

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE des SCIENCES AGRONOMIQUES de BORDEAUX**  
**AQUITAINE**

1, cours du Général de Gaulle - CS 40201 - 33175 GRADIGNAN cedex

**M E M O I R E** de fin d'études

pour l'obtention du titre

**d'Ingénieur de Bordeaux Sciences Agro**

**LES DETERMINANTS ET PERCEPTION DE LA MACROFAUNE DU SOL AU  
NIVEAU DES EXPLOITATIONS AGRICULTURE-ELEVAGE DES HAUTES-  
TERRES DU VAKINANKARATRA, MADAGASCAR**

*Rakotomanga Diane*

Spécialisation : Agroécologie et gestion des ressources (AGROGER)

Etude réalisée au CIRAD (Centre de coopération internationale pour la recherche agronomique et le développement) en coopération avec le FOFIFA (Centre national de recherche appliquée au développement rural malgache), le LRI (Laboratoire des radio-isotopes, Université d'Antananarivo) et l'IRD (Institut de recherche pour le développement)

Direction régionale du CIRAD Madagascar et pays de la COI (Comores, Ile Maurice, Seychelles)  
Ampandrianomby, BP 853  
Antananarivo 101  
Madagascar

- 2015 -

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE des SCIENCES AGRONOMIQUES de BORDEAUX**  
**AQUITAINE**

1, cours du Général de Gaulle - CS 40201 – 33175 GRADIGNAN cedex

**M E M O I R E** de fin d'études

pour l'obtention du titre

**d'Ingénieur de Bordeaux Sciences Agro**

**LES DETERMINANTS ET PERCEPTION DE LA MACROFAUNE DU SOL AU  
NIVEAU DES EXPLOITATIONS AGRICULTURE-ELEVAGE DES HAUTES-  
TERRES DU VAKINANKARATRA, MADAGASCAR**

*Rakotomanga Diane*

Spécialisation : Agroécologie et gestion des ressources (AGROGER)

Etude réalisée au CIRAD (Centre de coopération internationale pour la recherche agronomique et le développement) en coopération avec le FOFIFA (Centre national de recherche appliquée au développement rural malgache), le LRI (Laboratoire des radio-isotopes, Université d'Antananarivo) et l'IRD (Institut de recherche pour le développement)

Direction régionale du CIRAD Madagascar et pays de la COI (Comores, Ile Maurice, Seychelles)  
Ampandrianomby, BP 853  
Antananarivo 101  
Madagascar

- 2015 -



## RESUMÉ

Dans les Hautes-Terres de Madagascar, la macrofaune du sol peut être perçue comme bioagresseur des cultures, notamment pour le riz pluvial dont le principal ravageur est la larve de Coléoptère (ver blanc). L'objectif de cette étude est de tester l'effet de deux pratiques culturales, l'apport de fumier et le labour, sur la macrofaune du sol et plus particulièrement les vers de terre (faune utile) et les vers blancs (faune essentiellement nuisible), selon cinq modes de gestion des cultures susceptibles de l'impacter : cultures annuelles labourées et apport de fumier modéré (LAMF) et élevé (LAEF), cultures fourragères sans labour et avec apport de fumier (SM), cultures en agriculture de conservation (AC) et pâturages permanents, non labourés et sans apport de fumier (PP). Ces modes de gestion des cultures ont été définis à la suite de la caractérisation de douze exploitations en agriculture-élevage de la région d'Antsirabe au sein desquelles des prélèvements de macrofaune du sol ont eu lieu ainsi que des enquêtes auprès des agriculteurs concernant leur perception de cette macrofaune. Il en est ressorti que l'absence de labour dans les cultures annuelles et pérennes favorise la macrofaune du sol et que la présence de fumier ne l'impacte que secondairement. Les agriculteurs enquêtés perçoivent la macrofaune du sol comme un facteur nuisible plutôt que bénéfique même s'ils connaissent le rôle des vers de terre et des confusions existent au niveau de l'identification des vers blancs. Cependant, d'autres études ont montré que la présence de fumier diminuait l'activité des vers blancs rhizophages et qu'à terme le non labour favorisait un tassement du sol diminuant l'activité des vers de terre.

In the Highlands of Madagascar, soil macrofauna can be considered as a pest, especially for the upland rice which is mainly attacked by the Coleopteran larvae (white grub). This study aims to determine the effect of two practices for crop production, manure and tillage uses, on soil macrofauna and especially on earthworms (useful fauna) and white grubs (pests) according to five crops managements which could impact them: annual crops under tillage and average and high manure level (LAMF and LAEF), no-tillage forage crops and manure (SM), crops under conservation agriculture (AC) and no-tillage and no-manure permanent pastures (PP). These crops managements have been defined using the characterization of twelve livestock farms of the Antsirabe region. In each farm, soil macrofauna samples were taken and surveys about macrofauna perception by the farmers were made. The results show that no-tillage in annual and perennial crops promotes soil macrofauna and that the use of manure has no main effect on it. The farmers consider soil macrofauna as a pest instead of a tool which could improve their

fields fertility even if they recognize the earthworms as « soil engineers ». There are still confusions in white grubs identification by the farmers. However, other studies showed that the use of manure could decrease the white grubs activity and that no-tillage long term effect could promote a decrease of earthworms activity by compressing the ground.

Mots clés : macrofaune du sol, vers de terre, vers blancs, labour, fumier, perception

## **PREFACE**

Le Centre de coopération internationale pour la recherche agronomique et le développement (CIRAD) agit selon six axes de recherche à Madagascar : Intensification écologique ; Biomasse énergie ; Alimentation sûre et diversifiée ; Santé animale, maladies émergentes; Politiques publiques, pauvreté et inégalités; Agriculture, environnement, nature et sociétés.

Ces activités sont notamment menées en partenariat avec des organismes de recherche locaux comme le Centre national de recherche appliquée au développement rural (FOFIFA) et l'Université d'Antananarivo (Laboratoire des Radio-Isotopes (LRI)) et des acteurs du développement comme l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

C'est donc dans le cadre d'un partenariat entre ces quatre institutions que cette étude s'est déroulée.

### **Remerciements :**

Je tiens à remercier tout particulièrement M. Patrice Autfray (Chercheur au Centre de coopération internationale pour la recherche agronomique et le développement (CIRAD)) affecté à Madagascar, Mme Malalatiana Razafindrakoto (Chercheur au Laboratoire de Radio-isotopes (LRI), Université d'Antananarivo), Mme Bodovololona Rabary (Chercheur au Centre national de recherche appliquée au développement rural (FOFIFA)) et M. Eric Blanchart (Chercheur à l'UMR Eco&Sol à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD)) affecté à Madagascar, pour leur encadrement tout au long de ce stage. Je remercie également toute l'équipe SPAD (Systèmes de production d'altitude et durabilité) du CIRAD à Antsirabe pour l'accueil et l'ambiance chaleureuse qu'ils ont su pourvoir tout au long de notre travail collectif. Un grand merci aussi à l'équipe du FOFIFA, à M. Richard Randriamanantsoa, Maître de Recherches au Centre national de recherche appliquée au développement rural (FOFIFA) et aux techniciens Emile et Herlain pour leur contribution à ce travail. Merci également aux responsables du FIFAMANOR qui ont accepté de mettre leurs parcelles à notre disposition pour les expérimentations et pour toutes les informations qu'ils ont bien voulu nous fournir.

Enfin, je remercie les ouvriers et ouvrières qui ont participé chaque jour durant la phase de terrain aux prélèvements et au tri de la macrofaune dans des conditions parfois difficiles mais toujours dans la bonne humeur et l'application.

## SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	1
1.1. Contexte de l'étude .....	1
1.2. Objectifs de l'étude .....	3
1.3. Hypothèses de départ .....	3
<b>2. MATERIEL ET METHODES</b> .....	4
2.1. Réalisation d'une caractérisation des exploitations à partir des flux de biomasse durant la campagne 2014-2015 suite aux entretiens avec les agriculteurs (d'après Tonneau et al., 2002) .....	4
2.2. Protocole de prélèvement de la macrofaune (méthode TSBF : Tropical soil biology and fertility) (Anderson et Ingram, 1993) .....	7
2.3. Approches participatives sur la perception de la macrofaune .....	10
2.3.1. Au cours des prélèvements .....	10
2.3.2. Ateliers avec les agriculteurs portant sur les moyens de lutte contre les vers blancs et le rôle des vers de terre dans la fertilité des sols .....	10
<b>3. RESULTATS</b> .....	10
3.1. Réalisation d'une caractérisation des exploitations à partir des flux de biomasse durant la campagne 2014-2015 .....	10
3.2. Résultats des prélèvements faits sur la macrofaune .....	17
3.2.1. Groupes taxonomiques identifiés .....	17
3.2.2. Effets des facteurs biophysiques sur les groupes fonctionnels .....	21
3.2.3. Effets des modes de gestion des cultures sur les différents ordres identifiés .....	23
3.2.4. Effets des modes de gestion des cultures sur les groupes fonctionnels .....	25
3.3. Perception et lutte contre les ravageurs .....	27
3.3.1. Noms vernaculaires des principaux individus de la macrofaune du sol identifiés par les agriculteurs .....	27
3.3.2. Résultats de l'enquête sur la perception macrofaune .....	28
3.3.3. Conception du livret de sensibilisation à la macrofaune du sol .....	31
<b>4. DISCUSSION</b> .....	32
4.1. Eléments de discussion concernant les résultats des prélèvements faits sur la macrofaune .....	32

4.1.1. Effets des pratiques culturales sur la macrofaune du sol dans son ensemble ....	32
4.1.2. Impact de l'apport de fumier sur les rhizophages .....	35
4.1.3. Effet du non labour sur les géophages dans les cultures annuelles .....	36
4.1.4. Utilisation des vers de terre comme bio-indicateurs de la qualité des sols .....	37
4.2. Eléments de discussion concernant les résultats de la perception de la macrofaune par les agriculteurs .....	38
4.3. Eléments de discussion concernant la typologie des exploitations à partir des flux de biomasse durant la campagne 2014-2015 .....	40
4.4. Limites de l'étude .....	42
4.4.1. Lien entre présence de vers de terre et carbone organique .....	42
4.4.2. Existence d'un possible « effet site » non testé .....	42
4.4.3. Choix des exploitations enquêtées et représentativité de celles-ci au niveau régional .....	43
4.4.4. Choix des indicateurs utilisés lors du traitement d'enquête .....	45
<b>5. CONCLUSION .....</b>	<b>45</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>48</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>52</b>
ANNEXE (I) : RETROPLANNING PRESENTANT LE DEROULEMENT DU STAGE .....	52
ANNEXE (II) : EXEMPLE D'UNE CARTE DE L'EXPLOITATION 1 REALISEE AVEC QGIS POUR MODELISER LES FLUX DE BIOMASSE DE L'EXPLOITATION .....	53
ANNEXE (III) : EXEMPLE DU SCHEMA DE L'EXPLOITATION 1 REALISE POUR MODELISER LES FLUX DE BIOMASSE DE L'EXPLOITATION .....	54
ANNEXE (IV) : QUESTIONNAIRE SUR LA PERCEPTION DE LA MACROFAUNE PAR LES AGRICULTEURS .....	55
ANNEXE (V) : ANALYSES DU CARBONE ORGANIQUE ET DU PHOSPHORE ASSIMILABLE DANS LES PARCELLES PRELEVEES .....	56
ANNEXE (VI) : MATRICE DE CORRELATION (PEARSON (N)) DE L'ACP .....	58
ANNEXE (VII) : MAQUETTE D'UNE PAGE DU LIVRET DE <i>SENSIBILISATION A LA CONNAISSANCE DE LA MACROFAUNE DU SOL</i> .....	59



## LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Localisation des douze exploitations de la région d'Antsirabe ayant servi pour l'étude (Google Earth, 2013) .....	5
Figure 2 : Démarche mise en place pour la réalisation de la caractérisation des exploitations...	6
Figure 3 : Caractérisation des douze exploitations dans lesquelles ont eu lieu les prélèvements de macrofaune du sol .....	12
Figure 4 : ACP représentant la biomasse et la densité pour les différents horizons des groupes fonctionnels selon les cinq modes de gestion des cultures .....	22
Figure 5 : Densité des différents ordres selon les modes de gestion des cultures .....	24
Figure 6 : Densités moyennes des différents groupes fonctionnels selon les modes de gestion des cultures .....	26
Tableau 1 : Les cinq types de modes de gestion des cultures comparés et leurs principales caractéristiques .....	15
Tableau 2: Groupes taxonomiques identifiés lors des prélèvements autour d'Antsirabe au cours de la campagne 2014-2015 .....	18
Tableau 3: Densité des différents ordres identifiés selon les 5 modes de gestion des cultures (12 parcelles par mode de gestion) .....	23
Tableau 4 : Groupes et densités moyennes des différents groupes fonctionnels selon les modes de gestion des cultures .....	26
Tableau 5 : Noms vernaculaires des principaux éléments de la macrofaune observée par les agriculteurs et statuts .....	28
Tableau 6 : Questions et indicateurs utilisés pour tenter d'évaluer la perception des agriculteurs vis-à-vis de la macrofaune .....	29
Tableau 7 : Modes de gestion des cultures et qualité des sols selon le classement de Bartz et al., (2013) .....	37

## GLOSSAIRE ET LISTE DES ABREVIATIONS

- AC : Agriculture de Conservation
- Bas-fond : (opposé à la Tanety) rizière, généralement parcelle se trouvant au pied d'une colline, dans une vallée inondée temporairement ou en permanence
- BIOVA (projet) : Recyclage des BIOMasses Végétales et Animales dans les systèmes d'agriculture élevage, Madagascar-Mozambique, (CIRAD, FOFIFA, IIAM, LRI, ESSA, UEM, IRD, LRI, ARP, CRA-W, 2014-2016)
- CIRAD : Centre de coopération internationale pour la recherche agronomique et le développement
- Coprophages : se nourrissent des bouses et les enfouissent au fond des galeries pour servir de nourriture à leurs larves (Boyer et al., 1994)
- Détritivores : se nourrissent de litières, de racines mortes et de bois en décomposition (Boyer et al., 1994)
- FIFAMANOR : (FIompiana FAmbolena MAlagasy NORveziana) Centre de recherche et de développement rural en agriculture et en élevage
- FOFIFA : (FOibem-pirenena ho an'ny Fikarohana ho Fampanandrosoana ny eny Ambanivohitra) Centre national de recherche appliquée au développement rural
- Géophages : se nourrissent de la matière organique contenue dans le sol
- IRD : Institut de recherche pour le développement
- LAEF : Labour et fumier élevé
- LAMF : Labour et fumier modéré
- Macrofaune du sol : Invertébrés présents dans le sol et supérieurs à 2 mm (Boyer et al., 1994). Ce sont principalement les termites, les vers de terre et les macro-arthropodes (Lavelle, 1997).
- Phytophages : consomment les organes des plantes autre que les racines
- PP : Pâturages permanents
- Prédateurs : se nourrissent d'autres individus de la macrofaune
- Rhizophages : consomment les racines vivantes
- SM : Système mixte
- Tanety : Parcelle se trouvant au sommet ou à flanc de colline (opposée au bas-fond)

