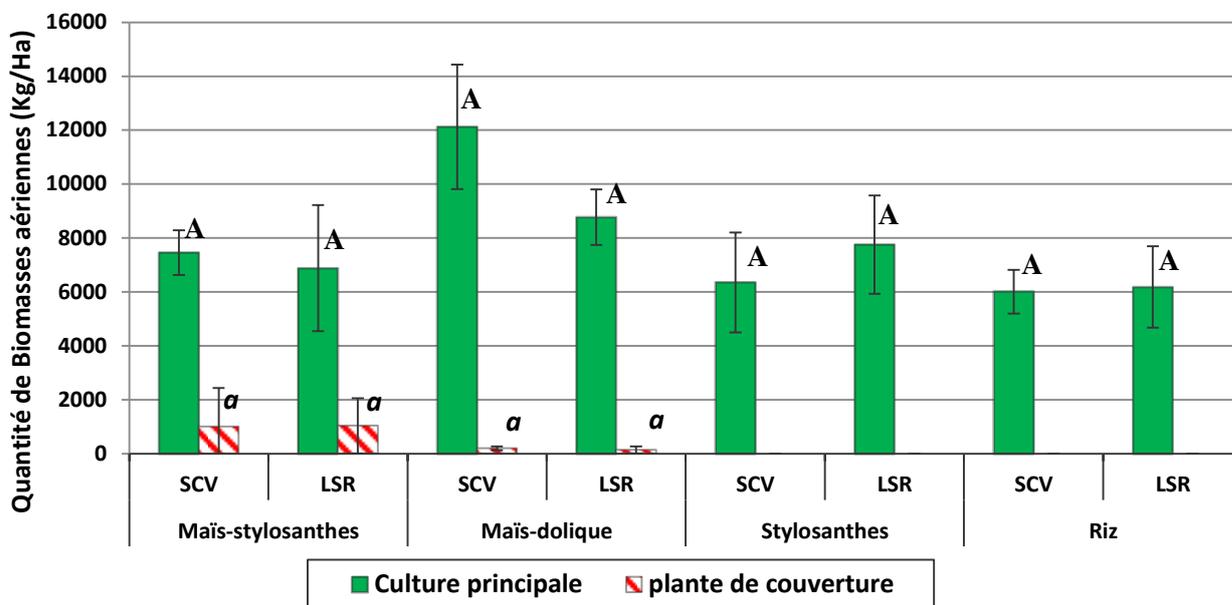
**Résultats**

## CHAPITRE III : RESULTATS

### III.1 BIOMASSES PRODUITES

#### III.1.1 Biomasses aériennes

Les quantités moyennes des biomasses aériennes pour tous les traitements étudiés sont synthétisées dans la Figure 8.



**Figure 8: Quantité moyenne de biomasse aérienne sur tous les traitements étudiés.**

Les lettres (A, B) et (a, b) se rapportent aux différences entre le mode de gestion (SCV vs Labour) pour une même plante ou association. Une même lettre indique une absence de différence significative au seuil de 5% d'après le test de Tukey

L'histogramme (Figure 8) indique clairement une absence de différence significative entre les systèmes SCV et labourés (LSR) pour une même culture.

En termes de quantité de biomasses aériennes produites, les biomasses aériennes issues de l'association maïs-stylosanthes en systèmes SCV sont respectivement  $(7456 \pm 834)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> et  $(1002 \pm 1430)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> pour le maïs et le stylosanthes. En systèmes labourés, les biomasses aériennes issues de l'association maïs-stylosanthes sont respectivement  $(6879 \pm 2337)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> et  $(1032 \pm 1021)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> pour le maïs et le stylosanthes.

Les biomasses aériennes issues de l'association maïs-dolique en systèmes SCV sont respectivement  $(12124 \pm 2310)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> et  $(194 \pm 67)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> de maïs et de dolique. Celles issues de l'association maïs-dolique en systèmes labourés sont respectivement  $(8769 \pm 1032)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> et  $(136 \pm 135)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> de maïs et de dolique.

Pour les cultures pures du riz, les systèmes labourés produisent  $(6183 \pm 1507)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> du riz et les systèmes SCV donnent  $(6006 \pm 809)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> du riz.

Quant aux résultats obtenus sur les cultures pures de stylosanthes, les biomasses produites sous systèmes SCV et labourés sont respectivement de  $(6351 \pm 1856)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> et  $(7750 \pm 1822)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup>.

### III.1.2 Biomasses racinaires

#### III.1.2.1 Modèle de distribution des racines dans le sol

##### III.1.2.1.1 Cas du maïs

Les modèles de distribution des racines du maïs sont représentés dans la Figure 9 et le Tableau 2.

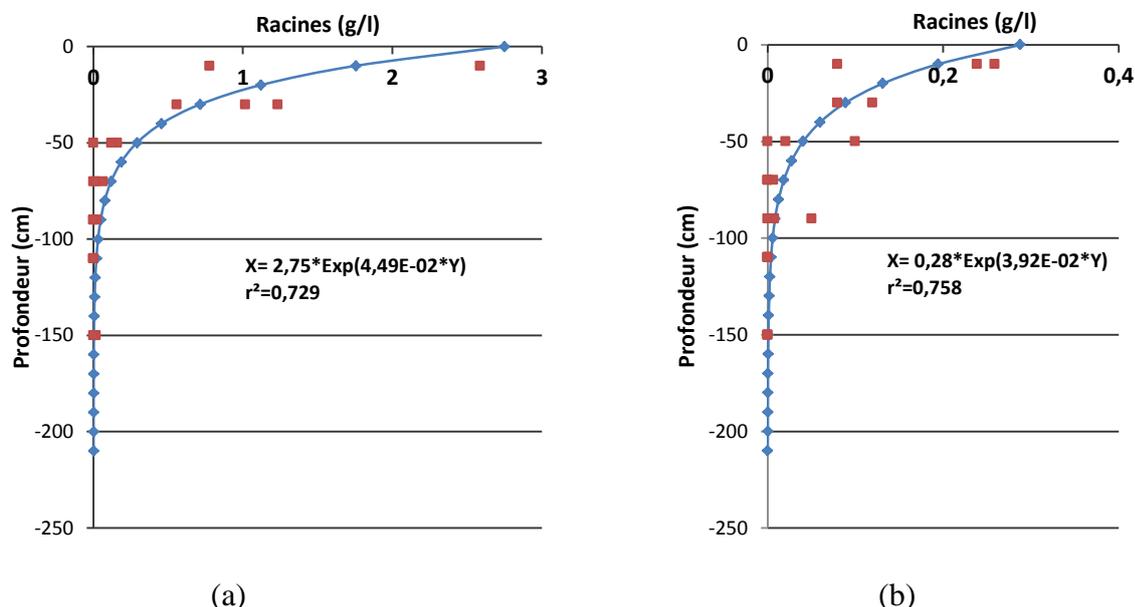


Figure 9: Modèle de distribution et densité des racines mesurées sous pied de maïs (a) et entre deux pieds de maïs (b)

En intégrant sur les bornes -40 à 0 et  $-\infty$  à -40, les équations de régressions des modèles de distribution de la figure 9 (a, b) (Cf. partie II.3.2.1.1), on a le tableau 2 :

Tableau 2: Densité de racines de maïs à partir de la fosse (en  $g.l^{-1}$ )

Positions horizons	Sous pied de Maïs	Entre deux pieds de Maïs	(Cf. annexe 4)
0 – 40 cm (I)	51,1	5,81	
Au-delà de 40 cm (II)	10,1	1,52	
<b>Rapport (II) / (I)</b>	<b>0,19</b>	<b>0,26</b>	

Les résultats obtenus montrent que la densité de racine obtenue sur maïs est plus importante sous pied (jusqu'à  $2,5 g.l^{-1}$ ) que celle éloigné du pied (jusqu'à  $0,27 g.l^{-1}$ ) (Figures 9a et 9b). En outre, la quantité de la biomasse racinaire sous pied de maïs se concentre surtout dans l'horizon superficiel du sol (0-40 cm). En fait 85 % de racines se trouve dans cet horizon ; et le reste 15% se situe dans la partie au-dessous de 40 cm de profondeur (Tableau 2). Quant aux quantités de la biomasse racinaire entre les pieds de maïs, une observation similaire est constatée, 79% de biomasses racinaires se situent entre 0-40 cm et 21% se trouvent au-delà de 40 cm de profondeur (Tableau 2).

### III.1.2.1.2 Cas du stylosanthes de 3 ans

Les modèles de distribution des racines de stylosanthes de 3 ans sont représentées respectivement dans la Figure 10 et le Tableau 3.

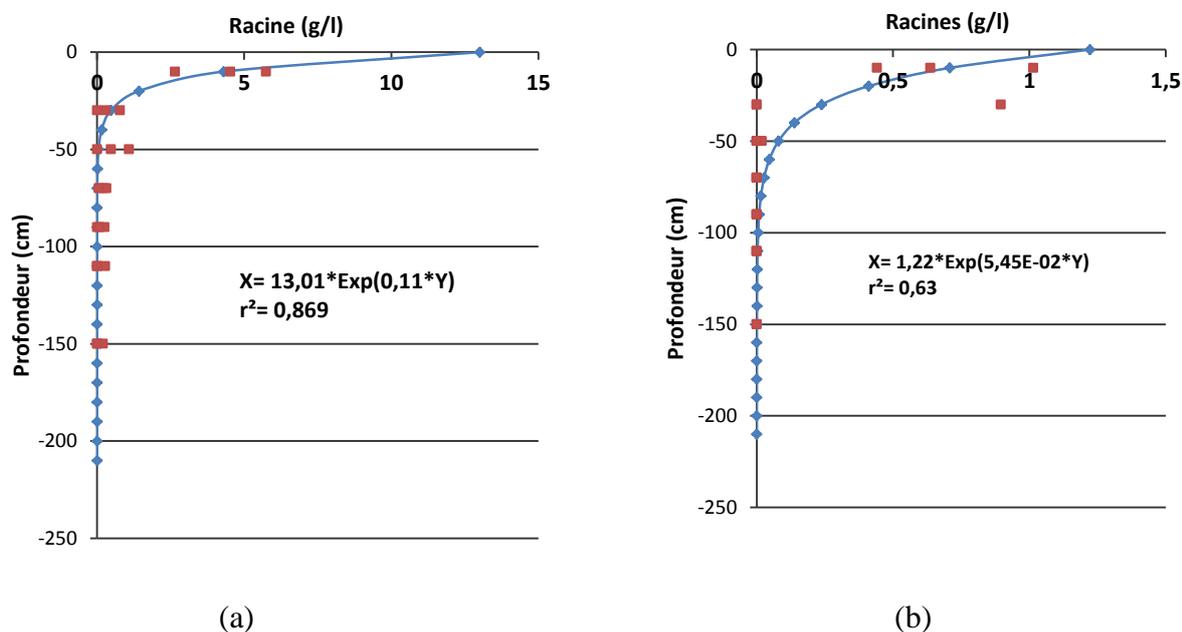


Figure 10: Modèle de distribution et densité des racines mesurées sous pied de stylosanthes de 3 ans (a) et entre deux pieds de stylosanthes de 3 ans (b)

En intégrant sur les bornes  $-40$  à  $0$  et  $-\infty$  à  $-40$ , les équations de régressions des modèles de distribution de la figure 10(a, b) (Cf. partie II.3.2.1.1), on a :

Tableau 3: Densité de racines de stylosanthes de 3 ans à partir de la fosse (en  $\text{g.l}^{-1}$ )

Positions horizons	Sous pied de stylosanthes de 3 ans	Entre deux pieds de stylosanthes de 3 ans	
0 – 40 cm (I)	116,15	19,9	(Cf. annexe 4)
Au-delà de 40 cm (II)	1,40	2,53	
<b>Rapport (II) / (I)</b>	<b>0,01</b>	<b>0,13</b>	

Les racines se concentrent plus sur la partie la plus proche du pied du stylosanthes de 3 ans (jusqu'à  $10,8 \text{ g.l}^{-1}$ ) que celle éloignée du pied (jusqu'à  $1,75 \text{ g.l}^{-1}$ ) (Figures 10 a, b). Concernant, la densité de biomasses racinaires du stylosanthes de 3 ans, elle diminue en profondeur. Sous pieds de stylosanthes elle est respectivement de 98 % et 2 % entre 0-40 cm et +40 cm. Entre pieds de stylosanthes, la densité de biomasse est respectivement de 89 % et 11% entre 0-40 cm et +40 cm (Tableau 3).

### III.1.2.1.3 Cas du stylosanthes d'un an

Les modèles de distribution des racines de stylosanthes d'un an sont représentées respectivement dans la Figure 11 et le Tableau 4 :

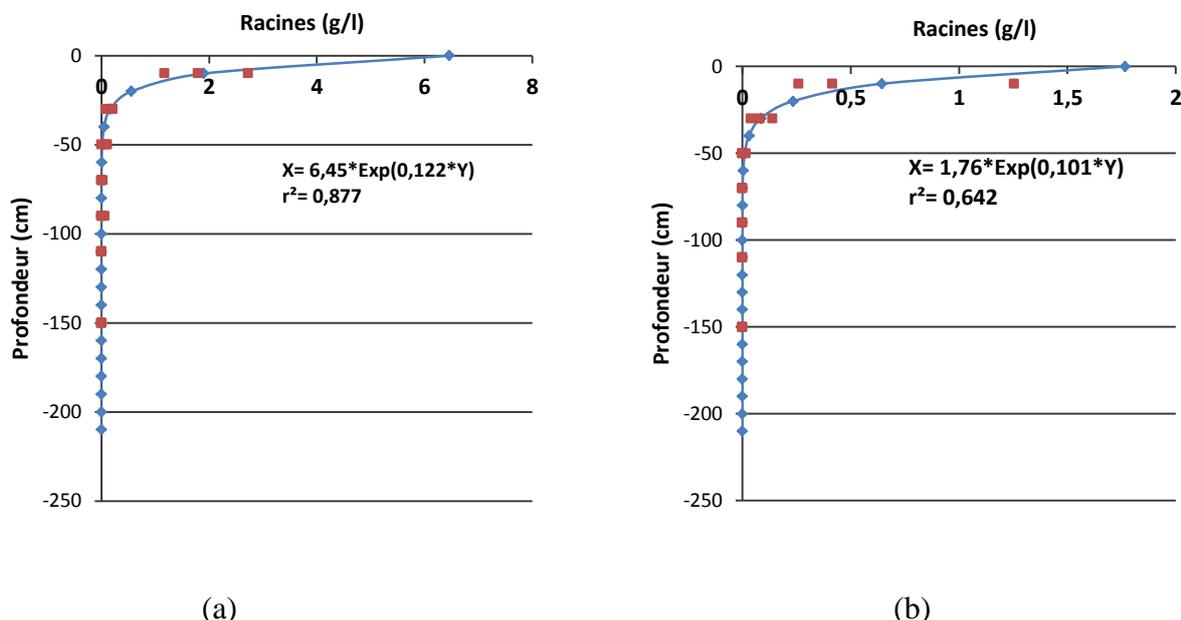


Figure 11: Modèle de distribution et densité des racines mesurées sous pied de stylosanthes 1 an (a) et entre deux pieds de stylosanthes 1 an (b)

En intégrant sur les bornes -40 à 0 et  $-\infty$  à -40, les équations de régressions des modèles de distribution de la figure 11a, b (Cf. partie II.3.2.1.1), on a :

Tableau 4: Densité de racines de stylosanthes de 1 an à partir de la fosse (en  $g.l^{-1}$ )

Positions horizons	Sous pied de stylosanthes de 1 an	Entre deux pieds de stylosanthes de 1 an	(Cf. annexe 4)
0 – 40 cm (I)	52,28	17,17	
Au-delà de 40 cm (II)	0,39	0,30	
<b>Rapport (II) / (I)</b>	<b>0,007</b>	<b>0,01</b>	

Les résultats obtenus montrent que la densité de racine obtenue sur le stylosanthes de 1 an est plus importante sous pied (jusqu'à  $6,5 g.l^{-1}$ ) que celle éloigné du pied (jusqu'à  $1,75 g.l^{-1}$ ) (Figure 11a, b). La quantité de la biomasse racinaire sous pied de stylosanthes de 1 an se concentre aussi surtout dans l'horizon superficiel du sol (0-40 cm). En fait, 99 % de racines se trouvent dans cet horizon ; et le reste 1% se situe dans la partie au-dessous de 40 cm de profondeur (Tableau 4).

Quant aux quantités des biomasses racinaires entre les pieds de stylosanthes de 1 an, une observation similaire est constatée, 98 % de biomasses racinaires se situent entre 0-40 cm et 2 % seulement se trouvent au-delà de 40 cm de profondeur (Tableau 4).

### III.1.2.1.4 Cas du riz

Les modèles de distribution des racines du riz sont présentés dans la Figure 12 et le Tableau 5 :

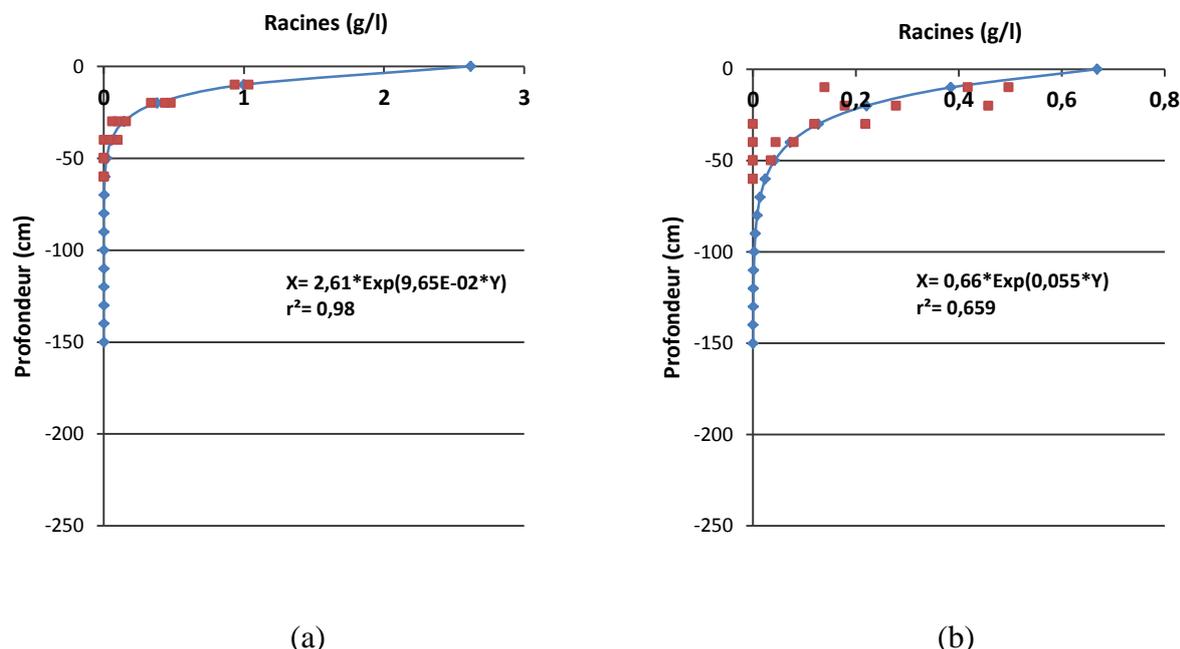


Figure 12: Modèle de distribution et densité des racines mesurées sous pied de Riz (a) et entre deux pieds de Riz (b)

En intégrant sur les bornes -40 à 0 et  $-\infty$  à -40, les équations de régressions des modèles de distribution de la figure 12a, b (cf. partie II.3.2.1.1), on a :

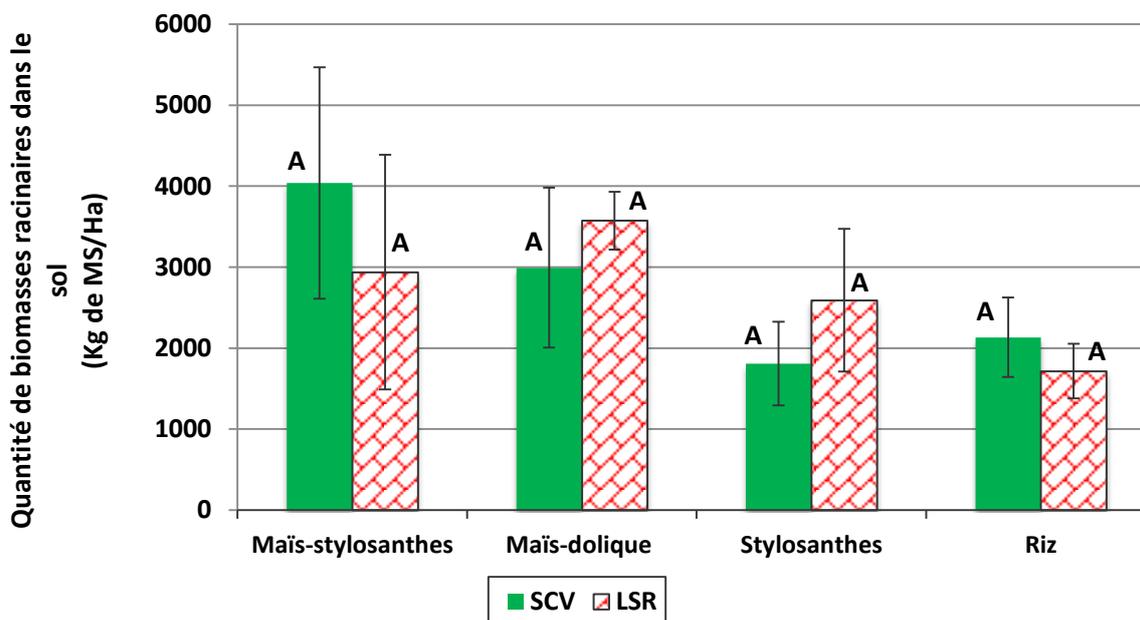
Tableau 5: Densité de racines de riz à partir de la fosse (en  $g.l^{-1}$ )

Positions horizons	Sous pied de riz	Entre deux pieds de riz	(Cf. annexe 4)
0 – 40 cm (I)	26,54	10,75	
Au-delà de 40 cm (II)	0,57	1,31	
<b>Rapport (II) / (I)</b>	<b>0,02</b>	<b>0,12</b>	

Les résultats obtenus montrent que la densité de racine obtenue sur le riz est plus importante sous pied (jusqu'à  $2,6 g.l^{-1}$ ) que celle éloigné du pied (jusqu'à  $0,65 g.l^{-1}$ ) (Figures 12a,b). La quantité des biomasses racinaires sous pied de maïs se concentre surtout dans l'horizon superficiel du sol (0-40 cm). En fait 98 % de racines se trouve dans cet horizon ; et le reste 2 % se situe dans la partie au-dessous de 40 cm de profondeur (Tableau 5). Quant aux quantités de la biomasse racinaire entre les pieds de maïs, une observation similaire est constatée, 89 % de biomasses racinaires se situent entre 0-40 cm et 11% se trouvent au-delà de 40 cm de profondeur (Tableau 5).

