



**UNIVERSITÉ
D'ANTANANARIVO**



ÉCOLE SUPÉRIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES

DÉPARTEMENT AGRICULTURE

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention
d'un diplôme d'ingénieur agronome**

Evaluation des stocks de carbone et d'azote du sol sous des pratiques agro-écologique et conventionnelle dans le Moyen Ouest du Vakinankaratra

Soutenu par Andrianaly Ny Ando Rakotomampionona

Promotion « Ambioka » (2008-2013)

Le 17 décembre 2013

Devant le jury composé de :

Président : Dr. Harilala ANDRIAMANIRAKA

Examineur : Dr. Norosoa Christine RAZAFINDRAMANANA

Encadreur professionnel : Dr. Thierry BECQUER

Tuteur : Dr. Hery RAZAFIMAHATRATRA



« Je puis tout par Celui qui me fortifie » Phil 4 : 13

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je remercie Dieu Tout Puissant de m'avoir donnée la force et la santé pour achever le présent travail.

Arrivée au terme du présent mémoire, je tiens à présenter mes reconnaissances envers les personnes physiques et/ou morales qui ont contribué à la réalisation de ce travail en l'occurrence :

- ❖ L'institut de Recherche pour le Développement (IRD) et le Laboratoire des Radio isotopes (LRI) pour les soutiens matériels et financiers qui m'ont permis de mener à bien mes travaux de recherche
- ❖ Monsieur Harilala Jaona ANDRIAMANIRAKA, Docteur en Sciences Agronomiques, Chef du Département Agriculture et enseignant chercheur à l'ESSA, pour l'honneur qu'il nous a fait pour présider le jury de cette soutenance de mémoire malgré ses lourdes responsabilités
- ❖ Madame Norosoa Christine RAZAFINDRAMANANA, Docteur en Sciences Agronomiques, Enseignant-Chercheur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, d'avoir accepté d'être l'examineur de ce travail
- ❖ Monsieur Thierry BECQUER, Pédologue, Directeur de Recherche à l'IRD, de m'avoir proposé ce thème intéressant et d'avoir consacré une grande partie de son temps à suivre de près cette étude malgré ses nombreuses occupations et d'avoir accepté de siéger parmi les membres de jury de ce mémoire
- ❖ Monsieur Hery RAZAFIMAHATRATRA, Docteur en Agro-Pédologie, Enseignant chercheur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, mon tuteur, d'avoir suivi de près l'étude du début jusqu'à la fin et qui n'a pas ménagé ses efforts dans la réalisation du présent document

Je tiens également à présenter mes vifs remerciements à :

- ❖ Madame Lilia RABEHARISOA, Docteur d'Etat, Directeur du LRI, Enseignant chercheur à l'ESSA, de m'avoir permis de réaliser mes travaux de laboratoire au LRI
- ❖ Mesdames Tantely RAZAFIMBELO et Herintsitohaina RAZAKAMANARIVO pour leurs précieux conseils dans la réalisation de ce mémoire
- ❖ Madame Volaniaina RAMAROSON et monsieur Manitrarinina HENINTSOA pour leur précieuse volonté dans la réalisation des analyses en laboratoire à Montpellier

- ❖ Messieurs Modeste RAKOTONDRAMANANA et Fidy RAHARISON pour leurs aides inconditionnelles durant mes travaux de terrain
- ❖ L'équipe du FOFIFA et du CIRAD Antsirabe, en particulier madame Bodo RABARY et monsieur Narcisse MOUSSA, pour leur collaboration dans la réalisation des prélèvements des échantillons de sols dans le Moyen-ouest
- ❖ L'équipe du GSDM, en particulier Andry RAKOTOHARIVONY, coordinateur du projet, et le centre FAFIALA qui ont apporté leur contribution dans le choix des parcelles en SCV. Je remercie particulièrement les techniciens : Bruno, Gérard, Aristide et Tovo qui ont facilité nos accès aux parcelles
- ❖ La représentation de l'IRD à Madagascar : personnel administratif, chercheurs, techniciens, chauffeurs,...
- ❖ Toute l'équipe du LRI : personnel administratif, responsable du laboratoire, assistant de recherche, thésards, techniciens, ainsi que tous mes amis stagiaires pour leur accueil chaleureux durant mes séjours de stage au LRI et pour leurs conseils inconditionnels.
- ❖ Tous les enseignants et tout le personnel administratif et technique à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA) et du Département Agriculture
- ❖ Tous mes collègues du Département Agriculture et de la promotion Ambioka

Mes plus profondes gratitude s'adressent à :

- ❖ Mes parents et mes deux petites sœurs pour leur soutien inégalé et leur encouragement. Un grand merci à mon père qui m'a soutenu sans relâche jusqu'à l'aboutissement de ce mémoire
- ❖ Toute ma famille, pour leur encouragement et leur aide durant mes années d'étude. Je suis particulièrement reconnaissante envers *Rindra*, *Toky* et *Fetra* pour leur amour, leur soutien et leur précieuse aide

Sans oublier tous les paysans d'Ankazomiriotra, d'Inanantonana et de Vinany qui ont accepté de collaborer pour les prélèvements des échantillons de sol dans leurs parcelles et tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation du présent ouvrage.

Merci à tous!!!
Ny Ando 

RESUME

Stocker de la matière organique dans le sol permet d'améliorer ses propriétés physico-chimiques et d'augmenter sa fertilité. Cette étude ayant comme objet d'établir une ligne de base « carbone et azote » dans le Moyen-Ouest du Vakinankaratra, vise à déterminer les stocks de carbone et d'azote des sols de la région. Deux principaux systèmes ont été étudiés sur cent parcelles paysannes: 46 parcelles conduites sous pratiques agro-écologiques (SCV sous *Stylosanthes*) ; 54 sous système conventionnel de labour. Les résultats montrent que pour l'horizon 0-10 cm, les teneurs et les stocks de carbone sont plus élevés sous SCV que sous système conventionnel, avec, respectivement, des teneurs de 20,92 g C kg⁻¹ sol et 17,44gC kg⁻¹ sol et des stocks de 23,08 Mg C ha⁻¹ et 19,59 Mg C ha⁻¹. Ceci est attribué essentiellement aux quantités plus importantes de résidus organiques restitués par le SCV que par le système conventionnel. Une partie de cette différence peut être aussi expliquée par un contrôle plus marqué des pertes de carbone par érosion sous SCV. Toutefois, pour l'ensemble de l'horizon 0-30cm, aucun effet du SCV n'est observé. Cette absence d'effet est due au fait que l'horizon de surface est une zone de concentration des débris végétaux sources de matière organique. Or cette teneur diminue au fur et à mesure que l'on descend en profondeur. Les teneurs et stocks d'azote du sol sont également plus élevés sous SCV que sous conventionnel tant en surface qu'en profondeur avec des teneurs de 1,60 g N kg⁻¹ en surface sous SCV contre 1,27 g N kg⁻¹ sous conventionnel. A 0-30cm, les stocks d'azote sont de 4,16 Mg N ha⁻¹ pour le SCV et 3,27 Mg N ha⁻¹ en système conventionnel. La différence entre les deux systèmes est surtout liée à la nature de la plante de couverture qui est une légumineuse.

Mots-clés : Sol ferrallitique, ligne de base carbone et azote, système de culture

ABSTRACT

Organic matter storage in the soil improves its physicochemical properties and increases its fertility. This study aims to establish a baseline on "carbon and nitrogen" of a small agricultural region in the Middle West Vakinankaratra to identify soil carbon and nitrogen stocks of the region. Two main systems are studied in hundred farmer's plots: 46 plots under agro-ecological practices (DMC with *Stylosanthes*) and 54 under conventional tillage system. The results show that in the 0-10cm layer, concentration and carbon stocks are higher under no tillage than under conventional tillage with 20.92 g C kg⁻¹ and 17.44 g C kg⁻¹ respectively and 23.08 Mg C ha⁻¹ and 19.59 Mg C ha⁻¹ for stocks. This is attributed mainly to higher amounts of organic residues returned to the soil under no tillage than in the conventional system. Nevertheless, part of this difference can be explained by a greater control of carbon losses by erosion under no tillage. In the 0-30cm layer, no effect of no tillage is observed. This is due to the fact that the surface horizon is an area of concentration of plant residues, the main source of organic matter. Nitrogen concentration and nitrogen stock are also higher under no tillage than under conventional tillage both in surface and depth with contents of 1.60 g N kg⁻¹ in surface layer under no tillage and 1.27 g N kg⁻¹ under conventional tillage. For the 0-30cm layer, the stocks of nitrogen are 4.16 Mg N ha⁻¹ for no tillage and 3.27 Mg N ha⁻¹ for conventional system. The difference between the two systems is mainly due to the nature of the cover crop that is a legume.

Key-words : Oxisol, baseline on carbon and nitrogen, cropping system

Table des matières

LISTE DES ABREVIATIONS :	a
UNITES ET SYMBOLES CHIMIQUES :	a
LISTE DES EQUATIONS :	b
LISTE DES CLICHES :	b
LISTE DES TABLEAUX :	b
LISTE DES FIGURES :	c
LISTE DES ANNEXES	c
INTRODUCTION.....	1
I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	4
I.1 La matière organique du sol : conséquences de sa diminution.....	4
I.1.1 Contrôle physique de la dynamique de la matière organique du sol	4
I.1.2 Les modes d'usage des sols et les pertes en matière organique	4
I.1.3 Pertes de matière organique par érosion du sol	5
I.1.4 Conséquences de la diminution de la matière organique du sol.....	5
I.2 Agriculture de conservation	6
I.3 Le système de culture sous couverture végétale permanente (SCV).....	6
I.3.1 Définition et principes fondamentaux	6
I.3.2 Principaux SCV	7
I.4 SCV et propriétés du sol.....	8
I.4.1 Lutte contre l'érosion des sols.....	8
I.4.2 Conservation de l'eau	8
I.4.3 Amélioration des propriétés physiques et biologiques du sol :	8
I.4.4 Restauration de la fertilité des sols :	9
I.5 Le développement du SCV à Madagascar.....	9
II. MATÉRIELS ET MÉTHODES	11
II.1 Présentation de la zone d'étude	11
II.1.1 Localisation géographique.....	11
II.1.2 Climat	12
II.1.3 Relief	13
II.1.4 Végétation et cultures	13
II.1.5 Sols	13
II.2 Les systèmes de culture étudiés:.....	14
II.2.1 Le système conventionnel:	14

II.2.2	Les systèmes de culture sous couverture végétale permanente ou SCV :	15
II.3	Travaux de terrain	15
II.3.1	Inventaire et localisation des parcelles	15
II.3.2	Echantillonnage :	15
II.3.3	Prélèvements d'échantillons composites	16
II.3.4	Prélèvement d'échantillon pour la densité apparente	18
II.4	Travaux d'analyses en laboratoire :	18
II.4.1	Séchage, tamisage et broyage	18
II.4.2	Dosage du carbone et de l'azote	18
II.4.3	Détermination de la densité apparente	19
II.4.4	Méthode de calcul des stocks de carbone et d'azote du sol :	19
II.5	Analyses statistiques des données	21
III.	RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS	22
III.1	Les densités apparentes du sol	22
III.2	Teneurs en carbone et en azote du sol	24
III.2.1	Teneur en carbone du sol	24
III.2.2	Teneur en azote du sol	26
III.3	Stocks de carbone et d'azote du sol	28
III.3.1	Stock de carbone du sol	28
III.3.2	Stock d'azote du sol	31
IV.	DISCUSSIONS	34
IV.1	Variabilité des densités apparentes du sol	34
IV.2	Teneur et stock de carbone du sol	35
IV.3	Teneur et stock d'azote du sol	36
IV.4	Effets du système de culture sur le stockage de carbone et azote dans le sol	37
IV.5	Effets du type de sol sur le stockage de carbone et azote du sol	38
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES D'AVENIR	40
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	42
	ANNEXES	47

LISTE DES ABREVIATIONS

AFD : Agence française du développement

CEC : capacité d'échange cationique

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

CPCS : Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols

Da : Densité apparente

FAO : *Food and agriculture organization*

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

GPS : *Global positioning system*

GSDM : Groupement semis direct de Madagascar

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

IRD : Institut de recherche pour le développement

LRI : Laboratoire des radio-isotopes

MO : Matière organique

ONG : Organisation non gouvernementale

RN : Route nationale

SC : Système conventionnel

SCV : Système de culture sous couverture végétale permanente

SFC : Sols ferrallitiques concrétionnés

SFD : Sols ferrallitiques rajeunis à structure dégradée

SFPD : Sols ferrallitiques rajeunis à structure peu dégradée

SIG : Système d'information géographique

TAFA : *TAny sy FAmpandrosoana*

UMR : Unité mixte de recherche

UNITES ET SYMBOLES CHIMIQUES

C : Carbone

Ca : Calcium

Cm : Centimètre

Cm³ : Centimètre cube

G : Gramme

Gt : Giga tonne

Ha : Hectare

K : Potassium

Kg : Kilogramme

Mg : Méga gramme

M : Mètre

Mg : Magnésium

N : Azote

P : Phosphore

T : Tonne

LISTE DES EQUATIONS

Équation 1: Formule de la densité apparente du sol.....	19
Équation 2: Formule du stock de carbone du sol.....	19
Équation 3: Formule du stock d'azote du sol.....	20
Équation 4 : Formule du stock de C à profondeur équivalente	20
Équation 5 : Formule de la masse équivalente de sol.....	20

LISTE DES CLICHES

Cliché 1 : Prélèvement de sol par carottage	17
Cliché 2: Prélèvement de sol au cylindre	18

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Densités apparentes du sol pour les deux systèmes sur les trois profondeurs	22
Tableau 2: Teneur en C des deux systèmes.....	24
Tableau 3: Teneur en C des trois groupes de sol	26
Tableau 4 : Teneur en N des systèmes	26
Tableau 5 : Teneur en N des groupes de sol.....	28
Tableau 6 : Stocks de C en Mg ha ⁻¹ des systèmes par profondeur	28
Tableau 7 : Stock de carbone du sol exprimé à masse équivalente sur 0-30cm.....	30
Tableau 8 : Stock de carbone des trois groupes de sol	30
Tableau 9 : Stock de carbone du sol exprimé à masse équivalente sur 0-30cm pour les trois groupes de sol	31
Tableau 10 : Stock d'azote du sol en Mg ha ⁻¹ des deux systèmes par profondeur	31
Tableau 11: Stock d'azote du sol exprimé à masse équivalente sur 0-30cm pour les deux systèmes ..	33
Tableau 12 : Stock d'azote des trois groupes de sol	33
Tableau 13 : Stock d'azote du sol exprimé à masse équivalente sur 0-30cm pour les trois groupes de sol	33

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude	12
Figure 2 : Carte pédologique de la zone d'étude et localisation des points de prélèvements.....	16
Figure 3 : Carré de prélèvement	17
Figure 4 : Profil de la densité apparente du sol des deux systèmes.....	22
Figure 5 : Distribution de la densité apparente par système et par profondeur	23
Figure 6 : Distribution de densité apparente par groupe de sol	24
Figure 7 : Profil de la teneur en carbone du sol des deux systèmes	25
Figure 8 : Distribution des teneurs en C par système et par profondeur	26
Figure 9 : Profil de la teneur en azote du sol des deux systèmes	27
Figure 10 : Distribution des teneurs en N par système et par profondeur	28
Figure 11 : Profil de stock de C du sol pour les deux systèmes	29
Figure 12 : Distribution des stocks de carbone par système et par profondeur.....	30
Figure 13 : Profil de stock d'azote du sol des deux systèmes	32
Figure 14 : Distribution des stocks de N par système et par profondeur.....	32

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Moyenne \pm écart-type et p-value des Da, teneur en C et teneur en N.....	i
Annexe 2: Moyenne \pm écart-type et p-value des stocks de C et stocks de N	ii
Annexe 3 : Liste des parcelles de prélèvements	iii
Annexe 4 : Résultats des analyses au laboratoire.....	viii
Annexe 5 : Stocks à masse équivalente des deux systèmes sur 0-30cm	xxiii
Annexe 6 : Stocks à masse équivalente des groupes de sols ferrallitiques sur 0-30cm.....	xxiv
Annexe 7 : Historique des parcelles en SCV	xxv

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Contexte général de l'étude et problématique

L'étude de la matière organique dans les écosystèmes terrestres a fait l'objet d'un réel essor ces dernières années, tant pour l'apport qu'elle procure pour l'amélioration de la fertilité du sol que pour son importance dans la compréhension du cycle du carbone. Compte tenu des rôles importants dans l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques que joue la matière organique du sol, la diminution de sa teneur est devenue un sujet de préoccupation pour la recherche et la production agricole en générale.

L'augmentation de la teneur en matière organique dans le sol s'accompagne d'une amélioration de la structure, de l'accroissement de la capacité d'infiltration et de rétention de l'eau, ainsi que du pouvoir de résistance à l'érosion (Leprun, 1988). La matière organique du sol joue aussi un rôle important dans la détermination de la fertilité et la production des sols (Feller et Beare, 1997). Sa minéralisation constitue une source importante d'éléments nutritifs pour les végétaux. La matière organique, de par sa relation étroite avec la fertilité des sols, est un des facteurs importants pour la maîtrise d'une productivité végétale durable (Razafimbelo *et al.*, 2006). Pour la production agricole, la présence de matière organique contribue à une bonne nutrition des espèces cultivées, ce qui se traduit par l'augmentation des rendements et l'amélioration de la production.

Plusieurs facteurs peuvent affecter le statut organique du sol, notamment les pratiques agricoles qui ont une incidence majeure sur la dynamique des substances organiques des sols (Wesemael et Brahy, 2006). Le carbone est le constituant principal de la matière organique du sol. En fait, pour stocker du carbone à long terme dans le sol, il faut le protéger contre la minéralisation microbienne. Les rôles des pratiques culturales sont alors évoqués. Le labour accélère la minéralisation de la matière organique en la rendant plus accessible à la flore microbienne. En outre, par ses effets sur le stock de matière organique du sol, le labour a des conséquences sur la stabilité structurale et l'érosion du sol (Balesdent *et al.*, 1999). Par contre, les systèmes en semis direct (ou SCV) qui est une pratique agro-écologique, pourraient conduire à une augmentation des stocks de carbone organique des sols grâce à la quantité importante de résidus organiques restitués qui constituent un apport supplémentaire de matière organique (Razafindramanana, 2011). Ils permettent aussi de diminuer les pertes en carbone par minéralisation, due notamment à l'absence de travail du sol. En outre, le stock de matière organique peut être élevé sous SCV suite à un contrôle plus marqué des pertes en terre par érosion car la couverture végétale et les résidus de cultures exercent un effet favorable dans la protection de la surface du sol contre l'érosion (Razafindramanana, 2011).

Par ailleurs, stocker du carbone dans le sol représente des enjeux environnementaux importants. En fait, les sols constituent un important réservoir de C, environ 1500 Gt C à l'échelle mondiale, ce qui équivaut à presque trois fois la quantité stockée dans la biomasse terrestre, et deux fois celle de l'atmosphère (Lal, 2003). Une augmentation même minime du stock de C dans les sols pourrait avoir des conséquences significatives dans l'atténuation de l'effet de serre. La matière organique du sol joue aussi le rôle de filtre environnemental par la rétention des micropolluants et des pesticides.

A Madagascar, le Laboratoire des Radio Isotopes (LRI) de l'Université d'Antananarivo et l'IRD (UMR Eco&Sols) développent conjointement, depuis 2004, un programme de recherche et de formation ciblé sur le rôle des sols et ses composantes biologiques dans les services écosystémiques fournis par les agrosystèmes (séquestration du carbone, recyclage des nutriments, maintien de la biodiversité). Un des thèmes majeurs porte sur l'évaluation à différentes échelles (parcelles, exploitations agricoles, région) des potentiels de stockage de C par les pratiques culturales agro-écologiques. Ainsi, la présente étude se focalise dans l'évaluation des stocks de carbone et d'azote du sol sous SCV et système conventionnel dans le Moyen Ouest du Vakinankaratra.

Dans ce contexte, les questions suivantes méritent d'être posées : *« quel est le niveau de stock de carbone et d'azote des sols du Moyen-ouest? L'adoption du système sous couverture végétale permanente permet-elle d'améliorer les stocks en ces deux éléments ? Les stocks varient-ils suivant les groupes de sol ferrallitique de la zone étudiée ? ».*

Objectifs et hypothèses de travail

Cette étude a pour principal objectif d'établir une ligne de base « carbone et azote » du Moyen Ouest pour deux systèmes de culture.

Les objectifs spécifiques y afférents sont :

- ✚ évaluer les stocks de carbone et d'azote dans divers sols d'une région agricole du Moyen Ouest ;
- ✚ analyser les effets des systèmes de culture en comparant les stocks suivant les systèmes de culture (SCV et conventionnel) ;
- ✚ comparer les stocks de carbone et d'azote de divers groupes de sols ferrallitiques dans le Moyen-Ouest.

Compte tenu des problématiques et objectifs posés, les hypothèses suivantes sont avancées :

Hypothèse1 : le niveau de stock de carbone et azote du sol dans le Moyen-Ouest est proche de ceux observés dans les sols ferrallitiques des autres zones de Madagascar ;

Hypothèse2 : les stocks de carbone et d'azote du sol varient selon les systèmes de culture adoptés ;

Hypothèse3 : des différences de stocks de carbone et d'azote peuvent être observées au niveau des différents groupes de sol ferrallitique du Moyen-ouest.

Le rapport comporte quatre parties : (i) la synthèse bibliographique, (ii) les matériels et méthodes, (iii) les résultats et interprétations, (iv) la discussion.

PREMIERE PARTIE :
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 La matière organique du sol : conséquences de sa diminution

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) (Robert, 2002). Les autres facteurs, relatifs à la fertilisation du sol, ou à l'irrigation, agissent de façon indirecte sur la MO en intervenant sur la production (Robert, 2002). Les déterminants du stockage de carbone dans le sol au niveau de la parcelle sont nombreux, dus à la fois, à des facteurs biophysiques (types de sol, en particulier la texture et la minéralogie, et climat) et agronomiques (usage des terres et itinéraires techniques).

I.1.1 Contrôle physique de la dynamique de la matière organique du sol

Pour les facteurs biophysiques, les stocks organiques des sols cultivés sont beaucoup plus déterminés par la texture que par le climat. Les teneurs en matière organique des sols ferrallitiques sont fortement dépendantes de la texture (Boissezon, 1973). La diminution de ces stocks est d'autant plus rapide que le sol est plus sableux (Feller *et al.*, 1991). La teneur en argile du sol est un facteur relativement important et déterminant en termes de stock en matière organique (Feller et Beare, 1997). Zinn *et al.* (2005) ont montré pour des sols du Brésil qu'il existait une relation linéaire entre la concentration de carbone organique du sol et la teneur en argile + limon du sol.