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Contexte de l'étude

La biodiversité des sols est un élément fondamental des écosystèmes cultivés. Cette biodiversité est dite fonctionnelle car elle assure des services au bénéfice de la production agricole (Lavelle et al., 2006). La faune du sol joue un rôle déterminant dans la décomposition et la minéralisation de la matière organique (Brussaard et al., 1993). Dans les pays tempérés, les vers de terre sont considérés depuis longtemps comme une ressource pour produire des services écosystémiques tels que la conservation et la gestion de la matière organique et des nutriments ainsi que le maintien des propriétés physiques du sol favorables aux plantes (Lavelle et al., 1999). Plus récemment dans les régions tropicales, les vers de terre ont été reconnus comme les plus importants invertébrés « ingénieurs du sol » dans le sens où ils influencent le développement des racines et des autres organismes du sol (Brussaard et al., 1993). La biodiversité des sols peut être utilisée à la fois comme outil de diagnostic de la fertilité des sols et comme moyen pour l'améliorer (Blanchart et al., 2006 ; Lavelle et al., 2006). C'est ce que propose Djigal et al., (2011) à travers l'étude des nématodes, ou encore Bartz et al., (2013) en se servant des vers de terre comme indicateurs de la qualité des sols.

Cependant, cette biodiversité est menacée par l'intensification agricole notamment par le travail répété du sol, la présence de mêmes séquences de culture et l'utilisation continue d'intrants de synthèse (Lavelle et al., 1999). L'utilisation de pesticides permet de lutter contre les ravageurs mais a également des effets indésirables sur des espèces non ciblées, ce qui peut diminuer la biodiversité du sol et augmenter la possibilité d'apparition d'autres ravageurs (Rabary et al., 2011). La disparition des sources de matière organique et des changements extrêmes des conditions abiotiques mènent à une diminution de la faune du sol ce qui résulte en une détérioration des propriétés structurales du sol (Brussaard et al., 1993 ; Blanchart et al., 1999).

La diversité des communautés de vers de terre et leur abondance sont également influencées par le type d'agroécosystème dans lequel ils évoluent. Les sites où sont cultivées des plantes annuelles ont par exemple les communautés les plus pauvres en terme d'abondance et de catégories écologiques (Fragoso et al., 1999). En cas de rotation des cultures, la probabilité que les vers de terre aient un effet bénéfique augmente alors (Brown et al., 1999). L'introduction de vers de terre augmente généralement la productivité des plantes, en particulier les parties aériennes, peut-être parce qu'elles sont capables d'absorber plus de nutriments et d'eau dans

les sols colonisés par les vers de terre (Brown et al., 1999). Dans les cultures pérennes, les effets que peuvent avoir les vers de terre apparaissent comme prometteurs en particulier en arboriculture et dans les cultures fourragères (Brown et al., 1999).

Le lien entre pratiques culturelles et biodiversité reste encore mal connu dans le contexte de la petite agriculture familiale avec différents à priori parfois contraires comme la promotion d'une agriculture naturelle mais peu productive et à l'opposé le scénario catastrophe d'un développement agricole non-maîtrisé car non encadré. Cependant à Madagascar on constate une très faible utilisation des pesticides et des engrais minéraux (Sester et al., 2015), notamment en raison de leur prix trop élevé pour les agriculteurs locaux, ce qui freine le développement d'une agriculture non durable. En revanche, certaines pratiques agricoles comme la culture sur des terrasses en pente, augmente le risque d'érosion (Sester et al., 2015).

De plus, dans les Hautes-Terres de Madagascar, la macrofaune du sol peut être surtout perçue comme bioagresseur des cultures, notamment pour le riz pluvial en pleine expansion dans cette région face à la saturation des bas-fonds (Raboin et al., 2013 ; Sester et al., 2015). Cependant, les attaques de larves (vers blancs) des Coléoptères Dynastidae (en particulier *Heteronycus* spp.) représentent une contrainte majeure pour le riz au niveau des Hautes-Terres (Avelino et al., 2012). Alors que dans d'autres contextes la macrofaune est principalement un élément contribuant à la fertilité des sols (Djigal et al., 2011), il s'avère donc important de la caractériser globalement, d'étudier sa perception et son mode de gestion par les agriculteurs de cette région et de considérer les moyens de sensibilisation à mettre en œuvre pour une meilleure gestion de celle-ci.

Cette étude s'est concentrée sur une petite région agricole d'exploitations mixtes agriculture-élevage laitier où de nombreuses études ont été effectuées en milieu contrôlé, notamment pour comparer aux systèmes conventionnels à base de riz pluvial, des modèles améliorés basés sur l'agriculture de conservation (AC) (Avelino et al., 2012 ; Sester et al., 2015). Ces modèles constituent un moyen prometteur d'augmenter la qualité du sol et d'améliorer quelques-uns de ses services écologiques (Djigal et al., 2011). En effet, des systèmes de culture sans labour avec semis- direct sur couverture végétale (SCV) ont montré leur intérêt en réduisant la dégradation des sols et en améliorant la productivité des systèmes de riziculture pluviale à Madagascar par rapport aux systèmes conventionnels (Ratnadass et al., 2007). Cependant dans certaines régions de Madagascar, une plus forte abondance de vers blancs a été constatée dans les systèmes en SCV (Ratnadass et al., 2006).

L'originalité de ce travail a été d'inclure pour une analyse plus globale et diversifiée de la macrofaune du sol, un réseau de fermes pour :

- (i) Partir des pratiques ;
- (ii) Mettre en lien ces pratiques avec un référentiel contrôlé pour une étude ponctuelle sur la biodiversité de la macrofaune du sol ;
- (iii) Partager ces résultats et connaissances précédentes avec les agriculteurs concernés pour la réalisation d'un premier livret de *Sensibilisation à la connaissance de la macrofaune du sol*

## 1.2. Objectifs de l'étude

Il s'agit de connaître la perception des agriculteurs sur la qualité biologique de leurs sols à travers une étude sur la macrofaune des sols en se focalisant surtout sur les vers de terre reconnus en zone tropicale comme ingénieurs du sol (Lavelle et al., 2000) (faune utile) et les vers blancs particulièrement nuisibles à Madagascar (Ratnadass et al., 2013) (faune nuisible) en :

- Etablissant une caractérisation des exploitations en agriculture-élevage laitier basée sur les flux de biomasse. Cette caractérisation a permis de déterminer les différents modes de gestion des cultures utilisés chez les agriculteurs d'une petite région des Hautes-Terres.
- Choissant au sein de ces exploitations des parcelles à gestion contrastée des flux de biomasse susceptibles d'impacter sur la macrofaune du sol
- Etudiant par des prélèvements dans ces parcelles la diversité de la macrofaune, comparée avec des prélèvements dans des expérimentations ou en situations contrôlées dans une même petite région autour de la ville d'Antsirabe
- Associant les agriculteurs aux résultats précédents dans le but de confronter des connaissances acquises en milieu contrôlé sur la macrofaune et les perceptions paysannes pour la réalisation d'un manuel de sensibilisation.

## 1.3. Hypothèses de départ

- La présence de fumier impacte la diversité et la quantité de macrofaune du sol et les quantités de fumier appliquées dans les exploitations laitières sont diverses : l'apport de

fumier favorise la présence et l'activité de vers blancs rhizophages des cultures et aussi celle des vers de terre. (Ratnadass et al., 2013).