### III.1.2.2 Quantités de biomasses racinaires

La Figure 13 montre les quantités moyennes des biomasses racinaires.



**Figure 13: Quantité de biomasse racinaire des cultures selon le mode de gestion du sol**

Les lettres (A, B) se rapportent aux différences entre le mode de gestion (SCV vs Labour) pour une même plante. Une même lettre indique une absence de différence significative au seuil de 5% d'après le test de Tukey

La Figure 13 indique une absence de différence significative entre la quantité des biomasses racines des systèmes SCV et labourés pour une même plante.

Pour la culture associée de maïs-stylosanthes, les biomasses racinaires obtenues sous SCV et sous LSR sont respectivement de  $(4039 \pm 1429)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> et  $(2938 \pm 1450)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> pour les systèmes SCV et labourés.

Pour l'association maïs-dolique, les valeurs en SCV et en LSR sont respectivement de  $(2993 \pm 988)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> et  $(3574 \pm 355)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup>.

Pour la culture pure de stylosanthes, les biomasses racinaires obtenues sous SCV et sous LSR sont respectivement de  $(1809 \pm 517)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> et  $(2592 \pm 879)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> pour les systèmes SCV et labourés.

Pour la culture pure du riz, elle fournit environ  $(2134 \pm 491)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> de biomasse aérienne du riz en SCV et  $(1716 \pm 336)$  Kg MS.ha<sup>-1</sup> de biomasse aérienne du riz en LSR. (Cf. annexe 6).

### III.1.3 Rapport S/R

Les rapports entre la biomasse aérienne et la biomasse racinaire (rapport S/R) de chaque culture sont représentés dans la Figure 14 ci-dessous :

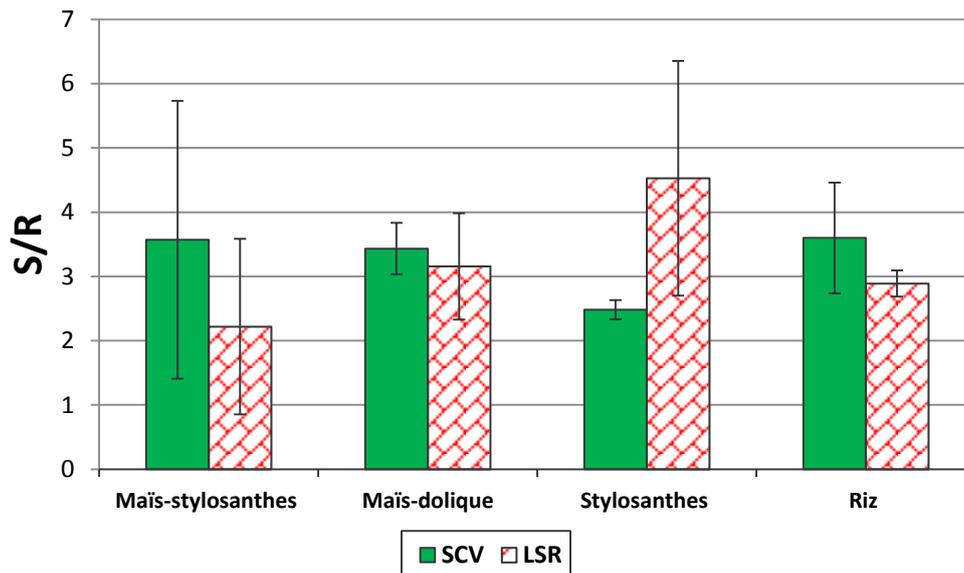


Figure 14: Le Ratio S/R pour les cultures selon le mode de gestion du sol

Pour l'association maïs-stylosanthes, le ratio est de  $(3,57 \pm 2,16)$  en SCV et  $(2,21 \pm 1,36)$  en LSR. Pour l'association maïs-dolique, le rapport S/R est égal à  $(3,43 \pm 0,39)$  en SCV et  $(3,15 \pm 0,82)$  en LSR. Pour le stylosanthes, cultivé en pur, le rapport S/R est de  $(2,48 \pm 0,14)$  en SCV et  $(4,52 \pm 1,82)$  en LSR. En enfin, pour le riz cultivé en pur, le rapport S/R est de  $3,59 \pm 0,86$  en systèmes SCV et de  $2,89 \pm 0,20$  en systèmes conventionnels de labour.

### III.2 ESTIMATION DE L'APPORT EN CARBONE AU SOL PAR LES BIOMASSES

#### III.2.1 Apport de carbone au sol par la rotation Maïs-stylosanthes // Stylosanthes // Riz en SCV

Les quantités de carbone contenues dans les biomasses de la rotation triennale de maïs-stylosanthes // stylosanthes // riz en SCV sont résumées dans la Figure 15.

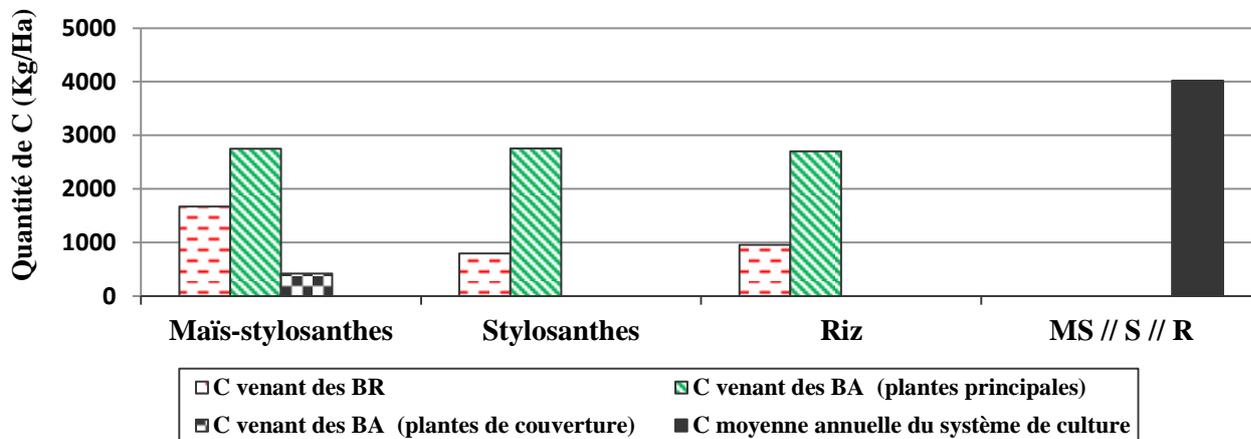


Figure 15: Quantité de C apportée par la rotation de maïs-stylosanthes // stylosanthes // Riz en SCV

Les quantités de carbone issues de l'association maïs-stylosanthes sont de 4848 Kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> et celles de cultures pures de stylosanthes et du riz sont respectivement de 3550 Kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> et 3663 Kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Soit pour une rotation triennale maïs-stylosanthes (MS) // stylosanthes (S) // riz (R), la moyenne annuelle est d'environ 4021Kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>.

#### III.2.2 Apport de carbone au sol par la rotation Maïs-dolique // Riz en SCV

La Figure 16 montre les quantités de carbone contenues dans les biomasses de la rotation Maïs-dolique // Riz en SCV.

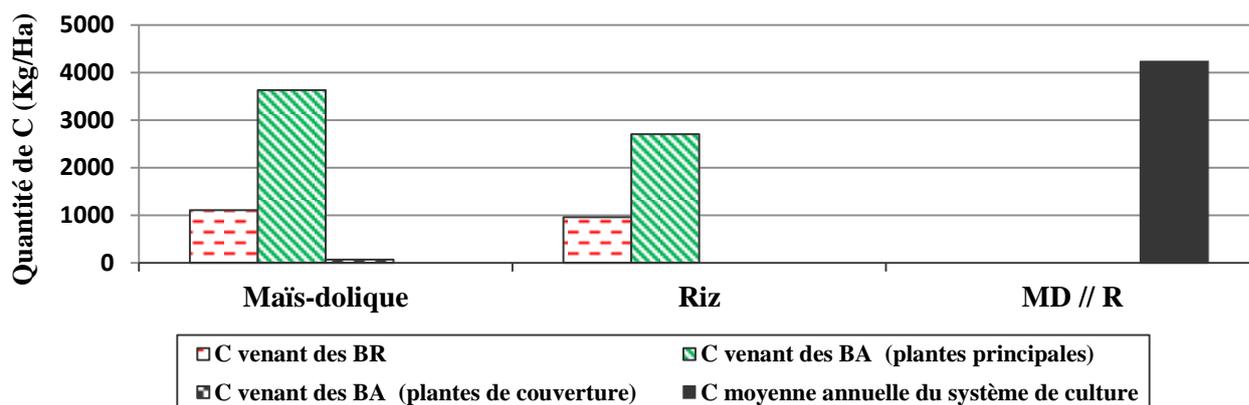


Figure 16: Quantité de C apportée par la rotation de maïs-dolique // Riz en SCV

Les quantités de carbone issues de l'association maïs-dolique sont de 4798 Kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> et celle de cultures pures de riz est de 3663 Kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Soit pour rotation biennale maïs-dolique (MD) // riz (R) en SCV, la moyenne annuelle est d'environ 4230 Kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>.

### III.2.3 Apport de carbone au sol par la rotation virtuelle Maïs // Riz en LSR

L'apport de carbone issus des biomasses racinaires au sol par la rotation virtuelle de Maïs // Riz en LSR est présenté dans la Figure 17.

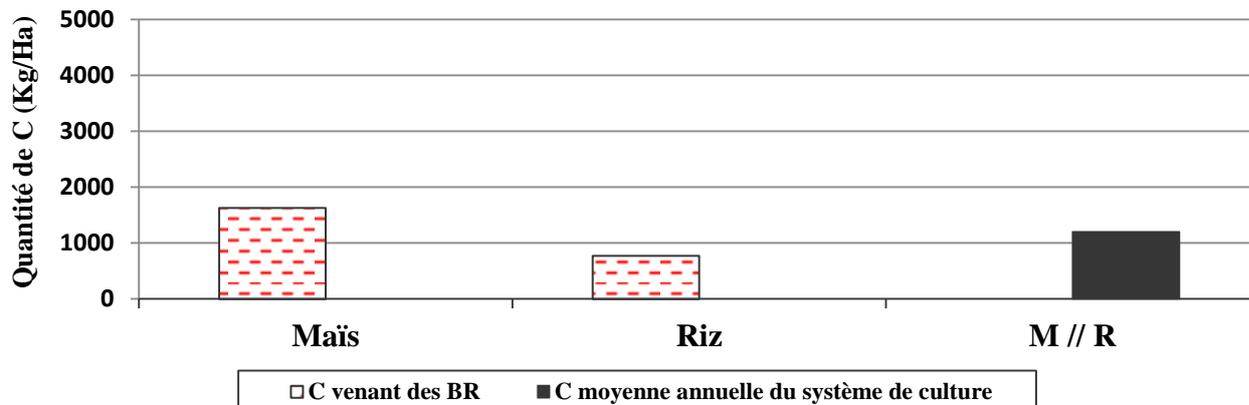


Figure 17: Quantité de C apportée par la rotation de Maïs // Riz en LSR

La quantité de carbone issue du maïs est de 1627 Kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> et celle de cultures pures de riz est de 772 Kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Donc pour la rotation virtuelle de maïs (M) // riz (R), la quantité de carbone apportée annuellement est de l'ordre de 1200 Kg de C.ha<sup>-1</sup> (Figure 21).

### III.3 MODELISATION DU STOCK DE MATIERE ORGANIQUE DANS LE SOL SUR UNE LONGUE DUREE

L'évolution du stock de carbone dans le sol selon le modèle de Hénin Dupuis est représentée dans la Figure 18. Les systèmes de cultures comparés sont :

- SC3-SCV (100% restitution) est une Rotation triennale de maïs-stylosanthes // stylosanthes // riz sous SCV ;
  - SC2-SCV (100% restitution) est une rotation biennale de maïs-dolique // riz sous SCV ;
  - SC3-SCV (50% restitution) est une Rotation triennale de maïs-stylosanthes // stylosanthes // riz sous SCV ;
  - SC2-SCV (50% restitution) est une rotation biennale de maïs-dolique//riz sous SCV ;
- et
- Témoin labouré est une rotation virtuelle biennale maïs-riz.

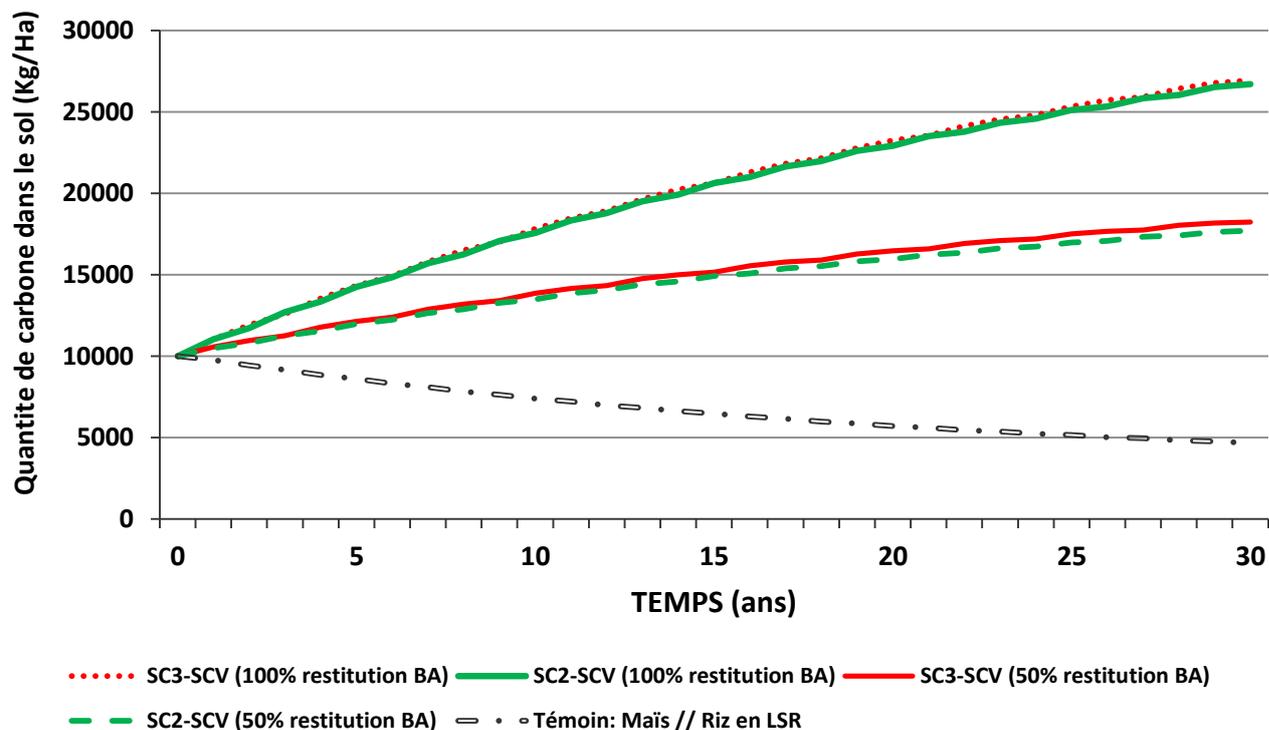


Figure 18: Simulation du stock de C en kg/Ha dans le sol en fonction du temps selon le modèle de Hémin Dupuis

La Figure 18 illustre l'évolution du stock de carbone cumulé dans le sol pendant une durée de 30 ans. Les résultats montrent qu'au fil du temps, les systèmes SCV permettent d'augmenter le stock de carbone dans le sol (horizon 0-40). A l'opposé, sous systèmes labourés, une tendance à la baisse de la quantité du C du sol a été constatée.

L'accroissement du stock de carbone sous SCV avec 100 % et 50 % de restitution pour chaque système de culture sont respectivement de 560 Kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> et 265 Kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Tandis que la diminution du stock de carbone sous système de labour est de l'ordre de -178 Kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>.

Par ailleurs, sous système SCV, par exemple pour avoir une augmentation de la quantité de carbone apportée dans sol de 5000 kg C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>, les temps nécessaires pour un système avec 100 % et celui avec 50 % de restitution sont respectivement de 5 ans et 15 ans. Tandis que, une perte de 5000 kg C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> est constatée au bout de 25 ans sous système labouré.

## **Chapitre IV**

---

---

# **Discussion**

## CHAPITRE IV : DISCUSSION

---

### IV.1 EFFET DU MODE DE GESTION DU SOL SUR LA PRODUCTION DE BIOMASSES

A l'issue de cette étude, il a été constaté que le mode de gestion (SCV et LSR) n'a pas d'effet visible sur la quantité des biomasses racinaires et aériennes obtenues. Les résultats permettent d'en déduire que la première hypothèse du départ est infirmée, en disant que « *les systèmes SCV permettent une production en biomasse plus élevée par rapport aux systèmes conventionnels de labour* ». L'avantage de la pratique des systèmes SCV est la restitution des résidus des cultures au sol. Cas peu courant dans les systèmes de productions malgaches, où la quasi-totalité des résidus des cultures est exportée des parcelles des cultures. Ces résidus sont utilisés comme un des sources d'alimentation des bétails (association agriculture-élevage).

Au vue de cette situation, la discussion s'est basée essentiellement par la comparaison des résultats obtenus par rapport aux autres études antérieures et sur l'explication des résultats obtenus.

#### IV.1.1 Biomasses aériennes

Les quantités de biomasses aériennes de l'association maïs-stylosanthes sont 7911 et 8459 kg de MS.ha<sup>-1</sup>. Par rapport à l'étude entreprise par Shehu, Al hassan et Phillips (1997) qui a obtenu, au Nigéria, un rendement en biomasse aérienne de l'ordre de 6020 kg de MS.ha<sup>-1</sup> sur l'association de maïs-stylosanthes (*stylosanthes hamata*) avec une pluviométrie variant de 500 à 1000mm ; les valeurs obtenues au cours de cette étude sont donc supérieures. De même, pour la culture associée de maïs-dolique, la biomasse aérienne est de 8906 et 12319 Kg de MS.ha<sup>-1</sup>. Ces observations sur terrain sont aussi supérieures à celle réalisée par Naudin, Scopel et al. (2010), qui ont montré une production de biomasse aérienne d'environ 8.000 Kg de MS.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> en moyenne sur une association maïs-dolique dans la région de Lac Alaotra. Ces différences sont surtout expliquées par la quantité de biomasse aérienne des maïs. En effet, les majeures parties des biomasses aériennes de ses associations proviennent surtout des principales cultures notamment le maïs. Pour ce dernier, les auteurs suscités ne considéraient que les tiges et les feuilles lors de leur étude alors que dans notre étude, on a pris les épis du maïs en plus de ses organes (tiges et feuilles) lors des pesages. Or, les épis représentent environ 12% du poids total de la plante de maïs (Ning et al., 2012).

Pour la culture de stylosanthes, on a obtenu 6351 et 7750 Kg MS.ha<sup>-1</sup> de biomasses aériennes. Ces résultats sont confirmés par Husson et al. (2008), qui a travaillé sur l'espèce *Stylosanthes guianensis*, et a montré que cette espèce est capable de produire une forte biomasse aérienne de 5000 à 10000 Kg de MS.ha<sup>-1</sup> même sur des sols dégradés et sans engrais avec une condition d'altitude inférieur à 1600 m. De plus, d'autre résultat sur la productivité de cette espèce a aussi montré un rendement en biomasse aérienne entre 7000 à 10000 Kg de MS.ha<sup>-1</sup> sans aucun apport de fertilisant durant 3 ans (Koffi, 1982). On remarque que les valeurs qu'on a trouvées, se trouvent dans la fourchette des valeurs d'autres auteurs. En effet, cela est

surtout dû à la ressemblance des conditions expérimentales (même condition climatique, même niveau de fertilisant) et aussi à la ressemblance des méthodes de prélèvement des biomasses aériennes adoptées (méthode de récolte intégrale).