I.1.2 Les modes d'usage des sols et les pertes en matière organique

Le stock de C du sol est fortement dépendant du mode d'usage des terres ou des pratiques culturales. Une modification de ceux-ci peut conduire à des changements importants des stocks de C des horizons de surface des sols, dans le sens d'une diminution ou d'une augmentation (Schuman *et al.*, 2002, *in* Bernoux *et al.*, 2006). En effet, ils peuvent altérer la matière organique apportée au sol, les activités biologiques du sol ainsi que son érodibilité (Feller et Beare, 1997). Le labour est considéré depuis longtemps comme un facteur défavorable au stockage de matière organique dans le sol. Le labour intensif conduit à de sérieuses pertes en carbone, de l'ordre de 30 MgCha⁻¹ (Jantalia *et al.*, 2007 *in* Marchao *et al.*, 2009). Il influence la dynamique de la matière organique à travers le changement du climat du sol et la modification de sa structure (Balesdent *et al.*, 1999). En fait, le labour affecte le climat du sol, en favorisant son aération, et donc il accroît l'activité des microorganismes participant à la minéralisation de la matière organique (Balesdent *et al.*, 2000).

I.1.3 Pertes de matière organique par érosion du sol

Parmi les menaces pesant sur les sols, l'érosion et la diminution de la teneur en matières organiques occupent une place importante (Chenu *et al.*, 2011). Les causes de la diminution de teneur en matière organique du sol ne se limitent pas à la minéralisation de celle-ci mais aussi aux pertes engendrées par l'érosion. En effet, il est reconnu que l'érosion du sol est sélective vis-à-vis des nutriments et des colloïdes. Les premiers éléments exportés par le ruissellement, constitués par les fractions fines accumulées en surface du sol (0-10 cm), sont composées d'argiles et des limons fins (jusqu'à 50 μm), auxquels sont liées les éléments essentiels de la fertilité du sol, tels que les matières organiques (carbone et azote) et le phosphore (Roose, 1981; Moyo, 1998 ; Bertol *et al.*, 2007 in Razafindramanana, 2011).

L'érodibilité des sols est négativement corrélée à sa teneur en matière organique et à la stabilité des agrégats (Feller et Beare, 1997). Les matières organiques augmentent la stabilité des agrégats où elles se trouvent et les agrégats plus stables, à leur tour, protègent les matières organiques qui y sont incorporées, établissant ainsi des relations réciproques complexes entre dynamique de la matière organique et stabilité de l'agrégation (Séguy *et al.*, 2001). Sur les sols agricoles, l'érosion est attribuée principalement à la pratique du labour conventionnel (Razafindramanana, 2011).

I.1.4 Conséquences de la diminution de la matière organique du sol

Les matières organiques jouent un rôle important dans le fonctionnement global du sol à travers ses composantes physiques, biologiques et chimiques, qui ont des conséquences majeures sur la fertilité des sols. En effet, la matière organique améliore d'une part les propriétés physiques des sols et permet par conséquent une bonne infiltration de l'eau, la limitation de ruissellement et de l'érosion et d'autre part, les propriétés chimiques des sols par la fourniture d'éléments nutritifs *via* la dégradation et la minéralisation, l'action sur la capacité d'échange cationique (CEC) du sol en augmentant le stockage et la disponibilité des éléments minéraux. Par ailleurs, la matière organique assure un rôle biologique important par la stimulation des activités biologiques dans le sol conduisant à un processus d'humification important. Or, divers composés issus de ce processus améliorent significativement la situation interne du sol et le processus vital créant la fertilité naturelle et par conséquent la productivité (Huber et Schaub, 2011). Ainsi, la diminution du contenu organique du sol engendrera une baisse de sa fertilité.

I.2 Agriculture de conservation

Pour remédier aux problèmes liés à la diminution de la teneur en matière organique du sol et de sa fertilité, l'agriculture de conservation peut être une solution efficace dans le maintien d'une production agricole durable, en particulier en termes de fertilité et de productivité (Benites *et al.*, 2003 ; Holland, 2004 ; Calegari *et al.*, 2008, *in* Scopel *et al.*, 2012).

L'agriculture de conservation regroupe les systèmes de culture basés sur la combinaison de la réduction du travail du sol, la protection du sol par des résidus organiques et la diversification dans la rotation culturale. L'agriculture de conservation est considérée comme un moyen permettant de réduire le coût de production, l'érosion des sols ainsi que la dégradation de sa fertilité tant en milieu tempéré que tropical (Scopel *et al.*, 2012).

Cela implique le semis direct, les techniques culturales simplifiées ou labour de conservation, le non incorporation des résidus de récolte et les couverts végétaux ou engrais verts (Ravelojaona, 2006).

A Madagascar, le système en semis direct ou SCV est la principale solution préconisée depuis plus d'une vingtaine d'années pour remédier aux problèmes de dégradation des sols et la diminution de sa fertilité.

I.3 Le système de culture sous couverture végétale permanente (SCV)

I.3.1 Définition et principes fondamentaux

Le semis direct sous couverture végétale n'est pas un système de culture nouveau, ses variantes modernes sont héritées de modalités agricoles ancestrales pratiquées notamment dans les régions tropicales humides (Thurston, 1997 ; Dounias, 2001 *in* Rabenarivo, 2011). Le semis direct est un système conservatoire de gestion des sols et des cultures, dans lequel la semence est placée directement dans le sol qui n'est jamais travaillé (Séguy *et al.*, 2001).

Les SCV ont pour principe de base de maintenir et d'améliorer la fertilité du sol tout en optimisant les ressources et de gérer l'exploitation. Ce sont des systèmes qui s'inspirent directement du fonctionnement d'un écosystème forestier, naturellement stable, durable et basé sur une forte activité biologique.

Ils se reposent sur trois principes (Séguy *et al.*, 2009 *in* Rabenarivo, 2011) :

- aucun travail du sol ;
- le sol est couvert de façon permanente par une couverture végétale, morte ou vivante, au travers de laquelle le semis est réalisé, cette protection permanente de la surface du sol

distingue les SCV de la plupart des techniques regroupées dans l'agriculture de conservation ;

- un choix judicieux de successions ou rotations culturales en association avec les plantes de couverture.

I.3.2 Principaux SCV

Selon les caractéristiques des couvertures végétales utilisées, trois types de systèmes SCV peuvent être considérés : à couvertures mortes, à couvertures vivantes et mixtes (Séguy et Bouzinac, 1996, *in* Razafimbelo, 2005).

Les SCV avec couverture morte : la couverture ou *mulch* est issue des résidus de récolte et d'une culture ou interculture de renfort fournissant une importante masse végétale, implantée avant ou après la culture principale ; elle est totalement desséchée aux herbicides totaux avant le semis direct de la culture. Le paillage est soit produit par les résidus de récolte de la culture principale, soit importé d'une autre parcelle ou encore provenant d'une culture secondaire de couverture (espèce à croissance rapide) implantée avant ou après la culture principale. Dans ce type de système, le contrôle de l'érosion, de l'enherbement, l'activité biologique dépendent de la quantité de paille produite (Chabanne, 2003).

Les SCV avec couverture vivante : la couverture est assurée par une plante de couverture ayant un système racinaire puissant et profond, pouvant recycler les nutriments des horizons profonds vers la surface, où ils seront utilisés ultérieurement par les cultures principales. Cette couverture est une espèce fourragère pérenne dont la seule partie aérienne a été desséchée aux herbicides tout en préservant les organes de reproduction végétatifs souterrains. La culture principale est donc implantée sur la couverture dont on a seulement desséché la partie aérienne.

Les SCV mixtes : ce système comporte des successions annuelles avec une culture principale et une seconde culture avec minimum d'intrants (apportant une récolte de grains et une masse végétale importante), associée à une espèce fourragère. Les cultures sont récoltées à la saison des pluies et la culture fourragère permet une production animale en saison sèche.

I.4 SCV et propriétés du sol

I.4.1 Lutte contre l'érosion des sols

Les systèmes SCV contribuent à la diminution des pertes en sol et en éléments nutritifs. En effet, la surface du sol, sans labour, couverte par un *mulch*, est protégée contre les phénomènes d'érosion hydrique et éolienne. Parmi les différents paramètres déterminant l'érodibilité des sols, la couverture du sol est le plus important. La présence d'une couverture herbacée continue sur le sol permet un contrôle total de l'érosion. Elle protège les agrégats en surface de l'action déstabilisante des gouttes de pluies et diminue très fortement le transport de particules solides (Chabanne, 2003).

I.4.2 Conservation de l'eau

La suppression totale du travail du sol et la présence permanente d'un paillis protecteur de résidus modifient les équilibres « infiltration/ ruissellement » ainsi que l'évaporation directe du sol (Scopel *et al.*, 2005). La couverture végétale permanente du sol crée un microclimat régulateur par la diminution de l'évaporation et les amplitudes de température et d'hygrométrie du sol (Séguy *et al.*, 2001).

I.4.3 Amélioration des propriétés physiques et biologiques du sol :

Les SCV permettent l'amélioration de la stabilité structurale grâce à la colonisation profonde du sol par des systèmes racinaires puissants, augmentant ainsi les réserves en eau et en éléments nutritifs accessibles aux plantes (Séguy *et al.*, 2001). La décomposition des couvertures par les organismes vivants du sol favorise la formation d'humus dont le rôle est important dans la stabilisation de la structure. Les plantes de couverture à systèmes racinaires puissants permettent une « décompaction » du sol (Groupe AFD, 2006). L'importante biomasse produite (résidus de la plante cultivée et de la plante de couverture) avec les systèmes SCV permet d'augmenter la teneur en matière organique (MO) (Séguy *et al.*, 2001; Six *et al.*, 2002). En SCV, il y a une réactivation de l'activité biologique grâce aux apports en matière organique fraîche, à la régulation des flux thermiques et hydriques et à la diminution de l'utilisation d'intrants chimiques (Chabanne, 2003). Cette réactivation de la vie biologique est liée à la fois à la présence du *mulch* et au non travail du sol. Du fait de la décomposition lente et permanente des couches inférieures du *mulch*, la vie microbiologique est également intense (Séguy *et al.*, 2001).

I.4.4 Restauration de la fertilité des sols :

Les couvertures mortes participent à la restauration de la fertilité des sols grâce à la fourniture au sol de résidus organiques qui favorisent l'activité microbienne et la minéralisation (Chabanne, 2003). Les plantes de couverture permettent également, par leurs systèmes racinaires, de recycler les éléments nutritifs lixiviés dans les couches profondes du sol pour les rendre accessibles aux prochaines cultures (Groupe AFD, 2006).

Les cations échangeables (Ca, Mg, K), le taux de saturation en cations échangeables, le phosphore extractible, le carbone organique et l'azote total en semis direct sont significativement plus élevés qu'en labour conventionnel jusqu'à 10 cm de profondeur (Oliveira et Pavan, 1998, *in* Raherinindrainy, 2007).

I.5 Le développement du SCV à Madagascar

Les premiers tests de Semis direct sur Couverture Végétale permanente du sol (SCV) datent des années 1990 et se sont inspirés de l'expérience brésilienne pour répondre à la nécessaire modernisation des systèmes de production de céréales à grande échelle. Les SCV sont implantés dans la Grande-Ile dans l'objectif d'améliorer la fertilité des *tanety*, de limiter le phénomène d'érosion hydrique et d'augmenter l'efficacité en eau du sol dans la région semi-aride du sud-ouest de Madagascar. Ils ont débuté sur les Hautes Terres (Antsirabe) avec la mise en place de sites de références ayant pour objectifs de créer, de maîtriser et de reproduire une gamme de systèmes SCV qui sont comparés au système traditionnel sur labour, en termes de performances techniques et économiques.

La création de l'ONG TAFAMA en 1994, avec l'appui du CIRAD, est à l'origine de la mise au point d'une large gamme de SCV et des zones d'essais pour la mise au point de ces systèmes de culture se sont progressivement élargies : dans le Sud-Ouest (Tuléar et Morondava) sous climat semi-aride et sur sol fersialitique, puis le Moyen-Ouest sous climat tropical d'altitude et sur sol ferrallitique sur basalte (Ivory), au Lac Alaotra dans des situations de moyenne altitude et dans le Sud Est sous climat tropical humide et sur sols hydromorphes (Ankepaka) sur basalte (Andasy II) et sur sol ferrallitique hydromorphe à jachère à *Aristida* (Farao-ny) à partir de 1998 suite à un projet financé par l'AFD « Diffusion de systèmes de gestion agrobiologique des sols et des systèmes cultivés à Madagascar » (AFD,2006).

Un réseau national d'institutions, le Groupement Semis direct de Madagascar ou GSDM, a été créé pour coordonner les actions en matière d'agro-écologie et promouvoir une offre technologique adaptée aux grandes zones écologiques de l'île.

Les SCV ne couvrent encore qu'une faible partie du territoire national. Leur introduction dans les systèmes de production agricole du Lac Alaotra vise à diminuer la forte érosion des versants ou *tanety* et donc à limiter l'ensablement des rizières. Dans les Hautes Terres et la région du Sud Est, il s'agit d'accroître la fertilité des *tanety* cultivés et dégradés. Dans le Sud-Ouest, où la pluviométrie est très faible, ces systèmes, grâce au paillage, permettent d'améliorer l'efficacité de l'eau (Razafimbelo, 2005).

DEUXIEME PARTIE :
MATERIELS ET METHODES

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

II.1 Présentation de la zone d'étude

II.1.1 Localisation géographique

La zone d'étude se trouve dans la région du Vakinankaratra, sur les Hautes-terres centrales malgaches. La région de Vakinankaratra est située entre 18° 59' et 20° 03' de latitude Sud et 46° 17' et 47° 19' de longitude Est. Elle est composée de six districts : Ambatolampy, Antanifotsy, Antsirabe I, Antsirabe II, Betafo et Faratsiho dont la capitale administrative est Antsirabe, située à 168 km au sud d'Antananarivo sur la RN7. Elle s'étend sur une superficie de 19.205 km².

L'étude a été effectuée dans le moyen ouest de la région de Vakinankaratra, dans le district de Betafo limité au Nord par les districts de Tsiroanomandidy, de Soavinandriana et de Faratsiho, à l'Est par les districts d'Antsirabe I et d'Antsirabe II, au Sud par les districts d'Ambositra et d'Ambatofinandrahana et à l'Ouest par le district de Miandrivazo. Il comprend dix-huit communes dont trois d'entre elles constituent les zones d'étude : la commune rurale d'Ankazomiriotra, située entre 19° 39' Sud et 46° 30' Est, aux bords de la RN 34 ; la commune rurale de Vinany, située entre 19° 30' Sud de latitude et 46° 28' Est de longitude ; la commune rurale d'Inanantonana située entre 19°38' Sud de latitude et 46° 37' Est de longitude.

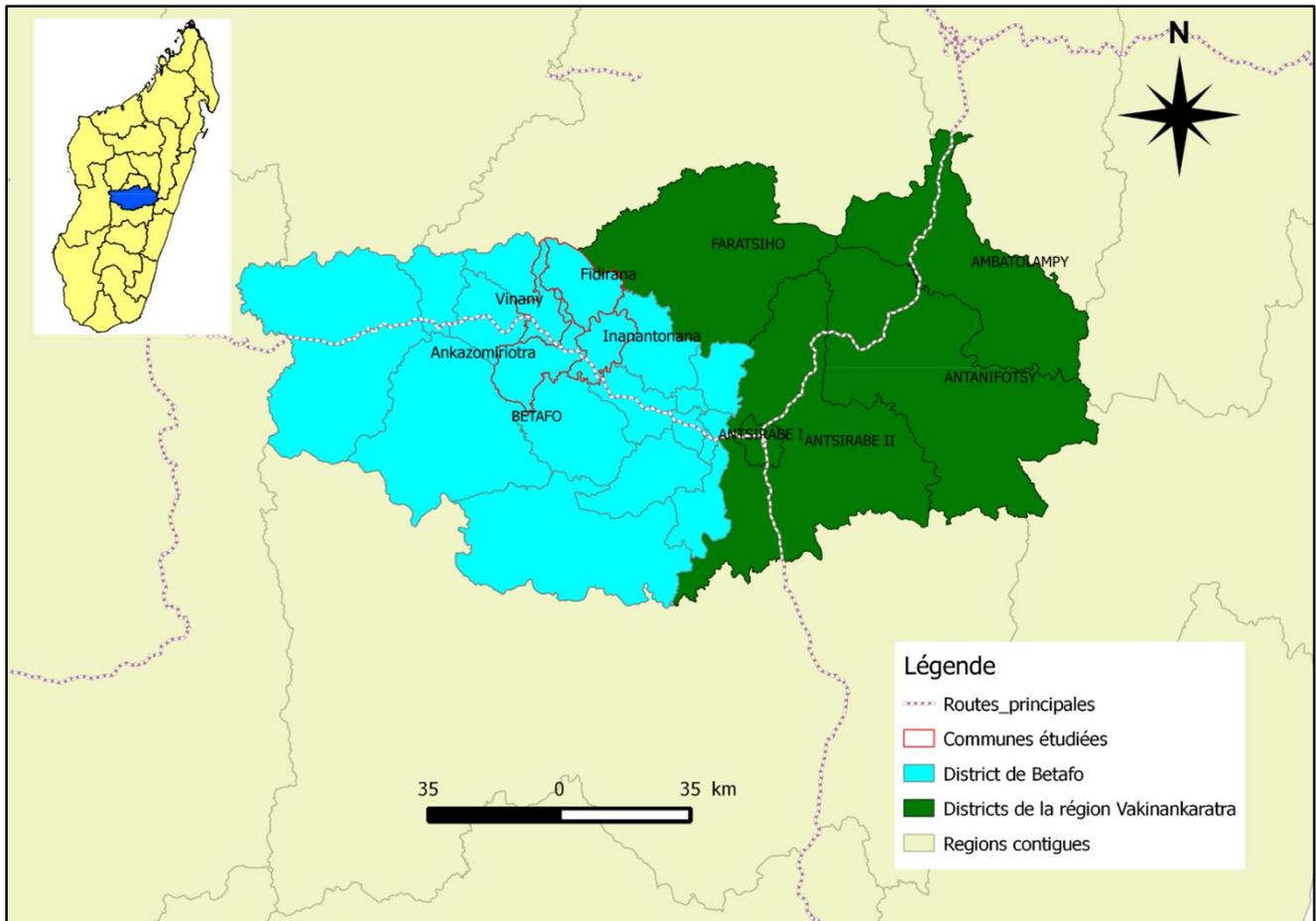


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

Source : Auteur, résultats du SIG

II.1.2 Climat

La région est caractérisée par un climat de type tropical d'altitude. Le climat est marqué par deux saisons contrastées:

- une saison sèche et fraîche, de mai à septembre, avec une précipitation faible de l'ordre de 90mm et une température moyenne mensuelle de 11-12°C.
- une saison chaude et humide, d'octobre à avril, marquée par des précipitations abondantes. La pluviométrie moyenne pendant l'été dépasse 1.200 mm et les températures moyennes mensuelles varient entre 19 et 20°C. La température maximale peut atteindre 32°C.

La température moyenne annuelle est de 16°C avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1400 mm.

II.1.3 Relief

L'altitude du district est en moyenne de 1 250 m. La partie orientale est caractérisée par de nombreux cônes volcaniques et des collines et une altitude plus élevée (plus de 1200m). La partie occidentale a une topographie généralement accidentée avec l'alternance de plateaux caractéristiques du Moyen ouest à une altitude moyenne de 940 m et des massifs granitiques ou quartziques culminant à plus de 1000m. Le relief accidenté et les feux de brousse répétés favorisent la formation de « *lavaka* » dans beaucoup d'endroits.

II.1.4 Végétation et cultures

Les feux de brousse répétés ont fait disparaître les forêts. Les couvertures forestières sont alors réduites à des forêts galeries et des forêts intra-montagnardes, ainsi que de la végétation arborée près des lieux habités. Partout ailleurs, la végétation se présente sous forme d'une savane herbeuse basse dominée essentiellement par *Acteropogon casturtus* (danga) ou *Hyparrhenia ruffa* (vero) et autres graminées et herbacés tels que *Pennisetum pseudotriticoïdes*, *Trachypogon spicatus* ou *Aristida rufescens* sans grand intérêt fourrager (Zebrowski et Ratsimbazafy, 1979). Cette savane herbeuse est communément appelée « *bozaka* ».

Les cultures les plus répandues sont, jusqu'à une altitude de 1800-1900m, le riz et le maïs. En culture traditionnelle, le maïs est souvent associé à une légumineuse telle que le haricot ou l'arachide. Aux altitudes supérieures à 1900m, la température limite l'extension des cultures de riz et de maïs, c'est le domaine de la pomme de terre.

II.1.5 Sols

D'après Zebrowski et Ratsimbazafy (1979), les sols de la région peuvent être classés en quatre types selon l'ancienne classification française des sols (CPCS, 1967) :

sols minéraux bruts : d'origine non climatique d'érosion. Ces sols sont composés de lithosols sur socle cristallin, sur roche volcanique et sur cuirasse ferrugineuse ;

sols peu évolués : tronqués par l'érosion. Ces sols possèdent un profil A-C, et même si les horizons C présentent souvent une altération de type ferrallitique, l'absence d'un horizon B, ne permettait pas de classer ces sols parmi les sols ferrallitiques. Suivant la teneur en matière organique de l'horizon A, on distingue les sols peu évolués humifères et les sols peu évolués non climatiques ;

andosols : riches en produits amorphes silico-alumineux. Ces sols sont observés dans les régions volcaniques sur des matériaux pyroclastiques basiques datant des émissions les plus récentes du volcanisme de l'Ankaratra. On peut distinguer, dans la région, des andosols peu différenciés et des andosols différenciés ;

sols ferrallitiques : caractérisés par un profil A-B-C, l'horizon B de ces sols ne dépasse pas les 150 cm d'épaisseur, alors que l'horizon d'altération C peut atteindre quelques mètres d'épaisseur. Ces sols ont été différenciés en groupe et sous-groupes suivant l'intervention de processus physico-chimiques ou mécaniques (accumulation humifère, allitisation, rajeunissement, remaniement et l'hydromorphie) accompagnant le processus de ferrallitisation. On peut distinguer alors dans la région, les sols ferrallitiques moyennement et fortement désaturés, avec des sous-groupes : humifères, allitiques, rajeunis ou hydromorphes.

La Figure 2 présente une carte pédologique de la zone d'étude.