- L'absence de labour combinée à une activité racinaire des plantes pérennes favorise la présence de la macrofaune du sol (utile et nuisible) (Blanchart et al., 2006 ; Bartz et al., 2013).
- L'utilisation de cultures annuelles comme le riz et le maïs favorisent la présence de vers blancs rhizophages des cultures (Michellon et al., 1998).
- Le recours aux traitements insecticides répétés peut impacter la macrofaune du sol (Alvarez, 2012).

## **2. MATERIEL ET METHODES**

L'étude s'est déroulée suivant le calendrier présenté en Annexe (i). Après une phase bibliographique destinée à se familiariser avec la macrofaune du sol et son impact agricole, la phase de terrain a débuté. S'en est suivie une phase de traitement des échantillons au laboratoire et de capitalisation des données. Puis ces données ont été analysées et une partie a été utilisée durant la réalisation d'ateliers et de restitutions avec les agriculteurs et les chercheurs, aboutissant à la réalisation d'une maquette de sensibilisation à la macrofaune du sol. Enfin, cette étude s'est achevée par la rédaction du mémoire. Un article devrait être publié en français dans une revue à facteur d'impact (BASE : Biotechnology, Agronomy, Society, Environment).

### **2.1. Réalisation d'une caractérisation des exploitations à partir des flux de biomasse durant la campagne 2014-2015 suite aux entretiens avec les agriculteurs (d'après Tonneau et al., 2002)**

L'objectif de cette caractérisation des exploitations a été de déterminer les modes de cultures utilisés par les agriculteurs selon les deux pratiques culturales (labour et apport de fumier) à tester en représentant les flux de biomasse au niveau de chaque exploitation (d'après Tonneau et al., 2002). Par la suite, cette caractérisation a permis de sélectionner les parcelles où seront effectués les prélèvements de la macrofaune du sol.

Douze exploitations en agriculture-élevage laitier ont ainsi été sélectionnées dans la région d'Antsirabe, à partir du réseau d'exploitations du projet BIOVA (notamment dans le but

de faciliter notre introduction auprès des agriculteurs). Ces exploitations ont été sélectionnées autour de la ville d'Antsirabe dans un souci d'homogénéisation du milieu physique (sols, précipitations, altitude, etc.). Elles ont été étudiées sur le plan socio-économique et peuvent être considérées comme représentatives de la diversité des exploitations existant autour de la ville d'Antsirabe (Alvarez, 2012). Leur taille et celle du troupeau sont deux critères importants de différenciation. Elles avoisinent également les expérimentations et situations contrôlées permettant une meilleure comparaison des effets pratiques en limitant les effets biophysiques (sols et climat). Elles sont localisées ci-après :

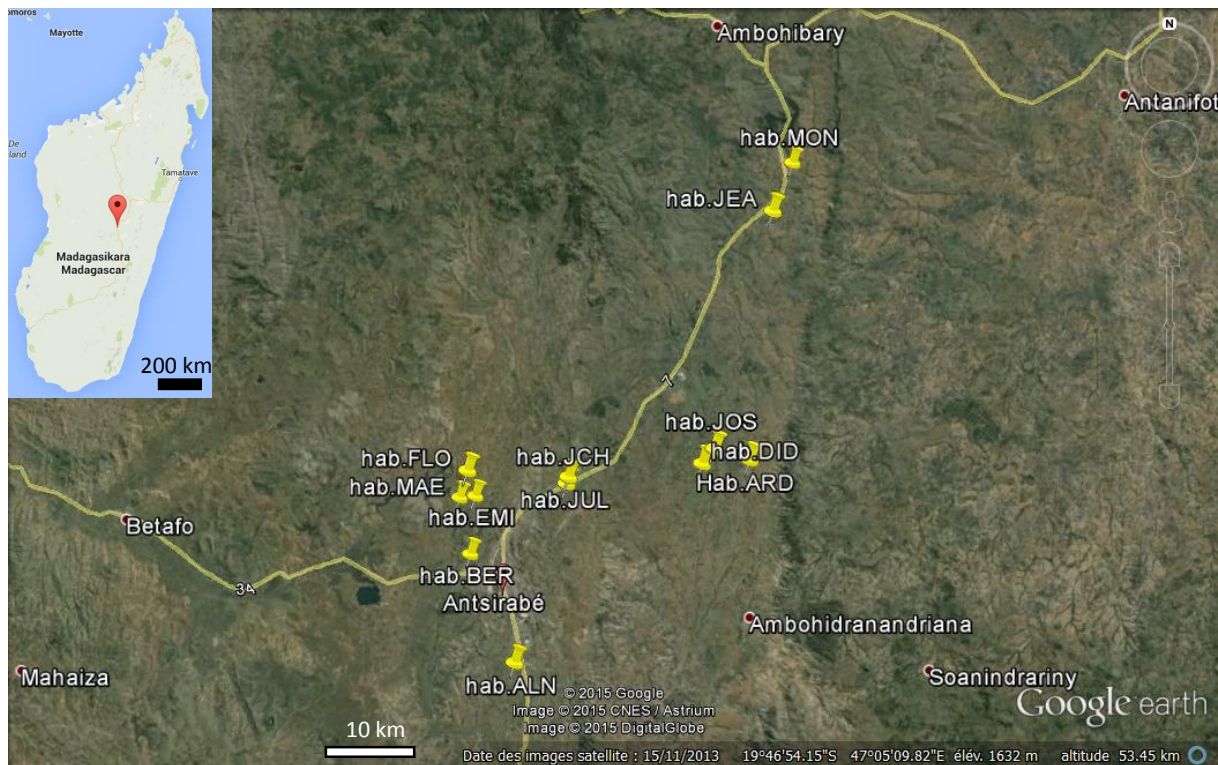


Figure 1 : Localisation des douze exploitations de la région d'Antsirabe ayant servi pour l'étude (Google Earth, 2013)

Les données sont collectées à dire d'acteur auprès de chaque agriculteur puis recoupées plusieurs fois pour être confirmées et vérifiées lors du traitement informatique :

- les caractéristiques de l'exploitation (superficie, nombre de bovins, les ventes et achats de biomasse, etc.)
- la production de fumier (quantité, composition, etc.)
- le plan de fumure pour chaque parcelle (établissement d'une carte de chaque exploitation indiquant les flux de fumier)

➤ la localisation de chaque parcelle au GPS

L'élaboration de la caractérisation de ces exploitations se fait selon la démarche expliquée ci-dessous :