En culture pure de riz, la biomasse aérienne est environ de 6000 Kg de MS.ha<sup>-1</sup>. En se référant à d'autre auteur, Cette valeur que nous avons est bien supérieure à celle de Nivotiana (2010) qui a trouvé 3250 Kg de MS.ha<sup>-1</sup> sous systèmes SCV au lac alaotra et supérieure aussi à celle de Rakotoarisoa *et al.* (2011) avec 3210 kg de MS.ha<sup>-1</sup> sous SCV dans la région de Vakinankaratra Antsirabe. Ces auteurs ont prélevé leur biomasse aérienne au stade de maturation. Il est possible que les quantités de biomasses aériennes obtenues soient importantes parce que les prélèvements ont été faits au moment des floraisons. C'est en ce moment que les biomasses des plantes sont maximales (Smirnov, Mouravine *et al.*, 1997).

#### IV.1.2 Biomasses racinaires

Dans cette expérimentation, la méthode du carottage (en surface et dans une fosse) était celle adoptée pour prélever les biomasses racinaires. Cette méthode a été déjà utilisée auparavant par plusieurs auteurs pour des études des systèmes racinaires, dont en voici quelques-unes : Le Grand (1979) à Ouagadougou, sur des études préliminaires des biomasses racinaires de la strate herbacée des formations sahéliennes ; Chopart (1980) au Sénégal, sur l'étude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales ; et Andriamampandry (2009) au Lac Alaotra (Madagascar) sur l'estimation de l'apport en carbone par le *Stylosanthes guianensis* à Ambohitsilaozana. En effet, cette méthode du carottage était retenue car d'une part pour celle en surface, elle est peu destructive et permet d'obtenir une précision identique à celle des blocs en un temps relativement court (César et Menaut, 1974). Et d'autre part, celle dans une fosse, elle présente l'avantage de pouvoir faire une rapide observation du profil avant de délimiter les horizons à prélever (Picard, 1968 ; Chopart et Nicou, 1976). Cependant, cette méthode présente des limites notamment pour l'extrapolation des quantités de racines obtenues dans l'espace.

En termes des quantités des biomasses racinaires, d'une manière générale les quantités des biomasses racinaires obtenues au cours de cette étude sont inférieures par rapports aux autres études antérieures sauf pour la culture pure du riz.

En effet, les biomasses racinaires de l'association maïs-stylosanthes obtenus sont de 2.938 et 4.039 Kg de MS.ha<sup>-1</sup> et celles de l'association maïs-dolique est de 2.993 à 3574 Kg de MS.ha<sup>-1</sup>. Or Buyanovsky et Wagner (1986) a obtenu en culture pure de maïs, d'environ 10.850 Kg de MS.ha<sup>-1</sup> de biomasses racinaires, avec la variété de maïs « Pioneer 3183 » sur une profondeur de 50 cm en dessous du sol. D'autre auteur, dont Bray, (1963) a obtenu de biomasses racinaires de l'ordre de 4.500 Kg de MS.ha<sup>-1</sup> avec une culture pure de maïs.

De même, pour la culture pure de stylosanthes, si les biomasses racinaires obtenues dans cette étude sont de 1.809 et 2.592 Kg de MS.ha<sup>-1</sup> ; alors que les valeurs publiées par Picard *et al.* (1969) sont plus élevées (3500 Kg de MS.ha<sup>-1</sup>). Les conditions générales de ses prélèvements

sont les suivantes : profondeur de prélèvement jusqu'à 120 cm, les prélèvements racinaires par carottage sur des stylosanthes âgés de 18 mois; les plantes ont reçu une fumure à dose de 200 unités N, 100 unités P, 150 unités K en un épandage.

Ces faibles valeurs pourraient être attribuées probablement à des problèmes de l'extrapolation dans l'espace de la méthode de carottage et aux biomasses racinaires récupérées qui ne sont constituées essentiellement que par des grosses racines. En effet, les racines fines sont difficiles à extraire du sol (Woodward et Osborne, 2000). Une partie de ses dernières peuvent être perdues lors du tamisage avec un tamis de maille égale à 1 mm. Ces pertes sont estimées jusqu'à 30 % de la quantité totale des biomasses racinaires selon la taille des mailles des tamis utilisées. A titre indicatif, Amato et Pardo (1994) n'a obtenu que 55 % des biomasses souterraines en utilisant un tamis à maille de 2 mm, cas des racines de blé et de l'haricot. Mais avec, un tamis de maille égale à 1 mm, Gregory (2006) a pu récupérer 80 % de la biomasse racinaire totale.

Pour éviter les grandes quantités des racines perdues lors de l'extraction, l'utilisation de tamis à maille inférieure ou égale à 0,5 mm est conseillée. En effet, ce type de maille permet de recueillir 93 % à 95 % de racines totales (Gregory, 2006).

Les pertes n'ont pas été prises en considération lors des calculs dans cette étude. Ce qui fait que, les valeurs présentées dans cette étude ne représentent que la limite inférieure des quantités racinaires de l'association maïs-stylosanthes, de l'association maïs-dolique et stylosanthes cultivé en pur.

Par contre, pour le cas de la culture pure du riz, les résultats obtenus en cours sont de 1716 et 2134 Kg de MS.ha<sup>-1</sup>. Ces résultats sont supérieures à celui de Kondo *et al.* (2003) qui travaillent sur plusieurs variétés de riz ont obtenus une quantité de biomasse racinaire nettement inférieure : 520 à 1111 Kg de MS.ha<sup>-1</sup> au maximum dans la profondeur (0-90 cm). Ces derniers sont obtenus à partir de la moyenne de biomasses racinaires de plusieurs variétés de riz, expérimentation effectuée à Los Banos Philippines. Cette infériorité est surtout due à la profondeur de prélèvement. Mais, si on ramène cette valeur de Kondo et al. en 2003 dans la même profondeur de notre étude, elle devient 867 à 1852 Kg de MS.ha<sup>-1</sup> en profondeur de 0-150 cm. La petite différence (entre ses valeurs et les nôtres) est expliquée par la variabilité de variété de riz étudiée. En effet, la productivité d'une plante varie selon les variétés.

Bref, la mesure de la biomasse racinaire sur terrain reste toujours un sujet délicat et difficile, et les résultats sont très variables. La forte variabilité des résultats sont issues du mode de prélèvement et de l'extraction des racines qui sont différents. Elle aboutit souvent à une récolte incomplète (Böhm, 1979 et Van Noordwijk, 1993).

Ce qui oblige certaines études à négliger les mesures des biomasses racinaires par rapport à l'autre compartiment de la plante, ***cette conclusion permet d'éclaircir le questionnement du***

départ c'est-à-dire « le pourquoi » de la sous-estimation de la mesure de la biomasse racinaire par rapport aux autres compartiments de la plante.

#### IV.1.3 Ratio S/R

Les valeurs du ratio S/R varient d'une étude à une autre (Tableaux 6,7, et 8).

Bien que les résultats issus de l'association maïs-stylosanthes (2,21 et 3,57) et maïs-dolique (3,15 à 3,43) soient comparés à ceux issus de la culture pure de maïs. Les valeurs obtenues se trouvent entre les fourchettes de celles trouvés par les autres études : 1,17 par Zhu et Lynch (2004) à 6,9 par Santos et al. (2010) (Tableau 6). Les conditions d'expérimentation différentes (méthode adopté en carotte ou en bloc, variétés, milieu expérimentale : expérimentation au champ ou au laboratoire, climat, etc.), influant à la production des biomasses, permettent de mieux expliquer ces variabilités des résultats obtenus.

Une observation similaire est constatée pour les deux autres plantes étudiées (cultures pures de stylosanthes et du riz). En fait, pour la culture pure de stylosanthes (Tableau 7), les rapports S/R sont plus élevés (jusqu'à 4,52) par rapport aux autres études antérieures, alors que ceux de culture pure du riz (Tableau 8), les valeurs en cours (Botoela, 2013) sont plus faibles. La diversification des résultats est toujours liée aux conditions expérimentales différentes et la difficulté méthodologique de la biomasse racinaire.

**Tableau 6 : Différentes valeurs du ratio S/R pour le maïs**

Références	BA(t/ha)	BR(t/ha)	S/R	Conditions
Anderson (1988)	-	-	<b>3,33</b>	Sols limono-argileux, maïs hybride variété « pioneer 3148», méthode de prélèvement des racines par méthode de bloc
Zhu et Lynch (2004)	-	-	<b>1,17 à 1,85</b>	Résultat obtenu avec un faible apport de l'élément phosphore
Buyanovsky et Wagner (1986)	15,40	10,85	<b>1,42</b>	Sols limoneux en Mexique, maïs variété « pioneer 3183 », méthode de prélèvement des racines par méthode de carottage. Valeur obtenue en 1981
Bolinder et al. (1999)	-	-	<b>5,31</b>	S/R moyenne dans la littérature et utilisée par Bolinder et al. en 1999
Santos et al. (2010)	-	-	<b>6,9</b>	S/R moyenne trouvé par Santos et al. en 2010
Nos résultats	Maïs + stylosanthes		<b>2,21 et 3,57</b>	Méthode de prélèvement par carottage, au lac alaotra, maïs CIRAD 412.
	Maïs + dolique		<b>3,15 et 3,43</b>	

Tableau 7: Différentes valeurs du ratio S/R pour le stylosanthes

Références	BA(t/ha)	BR(t/ha)	S/R	Conditions
Groot, Traoré et Koné (1998)	8,3	3,5	<b>2,37</b>	<i>Stylosanthes. hamata</i> , sans apport de Phosphore, prélèvement BR par méthode de monolithe, les plantes sont âgées de 1 et 2 ans, étude effectuée au Mali.
Andriamampandry (2009)	31,23	13,63	<b>2,29</b>	<i>S. guianensis</i> , prélèvement BR par carottage, au lac alaotra, la plante est âgée d'un an environ.
Hu et Jones (1999)	-	-	<b>2,94</b>	<i>S. scabra cv. Seca</i> , expérience a été réalisée dans une serre au Laboratoire Davies.
<b>Nos résultats</b>	-	-	<b>2,48 et 4,52</b>	Méthode de prélèvement par carottage, au lac alaotra, stylosanthes variété CIAT 184 et âgée d'un an.

Tableau 8: Différentes valeurs de S/R pour le riz

Références	BA(t/ha)	BR(t/ha)	S/R	Conditions
Kondo et al. (2003)	-	-	<b>6,25</b>	Sur plusieurs variétés de riz, prélèvement BR par carottage, tamis de 0,3 mm de maillage,
Kerdchoechuen (2005)	-	-	<b>2,0</b>	Plante de riz sur pots, prélèvement des racines dans les pots (S/R en laboratoire), S/R en stage de végétation du riz
Matsuo et Mochizuki (2009)	-	-	<b>5,0</b>	Culture de Riz dans un tube en polychlorure de vinyle transparent mince à faible densité du sol (S/R en laboratoire)
Woo et al. (2007)	-	-	<b>5,0</b>	riz japonica variété « Hwayoung », expérience en milieu contrôlé (sous serre), S/R obtenu 60jours après germination
<b>Nos résultats</b>	-	-	<b>2,89 et 3,59</b>	Méthode de prélèvement des racines par carottage, au lac alaotra, Riz B22

## IV.2 EFFET DU MODE DE GESTION DU SOL SUR LE STOCK DE CARBONE

### IV.2.1 Méthodologie de l'estimation du stock de carbone dans les biomasses

L'estimation de carbone dans les biomasses racinaires est calculée par l'utilisation des teneurs de carbone dans les biomasses sèches trouvées dans la littérature. Cette méthode était aussi adoptée par Bolinder *et al.* (1999) sur le maïs, par Segundo *et al.* (1998) et Andriamampandry (2009) sur le stylosanthes, par Tschirley (2009) sur les Légumineuses. L'utilisation de la relation entre la quantité de biomasse sèche et la teneur en C pour quantifier le carbone dans la plante peut être employée dans le cas où on ne peut pas faire des analyses aux laboratoires. Les analyses au laboratoire donnent des résultats plus proches de la réalité, si les moyens et le temps les permettent. Différentes méthodes d'analyse peuvent être proposées pour évaluer la quantité de carbone contenue dans la biomasse. A Madagascar, la méthode de Walkley & Black ainsi que la carbonisation restent encore les méthodes les plus utilisées dans le laboratoire (Razafindramanana, 2006). Ce qui nous amène à estimer le stock de carbone dans les biomasses.

### IV.2.2 Apport de carbone par les biomasses racinaires

Le carbone apporté a été sous-estimé car d'une part on n'a pas mesuré les carbones apportés par les exsudats racinaires qui ne pourraient être négligeable. Ces mesures sont difficiles à réaliser sur terrain (Bolinder *et al.*, 1997). Bolinder *et al.* (1997) a supposé que 50 % de la quantité totale de C allouée au sol est libérée sous forme C extra-racinaire. D'autre part, le carbone contenu dans les racines fines perdues lors des tamisages cité précédemment (cf. IV.1.2 biomasses racinaires) n'est pas évalué, alors que Jackson *et al.* (1997) estime que près de 33 % des émissions mondiales de productivité primaire annuelle nette sont utilisées pour la production des racines fines. Par conséquent, on peut supposer que les résultats obtenus, au cours de cette étude, sont des valeurs minimales du carbone apporté par les biomasses racinaires des plantes étudiées (maïs, riz, stylosanthes, dolique).

Concernant la part de la biomasse racinaire dans le stock de carbone, d'après nos résultats le carbone apporté par la biomasse racinaire est moins important, par rapport à celui apporté par les biomasses aériennes. En effet, ce carbone racinaire est estimé à 1000 Kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Cela ne représente qu'environ 25 % des quantités de carbones de l'ensemble des biomasses végétales. Ces résultats permettent d'en déduire que les biomasses racinaires constituent un apport supplémentaire de C stocké dans le sol mais inférieure à celle apporté par la partie aérienne. Or, ces matières organiques soient disant « *temporaires* » issues des racines jouent un rôle dans la stabilisation des macro-agrégats supérieurs à 250 µm (Annabi, 2005), par voie de conséquence elle participe à la stabilisation du stock de C dans le sol ainsi que sa protection. Par rapport à ce contexte, la deuxième hypothèse du départ est vérifiée en postulant que « *Dans les systèmes SCV, la part de la biomasse racinaire pour augmenter le stock de carbone dans le sol est moins importante par rapport à celle de la biomasse aérienne* ».

### IV.2.3 Evolution du stock de carbone dans le sol

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que les systèmes SCV avec 100 % des restitutions des résidus de biomasses aériennes, permettent une augmentation de 560 kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> du stock de carbone dans le sol par rapport aux systèmes conventionnels de labour sans restitution où la perte est de l'ordre de -178 kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Ces résultats rejoignent ceux trouvés en milieu tropical par Razafimbelo (2005) sur l'effet des systèmes sur couverture végétale sur l'augmentation de stock de carbone (+ 690 kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>) dans le sol. Cette étude a été entreprise sur un dispositif expérimental de longue durée (11 ans) à Andranomanelatra, Antsirabe, Haute-terres de Madagascar (16°C ; 1300 mm). Bayer *et al* (2000) publie aussi des résultats similaires sur l'effet positif des systèmes SCV sur le stockage de carbone au Sud de Brésil (19,4°C ; 1440 mm) avec un accroissement de 710 de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> dans le sol.

Mais lors de cette étude, un autre scénario a été adopté, en fait 50 % des résidus est restitué au sol sous parcelles SCV. Les résultats obtenus montrent aussi un accroissement du stock de carbone dans le sol de l'ordre de 265 kg de C.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>, soit une valeur moindre par rapport au stock à 100 % de restitutions. Cette observation permet d'en déduire que la quantité de carbone stocké dans le sol est en corrélation positive avec la quantité de la biomasse restituée au sol. En effet, la quantité de matière organique restituée influe directement sur le stockage de carbone dans le sol car théoriquement, 15 % du carbone restitué est stocké dans le sol (Rasmussen et Collins, 1991).

Les systèmes SCV ont un effet positif sur les changements importants de la dynamique du carbone dans le sol et y en favorisant la quantité de carbone stocké dans le sol. La combinaison de la restitution des résidus de culture sur la surface du sol et la non perturbation du sol (ni labour ni travail superficiel) se traduit directement par une réduction de la vitesse de décomposition des résidus; par une diminution de la minéralisation de la matière organique dans le sol en raison de moins aération et une accessibilité plus faible de micro-organismes à celle-ci, et par une augmentation de carbone dans le sol (Balota *et al.*, 2004 ; Ordóñez *et al.*, 2008). Par contre, le travail de sol agit premièrement en brisant les macro-agrégats du sol riches en C, libérant ainsi de la matière organique particulaire (MOP) qui est constituée de débris organiques et de résidus de culture (Beare *et al.* 1994 ; Roberts et Chan 1990). La MOP ainsi libérée suite à l'action mécanique du travail de sol est par la suite plus facilement attaquée par les microorganismes du sol, engendrant une perte de matière organique du sol. Deuxièmement, le travail de sol a une influence sur l'activité biologique du sol en modifiant l'aération et l'humidité du sol, ce qui peut favoriser la minéralisation (Follett *et al.*, 2001). A part les deux facteurs suscités (restitutions, mode de gestions du sol), d'autres facteurs influent aussi sur le stockage de carbone dans le sol tel que la qualité de restitution, les caractéristiques du sol, son activité biologique, la protection physique du carbone dans le sol.

---

---

# Conclusion

## **CONCLUSION**

---

Les systèmes SCV constituent une solution prometteuse pour la conservation du sol et de limiter les émissions de gaz à effet de serre en occurrence le dioxyde de carbone du sol agricole. Mais il a été constaté que les biomasses issues des systèmes SCV et labourés sont les mêmes. Ainsi, l'hypothèse 1, disant que «les systèmes SCV permettent une production en biomasse plus élevée par rapport aux systèmes conventionnels de labour» est infirmée. Quoiqu'il en soit, cette étude a permis d'avoir des ordres de grandeur des quantités de biomasses souterraines et aériennes des cultures principales et plantes de couverture utilisées dans les systèmes de culture sur couverture végétale (SCV) et celles obtenues en système de labour sans restitution (LSR). Concernant particulièrement les quantités de biomasses racinaires, peu de chercheurs s'intéressent sur l'étude de la partie souterraine des plantes. Cela implique l'inexistence de données récentes sur les biomasses racinaires actuellement. Elle permet aussi d'expliquer la raison pour laquelle il y a peu d'études dans ce domaine. Il ressort aussi de cette étude que le stock de carbone dans le sol augmente au fil du temps sous systèmes SCV, à l'opposé des sous-systèmes conventionnels de labour. Concernant la quantité de C issue de la biomasse racinaire, il est d'environ 25 % du C venant des biomasses totales (épigées et hypogées). Ce qui fait que l'augmentation du stock de carbone sous systèmes SCV est attribuée principalement à la restitution des biomasses aériennes au sol. La deuxième hypothèse, qui postule que «Dans les systèmes SCV, les carbones racinaires participent moins dans l'apport de stock de carbone dans le sol par rapport aux carbones apportés par les biomasses aériennes», est vérifiée.

Au point de vue méthodologique, bien que nous ayons effectué des mesures d'ensemble des biomasses (aériennes et souterraines), il a été constaté que l'approche méthodologique utilisée pour mesurer les biomasses racinaires connaît une certaine limite. Sachant que la quantification des biomasses racinaires s'avère toujours difficile à réaliser et cela entraîne des travaux plus laborieux et demande beaucoup de temps parce que tous les travaux dans cette étude ont été effectués manuellement. Pour l'étude à venir, il sera proposé d'utiliser une foreuse à moteur pour prélever des carottes de terre de 10 cm de diamètre et de 1 m de long afin de faciliter l'extraction de bloc racine-sol et de permettre d'obtenir des nombreux échantillons à moindre temps.

Entre autre certains paramètres n'étaient pas pris en compte tels que l'effet de la fertilisation du sol, l'effet des variétés des plantes etc. Dans ce sens, la quantité réelle des biomasses racinaires est sous-estimée, ce qui pourrait sous-estimer également la part de ce pool au niveau du stock de carbone dans le sol. Afin de mettre au point, les tendances générales observées, il paraît intéressant d'envisager de continuer la recherche tout en ouvrant de nouvelles pistes de recherche. La nouvelle recherche proposée sera plus axée sur l'étude de la source racinaire de carbone tout en tenant compte les facteurs peu étudiés dans cette recherche en occurrence la mesure des racines fines, les exsudats racinaires etc.