II.2 Les systèmes de culture étudiés:

II.2.1 Le système conventionnel:

Pour ce système, les terrains de culture sont labourés manuellement avec une *angady*, un outil à percussion lancée, ou avec une charrue attelée, sur une profondeur de 25cm. Le labour est effectué soit en fin du cycle cultural c'est-à-dire après récolte (vers les mois de juin à juillet) soit au début de la saison de pluies (mois de novembre). Le semis se fait généralement par poquets distants d'environ 20cm. La fertilisation se limite à l'utilisation de fumier de bovin à raison de 5T/ha. Les résidus de récolte sont exportés de la parcelle pour l'alimentation animale. Les systèmes observés dans la zone d'étude sont :

- **SC₁** : système conventionnel de labour composé de haricot (*Phaseolus vulgaris*) en rotation annuelle avec maïs, pois de terre, riz pluvial, patate douce ou arachide ;
- **SC₂** : système conventionnel de labour composé de maïs (*Zea mays* L.) en culture continue ;
- **SC₃** : système conventionnel de labour composé de riz pluvial (*Oryza sativa* L.) en association avec du maïs (*Zea mays* L.) ;
- **SC₄** : système conventionnel de labour composé de riz pluvial (*Oryza sativa* L.) en culture continue ;
- **SC₅** : système conventionnel de labour composé de arachide (*Arachis hypogea*) en culture continue ;
- **SC₆** : système conventionnel de labour composé de maïs (*Zea mays* L.) en association avec du voandzou (*Vigna subterranea*) ;

- **SC₇** : système conventionnel de labour composé de maïs (*Zea mays* L.) en association avec de l'arachide (*Arachis hypogea*) ;
- **SC₈** : système conventionnel de labour composé d'une rotation jachère / culture annuelle.

II.2.2 Les systèmes de culture sous couverture végétale permanente ou SCV :

Pour ces systèmes, le travail du sol est dû aux activités biologiques assurées par les plantes de couverture (*Stylosanthes sp*) et la faune des sols. Pour cette étude, les SCV étudiés sont des SCV avec couverture vivante, le semis se fait ainsi manuellement sous la couverture après roulage mécanique. La fertilisation est composée de fumier de bovin (5T/ha) associé à une fumure minérale composée de NPK (11-22-16) à raison de 80kg ha^{-1} . Les résidus de récolte ne sont pas restitués sur la parcelle.

Les systèmes observés dans la zone d'étude sont (cf. annexe 7) :

- **SCV₁** : système en semis direct composé de riz pluvial (*Oryza sativa* L.) sous une couverture vivante de *Stylosanthes sp* ;
- **SCV₂** : système en semis direct composé de maïs (*Zea mays* L.) sous une couverture vivante de *Stylosanthes sp* ;
- **SCV₃** : système en semis direct composé de maïs (*Zea mays* L.) associé à une culture de riz pluvial (*Oryza sativa*) sous une couverture vivante de *Stylosanthes sp* ;
- **SCV₄** : système en semis direct constitué par une jachère de *Stylosanthes sp* en deuxième ou troisième année.

II.3 Travaux de terrain

II.3.1 Inventaire et localisation des parcelles

Les coordonnées géographiques des parcelles ont été obtenues par relevés GPS. Ces coordonnées ont permis de localiser les parcelles sur lesquelles les prélèvements ont été effectués. Elles permettent également de faire une représentation sur une carte des points de prélèvements afin d'avoir une idée de leur distribution spatiale.

II.3.2 Echantillonnage :

Les prélèvements d'échantillons de sol ont été réalisés sur 100 parcelles paysannes (Figure 2), dont 46 sous SCV et 54 sous système conventionnel de labour, ceci pour pouvoir faire une comparaison des stocks de C et N du sol en fonction des modes d'usage des terres.

Les points de prélèvements ont été choisis de manière à ce qu'ils soient représentatifs des zones d'étude en termes de distribution spatiale. En d'autres termes, les points de prélèvements sont éloignés les uns des autres et sont répartis de façon homogène dans les trois communes afin de pouvoir établir une représentation cartographique des données sur les stocks de C et N de ces zones d'étude.

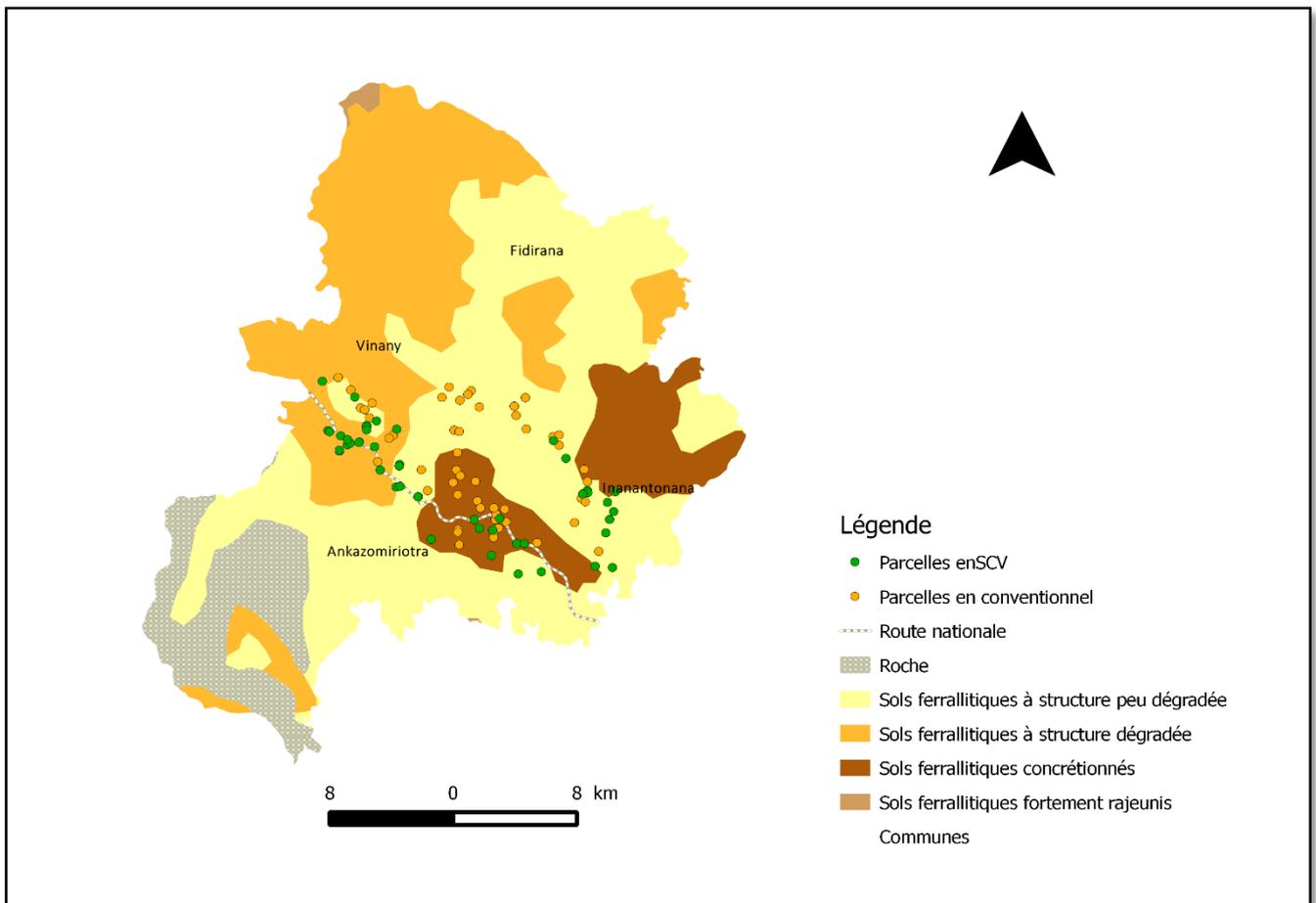


Figure 2 : Carte pédologique de la zone d'étude et localisation des points de prélèvements

Source : Auteur, résultats du SIG

II.3.3 Prélèvements d'échantillons composites

Les prélèvements de sol sur chaque parcelle ont été effectués à l'aide d'un carottier à moteur (*Atlas Copco Cobra TT* de diamètre intérieur 8,9 cm) sur une profondeur de sol de un mètre. Pour chaque parcelle, quatre répétitions ont été effectuées sur chaque extrémité d'un carré de

10m de côté. Les cinq horizons prélevés sont 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm, 50-60cm et 80-90cm. Les sols prélevés sur un horizon identique ont été mélangés pour avoir des échantillons composites sur lesquelles les analyses en laboratoire ont été effectuées. Les aliquotes, non mélangées, sont gardées séparément.

Pour notre étude, nous n'avons analysé que les échantillons de surface 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm. L'horizon 0-30 cm est considéré comme la couche de référence par le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) pour suivre l'évolution des stocks de C des sols (IPCC, 2007).

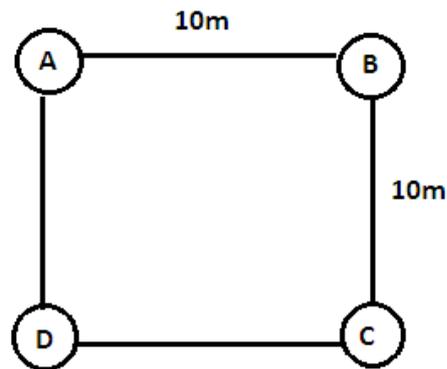


Figure 3 : carré de prélèvement



Cliché 1 : Prélèvement de sol par carottage

Source : Auteur, 2013

II.3.4 Prélèvement d'échantillon pour la densité apparente

La mesure de la densité apparente a été réalisée sur une fosse de 40cmx40cmx40cm à l'aide d'un cylindre de 8,1cm de diamètre sur une hauteur de 9,8cm sur les trois profondeurs du sol 0-10cm, 10-20cm et 20-30cm. Pour chaque horizon, une aliquote d'environ 20g a été prélevée et mise dans un sachet étuvable pour déterminer l'humidité du sol.



Cliché 2: Prélèvement de sol au cylindre

Source : Auteur, 2013

II.4 Travaux d'analyses en laboratoire :

II.4.1 Séchage, tamisage et broyage

Les échantillons composites ont été séchés sous serre pendant environ 15 jours avant d'être tamisés à 2mm. Les refus (cailloux et autres matières inertes) ont été éliminés du lot. A partir des échantillons tamisés à 2mm, une aliquote d'environ 30g a été broyée à 0,2 mm et a été mise en sachet étiqueté pour le dosage de C et N totaux.

II.4.2 Dosage du carbone et de l'azote

Les teneurs en azote (N) et en carbone (C) totaux ont été déterminées sur l'aliquote des échantillons broyés à 0,2 mm. La détermination se fait par un microanalyseur élémentaire CHN (Carlo Erba NA 2000) après combustion par voie sèche. Il s'agit d'une méthode d'analyse de

C et N par chromatographie en phase gazeuse. Des échantillons, de poids inférieur à 100mg, sont pesés au 1/10 de mg, mis dans des capsules en étain et passés dans un four (à 1050°C) en condition oxydante. Le carbone et l'azote des échantillons sont transformés respectivement en CO₂ et divers oxydes d'azote réduit en azote moléculaire. Les gaz ainsi obtenus sont dosés par chromatographie en phase gazeuse. Les éléments carbone et azote sont dosés simultanément et rapidement.

II.4.3 Détermination de la densité apparente

La densité apparente est obtenue par le rapport entre le poids sec net de l'échantillon et son volume, exprimée en g cm⁻³.

$$Da(\text{g cm}^{-3}) = \frac{\text{Poids sec net de l'échantillon(g)}}{\text{Volume de l'échantillon à l'état humide (cm}^3\text{)}}$$

Équation 1: Formule de la densité apparente du sol

Le volume du sol a été déterminé à partir de celui du cylindre utilisé durant les prélèvements et qui est connu (504,99 cm³). Les échantillons de sol prélevés sur les trois profondeurs ont été pesés pour avoir leurs poids frais. L'aliquote d'environ 20g qui correspond à chacun des échantillons a été également pesée puis mise en étuve à 105°C pendant 48heures et repesée après étuvage pour avoir le poids sec. Et c'est à partir de ce poids sec que le taux d'humidité des sols a été calculé ainsi que le poids sec net des échantillons pour aboutir au calcul de la densité apparente.

II.4.4 Méthode de calcul des stocks de carbone et d'azote du sol :

Pour calculer les stocks en C et N du sol, la formule suivante a été utilisée :

$$St = C * Da * e * 0,1$$

Équation 2: Formule du stock de carbone du sol

St= stock de carbone dans le sol (MgC.ha⁻¹)

C= teneur en carbone de la couche du sol (gC.kg⁻¹ de sol)

Da=densité apparente du sol (g.cm⁻³)

e = épaisseur de la couche (cm)

Et pour l'azote :

$$\mathbf{St = N * Da * e * 0,1}$$

Équation 3: Formule du stock d'azote du sol

St= stock d'azote dans le sol (MgN.ha⁻¹)

N= teneur en azote du sol (gN.kg⁻¹ de sol)

Da=densité apparente du sol (g.cm⁻³)

e = épaisseur de la couche (cm)

Pour la profondeur 0-30cm, les stocks de carbone et d'azote du sol ont été calculés sur une base de « masse équivalente », il s'agit de calculer les stocks dans la masse d'un horizon standard ou témoin ayant la plus faible masse de sol (Ellert et Bettany, 1995). Cette masse est appelée masse de référence. Pour cela, la formule suivante a été appliquée :

$$\mathbf{StC \acute{e}q = \frac{\sum Ci * \sum MRi}{\sum Mi}}$$

Équation 4 : Formule du stock de C à profondeur équivalente

StC éq= stock à masse équivalente (Mg C ha⁻¹)

∑Ci=somme des stocks des horizons 0-10cm, 10-20cm et 20-30cm (Mg C ha⁻¹)

∑MRi= somme des masses de sol de référence (t ha⁻¹)

∑Mi= somme des masses de sol pour l'horizon équivalent (t ha⁻¹)

La masse de sol est donnée par la formule suivante :

$$\mathbf{M = Da * e * 100}$$

Équation 5 : Formule de la masse équivalente de sol

M= masse du sol (t ha⁻¹)

Da=densité apparente (g cm⁻³)

e= épaisseur de la couche (cm)

La même formule a été appliquée pour le stock d'azote à masse équivalente et à profondeur équivalente.

II.5 Analyses statistiques des données

Les résultats d'analyses au laboratoire sur les teneurs en carbone et azote des échantillons ainsi que les stocks calculés ont été traités et analysés pour l'interprétation. Les résultats ont été évalués par mode de gestion de sol, par horizon et par type de sol.

Ces données sont analysées par des tests non paramétriques afin de s'affranchir de l'hypothèse de normalité des données : test de comparaison de deux échantillons de Mann-Whitney et test de Kruskal-Wallis couplé avec le test de comparaisons multiples de Dunn. La règle de décision est dictée par la valeur *p-value* calculée qui désigne le risque d'erreur encourue en rejetant H_0 alors qu'elle est vraie. Si *p-value* est inférieure à la valeur de α alors, au moins une différence significative existe au niveau des résultats.

Les résultats sont présentés sous forme de « *Box plot* » afin de présenter tous les paramètres calculés : moyenne, médiane, les valeurs minimale et maximale, quartiles des variables étudiées.

Tous les traitements statistiques des données ont été effectués sous XL STAT 2008 au seuil de risque $\alpha=0,05$.

TROISIEME PARTIE :
RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

III.1 Les densités apparentes du sol

Pour l'ensemble des échantillons, la densité apparente est comprise entre un minimum de $0,9 \text{ g cm}^{-3}$ et un maximum de $1,53 \text{ g cm}^{-3}$ avec une moyenne de $1,18 \text{ g cm}^{-3}$. Pour les deux situations SCV et conventionnel, les densités apparentes sur les trois profondeurs sont données dans le tableau 1 :

Tableau 1 : Densités apparentes du sol pour les deux systèmes sur les trois profondeurs

Profondeur	SCV	Conventionnel
0-10cm	$1,11 \pm 0,10 \text{aA}$	$1,13 \pm 0,10 \text{aA}$
10-20cm	$1,17 \pm 0,10 \text{aB}$	$1,18 \pm 0,11 \text{aB}$
20-30cm	$1,23 \pm 0,09 \text{aC}$	$1,21 \pm 0,12 \text{aC}$

*Les moyennes suivies d'une lettre minuscule différente dans une même ligne et celles suivies d'une lettre majuscule différente dans une même colonne diffèrent significativement au seuil $\alpha=0,05$

D'après le tableau 1, les densités apparentes des deux systèmes, SCV et conventionnel, ne présentent pas de différence significative sur les trois profondeurs (cf. Annexe1).

Par contre, les densités apparentes augmentent vers la profondeur et sont significativement différentes ($p\text{-value} < 0,0001$) pour les trois profondeurs 0-10cm, 10-20cm et 20-30cm tant pour le SCV que conventionnel (figure 4).

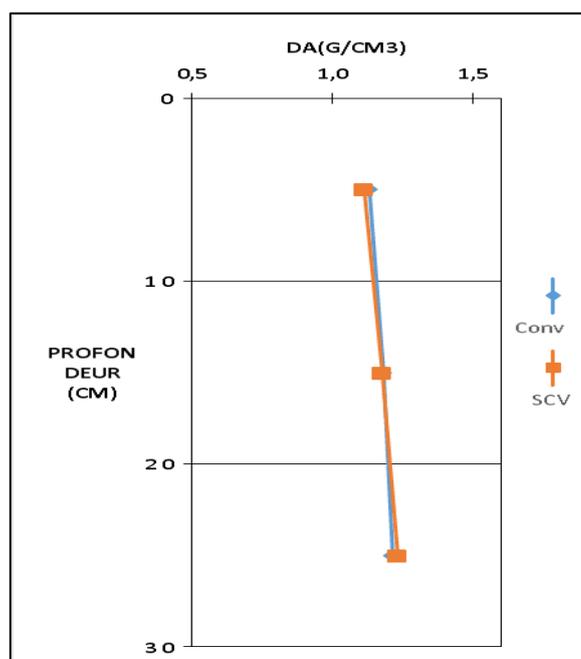


Figure 4 : Profil de la densité apparente du sol des deux systèmes

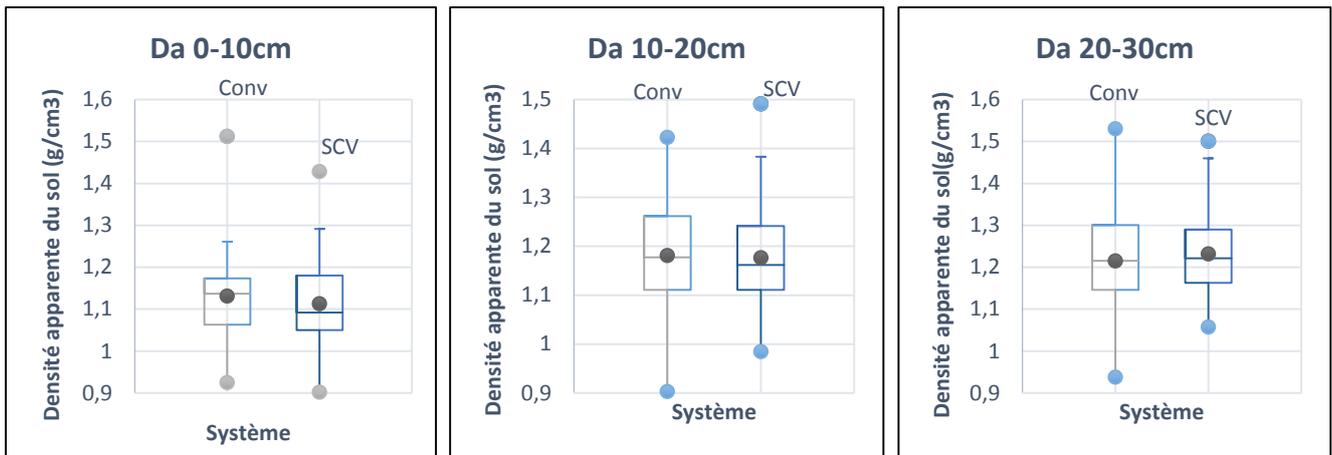


Figure 5 : Distribution de la densité apparente par système et par profondeur

Pour l'horizon 0-10cm, la moyenne et la médiane se superposent pour le conventionnel tandis que pour le SCV, la moyenne est légèrement supérieure à la médiane. Pour les deux horizons 10-20cm et 20-30cm, les moyennes et les médianes sont très proches pour les deux systèmes. La moitié des échantillons ont des Da inférieures à $1,17 \text{ g cm}^{-3}$ pour le conventionnel et inférieure à $1,16 \text{ g cm}^{-3}$ pour le SCV sur 10-20cm. Sur la profondeur 20-30cm, la moitié des échantillons ont des Da inférieures à $1,21 \text{ g cm}^{-3}$ en conventionnel et inférieure à $1,22 \text{ g cm}^{-3}$ en SCV.

Les Da varient également suivant le type de sol, les sols ferrallitiques concrétionnés ont la Da la plus élevée avec une moyenne de $1,20 \text{ g cm}^{-3}$. Les deux autres types qui sont les sols ferrallitiques à structure dégradée et ceux à structure peu dégradée ont une moyenne identique de $1,16 \text{ g cm}^{-3}$. Les sols ferrallitiques à structure dégradée forment un groupe intermédiaire entre les ferrallitiques concrétionnés et ceux à structure peu dégradée (Figure 6) (cf. Annexe 1).

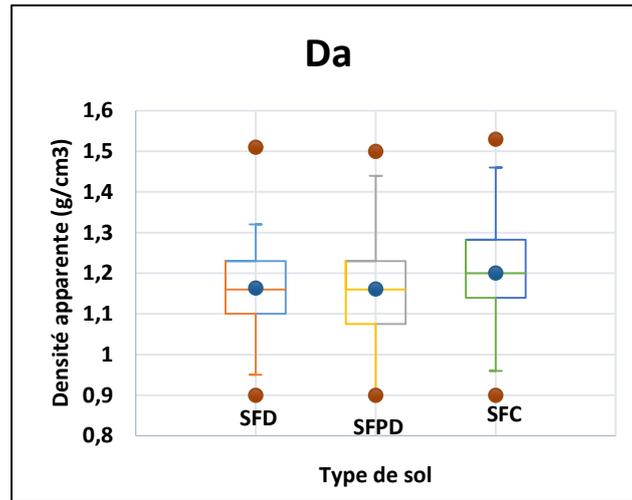


Figure 6 : Distribution de densité apparente par groupe de sol

NB : **SFD** = sols ferrallitiques rajeunis à structure dégradée, **SFPD** = sols ferrallitiques rajeunis à structure peu dégradée, **SFC** = sols ferrallitiques concrétionnés

Les valeurs des D_a s'étendent entre un minimum de $0,90 \text{ g cm}^{-3}$ qui est identique pour les trois groupes de sol et des maximums respectivement de $1,53 \text{ g cm}^{-3}$, $1,51 \text{ g cm}^{-3}$ et $1,50 \text{ g cm}^{-3}$ pour les ferrallitiques concrétionnés, ferrallitiques à structure dégradée et ferrallitiques à structure peu dégradée. Pour les trois groupes de sol, les médianes et les moyennes se superposent, ce qui signifie que la moitié des échantillons ont une densité inférieure à la moyenne pour chaque groupe de sol correspondant.