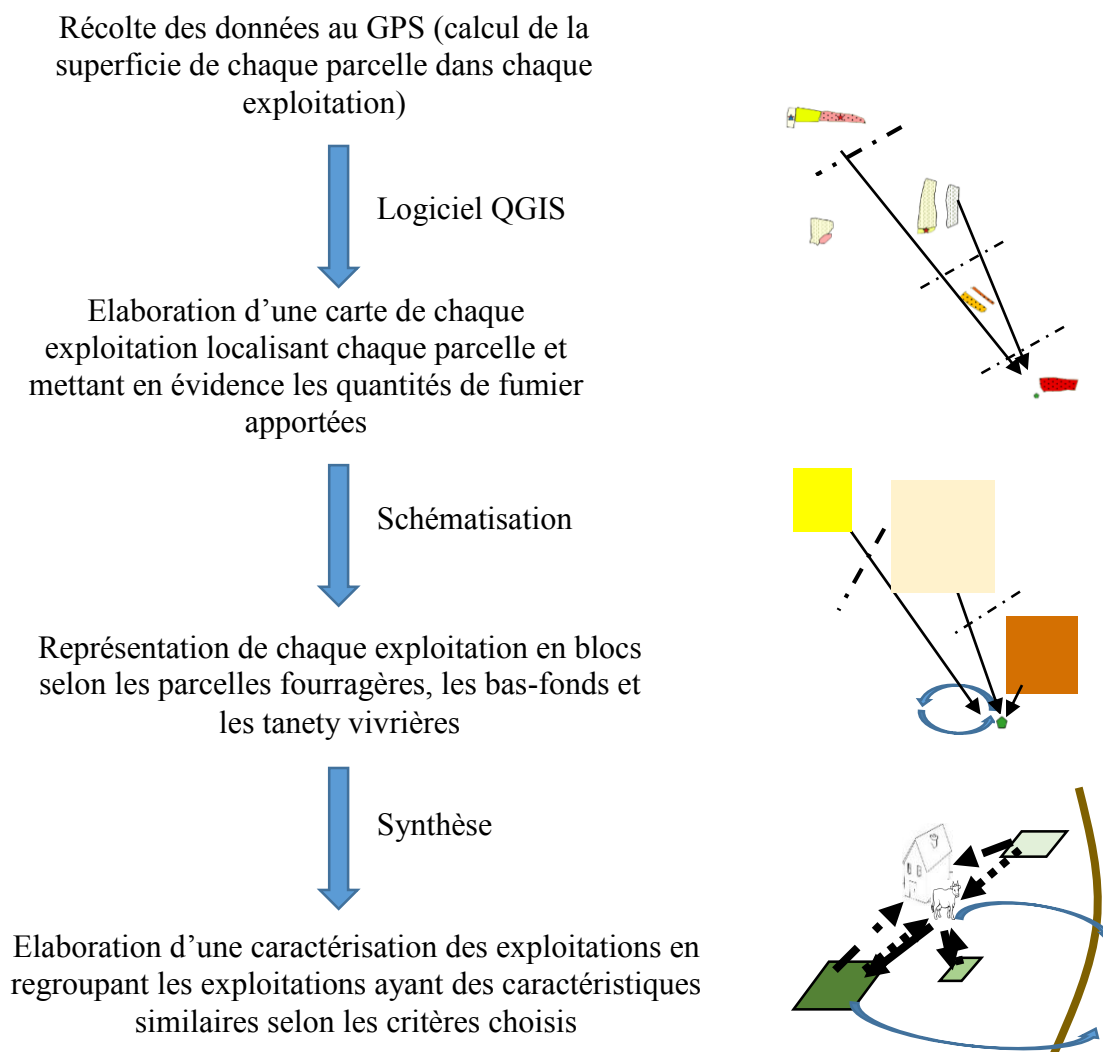


Figure 2 : Démarche mise en place pour la réalisation de la caractérisation des exploitations

Dans chaque exploitation, toutes les parcelles ont été relevées à l'aide d'un GPS et pour chacune d'entre elles, la quantité de fumier épandue est demandée à l'agriculteur.

Les données GPS ont ensuite été traitées avec le logiciel QGIS (2.8.1) et une carte de chaque exploitation a été éditée (voir exemple en Annexe (ii)). Cette carte contient également les informations sur les quantités de fumier épandues sur chaque parcelle (figuré de couleur) ainsi que l'occupation des parcelles (fourrage) et leur topologie (bas-fond ou tanety) (figurés



ponctuels). Enfin, les flux de biomasse entre l'étable et les parcelles sont représentés, ainsi que les flux entrants et les flux sortant de l'exploitation.

Ces cartes servent ensuite de patrons pour la schématisation des exploitations en blocs de cultures : les bas-fonds, les tanety vivrières et les parcelles fourragères (voir exemple en Annexe (iii)). On représente ainsi chaque bloc proportionnellement à sa superficie et à sa fertilisation (plus le bloc est d'une couleur foncée et plus il reçoit de fumier).

Enfin, ces représentations schématiques des exploitations permettent d'établir une caractérisation des ces exploitations, en rassemblant celles qui ont des caractéristiques similaires selon les critères suivant :

- La superficie des exploitations
- L'importation ou non de pailles/foin
- Le nombre de bovins/ha
- La quantité de fumier produite/an
- La quantité de fumier disponible/ha

Enfin ces cartes sont des outils de dialogue et de capitalisation avec et pour les agriculteurs.

## 2.2. Protocole de prélèvement de la macrofaune (méthode TSBF : Tropical soil biology and fertility) (Anderson et Ingram, 1993)

Une fois la caractérisation des exploitations faite, les différents modes de gestion des cultures à tester sont décidés et le choix des parcelles où doivent s'effectuer les prélèvements de macrofaune du sol peut se faire.

### Sites de prélèvement :

- 36 parcelles paysannes : 24 parcelles de riz et 12 parcelles de fourrage permanent s'inspirant des principes de l'agriculture de conservation (non travail du sol et présence de couverture végétale permanente) : soit 3 parcelles par exploitation.
- 24 parcelles d'expérimentation dont 12 parcelles de riz et 12 parcelles de fourrage permanent : témoins (essais densité et MATRICE d'Andranomanelatra).

Pour chaque parcelle étudiée, la récolte des données est faite à dire d'acteur. Ces données concernent les facteurs susceptibles d'influencer la présence de macrofaune :

- Caractérisation des parcelles selon leur succession culturale, couleur du sol, gestion de la biomasse, pâturage temporaire, mesures de pH in-situ et humidité du sol.
- Caractérisation des itinéraires techniques réalisés, successions culturales, fumier, litières aériennes, traitements insecticides, etc.

#### Méthode de prélèvement:

- Méthode TSBF : monolithe de 25 cm x 25 cm creusé à des profondeurs de 0-10, 10-20 et 20-30 cm.
- Chaque parcelle contenait 5 monolithes répartis dans la parcelle selon une croix, en se décalant d'au moins 1 m des bords de la parcelle.
- La macrofaune du sol a été triée à la main et conservée ensuite dans des flacons en plastique remplis d'alcool à 70°.
- L'identification a été faite au laboratoire à l'aide d'une loupe binoculaire en se basant sur des clés de déterminations et Randriamanantsoa et al., (2010) pour les vers blancs et les Coléoptères.

#### Analyse des données:

- Répartition de la macrofaune identifiée en groupes fonctionnels : Rhizophages, Phytophages, Géophages, Détritivores, Prédateurs et Coprophages
- Calcul de densité (données quantitatives), de biomasse (données quantitatives) et des proportions prises par chaque groupe fonctionnel au sein de chaque parcelle (données qualitatives) sur Excel en faisant la moyenne des résultats des 5 monolithes pour chaque parcelle
- Représentation graphique des résultats de la densité, la biomasse et les proportions
- Pour toutes les analyses statistiques on utilise le logiciel XLSTAT 2015 (Version 2015.1.01).
- ACP portant sur les variables suivantes :
  - La macrofaune du sol (Variables quantitatives) :
    - densité de chaque groupe fonctionnel pour chaque parcelle sur 0-10, 10-20, 20-30, 0-30 cm
    - DENSITE TOTALE (= somme des densités de tous les groupes fonctionnels pour chaque parcelle)
    - biomasses de chaque groupe fonctionnel pour chaque parcelle sur 0-10, 10-20, 20-30, 0-30 cm

- BIOMASSE TOTALE (= somme des biomasses de tous les groupes fonctionnels pour chaque parcelle)
- Les pratiques culturales:
  - Variable quantitative : quantité de fumier sur l'année
  - Variables supplémentaires : les cinq modes de gestion des cultures
- Les données biophysiques sur le sol sur 0-10 cm (variables quantitatives) :
  - Humidité pondérale
  - pH eau in-situ (pH-mètre de terrain Hanna)
  - Carbone organique (méthode de Walkey-Black)
  - Phosphore assimilable (méthode d'Olsen)
  - Couleur de sol avec le code Munsell (Hue, Value, Chroma)
- Comparaison de moyennes:
  - Entre les densités moyennes totales de la macrofaune obtenues pour chaque mode de gestion des cultures (test de Kruskal-Wallis puis test de Mann-Whitney ou test de Fisher)
  - Entre les densités moyennes totales des différents groupes fonctionnels selon chaque mode de gestion des cultures

Variable d'intérêt : la densité d'un groupe fonctionnel

Facteur à tester : le mode de gestion des cultures (5 modalités)

Nous avons 60 parcelles, 12 parcelles par modalité. Les parcelles sont considérées comme indépendantes et on fait l'hypothèse que les seules différences qu'il y ait entre les parcelles sont dues au mode de gestion des cultures. La variabilité biophysique est considérée comme aléatoire.