---

---

# **Références bibliographiques**

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie Bretagne. (2004). Réalisation d'un référentiel technico-économique des unités de méthanisation de produits organiques agricoles et non agricoles à petite échelle en Europe, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. 11 p. (G-O-AGE00001).
- Agence pour l'environnement et le développement soutenable. (2008). stockage naturel du carbone : Etat des lieux des connaissances et estimations régionales. 28p.
- Akpo L. E. (1996). Production d'une phytocénose sahélienne : phytomasse hypogée sous et hors couvert ligneux. *Vie milieu*. 46(1). 87-92p.
- Albrecht, A., Cadisch, G., Blanchart, E., Sitompul, S.M., Vanlauwe, B., (2002). Below- and aboveground organic inputs, soil C storage and soil structure improvements and consequences for agroecosystems functions. In: Van Noordwijk M., C.G., Ong C. (Ed.), *Be*
- Amato, M. et Pardo, A. (1994). Root length and biomass losses during sample preparation with different screen mesh sizes. *Plant Soil*. 161: 299-303p.
- Anderson, E. L. (1988). Tillage and N fertilization effects on maize root growth and root : shoot ratio. *Shoot. Plant and soil*. 108. 245–251p.
- Andriamampandry Falitiana Ruffin. (2009). Estimation de l'apport en carbone par le stylosanthes guianensis : cas du lac alaotra. Mémoire de fin d'étude. 81p.
- Annabi Mohamed, (2005). Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine: relation avec les caractéristiques de leur matière organique. Thèse en vue de l'obtention du grade de Docteur de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon. 270 pages.
- Balota EL, Kanashiro M, Filho AC, Andrade DS, Dick RP. (2004). Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agroecosystems. *Braz J Microbiol*,35. 6p.
- Bayer C., Mielniczuk J., Amado T. J. C., Martin-Neto L. et Fernandes S. V., (2000). Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 54. 101-109p.
- Beare M.H., P.F. Hendrix et D.C. Coleman. (1994). Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58. 777-786p.
- Belloncle, G., Randriamananjara, D., Ratsimba, J. (2002). Une fédération d'associations d'usagers de l'eau peut-elle gérer un grand réseau hydro-agricole? Une étude de cas, la fédération PC15 Vallée Marianina au Lac Alaotra.
- Bernoux M, Feller C, Cerri C.C, Eschenbrenner V, Cerri C.E.P. (2005). Chapitre 2 : Soil Carbon Sequestration. In ROOSE E.J et al .-Soil erosion and carbon dynamics. *Advance in Soil Science*. 13-22p.
- Bille J.C. (1977). Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. *Travaux et documents de l'ORSTOM*, n° 65. 81p.
- Blanchart, E., M. Bernoux, X. Sarda, M. Siqueira, C.C. Cerri, M. Piccolo, J.-M. Douzet, E. Scopel, and C. Feller. (2007). Effect of Direct Seeding Mulch-Based Systems on Soil

- Carbon Storage and Macrofauna in Central Brazil. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 72(1):81–87p.
- Böhm W. (1979). *Methods of studying root systems*. Berlin : Springer Verlag.
- Bolinder M. A., Angers D. A., Bélanger G., Michaud R., and Laverdière M. R. (2002). Root biomass and shoot to root ratios of perennial forage crops in eastern Canada, *Canadian Journal of Plant Science*. 731-737p.
- Bolinder, M. A., Angers, D. A., & Dubuc, J. P. (1997). Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soils for cereal crops. *Crops*. 9p.
- Bolinder, M. A., Angers, D. A., Giroux, M., & Laverdi, M. R. (1996). Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea Mays L.*). *Plant and Soil*. 85–91p.
- Bonzon B., Picard D. (1969). Matériel et méthodes pour l'étude de la croissance et du développement en pleine terre des systèmes racinaires. *Cahier ORSTOM*, n°9. 3-18.
- Bray J.R. (1963). Root production and the estimation of net productivity. *Canadian journal of botany*. 41. 65-72p.
- Buyanovski, G.A., Wagner, G.H. (1998). Changing role of cultivated land in the global carbon cycle. *Biology and Fertility of Soils*. 27. 242–245p.
- Buyanovsky, G., & Wagner, G. (1986). Post-harvest residue input to cropland. *Plant and Soil*, 5(9842). 57–65p.
- Cellule régionale de centralisation et d'analyse. (2010). Rapport de mise en œuvre des priorités Régionales : Région Alaotra Mangoro. 40p.
- Cesar J. (1971). Comparaison de quelques méthodes d'étude quantitative du système racinaire de la strate herbacée. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle. Université de Paris. 95p.
- Cesar J., Menaut J.C. (1974). Analyse d'un écosystème tropical humide: la savane de Lamto (Côte d'Ivoire). II. Le peuplement végétal. *Bulletin de liaison des chercheurs de Lamto*, n° spécial, fascicule II.
- Chabaud François-Xavier et Rasolofo Jean Myrs. (2010). Petit guide des notions élémentaires d'agricultures. 74p.
- Chopart J.L., Nicou. R. (1976). Influence du labour sur le développement racinaire des différentes plantes cultivées au Sénégal. Conséquences sur leur alimentation hydrique. *Agron Trop*. 20. 7-28p.
- Chopart, J. L (1980) Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide-mil-sorgho-riz pluvial). Thèse, Institut National Polytechnique, Toulouse, France.
- Derpsh, R. (1998). Historical review of No-tillage cultivation of crops. *Proceedings of the International Workshop on Conservation Tillage for Sustainable Agriculture*, Harare, Zimbabwe, FAO, GTZ, ZFU, FARMESA, ARC.
- Direction Générale de la Météorologie (DGM). (2008). Le changement climatique à Madagascar. 19p.
- Domas R., Penot E., Andriamalala H., Chabierski S. (2008). Quand les Tanety rejoignent les rizières au lac alaotra : Diversification et innovation sur les zones exondées dans un Contexte foncier de plus en plus sature, 26p. (<http://agroecologie.cirad.fr>).

- Dounias Isabelle. (2001). Les systèmes de culture à base de couverture végétale et semis direct en zones tropicales. synthèse bibliographique. 164p.
- Douzet J.-M., Scopel E., Muller B., Rakotoarisoa J., Albrecht A. et Razafindramanana N.C. (2010). Effets des systèmes de cultures en semis direct avec couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des cultures pluviales des Hautes Terres de Madagascar. *Etude et Gestion des Sols* 17. 2. 131-142p.
- Ducrot R. (1996). Régulation d'une production en situation d'incertitudes et de fortes contraintes : exemple des systèmes rizicoles du lac Alaotra (Madagascar) . Mémoire de thèse, INAPG-CIRAD
- FAO. (2000). La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. 70p.
- FAO. (2010). Annexe 2: Termes et définitions utilisés dans FRA, 217–224p.
- Follett, R.F., J.M. Kimble, and R. Lal (2001). The potential of U.S. grazing lands to sequester soil carbon. In: R.F. Follett et al. (ed.) *The potential of U.S. grazing lands to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect*. CRC Press, Boca Raton, FL, 401-430p.
- Fortin MC., Rochette P., Pattey E. (1996). Soil Carbon Dioxid fluxes from Conventional and no-tillage small-grain cropping system. *Soil Science Society of America Journal*, 1541-1547p.
- Franco Stéphanie. (1981). épidémiologie de la peste porcine africaine dans la région du lac alaotra (Madagascar) : étude des facteurs de risque et estimation de la prévalence. thèse de doctorat, 130p.
- Gregory, P. J. (2006). *Plant roots. Growth, activity and interaction with soils*. Blackwell Publishing Ltd.
- Groot, J. J. R., Traoré, M., & Koné, D. (1998). Description du système racinaire de trois espèces fourragères en zone soudano-sahélienne: *Andropogon gayanus* , *Vigna unguiculata* et *Stylosanthes hamata*, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2(2), 106–119p.
- GSDM. (2004). stratégie du GSDM pour la mise au point, la formation et la diffusion des techniques agro-écologique à Madagascar, 29p.
- Houghton J.T., L.G. Meira Filho J, Bruce H, Lee B.A, Callander E, Haites N, Harris et K. Maskell, (1995). *Climate Change 1994 : Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*, Grant Britain, IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), Cambridge University Press. 339p.
- Hu, F. D., & Jones, R. J. (1999). Effects of leachates from swards of *Bothriochloa pertusa* and *Urochloa mosambicensis* on the growth of four test species , *B . pertusa* , *U . mosambicensis* , *Stylosanthes hamata* cv . *Verano* and *S . scabra* cv . *Seca* and an assessment of the endophyte, *Tropical Grassland*. 33. 122–126p.
- Husson O. et al, (2006) An approach for creation, training, and extension of systems based on direct seeding on permanent cover in Madagascar, Husson O., Rakotondramanana (eds), *Voly rakotra. Mise au point, évaluation et diffusion des techniques agroécologiques à Madagascar*. 50-53p.
- Husson O., Charpentier H., Razanaparany C., Moussa N., Michellon R., Naudin K., Razafintsalama H., Rakatoarinivo C., Rakotondramanana, Seguy L., (2008). Fiches

- techniques plantes de couvertures : légumineuses pérennes. *Stylosanthes guianensis*. In : CIRAD. Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Volume III . Antananarivo : CIRAD. 12p.
- IPCC, 2007. Climate Change (2007). The Physical Science Basis - Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In. Cambridge University Press, Cambridge. 996p.
- Jackson R. B., Mooney H. A. & Schulze E. D. (1997). A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceedings of National Academy of Sciences, USA*, 7362–7366p.
- Kerdchoechuen, O. (2005). Methane emission in four rice varieties as related to sugars and organic acids of roots and root exudates and biomass yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 108(2), 155–163. doi:10.1016/j.agee.2005.01.004
- Koffi, E. (1982). aperçu sur la culture de trois plantes fourragères. 44p.
- Kondo, M., Pablico, P. P., Aragonés, D. V., Agbisit, R., Abe, J., Morita, S., & Courtois, B. (2003). Genotypic and environmental variations in root morphology in rice genotypes under upland field conditions. *Plant and Soil*, 189–200p.
- Kuzyakov Y. and Domaski G. (2000). Carbon input by plants into soil. Review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163. 421–431p.
- Lal R., Kimble I., Levine E, Stewart B.A. (1995). *Soils and global change*. CRC & Lewis publishers, Boca Raton FL
- Le grand P. (1979). Biomasse racinaire de la strate herbacée de formations sahéliennes (Etude préliminaire). ACCT/LAT/DGRST/Orstom, Ouagadougou, 28 p.
- Levang P., Grouzis M. (1980). Méthodes d'étude de la biomasse herbacée de formations sahéliennes : Application à la Mare d'Oursi, Haute-Volta. *Oecol. plant.*1(15). 231-244p.
- M RB Olinder, M. A., Angers, D. A., Bélanger, G., Michaud, R., & Laverdière. (2002). Root biomass and shoot to root ratios of perennial forage crops in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science*. 3p.
- Matsuo, N., & Mochizuki, T. (2009). Genotypic differences in root traits of rice (*Oryza sativa* L.) seedlings grown under different soil environments. *Plant Root*, 3, 17–25p. doi:10.3117/plantroot.3.17p.
- Ministère de l'Agriculture, de l'élevage et de la Pêche. (2003). Monographie de la Région d'Ambatondrazaka. Unité de politique pour le développement rural. 164p.
- Moing A., Carbonne F., Rashad M.H. et Gaudillere J.P. (1992). Carbon fluxes in mature peach leaves. *Plant Physiology*. 1878-1884p.
- Naudin Krishna, Scopel Eric, Rakotosolofy Mirana, Andriamarosoa Ratsimnazafy Ny Riana Solomalala, Andriamalala Herizo, Domas Raphaël, Hyac Paulin, Dupin Brice, Rakotozandriny Jean de Neupomuscène, Lecomte Philippe, Giller Ken. (2010). Trade-offs between different functions of biomass in conservation agriculture: Examples from smallholder's fields of rainfed rice in Madagascar. 2p.
- Ning P. et al. (2012). Maize cob plus husks mimics the grain sink to stimulate nutrient uptake by roots. *Field crops research*.130. 38-45p.

- Nivotiana R.M. A. (2010). Effet du semis direct sous couverture végétale sur la production de riz pluvial (Cas de la région du Lac Alaotra). Mémoire de fin d'études en vue d'obtention du diplôme d'ingénieur en agriculture et élevage. Antananarivo. ISPM. 90p.
- Norby R. et Jackson R. (2000). Root dynamics and global change : seeking an ecosystem perspective. *New phytol.* 147. 3-12p.
- Ordóñez Fernández R, Carbonell Bojollo R, González Fernández P, Perea Torres F. (2008) Influencia de la climatología y el manejo del suelo en las emisiones de CO<sub>2</sub> en un suelo arcilloso de la Vega de Carmona. *CAREL.* 229–47 p.
- Penot Eric, Dabat Marie-Hélène, Andriatsitohaina Tsito, et Grandjean Philippe. (2012). Les méandres du développement agricole au Lac Alaotra, Madagascar : entre inconstance politique et innovation technique. 14p.
- Penot, E., Saint-André, F., Dugué, P., Le Gal P-Y. (2010). Analyse des relations agriculture-élevage et place des techniques d'agriculture de conservation au sein d'exploitations du Lac Alaotra (Madagascar). Rapport d'étude- Projet ANR PEPITES, 79p.
- Picard D. (1968). Comparaison de deux techniques de prélèvement d'échantillons de racines. *Cah. ORSTOM, sér. Biol., n° 9.* 19-31p.
- Picard, D. (1969). Comparaison de l'enracinement de quelques graminées et légumineuses se développant sur un sol sur sables tertiaires de basse Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, sér. Biol., n° 9.*
- Rakotoarisoa J, Olivier R, Dusserre J, Muller B, Douzet J M. (2011). Bilan de l'azote minéral au cours du cycle du riz pluvial sous systèmes de culture en semis direct sous couverture végétale en sol ferrallitique argileux à Madagascar. *Etude et gestion des sols.* 17. 169-186p.
- Rakotondramanana, O. Husson, and F. Enjalric. (2010). Documentation et synthèse de l'Agriculture de Conservation à Madagascar (FAO and GSDM, Eds.). Antananarivo, Madagascar.
- Rasmussen P. E. et Collins H. P. (1991) Long term impacts of tillage fertilizer, and crop residue on soil organic matter in temperate semiarid regions. *Advances in Agronomy,* 45, 93-134p.
- Rasolohery. (2000). Phytomasse épigée des successions post-culturelles (Région d'Analabo, Sud Ouest de Madagascar. DEA, Université d'Antananarivo, 76p.
- Raunet M. (1999). Caractérisation morpho-pédologique des sites de référence du projet « gestion durable des sols » (ANAE-TAFA-CIRAD).
- Razafimbelo Tantely Maminiaina. (2005). Stockage et protection des carbones dans les sols ferrallitiques sous système en semis avec couverture végétale des hautes terres Malgaches. Thèse de doctorat, 156p.
- Razafindramanana Rakotoniaina Norosoa Christine. (2006). afforestation et stockage de carbone en lisière ouest du corridor forestier de Fianarantsoa (Madagascar), DEA, 112p.
- Razafindramanana Rakotoniaina Norosoa Christine. (2011). Contrôle des pertes en terre, en carbone et en nutriments par érosion hydrique sous-systèmes en semis direct sur couverture végétale permanente des hautes-terres centrales malgaches. Thèse de doctorat, 161p.

- Renaudat Jérôme. (2005). Le cycle de carbone : une clé pour l'environnement, Mémoire de fin de formation à la Haute Qualité Environnementale, 38p.
- Riquier J. et Segale P. (1949). Notice sur la carte pédologique du lac alaotra, 48p.
- Roberts, W.P et K.Y. Chan. (1990). Tillage-induced increases in carbon dioxide loss from Soil. and Tillage Research. 17.143-151p.
- Roussel O., Bourmeau E., Walter Ch., (2001). Évaluation du déficit en matière organique des sols français et des besoins potentiels en amendements organiques. Étude et Gestion des Sols, 8, 65-81p.
- Santos, N. Z. dos, Dieckow, J., Bayer, C. lio C., Molin, R., Favaretto, N., Pauletti, V., Piva, J. T., et al. (2010). Forages , cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. Soil and Tillage Research, 111(2), 208–218p. doi:10.1016/j.still.2010.10.006
- Schvartz Christian, Muller jean-Charles, Decroux Jacques. (2005). Guide de la fertilisation raisonnée: Grandes cultures et prairies. 115p.
- Scopel E., Findeling, A., Chavez Guerra E., Corbeels M. (2005). Impact of direct sowing mulch-based cropping systems on soil carbon, soil erosion and maize yield. Agron. Sustain. Dev.25, 425- 432p.
- Segundo U. et al. (1998). Influence of decomposition of roots of tropicalforages species on the availability of soil nitrogen. Soil biol.Biochem. 30. 2099-2106p.
- Séguy Lucien et al. (2009). la gestion des écosystèmes cultivés en semis direct sous couverture végétale permanente, 32 p.
- Séguy Lucien, Bouzinac S., partenaires brésiliens. (2008). la symphonie inachevée du semis direct dans le Brésil centrale : le système dominant dit “semis direct”, 214p.
- Sester, M., N. Raveloson, R. Michellon, J. Dusserre, and D. Tharreau. (2010). Cropping System to Limit Blast Disease in Upland Rice. p. 37. In 5th International Rice Blast Conference. Little Rock, Arkansas.
- Shehu Y, Al Hassan W.S, Phillips C.J.C. (1997). The effect of intercropping maize with Stylosanthes hamata at different row spacings on grain and fodder yields and chemical composition. Tropical Grasslands. 31. 227-231p.
- Singh J.S., Yadava P.S. (1974). Seasonal variation in composition, plant biomass and net primary productivity of a tropical grassland at Kurukshetra; India. Ecological Monographs, 351-376p.
- Six J., Feller C., Deneff K., Ogle S. M., de Moraes Sa J. C., & Albrecht A. (2002). Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. Agronomie, 755-775p.
- Smirnov P., Mouravine E. et al. (1977). L'agrochimie. Édition. [MIR]. Moscou. 277p.
- Timothée Ollivier, Giraud Pierre-Noël. (2008). Analyse coûts-bénéfices du programme « agroécologie » au lac Alaotra (Madagascar) : résultats et réflexions. 44p.
- Triomphe B. (1999). Système de culture avec plante de couverture au Mexique et en Amérique Centrale : expériences, leçons et perspectives futures. In Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture, acte de l'atelier international,

- Antsirabe, Madagascar, 23-28 mars 1998. CIRAD, collection colloque, Montpellier, 75-91p.
- Troughton A. (1982). Root ecology and plant growth. in Root ecology and its practical application. Int. Symp. Gumpenstein. Bundesanstalt Gumpenstein. 448–452p.
- Tschirley Jeff. (2009). Algae-based Biofuels: Challenges and opportunities for developing countries. EABA 1<sup>st</sup> General Assembly and Conference New York University, Florence.
- Turner, N. C. And Begg, J. E. (1978). Responses of pasture plants to water deficits. In J. R. Wilson, ed. Plant relations in pastures. CSIRO, Melbourne, Australia.
- Van Hulst, F., K. Naudin, R. Domas, J. De Graaff, S. Visser, and E. Scopel.(2011). Conservation agriculture potential effects on soil erosion for rainfed crops in the Lake Alaotra region in Madagascar. p. 155–156. In Resilient food systems for a changing world / 5th World Congress of Conservation Agriculture (WCCA) incorporating 3rd Farming System Design Conference, Brisbane, Australia, 26-29 september, 2011. Brisbane.
- Van Noordwijk M. (1993). Roots: length, biomass, production and mortality. In Anderson JM., Ingram JSL. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. Wallingford, UK : CAB International, 132–144p.
- Villeneuve, C., B. Rabary, E. Kichenin, D. Djigal, and E. Blanchart. (2010). Earthworms and Plant Residues Modify Nematodes in Tropical Cropping Soils (Madagascar): A Mesocosm Experiment. Applied and Environmental Soil Science 2010: 1–7p.
- Wallace A., Bamberg S.A., Cha J.W. (1974). Quantitative studies of roots of perennial plants in the Mojave desert. Ecology. 55. 1160-1162p.
- Wallart R.A.M. (1980). Distribution of sorbitol in Rosaceae. Phytochemistry. 2607-2610p.
- Werger M. J. A. (1983). Introduction to the theme. Neth. J. Agric. Sci. 287–289p.
- Woo, Y.-M., Park, H.-J., Su'udi, M., Yang, J.-I., Park, J.-J., Back, K., Park, Y.-M., et al. (2007). Constitutively wilted 1, a member of the rice YUCCA gene family, is required for maintaining water homeostasis and an appropriate root to shoot ratio. Plant molecular biology, 65(1-2), 125–36. doi:10.1007/s11103-007-9203-6
- Woodward, F., & Osborne, C. (2000). The representation of root processes in models addressing the responses of vegetation to global change. New phytologist, 223–232p.
- Zhu, J., & Lynch, J. P. (2004). The contribution of lateral rooting to phosphorus acquisition efficiency in maize (*Zea mays*) seedlings. Functional Plant Biology, 949–958p.