III.2 Teneurs en carbone et en azote du sol

III.2.1 Teneur en carbone du sol

Les teneurs en carbone du sol pour les deux systèmes sur les trois profondeurs sont données dans le tableau 2 :

Tableau 2: Teneur en C des deux systèmes (moyenne \pm écart-type)

Profondeur	SCV	Conventionnel
0-10cm	20,92 \pm 5,95aA	17,44 \pm 4,86bA
10-20cm	14,53 \pm 5,13aB	12,69 \pm 4,28aB
20-30cm	10,85 \pm 5,48aC	9,56 \pm 3,80aC

*Les moyennes suivies d'une lettre minuscule différente dans une même ligne et celles suivies d'une lettre majuscule différente dans une même colonne diffèrent significativement au seuil $\alpha=0,05$

La différence entre les deux systèmes en termes de teneur en carbone s'observe uniquement pour l'horizon 0-10cm ($p\text{-value}=0,007$) mais pour les deux horizons sous-jacents, aucune différence n'est observée (cf. tableau 1). La teneur est plus élevée en surface pour SCV que pour conventionnel respectivement de $20,92 \text{ g kg}^{-1}$ et $17,44 \text{ g kg}^{-1}$ (cf. Annexe 1).

Les teneurs en carbone du sol diminuent suivant la profondeur pour les deux systèmes. D'après le Tableau 1, les teneurs sont plus élevées pour le SCV que pour le système conventionnel, les valeurs passent de $20,92\text{g kg}^{-1}$ en surface à $10,85\text{g kg}^{-1}$ pour l'horizon 20-30cm pour SCV contre $17,44\text{g kg}^{-1}$ en surface à $9,56\text{g kg}^{-1}$ pour 20-30cm en conventionnel (Figure 7).

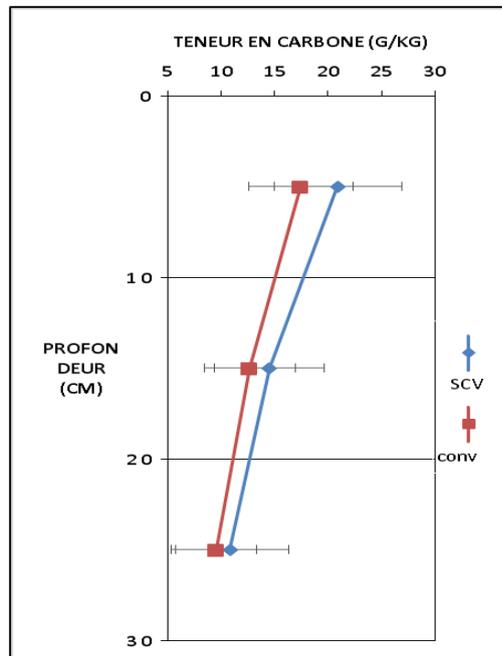


Figure 7 : Profil de la teneur en carbone du sol des deux systèmes

Les moyennes sont égales aux médianes pour les deux systèmes pour l'horizon 0-10cm, la moitié des échantillons ont des teneurs inférieures à $20,92\text{g kg}^{-1}$ pour le SCV et $17,44\text{g kg}^{-1}$ pour le conventionnel. Pour les deux horizons sous-jacents, les moyennes sont supérieures aux médianes et 50% des échantillons en SCV présentent des teneurs inférieures à $13,86\text{g kg}^{-1}$ pour 10-20cm et inférieures à $9,75\text{g kg}^{-1}$ pour l'horizon 20-30cm, pour le système conventionnel 50% des échantillons ont des teneurs en carbone inférieures à $11,78\text{g kg}^{-1}$ sur 10-20cm et inférieures à $9,04\text{g kg}^{-1}$ pour 20-30cm.

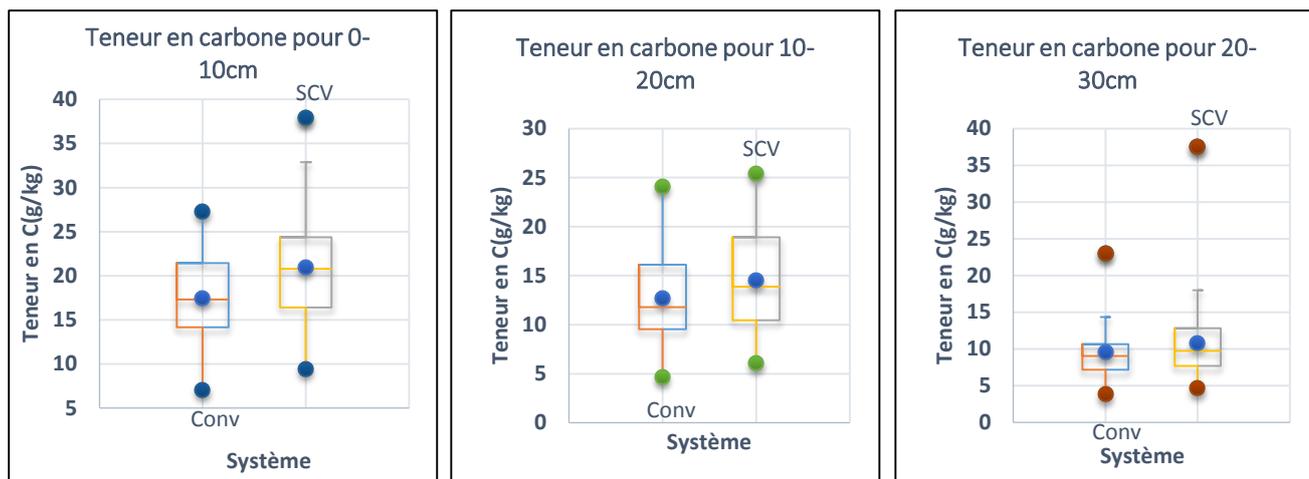


Figure 8 : Distribution des teneurs en C par système et par profondeur

Les teneurs en carbone des trois groupes de sols ferrallitiques sur les trois profondeurs d'analyse sont données dans le Tableau 3 :

Tableau 3: Teneur en C des trois groupes de sol (moyenne \pm écart-type)

Profondeur	SFD	SFPD	SFC
0-10cm	21,06 \pm 5,93aA	19,42 \pm 5,54aA	17,26 \pm 5,23aA
10-20cm	13,52 \pm 4,30aB	14,11 \pm 5,13aB	12,67 \pm 4,41aB
20-30cm	10,23 \pm 3,49aC	10,53 \pm 5,81aC	9,53 \pm 3,08aC

*Les moyennes suivies d'une lettre minuscule différente dans une même ligne et celles suivies d'une lettre majuscule différente dans une même colonne diffèrent significativement au seuil $\alpha=0,05$)

D'après le Tableau 2, aucune différence de teneurs en carbone n'est observée pour les trois groupes de sol sur les trois profondeurs d'analyse. Néanmoins, le teneur en surface la plus élevée est enregistrée pour les ferrallitiques à structure dégradée et les ferrallitiques concrétionnés ont la teneur la plus faible (cf. Annexe 1).

III.2.2 Teneur en azote du sol

Les teneurs en azote du sol pour les deux systèmes sur les trois profondeurs 0-10cm, 10-20cm et 20-30cm sont données par le tableau 4 :

Tableau 4 : Teneur en N des systèmes (moyenne \pm écart-type)

Profondeur	SCV	Conventionnel
0-10cm	1,60 \pm 0,54aA	1,27 \pm 0,59bA
10-20cm	1,14 \pm 0,40aB	1,06 \pm 0,67bB
20-30cm	0,94 \pm 0,40aC	0,79 \pm 0,27bC

*Les moyennes suivies d'une lettre minuscule différente dans une même ligne et celles suivies d'une lettre majuscule différente dans une même colonne diffèrent significativement au seuil $\alpha=0,05$)

Les teneurs diffèrent significativement pour les deux systèmes sur les trois profondeurs (cf. tableau 3) avec respectivement $p\text{-value} < 0,0001$, $p\text{-value} = 0,006$ et $p\text{-value} = 0,02$ pour les profondeurs 0-10cm, 10-20cm et 20-30cm (cf. Annexe 1).

Les teneurs en azote du sol diminuent vers la profondeur pour les deux systèmes. Le système SCV affiche des valeurs plus élevées par rapport au conventionnel, elles sont de $1,60\text{g kg}^{-1}$ en surface et diminuent à $0,94\text{g kg}^{-1}$ pour l'horizon 20-30cm tandis que pour le conventionnel, les teneurs passent de $1,27\text{g kg}^{-1}$ en surface à $0,79\text{g kg}^{-1}$ pour 20-30cm (figure 9).

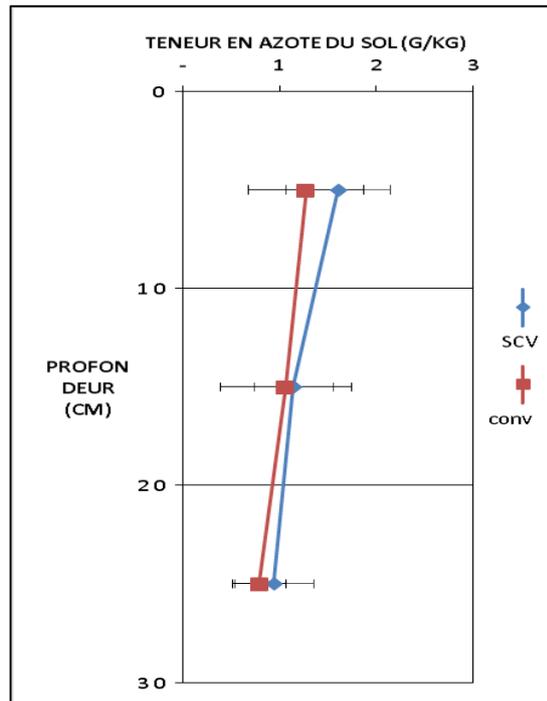


Figure 9 : Profil de la teneur en azote du sol des deux systèmes

La moyenne est supérieure à la médiane pour le conventionnel sur la profondeur 0-10cm tandis qu'elle se superpose avec la médiane pour le SCV. La moitié des échantillons ont des teneurs en azote inférieures à $1,10\text{g kg}^{-1}$ pour le système conventionnel et inférieures à $1,58\text{g kg}^{-1}$ pour le SCV.

Pour l'horizon 10-20cm, la médiane est inférieure à la moyenne pour le conventionnel et la moitié des échantillons présentent des teneurs en azote inférieures à $0,88\text{g kg}^{-1}$, par contre en SCV, la médiane et la moyenne se superposent et la moitié des échantillons ont des teneurs inférieures à $1,14\text{g kg}^{-1}$. Pour l'horizon 20-30cm, les médianes se superposent avec les moyennes pour les deux systèmes, 50% des échantillons en SCV ont des teneurs en azote inférieures à $0,91\text{g.kg}^{-1}$ et 50% des échantillons en conventionnel ont des teneurs inférieures à $0,73\text{g kg}^{-1}$ (figure 10).

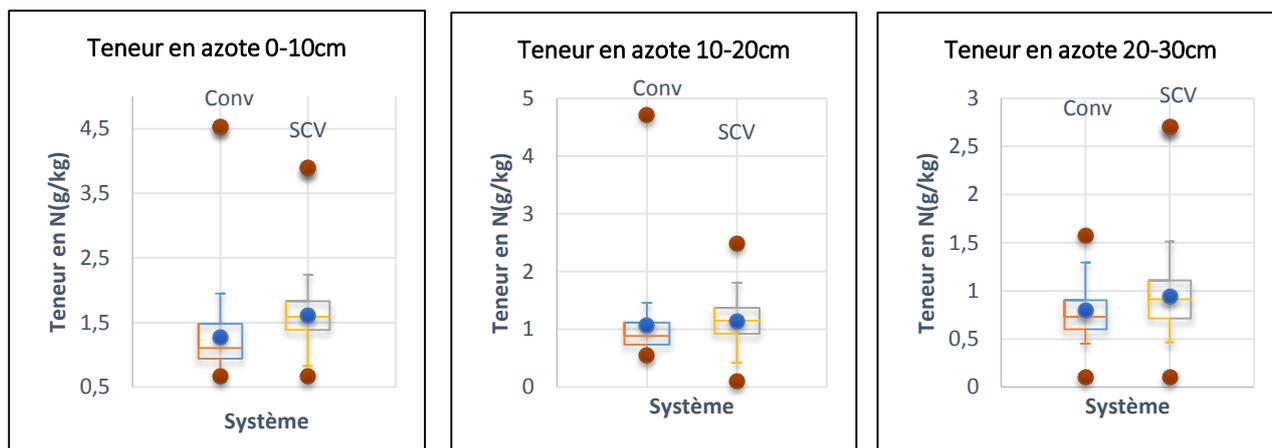


Figure 10 : Distribution des teneurs en N par système et par profondeur

Le tableau 5 donne les teneurs en azote des trois groupes de sol sur les trois profondeurs d'analyse :

Tableau 5 : Teneur en N des groupes de sol (moyenne \pm écart-type)

Profondeur	SFD	SFPD	SFC
0-10cm	1,63 \pm 0,51aA	1,44 \pm 0,69aA	1,27 \pm 0,39aA
10-20cm	1,18 \pm 0,59aB	1,15 \pm 0,68aB	0,97 \pm 0,28aB
20-30cm	0,94 \pm 0,30aC	0,85 \pm 0,41aC	0,80 \pm 0,23aC

*Les moyennes suivies d'une lettre minuscule différente dans une même ligne et celles suivies d'une lettre majuscule différente dans une même colonne diffèrent significativement au seuil $\alpha=0,05$

Les teneurs en azote des trois groupes de sol ne diffèrent pas significativement sur les trois profondeurs d'analyse (cf. tableau 5), les *p-value* sont respectivement de 0,052, 0,33 et 0,22 pour les profondeurs 0-10cm, 10-20cm et 20-30cm (cf. Annexe 1).

III.3 Stocks de carbone et d'azote du sol

III.3.1 Stock de carbone du sol

Les stocks de carbone du sol pour les deux systèmes sur les trois profondeurs sont donnés dans le tableau 6 :

Tableau 6 : Stocks de C en Mg ha⁻¹ des systèmes par profondeur (moyenne \pm écart-type)

Profondeur	SCV	Conventionnel
0-10cm	23,08 \pm 6,15aA	19,59 \pm 5,13bA
10-20cm	17,08 \pm 6,034aB	14,85 \pm 4,66aB
20-30cm	13,49 \pm 7,15aC	11,58 \pm 4,42aC

*Les moyennes suivies d'une lettre minuscule différente dans une même ligne et celles suivies d'une lettre majuscule différente dans une même colonne diffèrent significativement au seuil $\alpha=0,05$

Le tableau 6 montre que la différence de stock de carbone entre les deux systèmes s'observe uniquement en surface ($p\text{-value}=0,01$) mais pour les deux horizons sous-jacents, aucune différence n'est observée. Les valeurs sont plus élevées sous SCV que sous conventionnel (cf. Annexe 2).

Les valeurs des stocks de carbone diminuent vers la profondeur tant pour le SCV que pour le système conventionnel avec des valeurs allant de 23,08Mg ha⁻¹ en surface à 13,49 Mg ha⁻¹ sur la profondeur 20-30cm en SCV et des stocks de 19,59 Mg ha⁻¹ en surface à 11,58 Mg ha⁻¹ sur 20-30cm en conventionnel (figure 11).

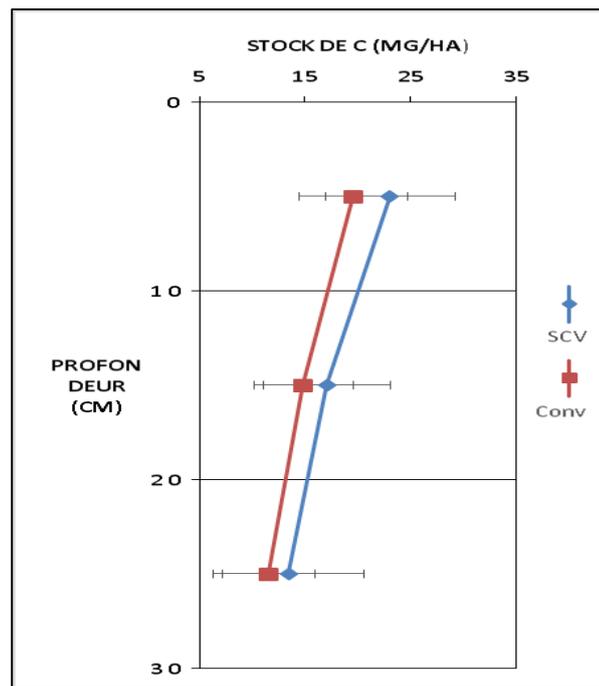


Figure 11 : Profil de stock de C du sol pour les deux systèmes

Pour le système conventionnel, la moyenne est inférieure à la médiane sur la profondeur 0-10cm, la moitié des échantillons affichent des stocks inférieurs à 20,17Mg ha⁻¹. Par contre, pour le SCV, la moyenne est supérieure à la médiane et la moitié des échantillons ont des stocks inférieurs à 22,42 Mg ha⁻¹. Sur la profondeur 10-20cm, la moyenne et la médiane se superposent pour le conventionnel et 50% des échantillons ont des stocks inférieurs à 14,85Mg ha⁻¹. Pour le SCV, la médiane est inférieure à la moyenne, la moitié des stocks de carbone sont inférieurs à 16,84 Mg ha⁻¹. Les moyennes sont supérieures aux médianes pour les deux systèmes sur la profondeur 20-30cm, la moitié des stocks de carbone en conventionnel sont inférieurs à 11,03Mg ha⁻¹ et la moitié des stocks en SCV inférieurs à 12,15 Mg ha⁻¹ (figure 12).

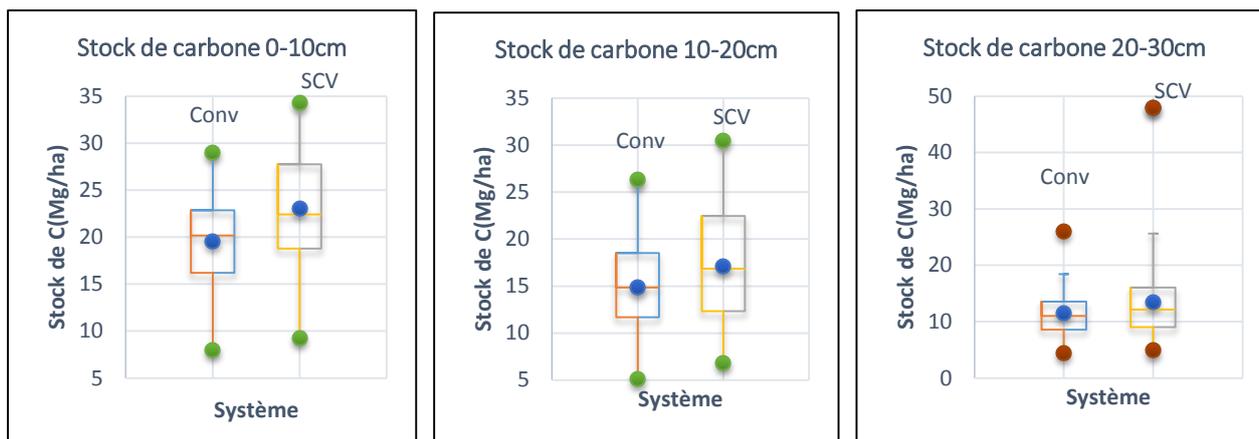


Figure 12 : Distribution des stocks de carbone par système et par profondeur

Tableau 7 : Stock de carbone du sol exprimé à masse équivalente sur 0-30cm (moyenne \pm écart-type)

Système	Stock de C équivalent 0-30cm	
	Masse de référence (Mg ha ⁻¹)	Stock de C (Mg C ha ⁻¹)
SCV	3 313	49,45 \pm 6,49a
Conventionnel	3 313	43,42 \pm 5,26a

*Les moyennes suivies d'une lettre minuscule différente dans une même colonne diffèrent significativement au seuil $\alpha=0,05$ (test de Mann-Whitney)

Sur la profondeur 0-30cm, le stock de carbone sous SCV est de l'ordre de 49,45Mg ha⁻¹ et 43,42Mg ha⁻¹ pour le conventionnel. Néanmoins, les tests statistiques ne permettent pas de mettre en évidence une différence significative entre ces deux systèmes (p -value=0,17) (Tableau 7) (cf. Annexe 5).

Le tableau 8 montre les stocks de carbone pour les trois groupes de sols ferrallitiques sur les trois profondeurs d'analyse :

Tableau 8 : Stock de carbone des trois groupes de sol (moyenne \pm écart-type)

Profondeur	SFC	SFD	SFPD
0-10cm	19,27 \pm 5,66aA	23,29 \pm 4,91aA	21,64 \pm 6,06aA
10-20cm	15,32 \pm 5,02aB	15,59 \pm 4,85aB	16,36 \pm 5,93aB
20-30cm	12,05 \pm 3,86aC	12,35 \pm 4,43aC	12,77 \pm 7,37aC

*Les moyennes suivies d'une lettre minuscule différente dans une même ligne et celles suivies d'une lettre majuscule différente dans une même colonne diffèrent significativement au seuil $\alpha=0,05$

Les stocks de carbone varient de 12,05 Mg ha⁻¹ à 23,29 Mg ha⁻¹ selon le type de sol et l'horizon considérés. Les sols ferrallitiques rajeunis à structure dégradée affichent les stocks les plus élevés en surface avec 23,29Mg ha⁻¹ tandis que les ferrallitiques concrétionnés ont les plus faibles stocks avec 19,27 Mg ha⁻¹. Cependant, aucune différence significative n'est observée entre les trois groupes de sol sur les trois profondeurs (cf. tableau 8) (cf. Annexe 2).

Tableau 9 : Stock de carbone du sol exprimé à masse équivalente sur 0-30cm pour les trois groupes de sol (moyenne \pm écart-type)

Type de sol	Stock de C équivalent 0-30cm	
	Masse de référence (Mg ha ⁻¹)	Stock de C (Mg C ha ⁻¹)
SFC	3 205	47,97 \pm 13,92a
SFD	3 205	46,19 \pm 8,65 a
SFPD	3 205	48,97 \pm 6,89 a

**Les moyennes suivies d'une lettre minuscule différente dans une même colonne diffèrent significativement au seuil $\alpha=0,05$ (test de Kruskal-Wallis)*

Sur la profondeur 0-30cm, les sols ferrallitiques à structure peu dégradée affichent les stocks les plus élevés et les ferrallitiques à structure dégradée ont les stocks les plus faibles, cependant les tests statistiques montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les trois groupes de sol (p -value=0,78) (cf. Annexe 6).

III.3.2 Stock d'azote du sol

Les stocks d'azote du sol pour les deux systèmes sur les trois profondeurs sont donnés par le tableau 10 :

Tableau 10 : Stock d'azote du sol en Mg ha⁻¹ des deux systèmes par profondeur (moyenne \pm écart-type)

Profondeur	SCV	Conventionnel
0-10cm	1,77 \pm 0,55aA	1,43 \pm 0,67bA
10-20cm	1,34 \pm 0,47aB	1,25 \pm 0,79bB
20-30cm	1,17 \pm 0,52aC	0,94 \pm 0,32bC

**Les moyennes suivies d'une lettre minuscule différente dans une même ligne et celles suivies d'une lettre majuscule différente dans une même colonne diffèrent significativement au seuil $\alpha=0,05$*

Les stocks d'azote sont significativement différents pour les deux systèmes SCV et conventionnel sur les trois profondeurs d'analyse avec des valeurs plus élevées sous SCV que sous conventionnel (cf. tableau 10) (cf. Annexe 2).