Pour chaque groupe fonctionnel, on effectue d'abord un test de normalité pour vérifier que les données suivent une loi normale, quand c'est le cas, on effectue une ANOVA, sinon on fait une transformation avec la racine carrée ou le log de (x+1).

Si les données transformées suivent une loi normale, on utilise une ANOVA à un facteur, sinon, on utilise le test non paramétrique de Kruskal-Wallis ainsi que le test de Mann-Whitney et le test de corrélation pour voir si les échantillons sont différents statistiquement ou non.

## 2.3. Approches participatives sur la perception de la macrofaune

### 3 objectifs:

- Déterminer quelles connaissances avait l'agriculteur chez lequel les prélèvements ont été réalisés, sur la macrofaune, et en particulier les vers de terre et les vers blancs.
- Comprendre quelles sont les pratiques culturales susceptibles de favoriser, pour les agriculteurs, la présence de vers de terre et de vers blancs (surtout les quantités de fumier épandues)
- Lister les méthodes mises en pratique par les agriculteurs pour lutter contre les vers blancs.

#### 2.3.1. Au cours des prélèvements

Lors de l'entretien avec chaque agriculteur, un questionnaire (Annexe (iv)) lui a été proposé. Celui-ci contenait dix-sept questions semi-ouvertes portant sur la macrofaune du sol (en particulier les vers de terre et les vers blancs), ainsi que des facteurs pouvant avoir un impact sur cette macrofaune.

Les résultats de ce questionnaire ont été par la suite traités en les confrontant à des données récoltées sur le terrain pour essayer de cerner au mieux la perception de chaque agriculteur sur la macrofaune du sol.

#### 2.3.2. Ateliers avec les agriculteurs portant sur les moyens de lutte contre les vers blancs et le rôle des vers de terre dans la fertilité des sols

Une fois les données analysées, des ateliers avec les agriculteurs chez lesquels ont eu lieu les prélèvements ont été organisés, d'une part pour leur rendre compte des résultats trouvés sur leurs parcelles, et d'autre part, pour élaborer avec eux un livret portant sur l'intérêt de la macrofaune du sol et sa gestion.

## **3. RESULTATS**

### 3.1. Réalisation d'une caractérisation des exploitations à partir des flux de biomasse durant la campagne 2014-2015

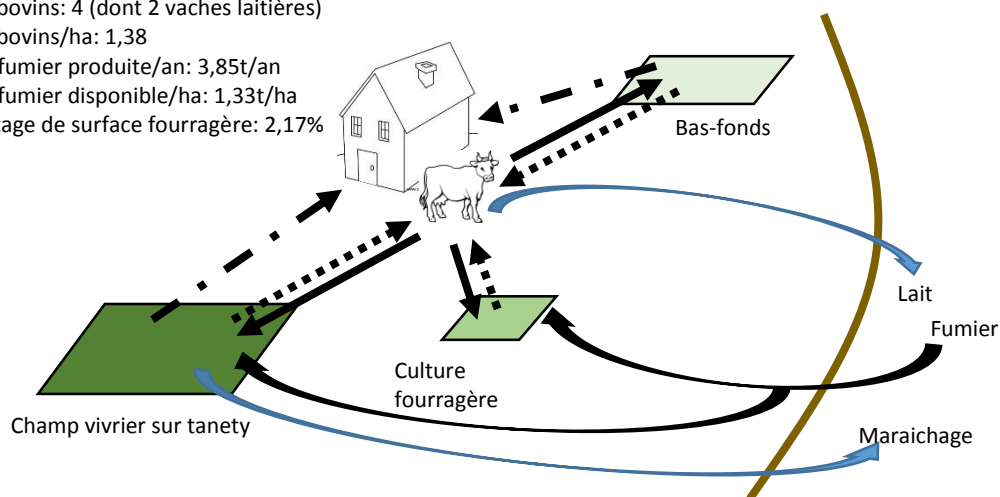
L'objectif était de pouvoir tester l'effet du fumier sur la macrofaune. Il a donc fallu auparavant se pencher sur sa production et son utilisation au sein des exploitations sélectionnées pour cette étude. Pour cela, on a effectué une caractérisation des douze exploitations laitières sélectionnées selon les flux de biomasse intra et extra-exploitation en considérant surtout les

quantités de fumier produites au sein des exploitations, les quantités épandues sur les différentes parcelles, et celles provenant de l'extérieur de l'exploitation ainsi que sur les récoltes et leur devenir.

Selon les différents critères déterminés pour établir cette caractérisation, on a distingué quatre types d'exploitations :

### Type 1: Petites exploitations laitières diversifiées (n=1)

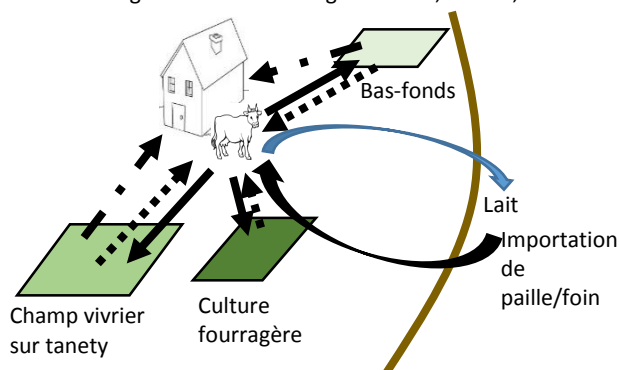
Taille de l'exploitation: 2,91ha  
 Nbre de bovins: 4 (dont 2 vaches laitières)  
 Nbre de bovins/ha: 1,38  
 Qtité de fumier produite/an: 3,85t/an  
 Qtité de fumier disponible/ha: 1,33t/ha  
 Pourcentage de surface fourragère: 2,17%



### Type 2: Petites exploitations laitières

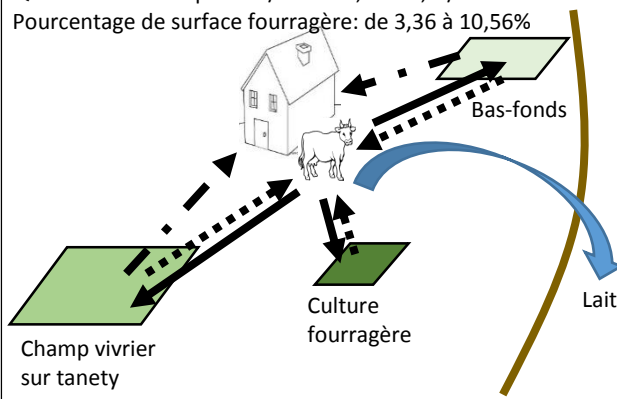
#### Type 2A: Importation de paille/foin (n=3)