---

---

# **ANNEXES**

## **LISTES DES ANNEXES**

<i>Annexe 1: Données climatiques brutes de la zone d'étude durant dix ans (2002-2012).....</i>	<i>I</i>
<i>Annexe 2: Description botanique des plantes étudiées.....</i>	<i>II</i>
<i>Annexe 3: Schémas de prélèvement par carottage en surface pour les plantes étudiées.....</i>	<i>XI</i>
<i>Annexe 4: Mode de calcul des densités de biomasse racinaires en fosse.....</i>	<i>XII</i>
<i>Annexe 5: Plan pour la pondération des cylindres de prélèvement.....</i>	<i>XV</i>
<i>Annexe 6: Extrapolation des quantités de biomasse racinaires à l'hectare.....</i>	<i>XVIII</i>
<i>Annexe 7: Quantité de carbone dans le sol actuel.....</i>	<i>XXVI</i>
<i>Annexe 8: ANOVA pour les données de biomasses aériennes.....</i>	<i>XXVII</i>
<i>Annexe 9: ANOVA pour les données de biomasses racinaires.....</i>	<i>XXX</i>
<i>Annexe 10: Exemple de productions d'exsudats racinaires.....</i>	<i>XXXII</i>
<i>Annexe 11: Rotations de cultures adoptées dans cette étude (en images).....</i>	<i>XXXIV</i>

**Annexe 1: Données climatiques brutes de la zone d'étude durant dix ans (2002-2012)**

TEMPERATURE (°C)		janv.	févr.	Mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.	déc.
	2002	24,3	23,9	23,5	22,5	20,6	18,1	18,2	17,7	17,3	20,7	23,5	23,9
	2003	23,7	23,6	23,6	23,6	22,2	18,3	17,2	17,6	19,5	21,5	23,2	23,7
	2004	24,1	23,7	23	22,2	19,8	17,7	17,9	18,3	19,8	21,8	22,9	23,7
	2005	24,5	24,8	24,2	22,9	20,6	18,8	17,5	17,7	18,8	20,5	23	24,6
	2006	22,3	23,7	23,5	22,6	21,1	19,1	17,9	18,4	19,2	20,8	23,4	23,9
	2007	24,4	23,9	23,1	21,7	21,2	17,9	18,3	18,3	19	20,7	23	24,2
	2008	23,8	22,8	22,7	22,7	19,9	18,3	17,3	18,3	20,4	21,2	23,3	23,6
	2009	24,4	23,3	24	22,2	21	19,5	17,9	19	20,2	21,7	23,5	24,5
	2010	24	24	24,2	22,6	21,9	20	17,7	18,2	-	-	22,8	24,6
	2011	-	-	24,2	23,4	22,4	19,8	19	20,7	19,7	20,3	21	25,6
	2012	24,5	23,3	24,1	23	21,6	18,8	18,6	16,9	19	20,6	23,3	23,8
<b>Moyenne température</b>	<b>24</b>	<b>23,7</b>	<b>23,65</b>	<b>22,67</b>	<b>21,12</b>	<b>18,8</b>	<b>17,95</b>	<b>18,28</b>	<b>19,29</b>	<b>20,98</b>	<b>22,99</b>	<b>24,191</b>	
PLUVIOMETRIE (mm)		janv.	févr.	Mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.	déc.
	2002	93,6	432	58,7	14,1	119,3	6,4	6,1	1,5	8,6	0,9	44,5	389,6
	2003	485,9	311	135,6	3,1	8,6	4,3	4,4	1,7	8	31,4	54,2	160,4
	2004	220,2	130	128,2	16,3	5,2	8,2	3	2,8	4,9	0	7,1	366,8
	2005	142,8	484	342,1	46,6	7,4	5,1	33,5	8,4	6,7	0,1	57,4	221,4
	2006	546,5	86,3	107,3	13	4,7	8,9	6,8	15,2	1,4	0,8	84,7	60,5
	2007	513,9	446	156,5	50,5	8	3,3	14	2,4	11,3	11,8	12,3	140,2
	2008	212	410	41,3	2,3	15	14,3	6,8	0,6	17,6	80,7	233,4	106,7
	2009	239,6	192	219,8	146,9	7,9	1,2	1,2	3,2	3,2	6,6	54,7	103,9
	2010	431,4	75,5	404,9	2,6	10,3	5,8	14,4	4,9	-	-	17,2	123,8
	2011	102,1	188	147,9	5,3	30,9	0,7	1,1	0,1	7,7	6	28,5	186,9
	2012	404,8	337	76,2	42,9	4,5	1,8	5,5	4	1,6	33,7	134,2	108,3
<b>Moyenne pluviométrie</b>	<b>308</b>	<b>281</b>	<b>165,3</b>	<b>31,24</b>	<b>20,16</b>	<b>5,45</b>	<b>8,8</b>	<b>4,07</b>	<b>6,455</b>	<b>15,64</b>	<b>66,2</b>	<b>179</b>	

Source : Station météorologique d'Ambohitsilaozana-Ambatondrazaka-Région Lac Alaotra

## Annexe 2: Description botanique des plantes étudiées

### I. CULTURES PRINCIPALES

#### I.1. Maïs

Famille : Graminées

Nom latin : *Zea mays*

Nom malgache : Katsaka

#### ***Buts de la culture***

Les grains de maïs servent : à l'alimentation humaine : consommés verts (cuit, grillé, en salade, en soupe...), sec, en pop-corn, à l'alimentation animale : utilisé en grain et en provenderie, ou la plante entière, récoltée à l'état où l'épi est pâteux, est utilisée comme fourrage frais ou ensilé.

#### ***Ecologie***

- Besoins en chaleur

Germination : 10°C, minimum.

Au cours de sa végétation, le maïs a besoin d'une température optimum de 19°C.

- Besoins en eau

Il faut en moyenne mensuelle de 100 mm d'eau durant toute la période de la végétation, le maïs est une plante exigeante en eau, surtout en phase de la germination, de la croissance, de la floraison, de la fécondation et du grossissement des grains. Mais la période la plus critique pour l'alimentation hydrique s'étend sur les 15 jours qui précèdent et les 15 jours qui suivent l'apparition des inflorescences mâles

- Besoins en lumière

Le maïs demande une forte insolation

- Besoins en altitude

Le maïs pousse aussi bien en bordure de la mer que sur les Hautes-terres lorsque les conditions écologiques précédentes sont satisfaisantes. Néanmoins, il ne peut pas dépasser 1800 m d'altitude.

- Besoins en sol

Le maïs étant une plante exigeante, il aime les sols profonds, meubles, frais, assez légers, fertiles, humifères pour éviter les risques de tassement et d'engagement permanent en eau asphyxiant les racines. Il préfère aussi les sols alluvionnaires de *baiboho* ou issus d'un volcanisme récent qui contiennent des éléments minéraux et de la matière organique. Mais il faut éviter les sols en pentes plus de 12% pour éviter les risques d'érosion ainsi que les sols pas trop acides, pH < 5

#### ***Technique culturale***

##### ❖ Précédent cultural

Ceci dépend de la texture du sol et de son état de dégradation. Éviter de rayer sur défriche (Hautes-terres) pour avoir des résultats plus réguliers. La production obtenue sur un sol déjà cultivé (amélioré) est généralement meilleure. Les meilleurs précédents sont :

¢ Légumineuses, tels que l'arachide, le voandzou, le pois du cap, afin d'augmenter la teneur en azote du sol en azote ;

¢ Tubercules ou racines tels que la pomme de terre et le manioc qui facilitent l'enracinement du maïs

¢ Cotonnier

A préconiser la culture de maïs après jachère avec enfouissement de matières organiques, le maïs profite de la présence des substances contenues dans la matière organique.

##### ❖ Préparation du sol

" Bonne présentation du sol, pas trop fin (terres battantes) ni trop tassé afin que l'eau de pluie pénétrer facilement dans les agrégats et pour que les graines puissent se lever rapidement

" Toujours travailler perpendiculairement au sens de la pente, et suivant les courbes de niveau, pour éviter l'érosion du sol

" Deux méthodes peuvent être conseillées :

#### ***Déchaumage en fin de cycle***

a) Premier pulvérisage avec enfouissement immédiat des résidus de récolte sur sol encore humide pour :

- " Restituer au sol les débris des végétaux précédents
- " Limiter les pertes en eau du sol par la transpiration : " effet mulch " du labour
- b) Deuxième pulvérisage croisé avec le premier si possible de 8 à 10 jours après pour :
  - " Éviter la rupture de capillarité entre couche de surface et couche sous-jacente
  - " Conserver l'humidité suffisante du sol
- c) Labour entre 20 à 30 cm de profondeur, 1 mois avant le semis pour :
  - " Ameubler une couche de terre suffisante
  - " Favoriser la pénétration des pluies
  - " Limiter le ruissellement, les risques de sécheresse et l'enherbement
  - " Favoriser l'enracinement profond
  - " Résister à la sécheresse et alimenter la plante en éléments nutritifs
- d) Hersage ou scarifiage en début du cycle du maïs pour affiner la partie superficielle juste avant le semis et ameubler le lit de semis

#### ***Déchaumage au début du cycle (aux premières pluies)***

- a) Pulvérisage avec enfouissement des mauvaises herbes
- b) Labour de 20 à 30 cm de profondeur. Laisser le plus grand intervalle de temps possible entre déchaumage et labour pour que les débris de végétaux commencent à se décomposer:
- c) Hersage léger : travail rapide

#### ***❖ Semis***

##### ***Choix de semences***

- " Grains sains provenant d'une variété pure et améliorée si possible et bien adaptée à la région, les variétés locales peuvent donner entière satisfaction si l'on prend soin de choisir les épis les plus gros et sains
- " Choisir les semences en fonction de l'usage auquel on destine le maïs :
  - " Pour l'alimentation humaine : variétés à gros grains (1000 graines : 300 à 400gr)
  - " Pour l'élevage de volailles, variétés à petits grains (100 graines : 100 à 200gf)
  - " Utiliser des semences ayant une faculté germinative d'au moins 90%.
  - " Égrener les épis de maïs, trier les grains, éliminer les grains trop petits ou brisés et les grains de la base ou du sommet des épis qui germent moins bien

##### ***Choix de la date de semis***

Au début des saisons de pluies, ou en fin de saison de pluies, sur les baiboho de l'Ouest :

- " Mi-novembre à début déc. (90-120) pour altitude de 750 à 1000m
- " Fin Octobre à mi-novembre (130-150 j) pour altitude de 1000 à 1500m
- " Fin Octobre (150-180 j) pour altitude de 1500 à 1800 m

En contre-saison, semer en général en Mai le cycle se rallonge de 20 jours environ.

##### ***Traitement des semences***

Traitement avec insecticide + fongicide + Répulsif pour :

- " Préserver contre les maladies et attaques des insectes terricoles des ravageurs (rats) et des prédateurs (corbeaux)
- " Obtenir une bonne levée, un peuplement homogène et une densité optimum des plants /ha (pas de manquants)

##### ***Mode de semis manuel***

Sur lignes distantes de 80 cm, faire des poquets, espacés de 40 cm y placer 3 grains à une profondeur de 2 à 6 cm, pour assurer l'espace nécessaire au bon développement du plant et obtenir une densité convenable. Pour faciliter la germination, il faut un sol humide. La quantité de semences est en général de :

- " 15 à 25 Kg /ha pour le maïs grains
- " 80 Kg/ha pour le maïs fourrage

NB. Tremper les graines 4 à 6 heures dans l'eau juste avant semis

##### ***Végétation***

Le cycle germinatif du maïs dure 90 à 180 jours suivant la variété et les lieux de culture.

Le maïs passe par les phases suivantes :

- a) Phase de germination :
  - le grain gonfle sous l'influence de l'humidité,
  - la radicule apparaît 2 à 3 jours après le semis,
  - la tigelle apparaît 3 à 4 jours après le semis
  - la levée doit-être générale 8 à 10 jours après le semis
- b) Phase de croissance.

" De la levée à l'apparition des inflorescences mâles, la croissance du maïs est lente, ce stade dure plus ou moins longtemps suivant les variétés, la température (ambiante) et l'état d'humidité du sol

" 4 à 5 semaines après le semis, le maïs a 10 à 15 cm de hauteur environ

" 60 jours après le semis, le maïs a 50 à 60 cm de hauteur environ

c) Phase de floraison :

" Dès que la croissance est terminée, l'inflorescence mâle apparaît soit 70 à 95 jours après semis

" Quelques jours après, les inflorescences femelles sont prêtes pour la fécondation, soit 5 à 8 jours après l'apparition des inflorescences mâles

d) Phase de fécondation

" Elle a lieu 5 à 10 jours après l'apparition des inflorescences mâles

e) Phase de maturation

" Les grains une fois formés passe 3 stades successifs :

" Stade laiteux

" Stade pâteux

" Stade sec

#### ❖ Entretien

" Démariage à 1 - 2 plants : 15 jours après semis, au stade de 3 à 4 feuilles pour ne pas gérer les plants restants et avoir une densité régulière

" 1er sarco-binage : 15 à 30 jours après levée, suivi d'un léger buttage, car la concurrence des mauvaises herbes est très grave à ce stade

" 2ème buttage : 1,5 mois après le premier

#### ❖ Fertilisation :

##### **Fumure organique**

10 à 20T/ha de fumier bien décomposé à enfouir au moment du labour pour :

" Améliorer la structure du sol,

" Économiser les engrais minéraux,

" Maintenir la fertilité du sol, et

" Enrichir le sol en matière organique.

Le maïs réagit positivement à la fumure organique même à faible dose surtout dans les sols épuisés. Dans les régions où l'élevage est absent, enfouir les résidus de récolte ou les produits de la jachère.

##### **Fumure minérale**

0,5 à 1 T/ha de dolomite est conseillé pour augmenter le pH du sol

N : 120 à 150 Unité.ha<sup>-1</sup> : 1ère moitié au semis, 2ème moitié à l'apparition des fleurs mâles

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 60 à 70 Unité.ha<sup>-1</sup> au moment du labour

K<sub>2</sub>O : 50 à 60 Unité.ha<sup>-1</sup> au moment du labour

La dose d'engrais suivante peut être utilisée (à l'Ha)

NPK : 11-22-16 :275 Kg.ha<sup>-1</sup> à enfouir en localisé au moment du semis

Urée : 130 Kg.ha<sup>-1</sup> - Première moitié à 45 jours après semis - Deuxième moitié à l'apparition des fleurs mâles.

#### ❖ Récolte et rendement

La récolte se fait lorsque les spathes de l'épi ont jauni et que les feuilles sont en voie de dessèchement, les graines de maïs ne doivent plus pouvoir se rayer aux ongles

Rendement : Variété 383=5,5 à 8 t.ha<sup>-1</sup> en moyenne

" 374 (meva) : 3,5 à 4 t.ha<sup>-1</sup>, en zones basses peut atteindre 7,5 t.ha<sup>-1</sup>

" IRAT 200 : 4,5 à 7 t.ha<sup>-1</sup> en moyenne

Despathier sur pied et ramener le taux d'humidité des épis despathés à 14 - 15%, on peut faire le séchage aussitôt après la récolte, on met les épis à sécher soit :

" En les liant deux à deux et en les plaçant sur un perroquet

" En retournant les spaths et en les suspendent ainsi sous des auvents

" Ou dépouiller complètement les épis de leurs spaths et les mettre à sécher dans des cribs en plein vent.

" Sur claie.

## **I.2. Riz**

### ***Généralités***

Le riz est une plante herbacée annuelle avec une tige ronde recouverte, des feuilles sessiles plates en forme de lame et une panicule terminale. Sous des conditions climatiques favorables et exceptionnelles, la plante peut pousser pendant plus d'une année. De même que les autres espèces du groupe orizae, le riz est adapté à un habitat aquatique.

L'espèce cultivée traditionnellement en Afrique est *Oriza glaberrima*. A la différence de *Oriza sativa*, cette espèce ne possède pas de branches secondaires partant des branches primaires de la panicule. Il n'y a pas de ligule chez *Oryza glaberrima*. Il y a aussi des différences mineures sur la pubescence du limbe. *O. glaberrima* est strictement annuelle.

Maintenant, l'espèce cultivée sur la très grande majorité des périmètres irrigués en Afrique et en particulier en Mauritanie est *Oryza sativa*.

### ***Description***

Les racines sont constituées de racines secondaires et de leurs poils absorbants. La racine primaire, qui croît à partir de la semence au moment de la germination, ne vit qu'un court moment. Elle est rapidement remplacée par des racines secondaires.

La tige est constituée d'un certain nombre de nœuds et d'inter nœuds dans un ordre successif. Les nœuds portent une feuille et un bourgeon qui pourra donner naissance à un talle secondaire.

Les talles secondaires poussent à partir du brin maître dans un ordre alternatif. Le talle primaire pousse à partir du nœud le plus bas et donne naissance aux talles secondaires. Ceux-ci donnent à leur tour naissance à des talles tertiaires (voir schéma).

Les feuilles prennent naissance à un nœud de la tige et sont constituées de deux parties : la gaine foliaire et le limbe foliaire. Chaque nœud donne naissance à une feuille. La gaine foliaire enveloppe la totalité de l'inter nœud et même dans certain cas le nœud suivant. Le limbe foliaire ou la partie terminale de la feuille est attachée au nœud par la gaine foliaire.

### ***Ecologie***

- Besoin en chaleur

Le riz a de gros besoins en chaleur. Il faut des minima de :

- " 13° pour la germination
- " 22° pour la floraison et la pollinisation
- " 19° pour la maturation

Une moyenne de 22° à 30°c durant le cycle végétatif.

- Besoins en eau

Les besoins en eau du riz pluvial dépendent du cycle de la variété cultivée et du climat local qui régit l'importance de la transpiration de la plante. Ils sont généralement compris entre 450 mm pour les variétés à cycle court et 6,50 mm pour les variétés à cycle long. Pendant la phase critique de l'épiaison jusqu'au stade grain laiteux, les besoins en eau sont élevés en général de l'ordre de 5 à 6 mm par jour. Cette phase critique doit donc se situer à une période où la pluviosité est suffisante pour couvrir ces besoins et régulière, surtout dans les sols à faible capacité de stockage de l'eau.

Compte tenu des pertes par ruissellement et par drainage, il est rare de pouvoir cultiver du riz pluvial sans l'assistance d'une nappe ou d'une irrigation d'appoint dans les zones où la pluviosité moyenne pendant la période de culture est inférieure à 800mm.

- Besoin en lumière

Le riz demande beaucoup de lumière

- Besoin en sols

Il convient de choisir un sol qui puisse tamponner les variations climatiques, c'est-à-dire :

- " Un sol à bonne capacité de rétention pour l'eau
- " Un sol léger et non tassé (perméable)
- " Un sol contenant une proportion sensiblement égale d'argile de limon et de sable.
- " Un sol profond à texture équilibré

Le pH de sol varie entre 4,5 à 8,7

- Besoins en altitude

Le riz pousse aussi bien au niveau de la mer qu'en altitude pourvu que les conditions concernant la chaleur et l'eau soient satisfaites.

### ***Technique culturale du riz pluvial***

#### **❖ Préparation du sol**

La préparation du sol a des objectifs multiples dont les plus importants sont :

" La maîtrise des mauvaises herbes

" l'amélioration des caractéristiques chimiques du sol par incorporation de divers types d'engrais d'amendements, de matières organiques

" l'amélioration des caractéristiques physiques dans le but de favoriser la germination des semences et le développement de leurs racines

La germination des semences et le développement de leurs racines. Plusieurs étapes peuvent être nécessaires pour parvenir à l'état du sol souhaité.

Sur le sol en friche, non cultivé, il est nécessaire de faire l'abattage des arbres, le d'essouchement, le débroussaillage. Le sol aussi peut être couvert soit par débris végétaux de la précédente culture s'il a déjà exploité, soit par la végétation naturelle s'il est vierge, il est donc préférable d'exécuter un défrichage. S'il s'agit d'un précédent cultural effectué en saison sèche sur alluvions tabac, coton, tomate, il est indispensable que toutes les tiges soient arrachées, réunies en tas et brûlées, d'une part pour des raisons phytosanitaires et d'autre part, pour pouvoir effectuer un labour correct.

Le riz pluvial est souvent cultivé sur des terrains accidentés où le risque d'érosion est élevé. Aussi, le sens du labour doit-il être impérativement perpendiculaire au sens de la plus grande pente et parallèle aux courbes de niveau.

- Le labour doit être entrepris aussitôt que l'état du sol le permet, c'est-à-dire dès les premières pluies

- Le labour paraît souhaitable du point de vue agronomique :

¢ L'ameublissement procuré par un labour même, de profondeur artificielle limitée, est plus intense que celui assuré par le travail d'instruments à griffes ou à dents qui ne retournent pas le sol

¢ L'enfouissement des pailles, fumier et autres composts sont possible avec un labour.

¢ Le contrôle des mauvaises herbes est également beaucoup plus aisé et complet à la suite d'un travail profond du sol avec retournement.

- La profondeur des labours joue un rôle important au point de vue des rendements en raison :

¢ De l'augmentation des réserves en eau du sol

¢ d'un meilleur développement du profil racinaire

- En règle générale, la profondeur des labours est comprise entre 20 et 30 cm.

- Si l'on veut rentabiliser au mieux, le labour doit-être associé aux autres techniques d'intensification : rotation, fertilisation.

#### **❖ Fertilisation**

##### ***Fumure organique***

Cette fumure est apportée au moment du labour à raison de 7,5 à 10 T à l'ha (15 à 20 charrettes)

##### ***Fumure minérale***

Il est préférable d'apporter cette fumure avant l'émottage :

- L'azote : joue un rôle déterminant dans l'obtention d'un rendement élevé. Apporte en début de végétation, il favorise le tallage. Il est important que la plante trouve l'azote à sa disposition pour la phase de maturation des grains.

- Le phosphore favorise la croissance du riz notamment celle du système racinaire. Il exerce une influence favorable sur la précocité.