Les stocks d'azote diminuent vers la profondeur pour les deux systèmes, le système SCV affiche des stocks plus élevés avec 1,77Mg ha⁻¹ en surface à 1,17Mg ha⁻¹ sur la profondeur 20-30cm par rapport au système conventionnel avec un stock en surface de 1,43Mg ha⁻¹ et 0,94 Mg ha⁻¹ sur 20-30cm(Figure 13).

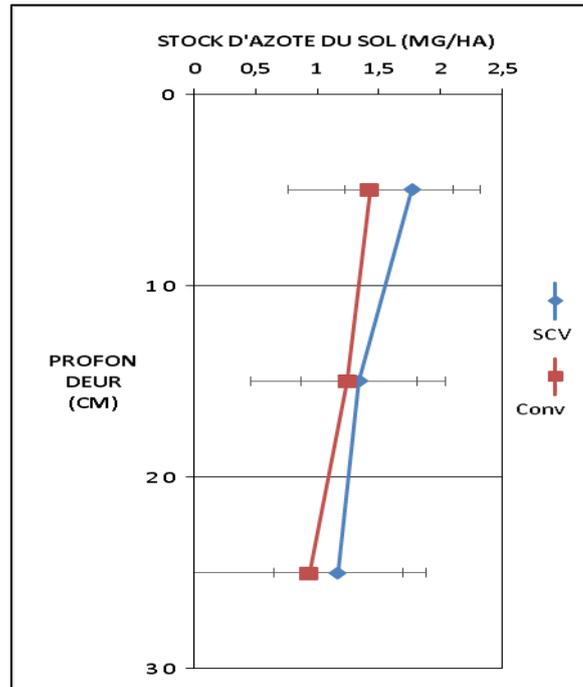


Figure 13 : Profil de stock d'azote du sol des deux systèmes

La moyenne et la médiane se superposent pour le SCV sur la profondeur 0-10cm, la moitié des échantillons ont des stocks d'azote inférieurs à 1,77Mg ha⁻¹, en revanche pour le système conventionnel, la moyenne est supérieure à la médiane et la moitié des stocks d'azote sont inférieurs à 1,28 Mg ha⁻¹. Il en est de même pour la profondeur 10-20cm, les stocks d'azote sous SCV sont à moitié inférieurs à 1,35 Mg ha⁻¹ et en conventionnel la moitié des échantillons ont des stocks inférieurs à 1,04 Mg ha⁻¹. Par contre sur la profondeur 20-30cm, les moyennes sont supérieures aux médianes pour les deux systèmes avec des stocks à moitié inférieurs à 0,91 Mg ha⁻¹ pour le conventionnel et inférieurs à 1,10 Mg ha⁻¹ pour le SCV.

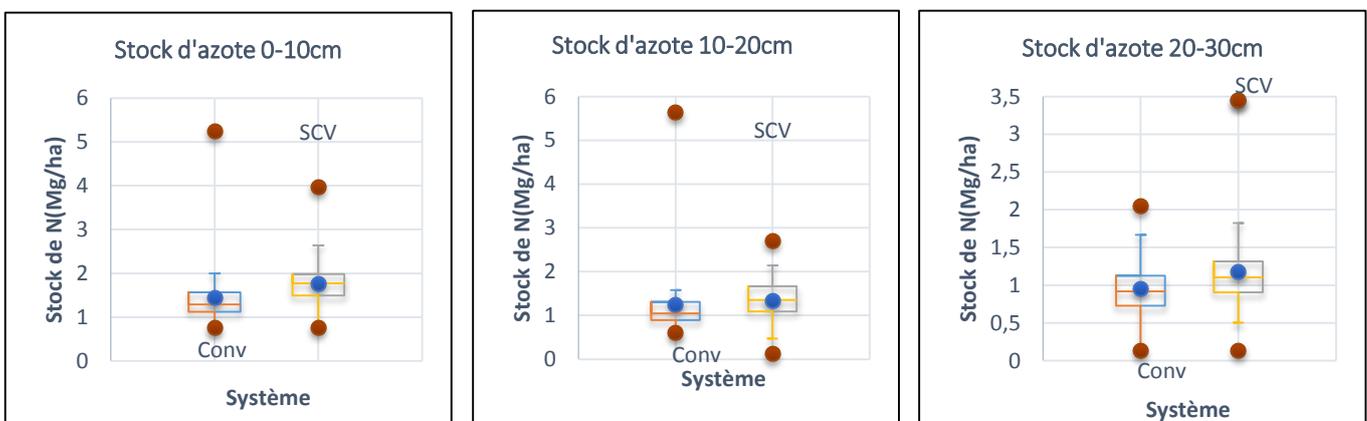


Figure 14 : Distribution des stocks de N par système et par profondeur

Tableau 11: Stock d'azote du sol exprimé à masse équivalente sur 0-30cm pour les deux systèmes (moyenne \pm écart-type)

Système	Stock de N équivalent 0-30cm	
	Masse de référence (Mg ha ⁻¹)	Stock de N (Mg C ha ⁻¹)
SCV	3 313	4,16 \pm 0,47a
Conventionnel	3 313	3,27 \pm 0,58b

*Les moyennes suivies d'une lettre minuscule différente dans une même colonne diffèrent significativement au seuil $\alpha=0,05$ (test de Mann-Whitney)

Sur la profondeur équivalente 0-30cm, les stocks d'azote sont de 4,16 Mg N ha⁻¹ sous SCV et 3,27 Mg N ha⁻¹ sous conventionnel. Les tests statistiques ont permis de mettre en évidence une différence significative entre ces deux stocks d'azote (cf. Annexe 5).

Les stocks d'azote par groupe de sol sur les trois profondeurs sont donnés dans le tableau 12 :

Tableau 12 : Stock d'azote des trois groupes de sol (moyenne \pm écart-type)

Profondeur	SFC	SFD	SFPD
0-10cm	1,41 \pm 0,41aA	1,80 \pm 0,49bA	1,61 \pm 0,78abA
10-20cm	1,17 \pm 0,32aB	1,36 \pm 0,64aB	1,35 \pm 0,82aB
20-30cm	1,01 \pm 0,27aC	1,14 \pm 0,40aC	1,03 \pm 0,53aC

*Les moyennes suivies d'une lettre minuscule différente dans une même ligne et celles suivies d'une lettre majuscule différente dans une même colonne diffèrent significativement au seuil $\alpha=0,05$

D'après le tableau 12, sur l'horizon de surface, les sols ferrallitiques à structure dégradée ont le stock le plus élevé avec 1,80 Mg ha⁻¹ tandis que les ferrallitiques concrétionnés ont le stock le plus faible avec 1,41 Mg ha⁻¹. Cependant, les stocks d'azote des trois groupes de sols ne sont pas significativement différents sur les trois profondeurs d'analyse (cf. Annexe 2).

Tableau 13 : Stock d'azote du sol exprimé à masse équivalente sur 0-30cm pour les trois groupes de sol (moyenne \pm écart-type)

Type de sol	Stock de N équivalent 0-30cm	
	Masse de référence (Mg ha ⁻¹)	Stock de N (Mg N ha ⁻¹)
SFC	3 205	3,70 \pm 1,17a
SFD	3 205	3,94 \pm 0,82a
SFPD	3 205	3,87 \pm 0,87a

*Les moyennes suivies d'une lettre minuscule différente dans une même colonne diffèrent significativement au seuil $\alpha=0,05$ (test de Kruskal-Wallis)

Sur la profondeur 0-30cm, le stock d'azote le plus élevé est enregistré pour les ferrallitiques à structure dégradée et le plus faible pour les ferrallitiques concrétionnés. Pour les trois groupes de sol, il n'y a aucune différence significative entre les stocks d'azote (cf. tableau 13) (cf. Annexe 6).

QUATRIEME PARTIE :
DISCUSSIONS

IV. DISCUSSIONS

IV.1 Variabilité des densités apparentes du sol

La densité apparente est l'expression de la structure et de la porosité du sol, en particulier son degré d'agrégation et d'adhésion (Yemefack *et al.*, 2004). Elle est liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol (Chauvel, 1977).

La moyenne des densités apparentes pour l'ensemble des parcelles est de $1,18 \text{ g cm}^{-3}$, les valeurs s'étendent entre $0,9 \text{ g cm}^{-3}$ et $1,53 \text{ g cm}^{-3}$. Les sols cultivés ont des D_a comprises entre 0,9 et $1,8 \text{ g cm}^{-3}$ (Muhinda *et al.*, 2009). La moyenne observée dans la présente étude est comprise dans ces fourchettes de valeurs. Cette moyenne est également proche de celle trouvée par Razafimahatratra (2011), avec une valeur moyenne de $1,15 \text{ g cm}^{-3}$, pour des sols ferrallitiques non cultivés. Ces différences peuvent être expliquées par la différence de sites d'étude. Selon Kauffman *et al.* (1995), une valeur de densité apparente comprise entre 1,1 et $1,3 \text{ g cm}^{-3}$ pour les sols ferrallitiques est considérée comme faible, ainsi la moyenne de $1,18 \text{ g cm}^{-3}$ est faible et cela signifie une bonne individualisation des agrégats des sols (Yemefack *et al.*, 2004).

La densité apparente est significativement différente suivant les horizons, elle est plus faible en surface et augmente vers la profondeur. Cette variabilité verticale a été montrée par de nombreux auteurs et depuis longtemps (Boissezon, 1965, *in* Yoro et Godo, 1990). Dans les sols tropicaux, les horizons humifères, relativement structurés se caractérisent par des densités apparentes plus faibles que celles des horizons minéraux sous-jacents à structure plus massive. Ceci est expliqué par le fait que l'essentiel des activités biologiques se déroule dans la partie superficielle du sol et que cet horizon est une zone de concentration de débris végétaux constituant une importante source de matière organique pour les organismes du sol, ce qui améliore la structuration et la constitution de la porosité du sol (Marchão *et al.*, 2009).

La D_a est aussi liée aux pratiques culturales qui influencent énormément la porosité dans les horizons de surface. Cependant, l'effet des systèmes de culture n'a pas pu être mis en évidence dans la présente étude. Cette absence d'effet peut être dû au fait que la pratique du SCV est assez récente et que ses effets ne se sont pas bien exprimés.

Une variabilité de D_a suivant les groupes de sol a été aussi observée, les sols ferrallitiques concrétionnés affichent les D_a les plus élevées, ceci peut être dû à l'importance des concrétions ferrifères qui ont une densité particulaire (D_p) plus importante, le Fe étant un élément « lourd » comparativement à la Si ou à l'Al. Les minéraux silicatés ont une D_p de 2,6, alors que les minéraux ferrifères ont une $D_p > 3$.

IV.2 Teneur et stock de carbone du sol

Les teneurs en carbone du sol en surface sont de 20,92 g kg⁻¹ sous SCV et de 17,44 g kg⁻¹ sous système conventionnel. Ces valeurs sont proches de celles trouvées par Ravelojaona (2006) pour les sols ferrallitiques de Faraony Manakara avec des teneurs en carbone en surface de 17,74 g kg⁻¹ pour le labour et 21,28 g kg⁻¹ sous SCV et celles trouvées par Rabenarivo (2011) avec 19,9 g kg⁻¹ sous SCV et 17,9 g kg⁻¹ sous conventionnel pour les sols d'Ivory. Par contre, elles sont nettement inférieures à celles trouvées pour les sols ferrallitiques d'Andasy Manakara avec des teneurs supérieures à 40 g kg⁻¹ en surface (Ravelojaona, 2006) et celles trouvées par Razafimbelo (2005) avec des teneurs de 30 à 50 g kg⁻¹ en surface tant pour le système conventionnel que pour le système en semis direct, pour les sols d'Andranomanelatra.

Pour les stocks de carbone du sol, il est de l'ordre de 49,45 Mg ha⁻¹ sous SCV et 43,42 Mg ha⁻¹ sous conventionnel sur la profondeur équivalente 0-30cm. Ces valeurs sont inférieures à la moyenne nationale trouvée par Grinand *et al.* (2009) pour les sols ferrallitiques sur la profondeur 0-30cm qui est de 61,8 Mg ha⁻¹. De même, ces stocks sont aussi inférieurs à ceux trouvés pour les sols ferrallitiques brésiliens qui sont de l'ordre de 53,30 Mg ha⁻¹ et 56,03 Mg ha⁻¹ sur la profondeur 0-30cm respectivement pour le système conventionnel et système en semis direct (Marchão *et al.*, 2009).

Ces différences de valeurs peuvent être attribuées à des teneurs en argile différentes des sols. Effectivement, le caractère argileux des sols leur confère une teneur élevée en matière organique (Feller *et al.*, 2001). D'après Feller *et al.* (1991), la teneur en carbone est liée à la texture du sol, notamment à sa teneur en éléments fins. En effet, outre la protection physico-chimique de la matière organique due à une teneur élevée en éléments fins, cette dernière peut aussi être protégée au sein des agrégats dont la stabilité est plus élevée dans les sols à texture fine (Feller et Beare, 1997). Il apparaît que les sols présentant des teneurs élevées en argile présentent également les teneurs et stocks de carbone plus élevés : les sols ferrallitiques d'Andasy Manakara et d'Andranomanelatra contiennent respectivement 45% et 60% d'argile les sols ferrallitiques brésiliens avec 60% d'argile, ce qui leur confère des teneurs et stocks de carbone élevés par rapport aux sols du Moyen-ouest et ceux de Faraony Manakara avec respectivement des teneurs en argile de 30% et 27%.

Les teneurs en carbone du sol diminuent avec la profondeur. Sur l'horizon de surface les teneurs varient de 17 à 21 g kg⁻¹ et de 10 à 15 g kg⁻¹ en profondeur pour les deux systèmes. Pareillement pour les stocks de carbone, les valeurs diminuent avec la profondeur, ils sont de l'ordre de 20 à 23 Mg C.ha⁻¹ en surface et 12 à 17 Mg C.ha⁻¹ en profondeur en fonction des systèmes considérés. La variabilité des teneurs et stocks de carbone du sol présentent généralement un gradient vertical, de la surface vers la profondeur (Arrouays *et al.*, 2003). Cela s'explique par le fait que

la matière organique est abondante en surface et sa teneur diminue au fur et à mesure que la profondeur augmente (Dabin, 1980).

IV.3 Teneur et stock d'azote du sol

Les teneurs moyennes en azote du sol de l'horizon de surface sont de 1,60 g kg⁻¹ pour le SCV et 1,27 g kg⁻¹ pour le conventionnel. Les teneurs en azote trouvées dans la présente étude avoisinent celle trouvée par Rabenarivo (2011) pour les sols d'Ivory avec une teneur de 1,6 g kg⁻¹ sous SCV et 1,3 g kg⁻¹ sous conventionnel mais elles sont largement inférieures à celles des sols d'Andranomanelatra avec des teneurs de 3,8 g kg⁻¹ pour SCV et 2,4 g kg⁻¹ pour le système conventionnel (Rabenarivo, 2011).

Le sol constitue un important stock d'azote, les sols exploités par l'agriculture contiennent entre 3 et 50 Mg N ha⁻¹ dans la couche où sont enracinés les végétaux (Spiess et Richner, 2005). En se référant aux valeurs de stock d'azote précédentes, celles obtenues dans la présente étude, sur la profondeur 0-30cm, correspondent aux valeurs inférieures de cette fourchette de valeurs, avec un stock de 4,16Mg N ha⁻¹ sous SCV et 3,27 Mg N ha⁻¹ sous système conventionnel. Le stock d'azote de ces sols est donc relativement faible. Comparés aux stocks d'azote trouvés par Marchão *et al.* (2009), au Brésil, qui sont de l'ordre de 4,87 Mg N ha⁻¹ sous SCV et 4,42 Mg N ha⁻¹ sous conventionnel sur 0-30cm, nos résultats sont légèrement inférieurs. Les différences de valeurs s'expliquent, comme pour le carbone, par la différence de texture et de minéralogie des sols. Plusieurs auteurs ont rapporté les effets de la texture et de la minéralogie sur le cycle de l'azote (Motavalli *et al.*, 1995 ; Scott *et al.*, 1996 ; Grandy *et al.*, 2009). Par ailleurs, les teneurs en carbone et azote du sol sont fortement corrélées avec un coefficient de corrélation de 0,7 pour la présente étude. Ceci est en relation avec la forme de l'azote dans le sol qui est essentiellement sous forme organique, notamment en l'absence d'amendement et qui est associé avec le carbone dans la matière organique. Cette forte corrélation a aussi été constatée par Rabenarivo (2011) avec les sols d'Ivory.

Pareillement aux stocks de carbone, les teneurs et stocks d'azote du sol présentent un gradient de la surface vers la profondeur. Les teneurs en azote des sols varient de 1,60 à 1,27 g kg⁻¹ en surface à 0,79 à 1,14 g kg⁻¹ en profondeur selon les systèmes considérés. Pour les stocks, ils varient de 1,77 à 1,43 Mg ha⁻¹ en surface à 0,94 à 1,34 Mg ha⁻¹ en profondeur. Ceci est expliqué par l'abondance de matière organique en surface et sa diminution vers la profondeur (Dabin, 1980).

Les résultats sur les teneurs en carbone et en azote ainsi que les stocks de carbone et azote du sol obtenus dans la présente étude montrent que le niveau de stocks de carbone et azote des sols du Moyen-ouest avoisinent ceux trouvés dans les sols ferrallitiques des autres zones de Madagascar pour les sols ayant la même texture. Par contre, ces stocks sont nettement inférieurs à ceux des

sols à texture argileuse. La texture du sol reste le facteur déterminant du stockage de carbone et azote du sol dans les différentes situations pédoclimatiques de Madagascar.

La première hypothèse selon laquelle « le niveau de stock de carbone et azote du sol dans le Moyen-ouest est proche de ceux observés dans les sols ferrallitiques des autres zones de Madagascar » est partiellement vérifiée.

IV.4 Effets du système de culture sur le stockage de carbone et azote dans le sol

Les stocks de carbone sous SCV et conventionnel diffèrent significativement sur la profondeur 0-10cm avec des valeurs de 23,08 Mg C.ha⁻¹ et 19,59 Mg C.ha⁻¹. Sur les horizons sous-jacents, les stocks sont assez homogènes pour les deux systèmes et aucune différence n'est observée. De nombreux auteurs ont aussi constaté cette différence de stocks de carbone sous SCV et conventionnel (Bayer *et al.*, 2000 ; Séguy *et al.*, 2001 ; Six *et al.*, 2002). Les différences de stock s'expliquent notamment par le niveau des restitutions organiques au sol, le travail du sol et la fertilisation.

L'introduction des plantes de couverture (*Stylosanthes sp*) en SCV constitue des entrées organiques supplémentaires qui peuvent avoir des répercussions à long terme sur l'évolution des stocks de carbone du sol (Scopel *et al.*, 2005) et ainsi favoriser l'enrichissement du sol en matière organique (Séguy *et al.*, 2001), plus particulièrement dans l'horizon de surface (Costantini *et al.*, 1996). En fait, les restitutions de biomasse au sol compensent largement les pertes en matière organique due à la minéralisation car la biomasse totale produite dans un système à deux cultures en SCV peut être deux ou trois fois plus élevée que dans les systèmes conventionnels avec une récolte par an (Scopel *et al.*, 2012). De plus, la fertilisation pour le système conventionnel se limite à l'utilisation de fumier tandis qu'en SCV, la fertilisation est composée de fumier associé à une fumure minérale NPK ou urée, qui influe sur la qualité et la quantité de biomasse produite par les deux systèmes et donc le niveau des restitutions organiques au sol.

Les SCV éliminent aussi le travail du sol qui contribue beaucoup à la perte de carbone suite à une accélération de la décomposition de la matière organique (minéralisation microbienne). Dans ces systèmes, la matière organique est physiquement protégée de la dégradation par les microorganismes au sein des agrégats (Six *et al.*, 2002) contrairement au labour qui diminue la stabilité des agrégats et engendre par voie de conséquence une déprotection de la matière organique (Balesdent *et al.*, 1999).

Le stock de carbone important sous SCV peut être aussi expliqué par un meilleur contrôle des pertes de carbone par érosion car la couverture végétale et les résidus de cultures favorisent la protection des sols contre l'érosion (Razafindramanana, 2011). Rappelons que la zone du Moyen

Ouest est très vulnérable à l'érosion avec un coefficient d'érodibilité élevé égal à 4,1 (Hanitra, 2012) et que les pertes en carbone peuvent atteindre 335 kg C.ha⁻¹.an⁻¹ sur les parcelles labourées (Razafindramanana, 2011). Selon Séguy *et al.* (2001), tous les systèmes utilisant le labour comme technique de travail du sol conduisent à des pertes en matière organique contrairement aux SCV qui permettent, dans toutes les situations pédoclimatiques, de recharger le profil cultural en matière organique, et de contrôler l'érosion, quelle que soit la pente, la pluviométrie et le type de sol .

Pour ce qui est du stock d'azote du sol, la différence entre les stocks sous SCV et sous conventionnel est constatée sur toutes les profondeurs d'analyse avec des valeurs plus élevées sous SCV que sous conventionnel. En effet, outre la compensation des pertes en azote dues à la minéralisation par la biomasse restituée au sol (Scopel *et al. in* Terre malgache, 2008), les plantes de couvertures qui sont constituées de plante légumineuse (*Stylosanthes sp*) pourraient aussi expliquer la hausse du niveau de stockage d'azote sous SCV par rapport au conventionnel car la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par les légumineuses peut contribuer de façon importante dans l'amélioration du statut azoté du sol dans la couche où sont enracinés les végétaux.

Ces plantes de couverture permettent, en outre, de limiter les pertes en azote par lixiviation grâce à leur système racinaire profond qui permet de recycler les éléments perdus par lixiviation.

Tout concoure donc à dire que les systèmes de culture peuvent induire des effets positifs ou négatifs sur le stockage de C et N du sol.

La deuxième hypothèse selon laquelle « les stocks de carbone et azote du sol varient selon les systèmes de culture adoptés » est vérifiée.

IV.5 Effets du type de sol sur le stockage de carbone et azote du sol

Les valeurs de stocks de carbone pour les trois groupes de sols varient de 23,29 Mg ha⁻¹ à 12,35 Mg ha⁻¹ de la surface (0-10cm) en profondeur (20-30cm) pour les ferrallitiques à structure dégradée, de 19,25 Mg ha⁻¹ à 12,05 Mg ha⁻¹ pour les ferrallitiques concrétionnés et de 21,64 Mg ha⁻¹ à 12,77 Mg ha⁻¹ pour les ferrallitiques à structure peu dégradée. Les stocks d'azote varient de 1,80 à 1,14 Mg ha⁻¹ en surface vers la profondeur pour les ferrallitiques à structure dégradée, de 1,61 à 1,03 Mg ha⁻¹ pour les ferrallitiques à structure peu dégradée et de 1,41 à 1,01 Mg ha⁻¹ pour les ferrallitiques concrétionnés. Malgré cette variabilité de valeurs, les teneurs et les stocks de C et N ne sont pas significativement différents entre les trois types de sols.