Taille de l'exploitation: de 0,87 à 1,61ha  
 Nbre de bovins: de 3 à 10 (dont 3 à 6 vaches laitières)  
 Nbre de bovins/ha: de 3,44 à 6,19  
 Qtité de fumier produite/an: de 5,5 à 13,75t/an  
 Qtité de fumier disponible/ha: de 6,30 à 10,94t/ha  
 Pourcentage de surface fourragère: de 15,15 à 24,41%



#### Type 2B: Pas d'importation de paille/foin (n=2)

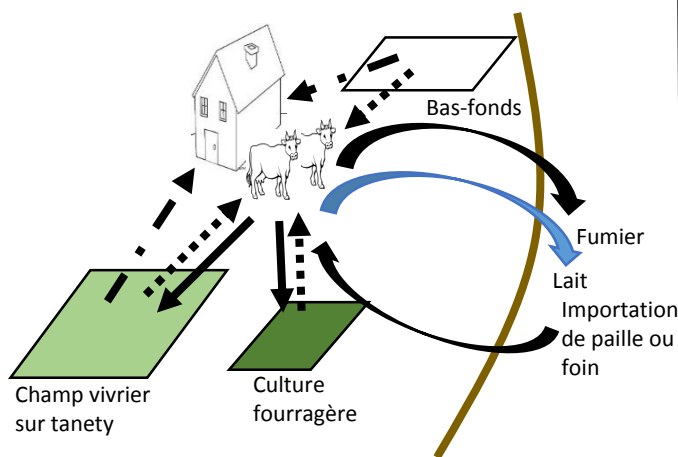
Taille de l'exploitation: de 0,84 à 3,14ha  
 Nbre de bovins: de 4 à 16 (dont 2 à 3 vaches laitières)  
 Nbre de bovins/ha: de 4,78 à 5,09  
 Qtité de fumier produite/an: de 5,5 à 22t/an  
 Qtité de fumier disponible/ha: de 6,58 à 7,0t/ha  
 Pourcentage de surface fourragère: de 3,36 à 10,56%



### Type 3: Grosses exploitations laitières

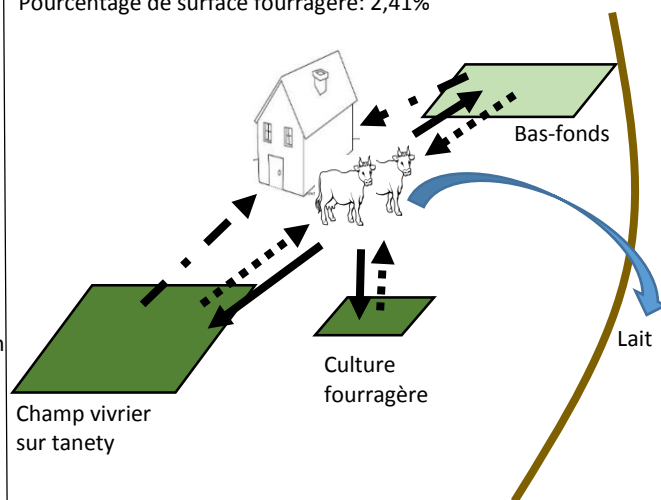
#### Type 3A: Importation de paille/foin (n=2)

Taille de l'exploitation: de 5,74 à 11,60ha  
 Nbre de bovins: de 13 à 25 (dont 4 à 8 vaches laitières)  
 Nbre de bovins/ha: de 2,15 à 2,27  
 Qtité de fumier produite/an: de 55 à 100,38t/an  
 Qtité de fumier disponible/ha: de 8,65 à 9,58t/ha  
 Pourcentage de surface fourragère: de 4,40 à 32,40%



#### Type 3B: Pas d'importation de paille/foin (n=1)

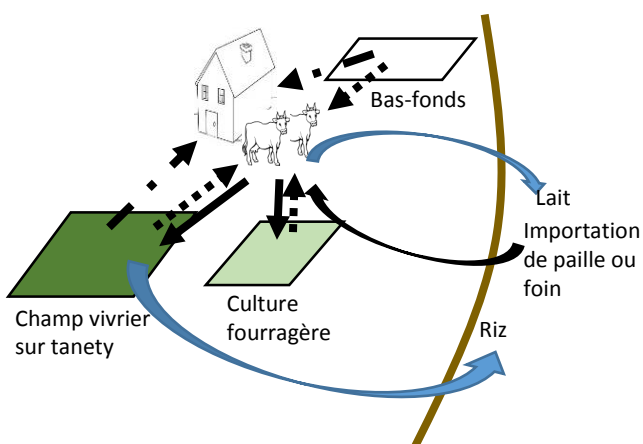
Taille de l'exploitation: 8,89ha  
 Nbre de bovins: 40 (dont 26 vaches laitières)  
 Nbre de bovins/ha: 4,50  
 Qtité de fumier produite/an: 357,5t/an  
 Qtité de fumier disponible/ha: 40,23t/ha  
 Pourcentage de surface fourragère: 2,41%



### Type 4: Grosses exploitations laitières diversifiées

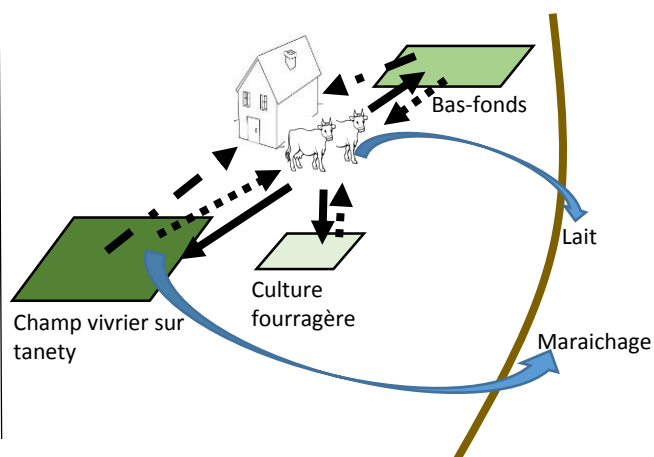
#### Type 4A: Importation de paille/foin (n=1)

Taille de l'exploitation: 23,10ha  
 Nbre de bovins: 34 (dont 14 vaches laitières)  
 Nbre de bovins/ha: 1,47  
 Qtité de fumier produite/an: 41,25t/an  
 Qtité de fumier disponible/ha: 1,79t/ha  
 Pourcentage de surface fourragère: 25,33%



#### Type 4B: Pas d'importation de paille/foin (n=2)

Taille de l'exploitation: de 7,98 à 12,38ha  
 Nbre de bovins: de 12 à 15 (dont 6 à 10 vaches laitières)  
 Nbre de bovins/ha: de 0,97 à 1,88  
 Qtité de fumier produite/an: de 41,25 à 102,5t/an  
 Qtité de fumier disponible/ha: de 5,17 à 8,3t/ha  
 Pourcentage de surface fourragère: de 1,68 à 16,06%



**Légende:** —▶ Récoltes    - - -▶ Fourrages et pailles    —▶ Fumier    (blue arrow) Ventes à l'extérieur de l'exploitation    (orange arrow) Achats à l'extérieur de l'exploitation

**Figure 3 : Caractérisation des douze exploitations dans lesquelles ont eu lieu les prélèvements de macrofaune du sol**

Les exploitations possédaient toutes un bloc de parcelles de bas-fonds, un bloc de parcelles fourragères et un bloc de parcelles vivrières sur tanety ainsi qu'une étable où sont placés les vaches laitières et les bœufs de travail. Les flux de biomasse concernaient principalement les flux de fumier et les flux de récoltes. La couleur du carré sur la Figure 3 représente la quantité de fumier épandue : plus elle est foncée et plus il y a de fumier, tandis que sa taille est proportionnelle à sa superficie réelle.