- Le potassium : permet une bonne économie de l'eau dans les tissus, confère à la plante une certaine résistance à la verse et accroît sa résistance aux maladies. Il augmente la taille et le poids du grain.

Doses :

¢ 200 à 300 kg à l'ha de N.P.K. 11-22-16

¢ 35kg à l'ha d'urée au premier sarclage

¢ 30 kg à l'ha d'urée au 2° sarclage

¢ 150 à 300 kg à l'ha de dolomie

#### **❖ Semis**

Il est conseillé d'utiliser des semences certifiées fournies par les organismes de développement. Si ce n'est pas possible, on peut choisir les semences les plus belles de la récolte précédente en faisant bien le triage. Les semences doivent avoir un taux de germination élevé, être saines. Pour éviter que les grains ne pourrissent dans le sol on ne soit dévorés par les prédateurs, il est préférable de les traiter au préalable avec un mélange de produits fongicides et insecticides.

La date de semis doit être raisonnée en fonction des besoins en eau du riz. La période où les besoins en eau sont les plus forts ( 20 jours avant la floraison et 20 jours après) doit correspondre à l'époque où l'on prévoit le maximum de pluies. En général, le semis doit se situer après le début de la saison des pluies afin d'assurer au sol l'humidité minimum indispensable pour la germination des grains, mais pas trop longtemps après. Il y a différentes sortes de semis.

¢ Le semis en ligne : qui est plus facile à réaliser et qui donne les meilleurs résultats ! On peut le faire manuellement à l'aide d'un rayonneur qui ouvre un léger sillon recouvert ensuite au râteau on avec des semoirs à traction humaine ou animale ou mécanique L'écartement entre les lignes varie entre 20 et 40 cm et la dose des semences est de l'ordre de 55 à 75 kg à l'ha.

¢ Le semis en poquet : couramment employé en culture manuelle. Les écartements entre poquets varient de 10 à 20cm. Les graines distribuées à raison de 5 à 6 par trou sont placées à environ, 3 ou 4 cm de profondeur, la terre qui recouvre le poquet est tassée au pied. La quantité de semences nécessaire varie de 40 à 60kg par ha. Pour éviter le risque d'érosion, il est conseillé de pratiquer le semis (en ligne ou en poquet) suivant les courbes de niveau.

#### ❖ Entretiens

La rapidité de croissance de la flore adventice en saison chaude et la faible taille des plantules de riz pendant les premières semaines qui suivent le semis font que ces dernières sont très rapidement dominées et étouffées par les mauvaises herbes. Il faut donc lutter contre ce fléau en sarclant la culture du riz dès l'apparition des mauvaises herbes. On peut faire le sarclage soit à la main soit avec des matériels : houe angady...Le premier sarclage se fait 15 jours après levée et le deuxième 30 jours après levée. Les sarclages liés à de bonnes façons culturales préparations donnent des meilleurs résultats : 1 labour + 1 hersage + 2 sarclages.

#### ❖ Récolte

La date de récolte du riz dépend en partie de son devenir, selon qu'il est destiné à être consommé ou à servir de semences. Dans le premier cas , il faut prendre en considération la " maturité technologique " qui correspond au meilleur rendement à l'usinage. La maturité technologique peut être appréciée d'après l'aspect de la panicule : 80 à 90% du champ vire au jaune. Une méthode plus précise consiste à mesurer l'humidité des grains. La maturité est atteinte quand les grains ont une teneur en eau voisine de 22%. Quand les grains doivent servir de semences, il faut attendre la "maturité physiologique " qui correspond au maximum de faculté et d'énergies germinatives. Elle est décalée d'environ 7 à 10 jours supplémentaires par rapport à la maturité technologique. La teneur en eau est alors d'environ 19% Le rendement moyen est l'ordre de 2,5 à 4,5 T à l'ha.

## II. PLANTES DE COUVERTURE

### II.1. Stylosanthes guianensis

#### *Généralités*

*Stylosanthes guianensis* est une légumineuse fourragère cultivée en Côte d'ivoire. Son choix est dû à son effet bénéfique tant au niveau de la fertilité des sols (fixation d'azote) que de sa valeur fourragère (apport de protéines). Malgré cela, sa multiplication pose des problèmes, car il peut être attaqué par *Corticium* sp et *Rhizoctonia* sp provoquant l'antracnose.

#### **Botanique**

Le *stylosanthes* que nous avons utilisé au cours de cette étude appartient à

- famille des Légumineuses,
- genre *Stylosanthes*
- espèce *guianensis*.

#### **Origine**

Originaire des régions tropicales d'Amérique du Sud, cette légumineuse a été introduite en Australie en 1933. Son introduction en Côte d'Ivoire date d'une vingtaine d'années. Le stylosanthes bénéficie d'une écologie très large.

### **Description**

Le stylosanthes est une légumineuse vivace herbacée, subligneuse à la base. Le port érigé peut devenir prostré si la densité d'implantation est trop faible. Les feuilles sont trifoliolées. Les inflorescences sont disposées en glomérules à fleurs jaunes ou jaune orange. La morphologie varie quelque peu selon les cultivars.

### **Ecologie**

Climat : la limite nord du *Stylosanthes guianensis* est l'isohyète 800 mm. Cependant on note que certains cultivars sont plus résistants à la sécheresse et s'adaptent bien à des conditions de pluviométrie plus faibles.

Sols : le *Stylosanthes guianensis* bénéficie d'une large gamme d'adaptation des sols. Il peut se cultiver sur des sols de faible fertilité. Il tolère les pH acides et l'inondation temporaire.

### **Technique culturale**

Semis : le semis se fait de préférence en poquets, avec 7 à 12 graines par poquet, très légèrement recouvertes (moins de 1 cm de profondeur). Les graines étant très petites, il est important de ne pas les enfouir profondément pour leur permettre de lever dans de bonnes conditions. L'espacement entre poquets recommandé est de 30 à 40 cm sur la ligne, l'espacement entre lignes variant en fonction de la plante associée (cf. fiches techniques par système). En culture pure, l'espacement entre ligne recommandé est aussi de 30 à 40 cm, ce qui permet une couverture relativement rapide et homogène du sol.

A ces densités, la quantité de semences nécessaire n'est que de 2 à 3 kg.ha<sup>-1</sup>. Il est cependant parfois difficile de respecter le nombre de graines par poquet étant donnée la très petite taille des semences. Pour éviter de mettre trop de graines par poquet, il est possible de mélanger soigneusement les semences avec du sable (en prenant du sable grossier, aux grains de taille identique à la taille des graines de stylosanthes, et en mélangeant un volume de sable pour un volume de graines environ). Il est également possible de semer le stylosanthes à la volée, en particulier sur un paillage ou dans un pâturage de graminées. La dose de semences nécessaire est alors fortement augmentée (5 à 6 kg/ha de semences mélangées à 15 à 20 kg/ha de sable pour une bonne répartition).

Traitement des semences : le stylosanthes ne nécessite aucun traitement insecticide ou fongicide des semences. Cependant, la possibilité d'une dormance des graines peut rendre nécessaire un traitement pour obtenir une bonne germination. Il est donc indispensable d'effectuer un test de germination quelques semaines avant la date de semis probable. En cas de très faible taux de germination (inférieur à 25-30 %), les doses de semis peuvent être augmentées ou les semences peuvent être :

\* soit passées dans de l'eau chaude : 25 min. à 55°C (un volume d'eau bouillante pour un volume d'eau froide) ou 10 min. à 70°C (deux volumes d'eau bouillante pour un volume d'eau froide) puis soigneusement séchées,

\* soit pré-germées en les trempant dans de l'eau à 70°C (deux volumes d'eau bouillante pour un volume d'eau froide; un volume d'eau pour un volume de semences) pendant une nuit, avant semis sur sol humide (ne pas semer de semences pré-germées sur sol sec!),

\* soit traitées à l'acide sulfurique : utiliser de l'acide de batterie, peu concentré (l'utilisation d'un acide fort rend très difficile la manipulation et un rinçage incorrectement effectué peut tuer les semences). Les semences sont trempées dans l'acide sulfurique pour une durée variant de 30 secondes à 20 min en fonction de la concentration de l'acide (il est donc indispensable de tester le temps de trempage au préalable) puis rapidement mais soigneusement rincées à grande eau et séchées,

\* soit scarifiées en les mélangeant à du sable et en passant un outil tournant ou en les frottant avec du papier de verre (pour les petites quantités).

### **Entretien**

Fertilisation : Un des avantages du stylosanthes est qu'il ne nécessite généralement pas d'apport d'engrais. Il pourra cependant bénéficier d'un apport éventuel d'engrais sur la culture principale, en particulier du phosphore. Pour une implantation rapide et vigoureuse (à un coût très modique), la pelletisation avec du phosphate naturel ou du thermophosphate est recommandée, à raison de 200 g de phosphate par kg de semence. Cette pelletisation est indispensable sur sols très acides.

Gestion de l'enherbement : Implanté dans une culture après désherbage, et donc sur une parcelle propre, le stylosanthes peut en général être laissé sans entretien particulier. Il se peut cependant qu'un désherbage supplémentaire soit nécessaire dans les parcelles particulièrement enherbées. En culture pure, le stylosanthes peut également nécessiter un désherbage pour faciliter son installation, en particulier en cas d'infestation par des adventices pérennes mal contrôlées au moment de l'implantation.

Protection phytosanitaire en végétation : Stylosanthes guianensis est de manière générale l'une des légumineuses les plus saines du monde intertropical. Pour la production de biomasse, il ne nécessite pas de traitement phytosanitaire en végétation. Il peut cependant être intéressant de traiter à la floraison (Cyperméthrine :  $240 \text{ g.L}^{-1}$  à  $0,25 \text{ L.ha}^{-1}$  soit  $60 \text{ g.ha}^{-1}$  de matière active) si l'on veut produire des semences en quantité.

#### **Production de semence / récolte**

La production de semence est aisée dans la plupart des situations, en particulier dans les climats avec saison sèche. *Stylosanthes guianensis* est une plante autogame de jours courts. A Madagascar, en zone intertropicale, la floraison a lieu en mai - juin en général (durée du jour : 11h30). Une deuxième floraison a lieu en octobre, mais elle est souvent minime, sauf en milieu tropical humide, où elle est beaucoup plus intéressante que dans les autres milieux. Cependant, en fonction de la date de semis du stylosanthes (le semis peut être fait à différentes périodes dans ces milieux humide), il peut être nécessaire de gérer la plante de manière particulière : En cas de semis tardif, après le mois de février, la floraison en juin sur des plants très jeunes ne permet pas une production de semences intéressante et ralentit fortement la production de biomasse. Il est dans ce cas préférable de faucher le stylosanthes avant la floraison pour relancer sa croissance et attendre la floraison d'octobre pour récolter les semences. La récolte doit se faire dès que les graines sont arrivées à maturité afin d'éviter qu'elles ne tombent au sol. La floraison n'étant pas simultanée, la récolte doit se faire en plusieurs passages ce qui la rend longue et difficilement mécanisable. Les graines étant protégées dans des capitules, elles sont peu apparentes. Il est important d'extraire régulièrement quelques graines pour observer leur niveau de maturité. Ceci est d'autant plus important si l'on se trouve en période humide, la pilosité des bractées du capitule créant un milieu favorable au développement de champignons (*Botrytis cinerea* (1)) qui entraînent un pourrissement rapide des graines. La récolte peut se faire inflorescence par inflorescence au fur et à mesure de la maturation (ce qui représente un très gros travail), ou bien par fauche. Le séchage des inflorescences (qui sécrètent une substance visqueuse) est nécessaire avant le battage. Les graines extraites doivent ensuite être de nouveau séchées (taux d'humidité inférieur à 10%) afin d'en assurer une bonne conservation.

L'ensemble de ces opérations de récolte- séchage-battage est donc très exigeant en main d'œuvre, ce qui explique le coût élevé des semences ( $5$  à  $7,5 \text{ Euros.kg}^{-1}$  à Madagascar), d'autant plus que la production est limitée à  $100-150 \text{ kg.ha}^{-1}$  (jusqu'à  $200 \text{ kg.ha}^{-1}$  dans le Sud-est avec la deuxième récolte). Cependant, la quantité de semences nécessaire étant faible ( $2$  à  $5 \text{ kg.ha}^{-1}$  selon le mode de semis), les paysans peuvent facilement produire leurs propres semences : la récolte sur une surface de  $2$  à  $5$  ares est suffisante pour semer un hectare. De plus, pour sa propre utilisation (semences non destinées à la vente), le paysan peut éviter le travail de battage/nettoyage en utilisant directement les inflorescences entières pour le semis, sans en sortir les graines. Le temps consacré à la production de ses propres semences en est ainsi fortement réduit.

## **II.2. Doliques**

### *Noms*

Nom scientifique : *Lablab purpureus* (L.) Sweet, *Dolichos lablab* L.

Nom français : Dolique, pois dolique, pois d'Egypte

Nom anglais : Lab-lab bean

### **Description sommaire**

Légumineuse annuelle à port volubile ou semi dressé comprenant de nombreuses variétés ; son cycle végétatif est de  $150$  à  $180$  jours.

### **Ecologie**

C'est une plante très tolérante du point de vue des sols ; elle peut-être cultivée sur sols argilo-sableux ou limoneux, entre  $750$  et  $2500 \text{ mm}$  de pluie ; elle résiste bien à la sécheresse et s'associe facilement avec des plantes vivrières (sorgho, maïs). Elle se cultive très bien en

irrigué mais ne supporte pas un excès d'eau (submersion prolongée). Elle supporte les sols acides.

### **Techniques culturales**

- Préparation du sol : en culture pure, la préparation du sol comprend généralement un labour, un disquage, un hersage. La plantation peut se faire sur sol plat ou sur billons (ces derniers espacés de 80 à 100 cm).

Semis : les graines sont assez grosses, il faut donc veiller à bien les enterrer (2 cm au moins). Le semis peut se faire en ligne ou en poquet ; on sème 10 à 20 kg de graines par ha, germant à 100 %. Espacement sur la ligne 40 cm et entre les lignes 40 cm également.

- Entretien : 2 binages à 15 jours d'intervalle, environ 2 semaines après la levée.
- La plante nodule naturellement avec des rhizobiums de type « Niébé » ; cependant certains auteurs préconisent une inoculation spécifique sur des terres où des légumineuses n'ont pas déjà été cultivées ou en les mélangeant avec de la terre ayant déjà reçu du Niébé.

### **Production**

- Les rendements sont de 5 à 8 t de MS.ha<sup>-1</sup> en 3 à 4 coupes pendant la saison des pluies et de 6 t.MS<sup>-1</sup> en 1 coupe pour du foin. La Dolique peut être pâturée ; en ce cas ne pas le faire pâturer pendant la floraison en raison de « l'odeur de savon » des fleurs. Par contre la plante donne un excellent foin très apprécié.

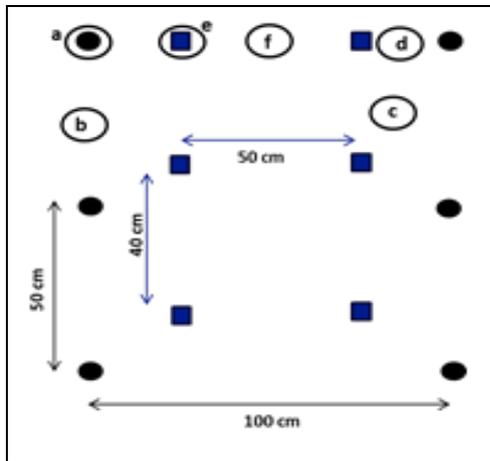
- La dolique s'associe facilement avec des plantes vivrières et est très prisée pour cette raison

- Sa valeur fourragère est de 0.62 UF.Kg<sup>-1</sup> de MS et 93 à 110 g de MAD / kg de MS.

Pour en savoir plus sur la dolique, veuillez consulter cet ouvrage : *Boudet G.(1984). Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. Ministère de la Coopération. 225-227p.*

### Annexe 3: Schémas de prélèvement par carottage en surface pour les plantes étudiées

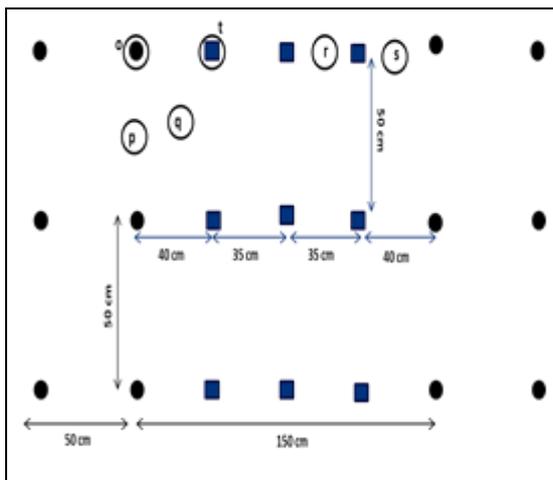
- Pour l'association maïs -stylosanthes



#### LEGENDES

- : pieds de Maïs
- : pieds de stylosanthes
- : cylindres de prélèvement
- a, b, c, d, e, f: numéro des cylindres de prélèvement pour le stylosanthes

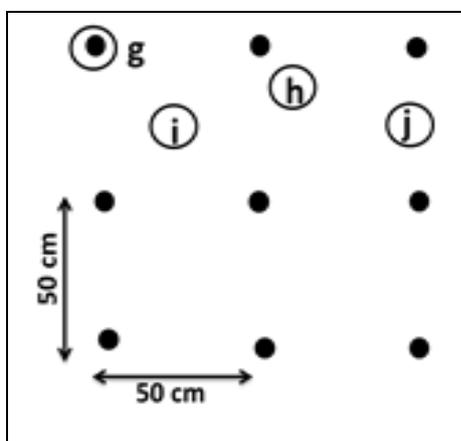
- Pour l'association maïs-dolique



#### LEGENDES

- : pieds de Maïs
- : pieds de stylosanthes
- : cylindres de prélèvement
- o, p, q, r, s, t: numéro des cylindres de prélèvement pour le stylosanthes

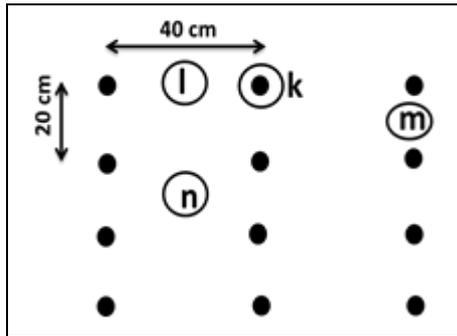
- Pour le stylosanthes



#### LEGENDES

- : pieds de stylosanthes
- : cylindres de prélèvement
- g, h, i, j : numéro des cylindres de prélèvement pour le stylosanthes

- Pour le riz



### LEGENDES

● : pieds de Riz

○ : cylindres de prélèvement

k, l, m, n : numéro des cylindres de prélèvement pour le stylosanthes

## Annexe 4: Mode de calcul des densités de biomasse racinaires en fosse

### 4.1 fosse de Maïs-stylosanthes

#### III. Prélèvement dans la ligne du pied Maïs

L'équation est de type  $X = A e^{BY}$  avec des coefficients  $A= 2,75$  et  $B= 0,0449$ .

$$\int X dY = \int A e^{BY} dY = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]$$

Dans l'horizon 0-40 cm

$$\text{Quantité (0-40)} = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-40}^0 = \left[ \frac{A}{B} e^0 \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] = \frac{A}{B} [1 - e^{-40 B}]$$

$$\text{Quantité (0-40)} = \frac{2,75}{0,0449} [1 - e^{-40 \times 0,0449}] = 51,1$$

$$\boxed{\text{Quantité (0-40)} = 51,1}$$

Dans l'horizon au-delà de 40 cm

$$\text{Quantité (-40 à } -\infty) = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-\infty}^{-40} = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-\infty B} \right] = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right]$$

$$\text{Quantité (-40 à } -\infty) = \frac{2,75}{0,0449} [e^{-40 \times 0,0449}] = 10,1$$

$$\boxed{\text{Quantité (-40 à } -\infty) = 10,1}$$

- Prélèvement entre deux pieds Maïs

L'équation est de type  $X = A e^{BY}$  avec des coefficients  $A= 0,28$  et  $B= 0,0392$ .

$$\int X dY = \int A e^{BY} dY = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]$$

Dans l'horizon 0-40 cm

$$\text{Quantité (0-40)} = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-40}^0 = \left[ \frac{A}{B} e^0 \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] = \frac{A}{B} [1 - e^{-40 B}]$$

$$\text{Quantité (0-40)} = \frac{0,28}{0,0392} [1 - e^{-40 \times 0,0392}] = 5,81 \text{ g/l}$$

$$\boxed{\text{Quantité (0-40)} = 5,81}$$

Dans l'horizon au-delà de 40 cm

$$\text{Quantité (-40 à } -\infty) = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-\infty}^{-40} = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-\infty B} \right] = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right]$$

$$\text{Quantité (-40 à } -\infty) = \frac{0,28}{0,0392} [e^{-40 \times 0,0392}] = 1,52 \text{ g/l}$$

$$\boxed{\text{Quantité (-40 à } -\infty) = 1,52}$$

#### 4.2 Fosse de Stylosanthes âgé de 3 ans

- **Prélèvement dans la ligne du pied de stylosanthes âgé de 3 ans**

L'équation est de type  $X = A e^{BY}$  avec des coefficients  $A = 13,01$  et  $B = 0,11$ .