La comparaison et l'évolution dans le temps des stocks de matières organiques du sol sous végétation naturelle et sous différents types ou successions culturales montrent qu'à l'influence des systèmes de cultures s'ajoutent de nombreux facteurs édaphiques et pédoclimatiques qui interfèrent avec les pratiques culturales dans le fonctionnement des écosystèmes agricoles (Djegui *et al.*, 1992). Parmi les facteurs édaphiques qui interviennent dans cette évolution, nous retiendrons

principalement le type de sol et particulièrement la texture (Boissezon, 1973 ; Feller *et al.*, 1991). Or, les sous-classes de sols ferrallitiques sont déterminées par le type et l'intensité du processus d'altération ferrallitique (Riquier, 1966) et les sous-classes de sols ferrallitiques rajeunis sont basées entre autres sur le taux de saturation (faible ou moyen) (Bourgeat et Aubert, 1972). La division en groupes s'est fait, entre autres, suivant la troncature par érosion récente d'un profil ancien (Riquier, 1966) et non sur la différence de texture. Les caractéristiques sur lesquelles la classification a été basée n'influencent donc pas le niveau de stockage de matière organique dans le sol. Ceci amène à dire que les groupes de sols n'influencent pas le stockage de carbone et azote dans le sol.

Et la troisième hypothèse qui stipulait que «des différences de stocks de carbone et d'azote peuvent être observées au niveau des différents groupes de sol ferrallitique du Moyen-ouest » n'est pas validée.

CONCLUSION

CONCLUSION ET PERSPECTIVES D'AVENIR

Les évaluations des stocks de carbone et d'azote des sols du Moyen-ouest effectuées dans la présente étude ont montré que le statut organique de ces sols est assez faible par rapport à ceux des sols ferrallitiques d'autres zones de Madagascar et ceux du Brésil. La texture des sols notamment leur teneur en argile qui avoisine 30% est un facteur qui permet d'expliquer cette faible teneur en matière organique. Une observation majeure de cette étude porte sur les effets des deux systèmes de culture, SCV et conventionnel, sur le stockage de C et N du sol. Les effets positifs du SCV sur le stockage de C ont été constatés seulement en surface suite à une diminution de la teneur en matière organique vers la profondeur dans ce système. Par contre, des effets ont été constatés sur le stockage de N jusqu'à 30cm. Ceci est attribué notamment à la nature de la plante de couverture, le *Stylosanthes sp.*, qui est une légumineuse fixatrice d'azote. De cette étude, il est aussi ressorti que les différents groupes de sol ferrallitique du Moyen-ouest n'influencent pas le stockage de carbone et azote dans ces sols.

La pratique du SCV avec une espèce qui produit beaucoup de biomasse comme le *Stylosanthes* est une des solutions permettant d'améliorer le stockage de matière organique dans le sol, grâce aux quantités de phytomasse restituées au sol qui contribuent à un bilan positif de carbone avec un stockage de celui-ci et une augmentation sur le long terme de la matière organique du sol. Les SCV permettent donc d'améliorer la production agricole par l'optimisation des ressources naturelles disponibles sur le court et sur le long terme ; ils contribuent également à minimiser les impacts de cette production agricole sur l'environnement par la diminution de l'érosion des sols par la séquestration du carbone dans le compartiment sol. Ces systèmes constituent une alternative pour la durabilité de la production agricole dans le Moyen-ouest même si quelques points peuvent encore susciter des questionnements. Aussi, il serait important d'appuyer les paysans déjà encadrés dans cette zone car la plupart ont tendance à reconvertir leurs parcelles en conventionnel. Par ailleurs, il serait beaucoup plus avantageux d'intensifier la diffusion de ce système tout en améliorant les techniques surtout en ce qui concerne la couverture du sol et la production de biomasse *via* les plantes de couverture.

Cette étude a permis d'une part, d'évaluer la teneur en matière organique (C et N) des sols du Moyen-ouest et d'analyser les facteurs déterminants de ce stockage et d'autre part, de déterminer les effets de chaque système de culture, SCV ou conventionnel, sur le stockage de matière organique dans le sol. Elle ouvre de nouveaux horizons de recherche en vue de la limitation de la dégradation des sols et de l'amélioration de sa fertilité. Une spatialisation des stocks de carbone et azote à l'échelle de la zone d'étude serait, par exemple, très intéressante afin de comprendre la distribution spatiale de ces stocks mais aussi et surtout d'analyser les facteurs influençant le changement de stocks de C et de N dans le sol à l'échelle de la zone

d'étude. En fait, dans la présente étude nous nous sommes focalisés dans l'évaluation des stocks à l'échelle parcellaire plutôt qu'à l'ensemble de la zone d'étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arrouays D., Feller C., Jolivet C., Saby N., Andreux F., Bernoux M., Cerri C., 2003. Estimation de stocks de carbone organique des sols à différentes échelles d'espace et de temps. 10p. *Étude et Gestion des Sols*, Volume 10, 4, 2003 - pages 347 à 355.
- Balesdent J., Chenu C., Balabane M., 1999. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. 16p.
- Bayer C., Mielniczuk J., Amado T. J. C., Martin-Neto L., 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, 101-109.
- Bernoux M., Cerri C. C., Cerri C. E. P., Siqueira Neto M., Metay A., Perrin A.-S., Scopel E., Blavet D., Piccolo M. d. C., Pavei M., Milne E., 2006. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review.
- Boissezon, P. de, 1973. Les matières organiques des sols ferrallitiques. *Les sols ferrallitiques*, Tome 1 : 9-66, Paris, ORSTOM, I.D.T. 21, 146 p.
- Bourgeat, F., Aubert, G., 1972. *Les sols ferrallitiques à Madagascar*, Collection Sciences de la terre, ORSTOM, Centre de Tananarive.
- Chabanne A., 2003. Les systèmes de culture avec couverture végétale pour les hauts de La Réunion. 103p.
- Chauvel A., 1977. Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance. Thèse, université de Strasbourg. ORSTOM, Paris. *Coll. Trav. et DO n° 62*.
- Chenu C., Abiven S., Annabi M., Barray S., Bertrand M., Bureau F., Cosentino D., Darboux F., Duval O., Fourrié L., Francou C., Hout S., Jolivet C., Laval K., Le Bissonnais Y., Lemée L., Menasseri S., Pétraud J.P., Verbèque B., 2011. Mise au point d'outils de prévision de l'évolution de la stabilité de la structure de sols sous l'effet de la gestion organique des sols. *Etude et Gestion des Sols* 18 : 161-174.
- Costantini, A., Casentino, D., Segat, A., 1996. Influence of tillage systems on biological properties of a Typic Argiudoll soil under continuous maize in central Argentina. *Soil and Tillage Research* 8: 265–271.

- Dabin, B., 1980. Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. Cahier ORSTOM, série Pédologie, XVIII (3-4), 197-215. 19p.
- Djegui N., Boissezon P., Gavinelli E., 1992. Statut organique d'un sol ferrallitique du Sud-Bénin sous forêt et différents systèmes de cultures. Cah. Orstom, sér. Pédol., vol. XXVII, no 1, 1992 : 5-22. 18p.
- Ellert B.H et Bettany J.R, 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. Canadian journal of soil science 75. 10p.
- Feller C., Beare M.H, 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. 48p.
- Feller C., Fritsch E., Poss R., Valentin C., 1991. Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques. 12p.
- Grandy S., Strickland S., Lauber C., Bradford M., Fierer N., 2009. The influence of microbial communities, management, and soil texture on soil organic matter chemistry. 9p.
- Grinand C., Rajaonarivo A., Bernoux M., Pajot V., Brossard M., Razafimbelo T.M., Albrecht A. and Le Martret H., 2009. Estimation des stocks de carbone dans les sols de Madagascar. Etude et Gestion des Sols. 12p.
- Groupe Agence française du développement, 2006. Le semis direct sur couverture végétale permanente (SCV) : Une solution alternative aux systèmes de culture conventionnels dans les pays du Sud. 68p.
- Hanitra, V., 2012. Rapport sur l'Etat de l'Environnement à Madagascar, Chapitre 4 : Sol, 129 p : 101-129. Madagascar.
- Huber G., Schaub C., 2011. La fertilité des sols : l'importance de la matière organique. Chambre d'agriculture du Bas-Rhin. 46p.
- Kauffman, J.H., Sombroek, W.G., et Mantel, S., 1995. Soils of tropical rainforests: Characterization and major constraints of dominant soils. ISRIC. Working paper and Preprint (09), Netherlands, 20 p.
- Lal R., 2003. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma 123 (2004) 1 –22. 22p.

- Leprun J.C, 1988. Matière organique et conservation des sols, exemples brésiliens. Cahiers ORSTOM, série Pédologie, vol XXIV n°4.
- Marchao R.L., Becquer T., Brunet D., Balbino L.C., Vilela L., Brossard M., 2009. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. *Soil and Tillage Research*, 103, 442-450. 10p.
- Motavalli P., Elliot E.T., Frey S., Smithson P., 1995. Nitrogen mineralization in humid tropical forest soils : Mineralogy, texture and measured nitrogen fractions. *Soil Science Society of America Journal* 59, 1168-1175.
- Muhinda, J.J.M., Nzeyimana, I., Bucagu, C., Culot, M., 2009. Caractérisation physique, chimique et microbiologique de trois sols acides tropicaux du Rwanda sous jachères naturelles et contraintes à leur productivité. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 13 (4), 545-558.
- Neto M.S., Scopel E., Corbeels M., Cardoso A.N., Douzet J.M., Feller C., Piccolo M.C., Cerri C.C., Bernoux M., 2010. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. *Soil and Tillage Research* 110 (2010) 187–195. 8p.
- Rabenarivo M., 2011. Potentialités d'émissions de protoxyde d'azote des sols de système de culture en semis direct sous couverture végétale permanente à Madagascar. Thèse de doctorat en Sciences agronomiques. 150p.
- Raherinindrainy E.H., 2007. Système de culture sous couverture végétale permanente : profil racinaire des plantes de couverture et suivi de la dégradation des résidus des différents systèmes de culture sous couverture végétale selon le mode de gestion du sol. 99p.
- Ravelojaona H.M, 2006. Effet du semis direct sous couverture végétale permanente (SCV) sur le stock en carbone dans le sol : cas du Sud-Est malgache, Manakara. 130p.
- Razafimahatratra H.M., 2011. Sols malgaches et Spectroscopie dans le moyen infrarouge : Classification, caractérisation et sensibilité au climat. Thèse de Doctorat en Sciences agronomiques. 242p.
- Razafimbelo T., 2005. Stockage et protection du carbone dans un sol ferrallitique sous systèmes en semis direct avec couverture végétale des Hautes Terres malgaches, thèse de Doctorat en science du sol. 162p.

- Razafimbelo T., Albrecht A., Basile A., Borschneck D., Bourgeon G., Feller C., Ferrer H., Michellon R., Moussa N., Muller B., Oliver R., Razanamparany C., Séguy L., Swarc M., 2006. Effets des différents systèmes de culture à couverture végétale sur le stockage de carbone dans un sol argileux des hautes terres de Madagascar. 8p.
- Razafindramanana N.C., 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. 165p.
- Riquier J., 1966. Définition et classification des sols ferrallitiques de Madagascar.
- Robert M., FAO 2002. La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. 70p.
- Scopel E., Douzet J.M., Da Silva F.A.M., Cardoso A., Moreira J.A., Findeling A., Bernoux M., 2005. Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur la dynamique de l'eau, de l'azote minéral et du carbone du sol dans les cerrados brésiliens. Cahiers Agricultures vol. 14, n°1. 5p.
- Scopel E., Triomphe B., Affholder F., da Silva F., Corbeels M., Humberto J.V.X., Lahmar R., Recous S., Bernoux M., Blanchart E., Carvalho M., Tourdonnet S., 2012. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. Agron. Sustain. Dev. DOI 10.1007/s13593-012-0106-9. 18p.
- Scott N., Cole C., Elliot E.T., Huffman S., 1996, Soil textural control on decomposition and soil organic matter dynamics. Soil and science society of America Journal 60, 1102-1109.
- Seguy L., Bouzinac S., Maronezzi A. C., 2001. Systèmes de culture et dynamique de la matière organique. 202p.
- Seguy L., Raunet M., Rabots F., 2001. Semis direct sur couverture végétale permanente du sol : de la technique au concept.
- Six J., Feller C., Deneff K., Ogle S. M., Sà J. C. d. M., Albrecht A., 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage.
- Spiess E., Richner W., 2005. L'azote dans l'agriculture, Agroscope FAL Reckenholz, Reckenholzstr. 191, CH-8046 Zürich
- Terre malgache, 2008. Spécial semis direct. 199p.

Van W. et Brahy V., 2006. La matière organique dans les sols.8p.

Yemefack, M., Nounamo, L., Njomgang, R., Bilong, P., 2004. Influence des pratiques agricoles sur la teneur en argile et autres propriétés agronomiques d'un sol ferrallitique au sud Cameroun. *Tropicultura*, 22(1), 3-10.

Yoro, G., Godo G., 1990, Les méthodes de mesure de la densité apparente Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cahiers ORSTOM, série. Pédologie*. XXV(4) ,423-429.

Zebrowski C., Ratsimbazafy C., 1979. Carte pédologique de Madagascar au 1/100000.

Zinn L., Lal R., Dimas V.S.R., 2005. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian cerrado soils. *Geoderma* 127 (2005) 168-173.

ANNEXES

Annexe 1: Moyenne \pm écart-type et p-value des Da, teneur en C et teneur en N

Prof (cm)	Da (gcm ⁻³)			Teneur en C (gkg ⁻¹)			Teneur en N (gkg ⁻¹)		
	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30	0-10	10-20	20-30
SCV	1,11 \pm 0,10a	1,17 \pm 0,10a	1,23 \pm 0,09a	20,92 \pm 5,95a	14,5 \pm 5,13a	10,85 \pm 5,48a	1,60 \pm 0,54a	1,14 \pm 0,40a	0,94 \pm 0,40a
Conv	1,13 \pm 0,10a	1,18 \pm 0,11a	1,21 \pm 0,12a	17,44 \pm 4,86b	12,69 \pm 4,28a	9,56 \pm 3,80a	1,27 \pm 0,59b	1,06 \pm 0,67b	0,79 \pm 0,27b
Pr	0,54	0,59	0,57	0,007	0,07	0,21	<0,0001	0,006	0,02
SFC	1,12 \pm 0,09a	1,21 \pm 0,10a	1,26 \pm 0,10a	17,26 \pm 5,23a	12,67 \pm 4,41a	9,53 \pm 3,08a	1,27 \pm 0,39a	0,97 \pm 0,28a	0,80 \pm 0,23a
SFD	1,12 \pm 0,13a	1,16 \pm 0,07b	1,20 \pm 0,08b	21,06 \pm 5,93a	13,52 \pm 4,30a	10,23 \pm 3,49a	1,63 \pm 0,51a	1,18 \pm 0,59a	0,94 \pm 0,30a
SFPD	1,12 \pm 0,10a	1,16 \pm 0,11b	1,20 \pm 0,11b	19,42 \pm 5,54a	14,11 \pm 5,13a	10,53 \pm 5,81a	1,44 \pm 0,69a	1,15 \pm 0,68a	0,85 \pm 0,41a
Pr	0,92	0,02	0,04	0,10	0,47	0,84	0,052	0,33	0,22

****Conv**= conventionnel ; **Prof**= profondeur ; **Pr**= *p-value* calculée (test bilatéral) ; **SFC**= Sols ferrallitiques concrétionnés ; **SFD**= Sols ferrallitiques rajeunis à structure dégradée ; **SFPD**= Sols ferrallitiques rajeunis à structure peu dégradée

Annexe 2: Moyenne \pm écart-type et p-value des stocks de C et stocks de N

Prof (cm)	Stock de C (Mg/ha)				Stock de N (Mg/ha)			
	0-10	10-20	20-30	0-30	0-10	10-20	20-30	0-30
SCV	23,08 \pm 6,15a	17,08 \pm 6,03a	13,49 \pm 7,15a	49,45 \pm 6,49a	1,77 \pm 0,55a	1,34 \pm 0,47a	1,17 \pm 0,52a	4,16 \pm 0,47a
Conv	19,59 \pm 5,15b	14,85 \pm 4,66a	11,58 \pm 4,42a	43,42 \pm 5,26a	1,43 \pm 0,67b	1,25 \pm 0,79b	0,94 \pm 0,32b	3,27 \pm 0,58b
Pr	0,01	0,07	0,16	0,17	<0,0001	0,006	0,006	0,03
SFC	19,27 \pm 5,66a	15,32 \pm 5,02a	12,05 \pm 3,86a	47,97 \pm 13,92 a	1,41 \pm 0,41a	1,17 \pm 0,32a	1,01 \pm 0,27a	3,70 \pm 1,17a
SFD	23,29 \pm 4,91a	15,59 \pm 4,85a	12,35 \pm 4,43a	46,19 \pm 8,65 a	1,80 \pm 0,49b	1,36 \pm 0,64a	1,14 \pm 0,40a	3,94 \pm 0,82a
SFPD	21,64 \pm 6,06a	16,36 \pm 5,93a	12,77 \pm 7,37a	48,97 \pm 6,89 a	1,61 \pm 0,78c	1,35 \pm 0,82a	1,03 \pm 0,53a	3,87 \pm 0,87a
Pr	0,056	0,75	0,87	0,78	0,02	0,75	0,40	0,83

****Conv**= conventionnel ; **Prof**= profondeur ; **Pr**= *p-value* calculée (test bilatéral) ; **SFC**= Sols ferrallitiques concrétionnés ; **SFD**= Sols ferrallitiques rajeunis à structure dégradée ; **SFPD**= Sols ferrallitiques rajeunis à structure peu dégradée.

Annexe 3 : Liste des parcelles de prélèvements

N° parcelle	Localité	longitude	latitude	système	Organisme	topo	altitude(m)	Type de sol
P1	Vinany	46,48771	-19,62306	Haricot (Conv)	FOFIFA	plat	1040	SF à stre dégradée
P2	Ankazo	46,55878	-19,66639	Stylosanthès+ Riz pluvial(SCV)	FAFIALA	légèrement en pente	1168	SF concrétionnés
P3	Andratsay	46,56035	-19,65975	Haricot (Conv)	FOFIFA	plat	1175	SF concrétionnés
P4	Ankazo	46,54742	-19,65975	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	plat	1159	SF concrétionnés
P5	Vinany	46,46486	-19,60666	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	plat	1032	SF à stre dégradée
P6	Vinany	46,4689	-19,61232	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	plat	1026	SF à stre dégradée
P7	Vinany	46,4763	-19,6106	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	plat	1064	SF à stre dégradée
P8	Vinany	46,47609	-19,61079	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	plat	1057	SF à stre dégradée
P9	Ankazo	46,51278	-19,64516	Haricot (Conv)	FOFIFA	légèrement en pente	1068	SF concrétionnés
P10	Ankazo	46,51263	-19,64517	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	légèrement en pente	1067	SF à stre peu dégradée
P11	Inanantonana	46,61725	-19,64122	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	plat	1317	SF à stre peu dégradée
P12	Inanantonana	46,6176	-19,64251	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	plat	1324	SF à stre peu dégradée
P13	Inanantonana	46,61447	-19,64343	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	plat	1302	SF à stre peu dégradée
P14	Inanantonana	46,62972	-19,64876	Stylo+Maïs (SCV)	FAFIALA	plat	1337	SF à stre peu dégradée
P15	Vinany	46,45692	-19,6033	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	plat	1015	SF à stre dégradée
P16	Vinany	46,45784	-19,60403	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	en pente	1006	SF à stre dégradée
P17	Vinany	46,46404	-19,61623	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	plat	999	SF à stre dégradée
P18	Vinany	46,46396	-19,61576	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	plat		SF à stre dégradée
P19	Inanantonana	46,63279	-19,69	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	en pente	1146	SF à stre peu dégradée
P20	Inanantonana	46,63461	-19,64203	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	plat	1316	SF concrétionnés
P21	Inanantonana	46,63355	-19,65465	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	plat	1314	SF à stre peu dégradée

P22	Inanantonana	46,63102	-19,65957	Stylo+Riz pluvial+Maïs (SCV)	FAFIALA	plat	1291	SF concrétionnés
P23	Inanantonana	46,62867	-19,66803	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	légèrement en pente	1239	SF à stre peu dégradée
P24	Vinany	46,50122	-19,62475	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	plat	1038	SF à stre dégradée
P25	Vinany	46,50098	-19,62575	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	légèrement en pente	1039	SF à stre peu dégradée
P26	Vinany	46,48575	-19,6136	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	plat	1040	SF à stre dégradée
P27	Vinany	46,47069	-19,61131	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	plat	1041	SF à stre dégradée
P28	Vinany	46,48925	-19,62833	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	plat	1036	SF à stre peu dégradée
P29	Ankazo	46,5373	-19,666	Haricot (Conv)	FOFIFA	plat	1128	SF concrétionnés
P30	Inanantonana	46,6221	-19,68918	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	plat	1171	SF concrétionnés
P31	Ankazo	46,55919	-19,66825	Haricot (Conv)	FOFIFA	légèrement en pente	1174	SF concrétionnés
P32	Ankazo	46,5612	-19,6563	Haricot (Conv)	FOFIFA	en pente	1183	SF concrétionnés
P33	Ankazo	46,5608	-19,6562	Haricot (Conv)	FOFIFA	plat	1184	SF concrétionnés
P34	Ankazo	46,5372	-19,6676	Haricot (Conv)	FOFIFA	plat	1132	SF concrétionnés
P35	Ankazo	46,5381	-19,6756	Haricot (Conv)	FOFIFA	plat	1141	SF à stre peu dégradée
P36	Vinany	46,48101	-19,6	Stylo+Maïs (SCV)	FAFIALA	plat	1028	SF à stre peu dégradée
P37	Vinany	46,48061	-19,60087	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	plat	1025	SF à stre peu dégradée
P38	Vinany	46,48083	-19,60286	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	plat	1038	SF à stre peu dégradée
P39	Vinany	46,46904	-19,60906	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	plat	1015	SF à stre dégradée
P40	Ankazo	46,52069	-19,67214	Stylo+Riz pluvial+Maïs (SCV)	FAFIALA	plat	1103	SF concrétionnés
P41	Ankazo	46,57457	-19,6941	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	légèrement en pente	1126	SF à stre peu dégradée
P42	Ankazo	46,55803	-19,68238	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	plat	1158	SF concrétionnés
P43	Ankazo	46,58884	-19,69271	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	plat	1140	SF à stre peu dégradée
P44	Ankazo	46,57366	-19,67472	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	plat	1136	SF concrétionnés
P45	Ankazo	46,55055	-19,66527	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	légèrement en pente	1155	SF concrétionnés

P46	Ankazo	46,57841	-19,67492	Stylo+Riz pluvial (SCV)	FAFIALA	légèrement en pente	1150	SF à stre peu dégradée
P47	Vinany	46,45345	-19,57205	Maïs+Stylo (SCV)	FAFIALA	plat	972	SF à stre dégradée
P48	Vinany	46,46326	-19,56977	Maïs (Conv)	Non suivi	plat	988	SF à stre dégradée
P49	Vinany	46,49909	-19,63907	Maïs+stylo(SCV)	FAFIALA	légèrement en pente		SF à stre peu dégradée
P50	Vinany	46,50153	-19,63858	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	plat		SF à stre peu dégradée
P51	Vinany	46,47109	-19,57755	Riz pluvial+Maïs(conv)	Non suivi	plat	987	SF à stre peu dégradée
P52	Vinany	46,47355	-19,58211	Maïs+Stylo(SCV)	FAFIALA	légèrement en pente	994	SF à stre peu dégradée
P53	Vinany	46,47708	-19,58894	Riz pluvial(Conv)	Non suivi	plat	999	SF à stre peu dégradée
P54	Vinany	46,47972	-19,59012	Maïs (conv)	Non suivi	plat	1006	SF à stre peu dégradée
P55	Vinany	46,48251	-19,59523	Riz pluvial (conv)	Non suivi	légèrement en pente	1010	SF à stre peu dégradée
P56	Vinany	46,48415	-19,58591	Riz pluvial (conv)	Non suivi	légèrement en pente	994	SF à stre peu dégradée
P57	Vinany	46,486944	-19,597222	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	plat		SF à stre peu dégradée
P58	Inanantonana	46,5961	-19,60712	Riz pluvial (conv)	Non suivi	légèrement en pente	1224	SF à stre dégradée
P59	Inanantonana	46,59635	-19,6097	Maïs+stylo(SCV)	FAFIALA	légèrement en pente	1227	SF à stre peu dégradée
P60	Inanantonana	46,59978	-19,60605	Maïs+Riz pluvial(conv)	Non suivi	plat	1216	SF à stre peu dégradée
P61	Inanantonana	46,59986	-19,61264	Maïs (conv)	Non suivi	plat	1243	SF à stre peu dégradée
P62	Fidirana	46,57899	-19,58247	Riz pluvial (conv)	Non suivi	plat		SF à stre peu dégradée
P63	Fidirana	46,57211	-19,58788	Maïs (conv)	Non suivi	légèrement en pente		SF à stre peu dégradée
P64	Ankazo	46,53633	-19,62821	Riz pluvial (conv)	Non suivi	plat		SF à stre peu dégradée
P65	Ankazo	46,53877	-19,63187	Riz pluvial (conv)	Non suivi	légèrement en pente	1106	SF concrétionnés
P66	Ankazo	46,54931	-19,6479	Riz pluvial (conv)	Non suivi	plat	1147	SF concrétionnés
P67	Ankazo	46,55123	-19,65229	Maïs (Conv)	Non suivi	plat	1161	SF concrétionnés

P68	Inanantonana	46,60405	-19,62092	Stylosanthès (jachère)	FAFIALA	légèrement en pente	1252	SF concrétionnés
P69	Inanantonana	46,61737	-19,63564	Riz pluvial (conv)	Non suivi	plat		SF à stre peu dégradée
P70	Inanantonana	46,61358	-19,64625	Maïs+ Riz pluvial (conv)	Non suivi	légèrement en pente	1314	SF à stre peu dégradée
P71	Ankazo	46,5372	-19,6439	Riz pluvial (conv)	Non suivi	légèrement en pente	1134	SF concrétionnés
P72	Ambohitromby (Vinany)	46,49943	-19,60242	Maïs + pois de terre(SCV)	FAFIALA	Pente faible	1003	SF à stre peu dégradée
P73	Ambohitromby	46,49724	-19,6063	Riz pluvial (conv)	Non suivi	Pente faible	1022	SF à stre dégradée
P74	Ambohitromby (Vinany)	46,49475	-19,60821	Riz pluvial (conv)	Non suivi	Pente faible	1028	SF à stre dégradée
P75	Malazaimanga (Vohitrarivo)	46,54545	-19,57808	Riz pluvial (conv)	Non suivi	Pente faible	1106	SF à stre peu dégradée
P76	Vohitrarivo	46,5318	-19,57574	Riz pluvial (conv)	Non suivi	tanety plat	1112	SF à stre peu dégradée
P77	Vohitrarivo	46,52742	-19,58231	Maïs (Conv)	Non suivi	Pente faible	1128	SF à stre peu dégradée
P78	Ambatomainty (Vohitrarivo)	46,53848	-19,58413	Arachide (conv)	Non suivi	pente moyenne	1125	SF à stre peu dégradée
P79	Malazaimanga (Vohitrarivo)	46,54342	-19,58046	Riz pluvial (conv)	Non suivi	plat	1101	SF à stre peu dégradée
P80	Ampasandaoka	46,53494	-19,60303	Maïs (Conv)	Non suivi	Pente faible	1052	SF à stre peu dégradée
P81	Ampasandaoka	46,53811	-19,60386	maïs + arachide (conv)	Non suivi	Pente faible	1061	SF à stre peu dégradée
P82	Ambanampontsy	46,53695	-19,61729	manioc (conv)	Non suivi	Pente faible	1071	SF à stre peu dégradée
P83	Soamahamania (Ankilahila)	46,53426	-19,63626	maïs (conv)	Non suivi	Pente faible	1114	SF concrétionnés
P84	Iandratsay	46,55935	-19,67096	Jachère	Non suivi	pente moyenne	1170	SF concrétionnés
P85	Iandratsaimahamasina	46,56238	-19,66503	maïs (conv)	Non suivi	plat	1187	SF concrétionnés

P86	Iandratsaimahamasina	46,56697	-19,66113	Jachère	Non suivi	bas de tanety	1182	SF concrétionnés
P87	Antanetibe	46,56309	-19,65901	Maïs+stylo (SCV)	FAFIALA	tanety	1191	SF concrétionnés
P88	Ankerana	46,55954	-19,6522	Riz pluvial (conv)	Non suivi	Pente faible	1164	SF concrétionnés
P89	Ankerana	46,56617	-19,65304	arachide (conv)	Non suivi	pente moyenne	1186	SF concrétionnés
P90	Ambatobe (Inanantonana)	46,60938	-19,66157	Maïs (Conv)	Non suivi	pente moyenne	1315	SF à stre peu dégradée
P91	Beronono	46,51464	-19,62816	maïs + arachide (conv)	Non suivi	plat	1148	SF à stre peu dégradée
P92	Ambohipeno (Ankazomiriotra)	46,51851	-19,64137	Riz pluvial (conv)	Non suivi	Pente faible	1115	SF à stre peu dégradée
P93	Malazaimanga (Vohitrarivo)	46,5505	-19,58837	Riz pluvial (conv)	Non suivi	plat	1116	SF à stre peu dégradée
P94	Ambohimasikely	46,57322	-19,59372	Maïs + pois de terre (conv)	Non suivi	Pente faible	1208	SF à stre peu dégradée
P95	Ambohikandra (Ambohimasikely)	46,57957	-19,6023	Maïs (Conv)	Non suivi	plat	1228	SF à stre peu dégradée
P96	Avarabato	46,54812	-19,63541	Riz pluvial (conv)	Non suivi	Pente faible	1101	SF concrétionnés
P97	Antanetikely	46,58621	-19,67424	Riz pluvial (conv)	Non suivi	Pente faible	1159	SF concrétionnés
P98	Inanantonana	46,61537	-19,62786	Riz pluvial (conv)	Non suivi	plat	1304	SF concrétionnés
P99	Inanantonana	46,61603	-19,64843	Riz pluvial (conv)	Non suivi	pente moyenne	1210	SF à stre peu dégradée
P100	Antanety Sud	46,62427	-19,67983	Riz pluvial (conv)	Non suivi	Pente faible	1174	SF à stre peu dégradée

Annexe 4 : Résultats des analyses au laboratoire

N° LRI	N° prél	N (%)	C (%)	TC (mg/g)	TN (mg/g)	Da(g/cm3)	StC(Mg/ha)	StN(Mg/ha)
LRI 42405	P1 compo 1	0,194646	2,515483	25,15	1,95	1,15	29,03	2,25
LRI 42406	P1 compo 2	0,087138	1,116026	11,16	0,87	1,16	12,99	1,01
LRI 42407	P1 compo 3	0,090088	1,019917	10,20	0,90	1,30	13,31	1,18
LRI 42410	P2 compo 1	0,15663	1,889893	18,90	1,57	1,18	22,21	1,84
LRI 42411	P2 compo 2	0,07463	0,871102	8,71	0,75	1,27	11,07	0,95
LRI 42412	P2 compo 3	0,064036	0,712063	7,12	0,64	1,29	9,16	0,82
LRI 42415	P3 compo 1	0,146199	1,825659	18,26	1,46	1,01	18,41	1,47
LRI 42416	P3 compo2	0,129159	1,623806	16,24	1,29	1,13	18,34	1,46
LRI 42417	P3 compo 3	0,128784	1,618369	16,18	1,29	1,07	17,33	1,38
LRI 42420	P4 compo 1	0,164952	2,201382	22,01	1,65	0,90	19,87	1,49
LRI 42421	P4 compo 2	0,12241	1,620246	16,20	1,22	1,09	17,59	1,33
LRI 42422	P4 compo 3	0,089801	1,044354	10,44	0,90	1,22	12,71	1,09
LRI 42425	P5 compo 1	0,138109	1,608267	16,08	1,38	1,23	19,75	1,70
LRI 42426	P5 compo 2	0,092306	0,90328	9,03	0,92	1,26	11,34	1,16
LRI 42427	P5 compo 3	0,083236	0,935574	9,36	0,83	1,31	12,22	1,09
LRI 42430	P6 compo 1	0,145501	1,936887	19,37	1,46	1,07	20,76	1,56
LRI 42431	P6 compo 2	0,111167	1,480693	14,81	1,11	1,14	16,82	1,26

LRI 42432	P6 compo 3	0,070952	0,797593	7,98	0,71	1,13	8,99	0,80
LRI 42435	P7 compo 1	0,17644	2,410822	24,11	1,76	1,17	28,33	2,07
LRI 42436	P7 compo2	0,084341	1,037368	10,37	0,84	1,12	11,59	0,94
LRI 42437	P7 compo 3	0,094951	1,26665	12,67	0,95	1,27	16,06	1,20
LRI 42440	P8 compo 1	0,194497	2,782376	27,82	1,94	1,03	28,53	1,99
LRI 42441	P8 compo 2	0,168876	2,543858	25,44	1,69	1,20	30,50	2,02
LRI 42442	P8 compo 3	0,140208	2,077093	20,77	1,40	1,23	25,48	1,72
LRI 42445	P9 compo 1	0,144506	1,791464	17,91	1,45	1,06	19,04	1,54
LRI 42446	P9 compo 2	0,132104	1,631472	16,31	1,32	1,15	18,74	1,52
LRI 42447	P9 compo 3	0,103642	1,156615	11,57	1,04	1,19	13,80	1,24
LRI 42450	P10 compo 1	0,123129	1,496537	14,97	1,23	1,06	15,89	1,31
LRI 42451	P10 compo2	0,098316	1,02263	10,23	0,98	1,19	12,18	1,17
LRI 42452	P10 compo 3	0,070606	0,637668	6,38	0,71	1,31	8,38	0,93
LRI 42455	P11 compo 1	0,187461	2,542716	25,43	1,87	1,04	26,44	1,95
LRI 42456	P11 compo2	0,169421	2,3337	23,34	1,69	1,15	26,74	1,94
LRI 42457	P11 compo 3	0,117029	1,655029	16,55	1,17	1,27	20,94	1,48
LRI 42460	P12 compo 1	0,176451	2,449099	24,49	1,76	1,02	25,06	1,81
LRI 42461	P12 compo 2	0,124489	2,231644	22,32	1,24	1,14	25,36	1,41
LRI 42462	P12 compo 3	0,270025	3,758154	37,58	2,70	1,28	48,01	3,45
LRI 42465	P13 compo 1	0,186613	2,428198	24,28	1,87	1,29	31,36	2,41

LRI 42466	P13 compo 2	0,102404	1,359995	13,60	1,02	1,31	17,84	1,34
LRI 42467	P13 compo 3	0,128204	1,800336	18,00	1,28	1,42	25,61	1,82
LRI 42470	P14 compo 1	0,221381	3,057234	30,57	2,21	1,08	33,17	2,40
LRI 42471	P14 compo2	0,161604	2,002412	20,02	1,62	1,16	23,26	1,88
LRI 42472	P14 compo 3	0,091479	1,027805	10,28	0,91	1,32	13,60	1,21
LRI 42475	P15 compo 1	0,25175	3,798736	37,99	2,52	0,90	34,28	2,27
LRI 42476	P15 compo 2	0,151112	2,04325	20,43	1,51	1,10	22,57	1,67
LRI 42477	P15 compo 3	0,113477	1,248655	12,49	1,13	1,15	14,33	1,30
LRI 42480	P16 compo 1	0,220874	2,841397	28,41	2,21	1,02	28,95	2,25
LRI 42481	P16 compo 2	0,136526	1,590132	15,90	1,37	1,22	19,33	1,66
LRI 42482	P16 compo 3	0,101147	0,938247	9,38	1,01	1,27	11,92	1,29
LRI 42485	P17 compo 1	0,163401	2,042929	20,43	1,63	1,06	21,61	1,73
LRI 42486	P17 compo 2	0,137718	1,746979	17,47	1,38	1,05	18,30	1,44
LRI 42487	P17 compo 3	0,096227	1,114456	11,14	0,96	1,09	12,10	1,04
LRI 42490	P18 compo 1	0,139766	1,646376	16,46	1,40	1,25	20,51	1,74
LRI 42491	P18 compo 2	0,093118	1,234309	12,34	0,93	1,17	14,44	1,09
LRI 42492	P18 compo 3	0,092214	1,217248	12,17	0,92	1,21	14,69	1,11
LRI 42495	P19 compo 1	0,149989	1,806477	18,06	1,50	1,43	25,80	2,14
LRI 42496	P19 compo 2	0,107005	1,174449	11,74	1,07	1,49	17,51	1,60
LRI 42497	P19 compo 3	0,07268	0,767877	7,68	0,73	1,50	11,52	1,09

LRI 42500	P20 compo 1	0,224211	2,848954	28,49	2,24	1,18	33,51	2,64
LRI 42501	P20 compo2	0,153044	1,947914	19,48	1,53	1,17	22,85	1,80
LRI 42502	P20 compo 3	0,105838	1,239768	12,40	1,06	1,22	15,06	1,29
LRI 42505	P21 compo 1	0,175221	2,374467	23,74	1,75	1,07	25,31	1,87
LRI 42506	P21 compo 2	0,143397	1,903171	19,03	1,43	1,27	24,14	1,82
LRI 42507	P21 compo 3	0,120236	1,373092	13,73	1,20	1,22	16,77	1,47
LRI 42510	P22 compo 1	0,138778	1,686112	16,86	1,39	1,09	18,35	1,51
LRI 42511	P22 compo 2	0,181103	2,300685	23,01	1,81	1,18	27,22	2,14
LRI 42512	P22 compo 3	0,109888	1,288474	12,88	1,10	1,24	16,02	1,37
LRI 42515	P23 compo 1	0,193799	2,675211	26,75	1,94	1,22	32,69	2,37
LRI 42516	P23 compo 2	0,130014	1,856241	18,56	1,30	1,29	23,94	1,68
LRI 42517	P23 compo 3	0,074211	1,026507	10,27	0,74	1,21	12,45	0,90
LRI 42520	P24 compo 1	0,172996	2,189732	21,90	1,73	1,05	22,99	1,82
LRI 42521	P24 compo 2	0,107406	1,195371	11,95	1,07	1,10	13,15	1,18
LRI 42522	P24 compo 3	0,082576	0,797157	7,97	0,83	1,29	10,28	1,07
LRI 42525	P25 compo 1	0,138867	1,639385	16,39	1,39	1,04	17,05	1,44
LRI 42526	P25 compo 2	0,09005	0,956924	9,57	0,90	1,05	10,05	0,95
LRI 42527	P25 compo 3	0,046518	0,529647	5,30	0,47	1,08	5,72	0,50
LRI 42530	P26 compo 1	0,171906	2,175041	21,75	1,72	1,10	23,88	1,89
LRI 42531	P26 compo2	0,10518	1,278088	12,78	1,05	1,16	14,76	1,22

LRI 42532	P26 compo 3	0,082268	0,890667	8,91	0,82	1,28	11,42	1,05
LRI 42535	P27 compo 1	0,148154	1,901288	19,01	1,48	1,06	20,12	1,57
LRI 42536	P27 compo 2	0,126281	1,477623	14,78	1,26	1,08	15,92	1,36
LRI 42537	P27 compo 3	0,089283	0,84846	8,48	0,89	1,08	9,16	0,96
LRI 42540	P28 compo 1	0,158401	2,156649	21,57	1,58	1,13	24,28	1,78
LRI 42541	P28 compo 2	0,092756	1,138864	11,39	0,93	1,18	13,47	1,10
LRI 42542	P28 compo 3	0,129161	1,55726	15,57	1,29	1,27	19,80	1,64
LRI 42545	P29 compo 1	0,067408	0,705494	7,05	0,67	1,14	8,01	0,77
LRI 42546	P29 compo 2	0,103587	1,204518	12,05	1,04	1,24	14,98	1,29
LRI 42547	P29 compo 3	0,08474	0,938645	9,39	0,85	1,33	12,53	1,13
LRI 42550	P30 compo 1	0,144714	1,7215	17,22	1,45	1,08	18,57	1,56
LRI 42551	P30 compo 2	0,131054	1,586202	15,86	1,31	1,27	20,20	1,67
LRI 42552	P30 compo 3	0,11151	1,30744	13,07	1,12	1,30	17,05	1,45
LRI 42555	P31 compo 1	0,112111	1,356631	13,57	1,12	1,01	13,63	1,13
LRI 42556	P31 compo 2	0,074937	0,802783	8,03	0,75	1,22	9,78	0,91
LRI 42557	P31 compo 3	0,061513	0,595724	5,96	0,62	1,21	7,21	0,74
LRI 42560	P32 compo 1	0,176806	2,302246	23,02	1,77	0,96	22,16	1,70
LRI 42561	P32 compo 2	0,146183	1,82017	18,20	1,46	1,00	18,13	1,46
LRI 42562	P32 compo 3	0,102056	0,977851	9,78	1,02	1,19	11,67	1,22
LRI 42565	P33 compo 1	0,153121	1,780495	17,80	1,53	1,03	18,32	1,58

LRI 42566	P33 compo 2	0,108103	1,084314	10,84	1,08	1,15	12,45	1,24
LRI 42567	P33 compo 3	0,086297	0,706205	7,06	0,86	1,22	8,62	1,05
LRI 42570	P34 compo 1	0,176176	2,222876	22,23	1,76	1,02	22,61	1,79
LRI 42571	P34 compo 2	0,124092	1,582668	15,83	1,24	1,19	18,88	1,48
LRI 42572	P34 compo 3	0,088696	1,118017	11,18	0,89	1,24	13,89	1,10
LRI 42575	P35 compo 1	0,153801	2,176183	21,76	1,54	1,17	25,44	1,80
LRI 42576	P35 compo 2	0,114899	1,69173	16,92	1,15	1,30	21,93	1,49
LRI 42577	P35 compo 3	0,087359	1,350286	13,50	0,87	1,27	17,14	1,11
LRI 42580	P36 compo 1	0,099245	0,948084	9,48	0,99	0,98	9,27	0,97
LRI 42581	P36 compo 2	0,065713	0,673924	6,74	0,66	1,01	6,82	0,66
LRI 42582	P36 compo 3	0,048084	0,463476	4,63	0,48	1,06	4,93	0,51
LRI 42585	P37 compo 1	0,118743	1,534598	15,35	1,19	1,23	18,82	1,46
LRI 42586	P37 compo2	0,110009	1,071539	10,72	1,10	1,19	12,75	1,31
LRI 42587	P37 compo 3	0,070642	0,758977	7,59	0,71	1,14	8,64	0,80
LRI 42590	P38 compo 1	0,145269	1,820814	18,21	1,45	1,18	21,48	1,71
LRI 42591	P38 compo2	0,081275	0,856353	8,56	0,81	1,24	10,63	1,01
LRI 42592	P38 compo 3	0,050794	0,538703	5,39	0,51	1,15	6,18	0,58
LRI 42595	P39 compo 1	0,181758	2,232578	22,33	1,82	0,95	21,12	1,72
LRI 42596	P39 compo 2	0,122718	1,331196	13,31	1,23	1,05	14,01	1,29
LRI 42597	P39 compo 3	0,091275	0,770947	7,71	0,91	1,16	8,97	1,06

LRI 42600	P40 compo 1	0,175064	2,442755	24,43	1,75	1,22	29,87	2,14
LRI 42601	P40 compo 2	0,141172	1,943804	19,44	1,41	1,26	24,54	1,78
LRI 42602	P40 compo 3	0,113627	1,447923	14,48	1,14	1,33	19,30	1,51
LRI 42605	P41 compo 1	0,200728	2,733058	27,33	2,01	1,20	32,81	2,41
LRI 42606	P41 compo 2	0,136247	1,796435	17,96	1,36	1,38	24,85	1,88
LRI 42607	P41 compo 3	0,09611	1,262987	12,63	0,96	1,31	16,60	1,26
LRI 42610	P42 compo 1	0,191272	2,627678	26,28	1,91	0,98	25,88	1,88
LRI 42611	P42 compo 2	0,140021	2,251295	22,51	1,40	0,98	22,17	1,38
LRI 42612	P42 compo 3	0,111103	1,56674	15,67	1,11	1,19	18,59	1,32
LRI 42615	P43 compo 1	0,183613	2,329994	23,30	1,84	1,04	24,16	1,90
LRI 42616	P43 compo 2	0,145196	1,799595	18,00	1,45	1,11	19,99	1,61
LRI 42617	P43 compo 3	0,09815	1,007385	10,07	0,98	1,20	12,05	1,17
LRI 42620	P44 compo 1	0,152232	1,879081	18,79	1,52	1,16	21,77	1,76
LRI 42621	P44 compo 2	0,105243	1,247995	12,48	1,05	1,35	16,86	1,42
LRI 42622	P44 compo 3	0,079498	0,894513	8,95	0,79	1,46	13,06	1,16
LRI 42625	P45 compo 1	0,167945	2,072603	20,73	1,68	1,09	22,63	1,83
LRI 42626	P45 compo 2	0,096031	1,073538	10,74	0,96	1,28	13,72	1,23
LRI 42627	P45 compo 3	0,078925	0,873253	8,73	0,79	1,29	11,31	1,02
LRI 42630	P46 compo 1	0,158793	2,082998	20,83	1,59	1,10	22,97	1,75
LRI 42631	P46 compo2	0,118705	1,413895	14,14	1,19	1,16	16,41	1,38