$$\int X dY = \int A e^{BY} dY = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]$$

*Dans l'horizon 0-40 cm*

$$\text{Quantité (0-40)} = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-40}^0 = \left[ \frac{A}{B} e^0 \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] = \frac{A}{B} [1 - e^{-40 B}]$$

$$\text{Quantité (0-40)} = \frac{13,01}{0,11} [1 - e^{-40 \times 0,11}] = 116,15$$

$$\boxed{\text{Quantité (0-40)} = 116,15}$$

*Dans l'horizon au-delà de 40 cm*

$$\text{Quantité (-40 à } -\infty) = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-\infty}^{-40} = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-\infty B} \right] = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right]$$

$$\text{Quantité (-40 à } -\infty) = \frac{13,01}{0,11} [e^{-40 \times 0,11}] = 1,40$$

$$\boxed{\text{Quantité (-40 à } -\infty) = 1,40}$$

- **Prélèvement entre deux pieds de stylosanthes âgé de 3 ans**

L'équation est de type  $X = A e^{BY}$  avec des coefficients  $A = 1,22$  et  $B = 0,0545$ .

$$\int X dY = \int A e^{BY} dY = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]$$

*Dans l'horizon 0-40 cm*

$$\text{Quantité (0-40)} = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-40}^0 = \left[ \frac{A}{B} e^0 \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] = \frac{A}{B} [1 - e^{-40 B}]$$

$$\text{Quantité (0-40)} = \frac{1,22}{0,0545} [1 - e^{-40 \times 0,0545}] = 19,9$$

$$\boxed{\text{Quantité (0-40)} = 19,9}$$

*Dans l'horizon au-delà de 40 cm*

$$\text{Quantité (-40 à } -\infty) = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-\infty}^{-40} = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-\infty B} \right] = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right]$$

$$\text{Quantité (-40 à } -\infty) = \frac{1,22}{0,0545} [e^{-40 \times 0,0545}] = 2,53$$

$$\boxed{\text{Quantité (-40 à } -\infty) = 2,53}$$

#### 4.3 Fosse de Stylosanthes âgé de 1 an

- **Prélèvement dans la ligne du pied de stylosanthes âgé de 1 an**

L'équation est de type  $X = A e^{BY}$  avec des coefficients  $A = 6,45$  et  $B = 0,122$ .

$$\int X dY = \int A e^{BY} dY = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]$$

*Dans l'horizon 0-40 cm*

$$\text{Quantité (0-40)} = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-40}^0 = \left[ \frac{A}{B} e^0 \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] = \frac{A}{B} [1 - e^{-40 B}]$$

$$\text{Quantité (0-40)} = \frac{6,45}{0,122} [1 - e^{-40 \times 0,122}] = 52,28$$

$$\boxed{\text{Quantité (0-40)} = 52,28}$$

*Dans l'horizon au-delà de 40 cm*

$$\text{Quantité (-40 à } -\infty) = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-\infty}^{-40} = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-\infty B} \right] = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right]$$

$$\text{Quantité (-40 à } -\infty) = \frac{6,45}{0,122} [e^{-40 \times 0,122}] = 0,39$$

$$\boxed{\text{Quantité } (-40 \text{ à } -\infty) = 0,39}$$

- **Prélèvement entre deux pieds de stylosanthes âgé de 1 an**

L'équation est de type  $X = A e^{BY}$  avec des coefficients  $A=1,76$  et  $B=0,101$ .

$$\int X dY = \int A e^{BY} dY = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]$$

*Dans l'horizon 0-40 cm*

$$\text{Quantité } (0-40) = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-40}^0 = \left[ \frac{A}{B} e^0 \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] = \frac{A}{B} [1 - e^{-40 B}]$$

$$\text{Quantité } (0-40) = \frac{1,76}{0,101} [1 - e^{-40 \times 0,101}] = 17,17$$

$$\boxed{\text{Quantité } (0-40) = 17,17}$$

*Dans l'horizon au-delà de 40 cm*

$$\text{Quantité } (-40 \text{ à } -\infty) = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-\infty}^{-40} = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-\infty B} \right] = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right]$$

$$\text{Quantité } (-40 \text{ à } -\infty) = \frac{1,76}{0,101} [e^{-40 \times 0,101}] = 0,30$$

$$\boxed{\text{Quantité } (-40 \text{ à } -\infty) = 0,30}$$

#### 4.4 Fosse de Riz

- **Prélèvement dans la ligne du pied de Riz**

L'équation est de type  $X = A e^{BY}$  avec des coefficients  $A=2,61$  et  $B=0,0965$ .

$$\int X dY = \int A e^{BY} dY = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]$$

*Dans l'horizon 0-40 cm*

$$\text{Quantité } (0-40) = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-40}^0 = \left[ \frac{A}{B} e^0 \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] = \frac{A}{B} [1 - e^{-40 B}]$$

$$\text{Quantité } (0-40) = \frac{2,61}{0,0965} [1 - e^{-40 \times 0,0965}] = 26,54$$

$$\boxed{\text{Quantité } (0-40) = 26,54}$$

*Dans l'horizon au-delà de 40 cm*

$$\text{Quantité } (-40 \text{ à } -\infty) = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-\infty}^{-40} = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-\infty B} \right] = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right]$$

$$\text{Quantité } (-40 \text{ à } -\infty) = \frac{2,61}{0,0965} [e^{-40 \times 0,0965}] = 0,57$$

$$\boxed{\text{Quantité } (-40 \text{ à } -\infty) = 0,57}$$

- **Prélèvement entre deux pieds de Riz**

L'équation est de type  $X = A e^{BY}$  avec des coefficients  $A=0,66$  et  $B=0,055$ .

$$\int X dY = \int A e^{BY} dY = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]$$

*Dans l'horizon 0-40 cm*

$$\text{Quantité } (0-40) = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-40}^0 = \left[ \frac{A}{B} e^0 \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] = \frac{A}{B} [1 - e^{-40 B}]$$

$$\text{Quantité } (0-40) = \frac{0,66}{0,055} [1 - e^{-40 \times 0,055}] = 10,75$$

$$\boxed{\text{Quantité } (0-40) = 10,75}$$

*Dans l'horizon au-delà de 40 cm*

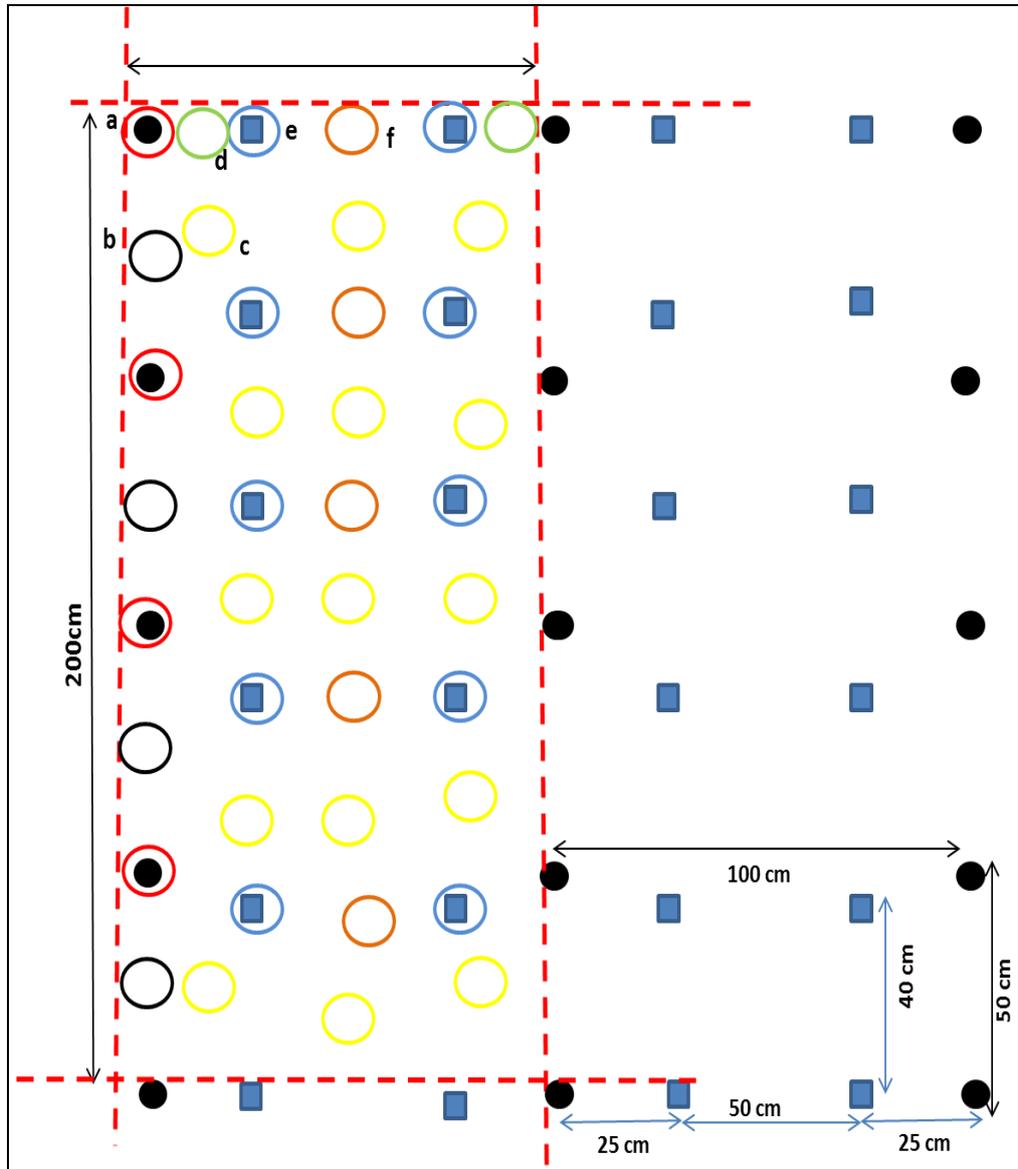
$$\text{Quantité } (-40 \text{ à } -\infty) = \left[ \frac{A}{B} e^{BY} \right]_{-\infty}^{-40} = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right] - \left[ \frac{A}{B} e^{-\infty B} \right] = \left[ \frac{A}{B} e^{-40 B} \right]$$

$$\text{Quantité } (-40 \text{ à } -\infty) = \frac{0,66}{0,055} [e^{-40 \times 0,055}] = 1,31$$

$$\boxed{\text{Quantité } (-40 \text{ à } -\infty) = 1,31}$$

**Annexe 5: Plan pour la pondération des cylindres de prélèvement**

• **MAÏS-STYLOSANTHES**



**Légende :**

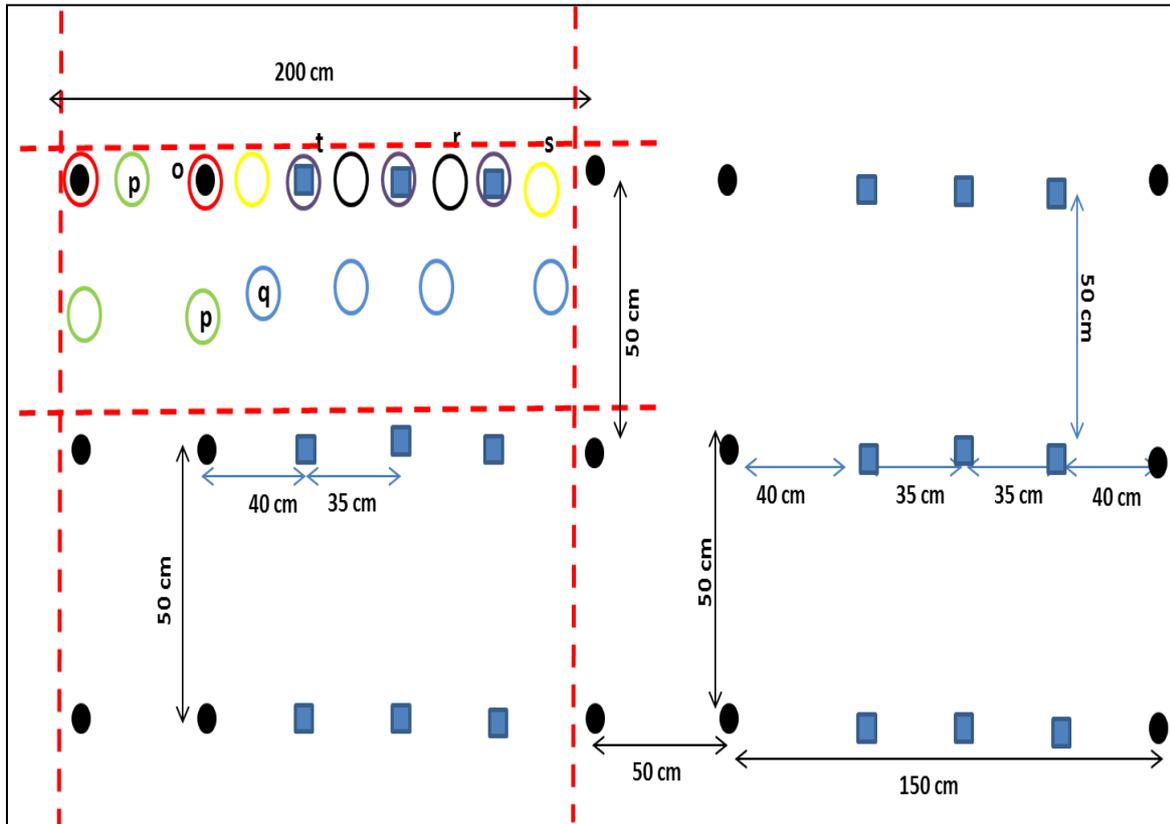
- **Pieds de Maïs**
- **Pieds de Stylosanthes**
- **Cylindre de prélèvement**

**Quantité de racine**

$$\text{quantité de racine} = (4a + 4b + 15c + 2d + 10e + 5f)/40$$

Unité en Kg

• **MAÏS-DOLIQUE**



**Légende**

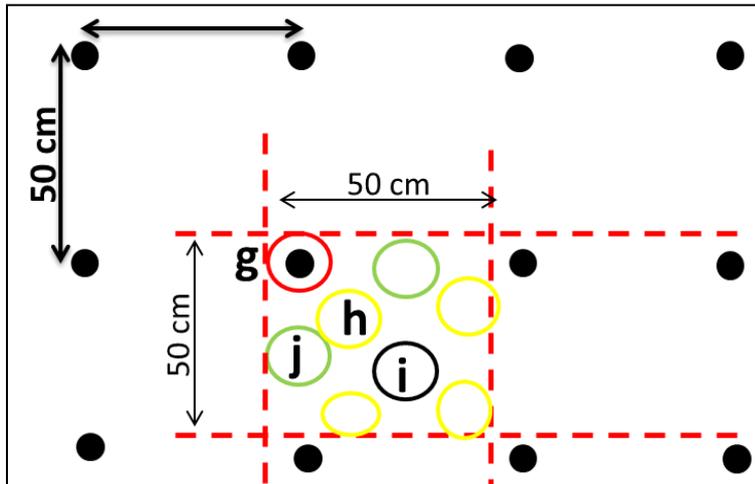
- **Pieds de Maïs**
- **Pieds de Dolique**
- **Cylindre de prélèvement**

**Quantité de racine**

$$\text{quantité de racine} = (2o + 3p + 4q + 2r + 2s + 3t) / 16$$

Unité en Kg

• **STYLOSANTHES**



**Légende :**

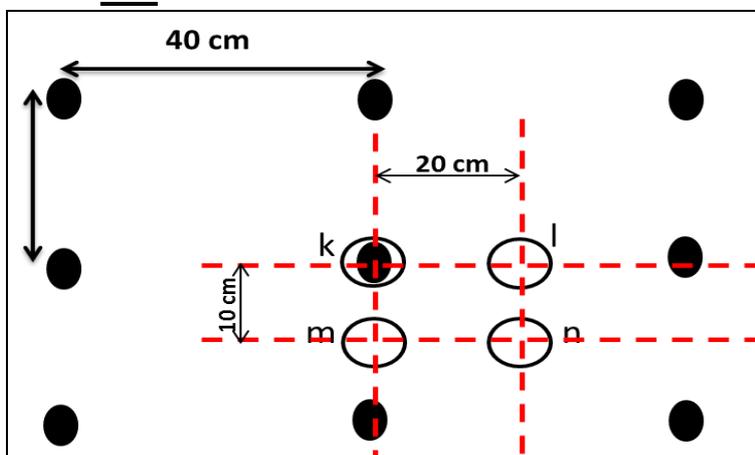
- Pieds de Stylosanthes
- Cylindre de prélèvement

**Quantité de racines**

$$\text{quantité de racine} = (1g + 4h + 1i + 2j)/8$$

Unité en Kg

• **RIZ**



**Légende**

- Pieds de Riz
- Cylindre de prélèvement

**Quantité de racines**

$$\text{quantité de racine} = \text{Moyenne}(k,l,m,n) = (k+l+m+n)/4$$

Unité en Kg

**Annexe 6: Extrapolation des quantités de biomasse racinaires à l'hectare**

**MAÏS-STYLOSANTHES**

*Maïs-stylosanthes en LSR*

LSR		Étiquette	Pond.	33	61	106	Moyenne	Racine après pond.			
LSR	0-20	a	4	1,92	6,25	16,3	8,14	32,56			
LSR	0-20	b	4	0,68	0,56	0,42	0,55	2,21			
LSR	0-20	c	15	0,75	0,66	0,2	0,53	8,05			
LSR	0-20	d	2	0,18	0,51	0,56	0,41	0,83			
LSR	0-20	e	10	0,43	4,93	1,33	2,23	22,3			
LSR	0-20	f	5	0,39	0,52	1,48	0,79	3,98	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			40					69,94	1,74	218,23	<b>2182,39</b>
LSR	20-40	a	4	0,34	0,53	0,57	0,48	1,92			
LSR	20-40	b	4	0,07	0,51	0,19	0,25	1,026			
LSR	20-40	c	15	0,14	0,39	0,09	0,20	3,1			
LSR	20-40	d	2	0,22	0,11	0,17	0,16	0,33			
LSR	20-40	e	10	0,12	0,54	0,43	0,36	3,63			
LSR	20-40	f	5	0,27	0,22	0,19	0,22	1,13	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			40				somme	11,14	0,278	34,78	<b>347,81</b>
										0-40	2530,21
										40-	408,77
										<b>Total</b>	<b>2938,98</b>

*Maïs-stylosanthes en SCV*

SCV		Étiquette	Pond.	56	80	111	Moyenne	Racine après pond.			
SCV	0-20	a	4	17,7	13,6	9,59	13,63	54,52			
SCV	0-20	b	4	0,73	0,75	0,99	0,82	3,29			
SCV	0-20	c	15	0,65	1,26	0,67	0,86	12,9			
SCV	0-20	d	2	0,91	0,95	0,22	0,69	1,38			
SCV	0-20	e	10	0,95	4,69	0,38	2,00	20,06			
SCV	0-20	f	5	0,89	1,28	0,73	0,96	4,83	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			40					97	<b>2,42</b>	302,67	<b>3026,76</b>
SCV	20-40	a	4	1,22	0,15	0,56	0,64	2,57			
SCV	20-40	b	4	0,47	0,62	0,28	0,45	1,82			
SCV	20-40	c	15	0,25	0,27	0,13	0,21	3,25			
SCV	20-40	d	2	0,28	0,49	0,2	0,32	0,64			
SCV	20-40	e	10	0,14	0,98	0,3	0,47	4,73			
SCV	20-40	f	5	0,27	0,12	0,46	0,28	1,41	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			40					14,44	0,36	45,07	<b>450,79</b>
										0-40	3477,55
										40-	561,82
										<b>Total</b>	<b>4039,38</b>

**MAÏS-DOLIQUE**

*Mais-dolique en LSR*

LSR		Étiquette	Pond.	46	85	95	Moyenne	Racine après pond.			
LSR	0-20	o	2	14,84	12,62	12,3	13,25	26,50			
LSR	0-20	p	3	0,42	0,87	1	0,76	2,29			
LSR	0-20	q	4	0,95	0,31	0,77	0,67	2,70			
LSR	0-20	r	2	0,75	0,13	0,19	0,35	0,71			
LSR	0-20	s	2	0,36	0,2	0,68	0,41	0,82			
LSR	0-20	t	3	0,59	0,7	0,85	0,71	2,14	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			16					35,18	2,19	274,46	<b>2744,63</b>
LSR	20-40	o	2	0,84	0,67	0,35	0,62	1,24			
LSR	20-40	p	3	0,31	0,25	0,15	0,23	0,71			
LSR	20-40	q	4	0,23	0,24	0,16	0,21	0,84			
LSR	20-40	r	2	0,08	0,16	0,04	0,09	0,18			
LSR	20-40	s	2	0,21	0,19	0,08	0,16	0,32			
LSR	20-40	t	3	0,19	0,2	0,11	0,16	0,5	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			16					3,79	0,23	29,61	<b>296,17</b>
										0-40	3040,80
										40-	533,50
										<b>Total</b>	<b>3574,31</b>

*Mais-dolique en SCV*

SCV		Étiquette	Pond.	14	40	102	Moyenne	Racine après pond.			
SCV	0-20	o	2	13,58	15,1	4,61	11,09	22,19			
SCV	0-20	p	3	0,4	1,09	0,77	0,75	2,26			
SCV	0-20	q	4	0,24	0,48	0,66	0,46	1,84			
SCV	0-20	r	2	0,22	0,42	0,13	0,25	0,51			
SCV	0-20	s	2	0,31	0,36	0,77	0,48	0,96			
SCV	0-20	t	3	0,27	0,73	1,09	0,69	2,09	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			16					29,85	1,86	232,91	<b>2329,10</b>
SCV	20-40	o	2	0,55	0,31	0,09	0,31	0,63			
SCV	20-40	p	3	0,46	0,1	0,13	0,23	0,69			
SCV	20-40	q	4	0,11	0,25	0,07	0,14	0,57			
SCV	20-40	r	2	0,07	0,19	0,07	0,11	0,22			
SCV	20-40	s	2	0,35	0,23	0,05	0,21	0,42			
SCV	20-40	t	3	0,03	0,04	0,18	0,08	0,25	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			16					2,78	0,17	21,73	<b>217,38</b>
										0-40	2546,48
										40-	446,77
										<b>Total</b>	<b>2993,26</b>

**STYLOSANTHES**

*Stylosanthes en LSR*

LSR		Étiquette	Pond.	25	50	68	Moyenne	Racine après pond.			
LSR	0-20	g	1	1,73	5,16	9,59	5,49	5,49			
LSR	0-20	h	4	1,01	1,34	0,98	1,11	4,44			
LSR	0-20	i	1	1,13	1,95	1,5	1,52	1,52			
LSR	0-20	j	2	0,71	0,88	1,11	0,9	1,8	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			8					13,26	1,65	206,88	<b>2068,81</b>
LSR	20-40	g	1	0,22	0,03	0,52	0,25	0,25			
LSR	20-40	h	4	0,11	0,35	0,23	0,23	0,92			
LSR	20-40	i	1	0,22	0,17	0,13	0,17	0,17			
LSR	20-40	j	2	0,06	0,15	0,19	0,13	0,26	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			8					1,61	0,20	25,22	<b>252,23</b>
										0-40	2321,04
										40-	271,01
										<b>Total</b>	<b>2592,05</b>

*Stylosanthes en SCV*

SCV		Étiquette	Pond.	1	44	81	Moyenne	Racine après pond.			
SCV	0-20	g	1	2,08	5,2	3,39	3,55	3,55			
SCV	0-20	h	4	0,32	1,25	0,25	0,60	2,42			
SCV	0-20	i	1	0,4	0,62	0,41	0,47	0,47			
SCV	0-20	j	2	0,74	0,47	0,84	0,68	1,36	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			8					7,82	0,97	122,11	<b>1221,10</b>
SCV	20-40	g	1	0,44	0,49	0,61	0,51	0,51			
SCV	20-40	h	4	0,3	0,2	0,13	0,21	0,84			
SCV	20-40	i	1	0,33	0,3	0,06	0,23	0,23			
SCV	20-40	j	2	1,22	0,15	0,09	0,48	0,97	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			8					2,55	0,31	39,88	<b>398,88</b>
										0-40	1619,99
										40-	189,15
										<b>Total</b>	<b>1809,15</b>

**RIZ**

**Riz en LSR**

LSR	Étiquette	Pond.	2	47	116	Moyenne	Racine après pond.				
LSR	0-20	k	1	1,57	3,11	2,92	2,53	2,53			
LSR	0-20	l	1	0,42	0,74	0,44	0,53	0,53			
LSR	0-20	m	1	1,2	0,61	1,05	0,95	0,953			
LSR	0-20	n	1	0,59	0,21	0,42	0,40	0,40	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			4				4,42	1,10	138,12	<b>1381,28</b>	
LSR	20-40	k	1	0,06	0,19	0,14	0,13	0,13			
LSR	20-40	l	1	0,04	0,45	0,09	0,19	0,19			
LSR	20-40	m	1	0,04	0,17	0,13	0,11	0,11			
LSR	20-40	n	1	0,01	0,36	0,09	0,15	0,15	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>
somme			4				0,59	0,14	18,41	<b>184,10</b>	
										0-40	1565,39
										40-	151,47
										<b>Total</b>	<b>1716,86</b>

Riz en SCV

SCV		Étiquettes	Pond.	19	41	64	Moyenne	Racine après pond.				
SCV	0-20	k	1	2,66	3,5	3,95	3,37	3,37				
SCV	0-20	l	1	0,32	0,43	0,47	0,40	0,40				
SCV	0-20	m	1	0,69	1,2	1,48	1,12	1,12				
SCV	0-20	n	1	0,61	0,3	0,19	0,36	0,36	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>	
			4				somme	5,26		<b>1,316</b>	164,33	<b>1643,39</b>
SCV	20-40	k	1	0,06	0,16	0,15	0,12	0,12				
SCV	20-40	l	1	0,07	0,35	0,27	0,23	0,23				
SCV	20-40	m	1	0,22	0,13	0,3	0,21	0,21				
SCV	20-40	n	1	0,08	0,37	0,75	0,4	0,4	gramme de racines / surface de 1 cylindre	Racine (g/m <sup>2</sup> )	<b>Racine (Kg/Ha)</b>	
			4				somme	0,97		0,24	30,26	<b>302,67</b>

**Annexe 7:Quantité de carbone dans le sol actuel**

	Horizon	Formule	Valeurs
<b>Densité apparente (Da)</b>	0-20	-	0,926056339
	20-40	-	0,981544742
<b>Teneur en C (en %)</b>	0-20	-	3,24
	20-40	-	2,04
<b>Profondeur (m)</b>	-	-	0,2
<b>Volume de sol considéré (m3)</b>	-	$100 * 100 * 0,2$	2000
<b>Masse de sol (Kg)</b>	<b>Masse de sol = Da x Volume de sol</b>		
	0-20		1852,112677
	20-40		1963,089485
<b>Stock initial de C (Kg de C/Ha)</b>	<b>Stock initial de C = Masse sol x C%</b>		
	0-20		<b>3482,62155</b>
	20-40		<b>2319,3907</b>
	<b>Total sur l'horizon 0-40</b>		<b><u>5802,0122</u></b>

## Annexe 8: ANOVA pour les données de biomasses aériennes

### 1. Maïs-stylosanthes

- *Pour le maïs*

Analyse Type I Sum of Squares (Variable Biomasses aériennes Kg/Ha):

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	1	499322,980	499322,980	0,162	0,708

Traitement / Fisher (LSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
LSR vs SCV	-576,959	-0,403	2,776	0,708	Non

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
LSR	6879,130	A
SCV	7456,089	A

- *Pour le stylosanthes*

Analyse Type I Sum of Squares (Variable Biomasses aériennes Kg/Ha):

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	1	1304,933	1304,933	0,001	0,978

Traitement / Fisher (LSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
SCV vs LSR	-29,495	-0,029	2,776	0,978	Non

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SCV	1002,830	A
LSR	1032,325	A

## 2. Maïs-dolique

- Pour le maïs

Analyse Type I Sum of Squares (Variable Biomasses aériennes Kg/Ha):

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	1	16880194,380	16880194,380	5,270	0,083

Traitement / Fisher (LSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
SCV vs LSR	0,000	0,000	2,776	1,000	Non

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SCV	2,000	A
LSR	2,000	A

- Pour la dolique

Analyse Type I Sum of Squares (Variable Biomasses aériennes Kg/Ha):

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	1	5128,647	5128,647	0,450	0,539

Traitement / Fisher (LSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
SCV vs LSR	0,000	0,000	2,776	1,000	Non

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SCV	2,000	A
LSR	2,000	A

### 3. Stylosanthes

Analyse Type I Sum of Squares (Variable Biomasses aériennes Kg/Ha):

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
			2934899,21		
Traitement	1	2934899,214	4	0,867	0,404

Traitement / Fisher (LSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
SCV vs LSR	-1398,785	-0,931	2,776	0,404	Non

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SCV	6351,240	A
LSR	7750,025	A

### 4. Riz

Analyse Type I Sum of Squares (Variable Biomasses aériennes Kg/Ha):

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	1	46818,139	46818,139	0,032	0,867

Traitement / Fisher (LSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
SCV vs LSR	-176,669	-0,179	2,776	0,867	Non

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SCV	6006,761	A
LSR	6183,431	A

## **Annexe 9: ANOVA pour les données de biomasses racinaires**

### **• Maïs-stylosanthes**

Analyse Type I Sum of Squares (Variable Biomasses racinaires Kg/Ha):

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	1	1816309,236	1816309,236	0,876	0,402

Traitement / Fisher (LSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
LSR vs SCV	-1100,397	-0,936	2,776	0,402	Non

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
LSR	2938,987	A
SCV	4039,383	A

### **• Maïs-dolique**

Analyse Type I Sum of Squares (Variable Biomasses racinaires Kg/Ha):

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	1	506417,033	506417,033	0,918	0,392

Traitement / Fisher (LSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
SCV vs LSR	-581,043	-0,958	2,776	0,392	Non

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SCV	2993,270	A
LSR	3574,313	A

• **Stylosanthes**

Analyse Type I Sum of Squares (Variable Biomasses racinaires Kg/Ha):

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	1	919398,615	919398,615	1,766	0,255

Traitement / Fisher (LSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
SCV vs LSR	-782,900	-1,329	2,776	0,255	Non

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
SCV	1809,153	A
LSR	2592,053	A

• **Riz**

Analyse Type I Sum of Squares (Variable Biomasses racinaires Kg/Ha):

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	1	261484,426	261484,426	1,476	0,291

Traitement / Fisher (LSD) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% :

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
LSR vs SCV	-417,520	-1,215	2,776	0,291	Non

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
LSR	1716,863	A
SCV	2134,383	A

### Annexe 10: Exemple de productions d'exsudats racinaires

Par exsudation, on désigne le processus qui aboutit à la libération par les racines des plantes, des substances organiques et minérales. C'est en fait un processus très mal connu car les physiologistes se sont toujours plus intéressés à l'absorption des éléments nutritifs qu'au phénomène inverse.

Il existe diverses méthodes pour extraire l'exsudat de la plante mais les deux proposées ici sont les mieux adaptées et facile à effectuer pour les plants de riz.

#### *a) Le système de double pot*

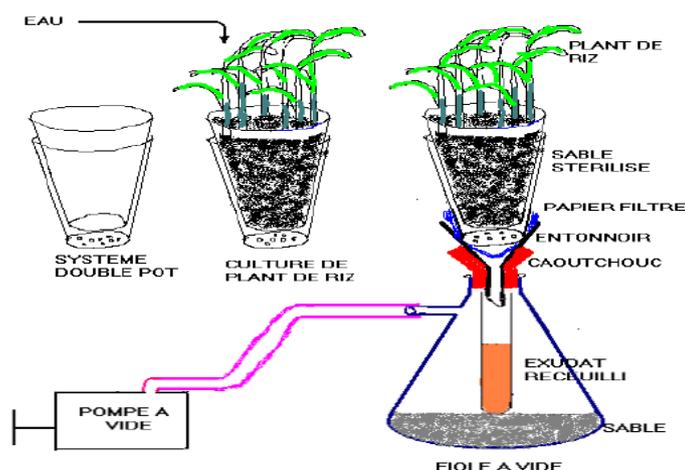
##### • *Préparation des pots :*

- Il faut 2 pots fuselés (petit pot : pots de yaourt, verre à jeter ...) de même dimension.
- Faire des trous dans le fond d'un des pots et l'adapter à l'autre pot non perforé.

Le pot supérieur est ensuite rempli de sable.

##### • *Traitement des semences*

Les grains sont stérilisés en surface par trempage dans l'hypochlorite de sodium (eau de javel) 1% pendant 15 à 60 minutes (moyenne 25 minutes) puis rincés 3 fois à l'eau distillée stérilisée, jusqu'à ce que l'odeur de la chlorure disparaisse. On les place ensuite sur du papier filtre mouillé dans des boîtes de pétri et incubent à 28° C à l'obscurité. Après 24 heures, les grains germant vigoureusement sont prêts à être transplantés dans les pots préalablement préparés. Quinze à vingt ou même plus de plantes peuvent être cultivées dans un même pot selon sa taille. Il ne faut pas s'inquiéter de la surcharge. On ajoute 25 ml d'eau distillée. Le double pot sera maintenu humide par addition de 15 ml d'eau distillée journalièrement. L'excès d'eau qui s'infiltre dans le pot inférieur sera jeté. Après avoir laissé pousser les plantules pendant 7 à 14 jours, remplir le pot supérieur avec 25 ml d'eau, recueillir l'eau du pot inférieur et récupérer par pompage à vide l'eau restant dans le pot supérieur avec exsudat



On arrête de pomper lorsqu'il n'y a plus d'eau qui descend et que le pot est sec. Pour avoir assez d'exsudat, on fera plusieurs pots.

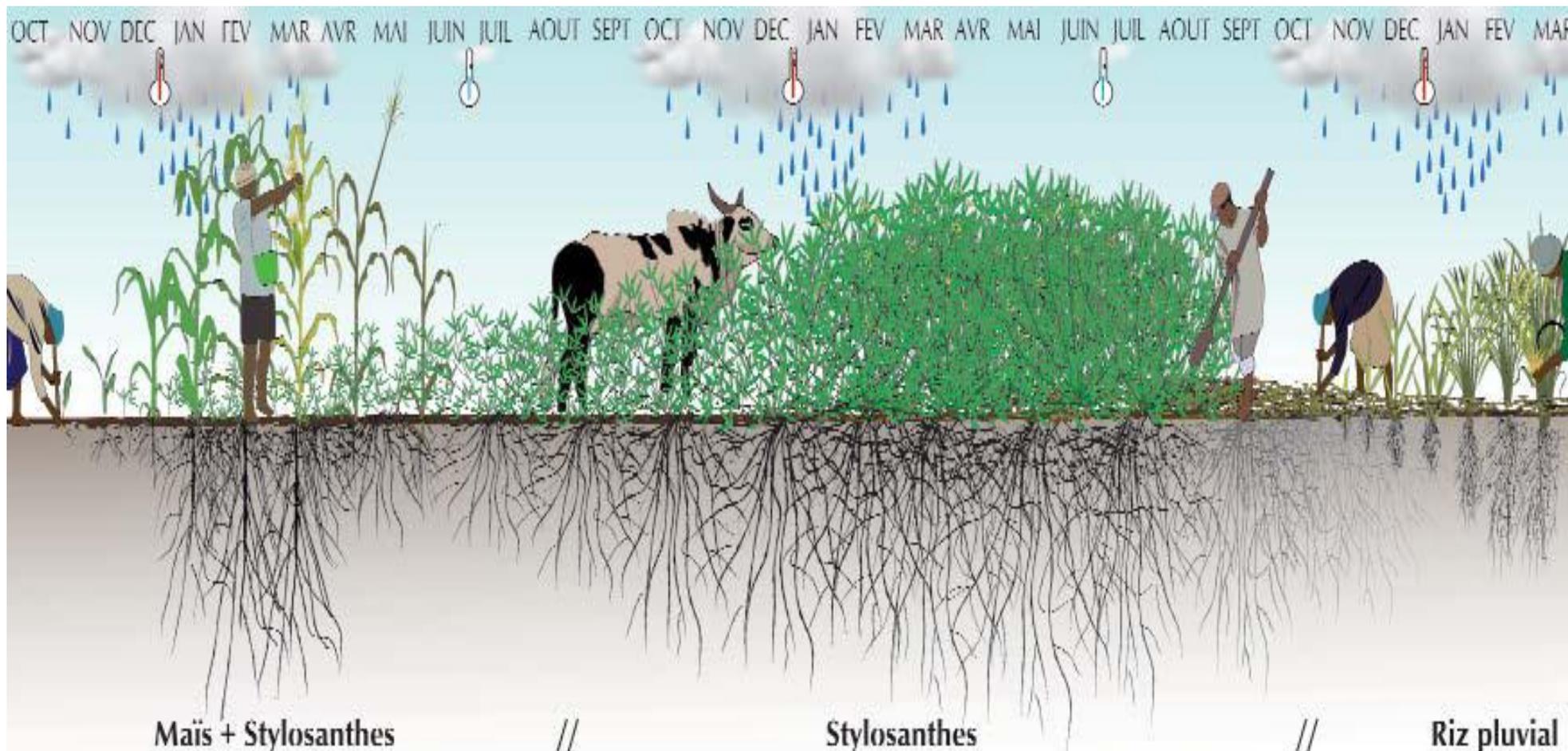
***b) Technique par utilisation pipette pasteur***

Cette technique est adaptée pour extraire l'exsudat racinaire d'une seule plante.

Comme précédemment, les semences sont stérilisées et pré-germées en boîte de pétri pendant 1 à 2 jours après apparition de radicule. Celles-ci seront transférées sur les pipettes pasteurs et y sont maintenues avec du coton hydrophile. La pipette sera remplie d'eau distillée, gardée dans un enclos obscur à 25 – 33°C pendant 2 jours et transférée après dans de condition normale de lumière. L'exsudat racinaire contenu dans la pipette peut être récupéré après 3 à 4 jours. L'exsudat racinaire ainsi obtenu sera conservé sous réfrigérateur pour éviter la dénaturation avant un éventuel traitement.

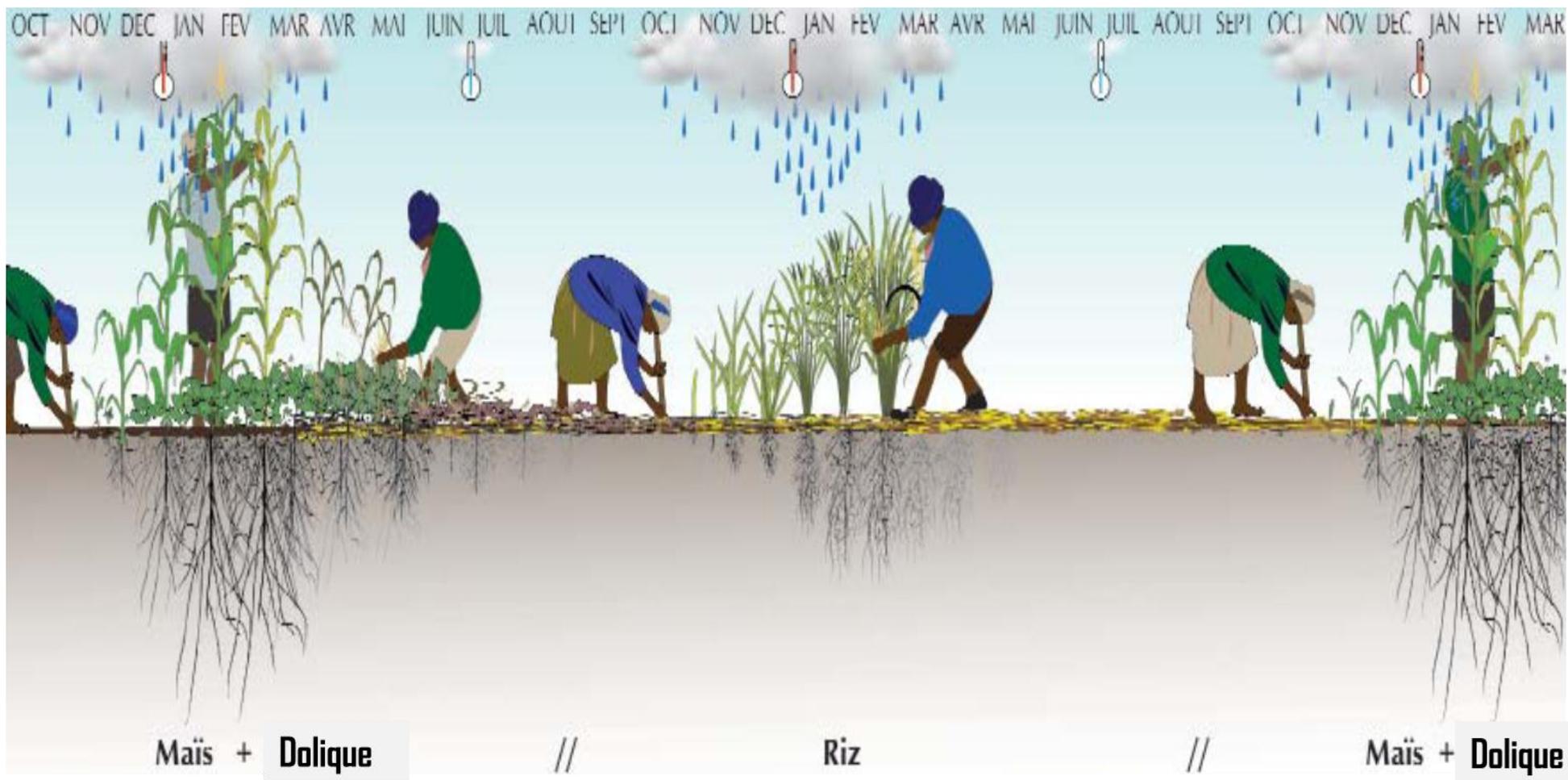
**Annexe 11: Rotations de cultures adoptées dans cette étude (en images)**

- **Rotation triennale Maïs-stylosanthes / stylosanthes / Riz**



Source : Séguy et al, 2009

- **Rotation biennale Maïs-dolique / Riz**



Source : Séguy et al, 2009