LRI 42632	P46 compo 3	0,106088	1,343074	13,43	1,06	1,19	15,97	1,26
LRI 42635	P47 compo 1	0,067074	1,591089	15,91	0,67	1,14	18,18	0,77
LRI 42636	P47 compo 2	0,042269	1,160106	11,60	0,42	1,12	13,00	0,47
LRI 42637	P47 compo 3	0,184293	0,646205	6,46	1,84	1,26	8,14	2,32
LRI 42640	P48 compo 1	0,171836	2,241451	22,41	1,72	1,16	25,95	1,99
LRI 42641	P48 compo 2	0,196979	1,690135	16,90	1,97	1,11	18,71	2,18
LRI 42642	P48 compo 3	0,07539	1,112884	11,13	0,75	1,12	12,44	0,84
LRI 42645	P49 compo 1	0,082619	1,367689	13,68	0,83	1,08	14,82	0,90
LRI 42646	P49 compo 2	0,073541	0,938565	9,39	0,74	1,21	11,36	0,89
LRI 42647	P49 compo 3	0,058417	0,571854	5,72	0,58	1,27	7,26	0,74
LRI 42650	P50 compo 1	0,094668	1,575151	15,75	0,95	1,19	18,75	1,13
LRI 42651	P50 compo 2	0,129838	1,537592	15,38	1,30	1,19	18,35	1,55
LRI 42652	P50 compo 3	0,010397	0,943012	9,43	0,10	1,29	12,20	0,13
LRI 42655	P51 compo 1	0,174771	1,447308	14,47	1,75	1,10	15,91	1,92
LRI 42656	P51 compo 2	0,090029	1,023189	10,23	0,90	1,14	11,62	1,02
LRI 42657	P51 compo 3	0,059409	0,62732	6,27	0,59	1,15	7,19	0,68
LRI 42660	P52 compo 1	0,086005	1,206088	12,06	0,86	1,06	12,83	0,91
LRI 42661	P52 compo 2	0,055348	0,610872	6,11	0,55	1,14	6,97	0,63
LRI 42662	P52 compo 3	0,050126	0,530279	5,30	0,50	1,15	6,11	0,58
LRI 42665	P53 compo 1	0,083572	1,15935	11,59	0,84	1,14	13,18	0,95

LRI 42666	P53 compo 2	0,071338	0,855839	8,56	0,71	1,14	9,75	0,81
LRI 42667	P53 compo 3	0,090212	0,723684	7,24	0,90	1,19	8,58	1,07
LRI 42670	P54 compo 1	0,077552	1,273911	12,74	0,78	1,25	15,93	0,97
LRI 42671	P54 compo 2	0,109142	0,977598	9,78	1,09	1,26	12,36	1,38
LRI 42672	P54 compo 3	0,095061	0,797724	7,98	0,95	1,22	9,73	1,16
LRI 42675	P55 compo 1	0,116678	1,909644	19,10	1,17	1,41	26,85	1,64
LRI 42676	P55 compo 2	0,082678	1,277368	12,77	0,83	1,36	17,35	1,12
LRI 42677	P55 compo 3	0,158065	0,920945	9,21	1,58	1,29	11,92	2,05
LRI 42680	P56 compo 1	0,271938	1,443819	14,44	2,72	1,12	16,16	3,04
LRI 42681	P56 compo 2	0,303386	0,944636	9,45	3,03	1,12	10,60	3,40
LRI 42682	P56 compo 3	0,093101	0,635885	6,36	0,93	1,24	7,88	1,15
LRI 42685	P57 compo 1	0,092405	1,213707	12,14	0,92	1,26	15,34	1,17
LRI 42686	P57 compo 2	0,010351	0,709325	7,09	0,10	1,16	8,23	0,12
LRI 42687	P57 compo 3	0,151381	0,599383	5,99	1,51	1,17	7,03	1,78
LRI 42690	P58 compo 1	0,1949	1,90337	19,03	1,95	1,20	22,87	2,34
LRI 42691	P58 compo 2	0,112755	0,933776	9,34	1,13	1,18	11,02	1,33
LRI 42692	P58 compo 3	0,129331	0,796155	7,96	1,29	1,29	10,25	1,67
LRI 42695	P59 compo 1	0,388927	3,289781	32,90	3,89	1,02	33,61	3,97
LRI 42696	P59 compo 2	0,249694	2,096442	20,96	2,50	1,08	22,69	2,70
LRI 42697	P59 compo 3	0,105772	1,467188	14,67	1,06	1,21	17,75	1,28

LRI 42700	P60 compo 1	0,125762	1,686859	16,87	1,26	1,17	19,79	1,48
LRI 42701	P60 compo 2	0,262352	1,360857	13,61	2,62	1,25	17,05	3,29
LRI 42702	P60 compo 3	0,010556	0,716664	7,17	0,11	1,30	9,33	0,14
LRI 42705	P61 compo 1	0,452776	2,303274	23,03	4,53	1,16	26,68	5,25
LRI 42706	P61 compo 2	0,47238	1,793782	17,94	4,72	1,19	21,38	5,63
LRI 42707	P61 compo 3	0,150128	1,150109	11,50	1,50	1,05	12,02	1,57
LRI 42710	P62 compo 1	0,176953	2,471114	24,71	1,77	1,13	27,84	1,99
LRI 42711	P62 compo 2	0,114644	1,642449	16,42	1,15	1,13	18,56	1,30
LRI 42712	P62 compo 3	0,084281	0,90038	9,00	0,84	1,21	10,90	1,02
LRI 42715	P63 compo 1	0,155861	2,465057	24,65	1,56	0,93	22,81	1,44
LRI 42716	P63 compo 2	0,104268	1,319414	13,19	1,04	1,02	13,49	1,07
LRI 42717	P63 compo 3	0,066357	0,663603	6,64	0,66	1,01	6,71	0,67
LRI 42720	P64 compo 1	0,088459	0,936228	9,36	0,88	1,05	9,86	0,93
LRI 42721	P64 compo 2	0,080135	0,882454	8,82	0,80	1,28	11,32	1,03
LRI 42722	P64 compo 3	0,059133	0,629981	6,30	0,59	1,15	7,22	0,68
LRI 42725	P65 compo 1	0,083351	0,89711	8,97	0,83	1,13	10,10	0,94
LRI 42726	P65 compo 2	0,057175	0,475066	4,75	0,57	1,23	5,82	0,70
LRI 42727	P65 compo 3	0,136436	0,585823	5,86	1,36	1,14	6,69	1,56
LRI 42730	P66 compo 1	0,097072	1,665189	16,65	0,97	1,15	19,18	1,12
LRI 42731	P66 compo 2	0,086603	1,500378	15,00	0,87	1,24	18,63	1,08

LRI 42732	P66 compo 3	0,058131	0,79771	7,98	0,58	1,28	10,22	0,74
LRI 42735	P67 compo 1	0,120314	1,820087	18,20	1,20	1,14	20,68	1,37
LRI 42736	P67 compo 2	0,106071	1,515061	15,15	1,06	1,32	19,94	1,40
LRI 42737	P67 compo 3	0,0763	0,944161	9,44	0,76	1,27	12,00	0,97
LRI 42740	P68 compo 1	0,154758	2,373048	23,73	1,55	1,19	28,18	1,84
LRI 42741	P68 compo 2	0,126581	1,913568	19,14	1,27	1,16	22,11	1,46
LRI 42742	P68 compo 3	0,081685	1,04045	10,40	0,82	1,14	11,89	0,93
LRI 42745	P69 compo 1	0,150862	2,528927	25,29	1,51	1,05	26,45	1,58
LRI 42746	P69 compo 2	0,130402	2,173501	21,74	1,30	1,21	26,29	1,58
LRI 42747	P69 compo 3	0,087856	1,433503	14,34	0,88	1,25	17,86	1,09
LRI 42750	P70 compo 1	0,106987	1,708372	17,08	1,07	1,23	20,94	1,31
LRI 42751	P70 compo 2	0,078652	1,148084	11,48	0,79	1,28	14,73	1,01
LRI 42752	P70 compo 3	0,073086	1,055012	10,55	0,73	1,43	15,05	1,04
LRI 42755	P71 compo 1	0,107926	1,647315	16,47	1,08	1,26	20,77	1,36
LRI 42756	P71 compo 2	0,086771	1,207192	12,07	0,87	1,31	15,79	1,14
LRI 42757	P71 compo 3	0,07308	0,916918	9,17	0,73	1,36	12,46	0,99
LRI 42760	P72 compo 1	0,098545	1,362799	13,63	0,99	1,15	15,72	1,14
LRI 42761	P72 compo 2	0,068053	0,948082	9,48	0,68	1,20	11,36	0,82
LRI 42762	P72 compo 3	0,060118	0,81659	8,17	0,60	1,19	9,75	0,72
LRI 42765	P73 compo 1	0,110088	1,639271	16,39	1,10	1,51	24,79	1,67

LRI 42766	P73 compo 2	0,077776	1,184941	11,85	0,78	1,29	15,34	1,01
LRI 42767	P73 compo 3	0,059869	0,809493	8,09	0,60	1,03	8,33	0,62
LRI 42770	P74 compo 1	0,097172	1,695167	16,95	0,97	1,22	20,64	1,18
LRI 42771	P74 compo 2	0,058901	0,839007	8,39	0,59	1,32	11,07	0,78
LRI 42772	P74 compo 3	0,055837	0,747434	7,47	0,56	1,30	9,75	0,73
LRI 42775	P75 compo 1	0,06862	1,02563	10,26	0,69	1,10	11,25	0,75
LRI 42776	P75 compo 2	0,060612	0,786399	7,86	0,61	1,07	8,41	0,65
LRI 42777	P75 compo 3	0,045188	0,525967	5,26	0,45	1,02	5,36	0,46
LRI 42780	P76 compo 1	0,106696	1,946188	19,46	1,07	1,07	20,83	1,14
LRI 42781	P76 compo 2	0,088213	1,422478	14,22	0,88	1,09	15,52	0,96
LRI 42782	P76 compo 3	0,06132	0,821711	8,22	0,61	1,18	9,68	0,72
LRI 42785	P77 compo 1	0,107541	1,708833	17,09	1,08	1,11	18,95	1,19
LRI 42786	P77 compo 2	0,091017	1,191345	11,91	0,91	1,16	13,87	1,06
LRI 42787	P77 compo 3	0,070817	2,005664	20,06	0,71	1,30	26,08	0,92
LRI 42790	P78 compo 1	0,113697	1,82253	18,23	1,14	1,04	18,90	1,18
LRI 42791	P78 compo 2	0,075273	0,92724	9,27	0,75	1,01	9,41	0,76
LRI 42792	P78 compo 3	0,055298	0,579184	5,79	0,55	1,11	6,43	0,61
LRI 42795	P79 compo 1	0,122971	2,382516	23,83	1,23	0,95	22,64	1,17
LRI 42796	P79 compo 2	0,121281	2,409126	24,09	1,21	0,93	22,49	1,13
LRI 42797	P79 compo 3	0,113958	2,304915	23,05	1,14	0,95	21,98	1,09

LRI 42800	P80 compo 1	0,117013	1,879796	18,80	1,17	1,16	21,84	1,36
LRI 42801	P80 compo 2	0,089441	1,407662	14,08	0,89	1,13	15,85	1,01
LRI 42802	P80 compo 3	0,070297	0,86506	8,65	0,70	1,17	10,10	0,82
LRI 42805	P81 compo 1	0,109888	1,753003	17,53	1,10	1,17	20,55	1,29
LRI 42806	P81 compo 2	0,082146	1,109648	11,10	0,82	1,13	12,50	0,93
LRI 42807	P81 compo 3	0,07878	0,961133	9,61	0,79	1,16	11,17	0,92
LRI 42810	P82 compo 1	0,086436	1,356665	13,57	0,86	1,15	15,61	0,99
LRI 42811	P82 compo 2	0,062697	0,924371	9,24	0,63	1,31	12,09	0,82
LRI 42812	P82 compo 3	0,055812	0,807072	8,07	0,56	1,31	10,60	0,73
LRI 42815	P83 compo 1	0,101344	1,630779	16,31	1,01	1,16	18,94	1,18
LRI 42816	P83 compo 2	0,073411	1,011386	10,11	0,73	1,17	11,88	0,86
LRI 42817	P83 compo 3	0,062093	0,71934	7,19	0,62	1,30	9,34	0,81
LRI 42820	P84 compo 1	0,087595	1,348687	13,49	0,88	1,21	16,38	1,06
LRI 42821	P84 compo 2	0,068916	1,010478	10,10	0,69	1,42	14,38	0,98
LRI 42822	P84 compo 3	0,065254	0,972443	9,72	0,65	1,41	13,70	0,92
LRI 42825	P85 compo 1	0,128881	2,261226	22,61	1,29	1,08	24,36	1,39
LRI 42826	P85 compo 2	0,106775	1,694446	16,94	1,07	1,20	20,35	1,28
LRI 42827	P85 compo 3	0,083023	1,28683	12,87	0,83	1,36	17,53	1,13
LRI 42830	P86 compo 1	0,085054	1,268746	12,69	0,85	1,38	17,45	1,17
LRI 42831	P86 compo 2	0,064963	0,99016	9,90	0,65	1,23	12,18	0,80

LRI 42832	P86 compo 3	0,060503	0,882692	8,83	0,61	1,30	11,50	0,79
LRI 42835	P87 compo 1	0,088195	1,238948	12,39	0,88	1,15	14,29	1,02
LRI 42836	P87 compo 2	0,057507	0,642037	6,42	0,58	1,07	6,85	0,61
LRI 42837	P87 compo 3	0,048853	0,531083	5,31	0,49	1,06	5,62	0,52
LRI 42840	P88 compo 1	0,093293	1,430798	14,31	0,93	1,20	17,22	1,12
LRI 42841	P88 compo 2	0,076211	1,144505	11,45	0,76	1,33	15,21	1,01
LRI 42842	P88 compo 3	0,059961	0,908301	9,08	0,60	1,30	11,81	0,78
LRI 42845	P89 compo 1	0,108943	1,552677	15,53	1,09	1,16	17,97	1,26
LRI 42846	P89 compo 2	0,06774	0,845575	8,46	0,68	1,32	11,18	0,90
LRI 42847	P89 compo 3	0,064401	0,64442	6,44	0,64	1,53	9,87	0,99
LRI 42850	P90 compo 1	0,133951	2,284143	22,84	1,34	1,07	24,40	1,43
LRI 42851	P90 compo 2	0,118786	2,004707	20,05	1,19	1,11	22,18	1,31
LRI 42852	P90 compo 3	0,099015	1,599599	16,00	0,99	1,15	18,42	1,14
LRI 42855	P91 compo 1	0,108604	2,047093	20,47	1,09	1,06	21,76	1,15
LRI 42856	P91 compo 2	0,108928	2,074038	20,74	1,09	1,13	23,43	1,23
LRI 42857	P91 compo 3	0,099515	1,895625	18,96	1,00	1,19	22,64	1,19
LRI 42860	P92 compo 1	0,072253	0,96124	9,61	0,72	1,14	10,94	0,82
LRI 42861	P92 compo 2	0,054733	0,466995	4,67	0,55	1,11	5,16	0,61
LRI 42862	P92 compo 3	0,046277	0,384205	3,84	0,46	1,17	4,51	0,54
LRI 42865	P93 compo 1	0,120345	2,476419	24,76	1,20	0,99	24,58	1,19

LRI 42866	P93 compo 2	0,099653	1,733474	17,33	1,00	0,90	15,65	0,90
LRI 42867	P93 compo 3	0,084103	1,056249	10,56	0,84	0,94	9,91	0,79
LRI 42870	P94 compo 1	0,099386	1,60341	16,03	0,99	0,96	15,45	0,96
LRI 42871	P94 compo 2	0,076352	1,17261	11,73	0,76	1,07	12,56	0,82
LRI 42872	P94 compo 3	0,064179	0,75337	7,53	0,64	1,06	7,96	0,68
LRI 42875	P95 compo 1	0,148686	2,727467	27,27	1,49	1,04	28,49	1,55
LRI 42876	P95 compo 2	0,10789	1,769612	17,70	1,08	1,02	18,01	1,10
LRI 42877	P95 compo 3	0,069726	1,241878	12,42	0,70	1,10	13,66	0,77
LRI 42880	P96 compo 1	0,081253	0,929085	9,29	0,81	1,18	10,99	0,96
LRI 42881	P96 compo 2	0,064476	0,652919	6,53	0,64	1,10	7,19	0,71
LRI 42882	P96 compo 3	0,058595	0,522664	5,23	0,59	1,14	5,94	0,67
LRI 42885	P97 compo 1	0,090494	1,21057	12,11	0,90	1,12	13,55	1,01
LRI 42886	P97 compo 2	0,066514	0,728522	7,29	0,67	1,09	7,95	0,73
LRI 42887	P97 compo 3	0,056523	0,568121	5,68	0,57	1,18	6,68	0,66
LRI 42890	P98 compo 1	0,110775	1,910668	19,11	1,11	1,22	23,35	1,35
LRI 42891	P98 compo 2	0,094992	1,572963	15,73	0,95	1,25	19,71	1,19
LRI 42892	P98 compo 3	0,066166	1,066886	10,67	0,66	1,31	13,94	0,86
LRI 42895	P99 compo 1	0,082354	1,412193	14,12	0,82	1,17	16,51	0,96
LRI 42896	P99 compo 2	0,063904	1,054731	10,55	0,64	1,25	13,22	0,80
LRI 42897	P99 compo 3	0,054026	0,912455	9,12	0,54	1,24	11,36	0,67

LRI 42900	P100 compo 1	0,108821	1,771239	17,71	1,09	1,18	20,97	1,29
LRI 42901	P100 compo 2	0,067116	1,128038	11,28	0,67	1,33	15,00	0,89
LRI 42902	P100 compo 3	0,058987	0,915202	9,15	0,59	1,44	13,14	0,85

Annexe 5 : Stocks à masse équivalente des deux systèmes sur 0-30cm

Système de culture	masse sol(g)	masse de réf(g)	StC(Mg/ha)	StC à masse équiv(Mg/ha)	StN(Mg/ha)	StN à masse équiv(Mg/ha)
Maïs+stylo(SCV)	3 379,51	3 312,91	41,50	40,68	3,71	3,63
Stylo+RP(SCV)	3 528,53	3 312,91	52,39	49,19	4,21	3,96
Maïs+RP+stylo(SCV)	3 666,54	3 312,91	57,38	51,84	5,23	4,72
Jachère stylo (SCV)	3 466,42	3 312,91	58,69	56,09	4,56	4,36
Haricot(Conv)	3 513,95	3 312,91	46,56	43,89	3,79	3,58
Jachère/CA(Conv)	3 977,04	3 312,91	42,79	35,65	2,86	2,38
Maïs(Conv)	3 453,24	3 312,91	51,95	49,84	4,23	4,06
Maïs+lég(Conv)	3 312,91	3 312,91	48,16	48,16	2,96	2,96
Maïs+RP(Conv)	3 681,47	3 312,91	48,16	43,34	3,96	3,57
RP(Conv)	3 551,04	3 312,91	42,49	39,64	3,34	3,12

** Stylo= *Stylosanthes sp* ; SCV= Système de culture sous couverture végétale permanente ; Conv= Conventionnel ; RP= Riz pluvial ; StC = Stock de C ; StN= Stock d'azote

Annexe 6 : Stocks à masse équivalente des groupes de sols ferrallitiques sur 0-30cm

Système	Sol	masse sol	masse de réf	StC	StC à masse équiv	StN	StN à masse équiv
Haricot (conv)	SFC	3 512,83	3 205,45	46,31	42,26	3,80	3,47
Jachère	SFC	3 977,04	3 205,45	42,79	34,49	2,86	2,31
Maïs+stylo (SCV)	SFC	3 277,22	3 205,45	26,75	26,17	2,15	2,10
Stylo+ Riz pluvial(SCV)	SFC	3 635,58	3 205,45	57,15	50,38	4,45	3,92
Stylo+Riz pluvial+Maïs (SCV)	SFC	3 205,45	3 205,45	50,17	50,17	3,91	3,91
Stylosanthès (jachère)	SFC	3 564,32	3 205,45	71,42	64,23	5,72	5,14
Maïs (Conv)	SFC	3 647,36	3 205,45	41,24	36,25	3,02	2,66
Haricot (Conv)	SFD	3 623,22	3 205,45	55,34	48,96	4,44	3,93
Maïs + pois de terre(SCV)	SFD	3 545,43	3 205,45	36,83	33,29	2,67	2,41
Maïs+Stylo (SCV)	SFD	3 522,93	3 205,45	39,32	35,78	3,56	3,24
Stylo+Riz pluvial (SCV)	SFD	3 425,09	3 205,45	55,03	51,50	4,40	4,12
Maïs (Conv)	SFD	3 635,13	3 205,45	44,47	39,21	4,65	4,10
Haricot (Conv)	SFPD	3 665,08	3 205,45	41,91	36,66	3,33	2,91
maïs + arachide (conv)	SFPD	3 465,12	3 205,45	54,77	50,67	3,60	3,33
Maïs+ Riz pluvial (conv)	SFPD	3 366,13	3 205,45	45,86	43,67	2,62	2,50
Maïs+stylo(SCV)	SFPD	3 371,29	3 205,45	44,89	42,68	4,05	3,85
Maïs (conv)	SFPD	3 441,31	3 205,45	48,83	45,48	3,99	3,72
Stylosanthès (jachère)	SFPD	3 640,22	3 205,45	44,97	39,60	4,51	3,97
Stylo+Riz pluvial+Maïs (SCV)	SFPD	3 515,05	3 205,45	61,60	56,17	5,02	4,58

** Stylo= *Stylosanthès sp* ; SCV= Système de culture sous couverture végétale permanente ; Conv= Conventionnel ; RP= Riz pluvial ; StC = Stock de C ; StN= Stock d'azote

Annexe 7 : Historique des parcelles en SCV

SCV₁ : Riz pluvial+ Stylo	SCV₂ : Maïs + Stylo	SCV₃ : Riz pluvial+ Maïs + Stylo	SCV₄ : Jachère Stylo
<p>A₀ : Riz pluvial+ Stylo</p> <p>A₁ : Jachère Stylo</p> <p>A₂ : Riz pluvial + Stylo</p>	<p>A₀ : Riz pluvial+ Stylo</p> <p>A₁ : Jachère Stylo</p> <p>A₂ : Riz pluvial + Stylo</p> <p>A₃ : Maïs + Stylo</p>	<p>A₀ : Riz pluvial+ Stylo</p> <p>A₁ : Jachère Stylo</p> <p>A₂ : Riz pluvial + Stylo</p> <p>A₃ : Jachère Stylo</p> <p>A₄ : Riz pluvial+ Maïs + Stylo</p>	<p>A₀ : Riz pluvial+ Stylo</p> <p>A₁ : Jachère Stylo</p> <p>Ou</p> <p>A₀ : Riz pluvial+ Stylo</p> <p>A₁ : Jachère Stylo</p> <p>A₂ : Jachère Stylo</p>