On a ainsi constaté que certaines exploitations, quelle que soit leur taille, étaient autosuffisantes en biomasse puisqu'elles n'ont importé ni de paille ni de foin de l'extérieur. Cependant, en ce qui concerne le plan de fumure, la décision d'apporter plus de fumier à tel ou tel bloc se fait selon les objectifs de production de chaque exploitation. En effet, si la source principale de revenu est le lait, une plus grande quantité de fumier sera apportée sur les parcelles fourragères (exploitations des Types 2 et 3), qui serviront à nourrir les vaches laitières. En revanche, si les exploitations en plus de produire du lait, ont une autre source de revenu (production de riz ou de maraichage (Types 1 et 4)), alors une plus grande quantité de fumier sera apportée sur le bloc vivrier sur tanety. Remarquons également que les bas-fonds étant considérés comme très fertiles (Randrantoarimbola, 2015), ils ne reçoivent que très peu de fumier, alors que les tanety, intrinsèquement chimiquement pauvres (voir les analyses de sol effectuées, Annexe (v)), font l'objet d'une fertilisation répétée.

Suite à ce constat, trois modes de gestion des cultures au sein de ces exploitations ont été identifiés, selon la quantité de fumier et le labour:

- Des parcelles fourragères non labourées depuis au moins cinq ans et fertilisées (Système Mixte (SM)): cultures pérennes composées de canne fourragère *Pennisetum purpureum* var. Kisozi, avec une quantité de fumier moyenne appliquée de 13,65 t/ha, pas de labour depuis au moins cinq ans)
- Des parcelles de cultures annuelles de riz ou riz+maïs, labourées tous les ans et fertilisées avec un apport modéré de fumier (Labour et apport Modéré de Fumier (LAMF) et une quantité de fumier moyenne de 4,07 t/ha environ).
- Des parcelles de cultures annuelles de riz ou riz+maïs, labourées tous les ans et fertilisées avec un apport élevé de fumier (Labour et apport Elevé de Fumier (LAEF) et une quantité de fumier moyenne apportée de 14,06 t/ha environ).

La définition de ces trois modes de gestion des cultures a permis ensuite de sélectionner au sein de chaque exploitation les parcelles où vont s'effectuer les prélèvements de la macrofaune. En effet, pour tester l'impact du labour et du fumier, ont été sélectionnées au sein de chaque exploitation une parcelle fourragère correspondant aux critères du mode SM, une parcelle de culture annuelle de riz ou riz+maïs recevant des apports modérés de fumier (LAMF) et une autre recevant des apports élevés de fumier (LAEF).

Deux autres modes de gestion des cultures ont également dû être définis pour servir de témoins :

- Des Pâturages Permanents (PP), composés de plantes pérennes de la famille des *Brachiaria* qui n'ont pas été labourés depuis plus de dix ans et qui ne reçoivent aucun fumier. Ils ont servi d'élément de comparaison pour étudier l'impact du fumier sur les cultures pérennes sans labour avec le mode de gestion des cultures SM.
- Des parcelles de riz + *Crotalaria gramiana* gérées selon les principes de l'agriculture de conservation (AC) : non travail du sol, couverture permanente du sol et utilisation de rotations et d'associations culturales. Ces parcelles reçoivent 5 t/ha de fumier par an. Elles ont servi d'éléments de comparaison pour étudier l'impact du fumier sur les cultures annuelles de riz avec labour avec les modes de gestion des cultures LAMF et LAEF.



Ces cinq modes de gestion des cultures sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Les cinq types de modes de gestion des cultures comparés et leurs principales caractéristiques

Mode de gestion des cultures	Description	Travail du sol	Apport de fumier	Espèces plantées	Intrants
AC	Site expérimental : cultures annuelles sans labour et apport de fumier annuel modéré	Sans labour depuis 15 années	Quantité de fumier : 5t/ha/an Qualité homogène	Riz (CP) Maïs (CA) <i>Crotalaria gramiana</i> (CA)	Fumure minérale chaque année (5t/ha + 500kg/ha de dolomie + 300kg/ha de NPK + 100kg/ha d'urée) Traitements répétés de semences sur Riz (Insector 5g/kg de semence) Carbofuron 5G (12kg/ha) et Carbofuron 10G (6kg/ha) épanchés au moment du semi. Traitements foliaires répétés sur le Riz (BASY : 750mL/ha)
LAMF	Agriculteurs: cultures annuelles et labour, avec apport de fumier annuel modéré variable chez agriculteurs	Labour répété 1 à 2 fois par an	Une fois par an en fonction de la disponibilité à l'échelle de l'exploitation Quantité de fumier moyenne : 4,07 t/ha ±1,74 t/ha Qualité variable	Riz (100%) Maïs (50%) Patate douce (25%) Maraîchage (50%)	Peu ou pas d'engrais Traitement variable de semences sur Riz

LAEF	Agriculteurs : cultures annuelles et labour, avec apport de fumier annuel élevé variable	Labour répété 1 à 2 fois par an	Une fois par an en fonction de la disponibilité à l'échelle de l'exploitation Quantité de fumier moyenne : 14,06 t/ha $\pm$ 6,69 t/ha Qualité variable	Riz (100%) Maïs (50%) Patate douce (25%) Maraîchage (50%)	
PP	Pâturages permanents à base de graminées pérennes	Sans labour depuis plus de 20 ans	Pas d'apport	Genre dominant <i>Brachiaria spp.</i>	Pas d'apport
SM	Alternance de graminées pérennes fourragères coupées sur plusieurs années et sans labour (5 à 7 ans) et de périodes de cultures annuelles avec labour d'une année	En moyenne une fois tous les 5 à 7 ans	Une fois par an en fonction de la disponibilité à l'échelle de l'exploitation Quantité de fumier moyenne : 13,65 t/ha $\pm$ 10,43 t/ha Qualité variable	Canne fourragère <i>Pennisetum purpureum</i> var. Kisozi avec cultures vivrières type LAMF et LAEF	Pas d'apport

Ces cinq modes de gestion des cultures, trois pour les cultures annuelles (AC, LAMF et LAEF) et deux pour les cultures pérennes (PP et SM), ont ensuite été comparés entre eux comme suit pour étudier les effets du labour et de la quantité de fumier apportée aux cultures :

- Pour les cultures annuelles :
  - o Comparaison de AC et LAMF : les quantités de fumier apportées étant sensiblement les mêmes, l'effet du labour et l'impact des pesticides, très utilisés en AC mais quasiment absents de traitements chez les agriculteurs, y ont été étudiés.
  - o Comparaison de LAMF et LAEF : le labour y étant effectué tous les ans, l'impact de la quantité de fumier épandue y a été étudié.
- Pour les cultures pérennes :
  - o Comparaison de PP et SM : les parcelles de PP n'ayant pas été labourées depuis au moins dix ans, et celles de SM depuis quatre à cinq ans, ce sont les effets de la quantité de fumier épandue ainsi que du labour peu fréquent qui ont été testés.

Etant donné la quantité et la fréquence des pesticides utilisés dans le mode de gestion des cultures AC (voir Tableau 1), l'hypothèse d'un effet de l'utilisation de ces traitements sur la macrofaune ne pouvait être négligée. La moitié des agriculteurs chez lesquels les prélèvements ont été faits n'utilisant qu'un traitement des semences (Insector) pour lutter contre les vers blancs à des doses 2,5 fois moins élevées en moyenne que celles recommandées pour ce produit (2,1g/kg de semence de produit Insector utilisé par les agriculteurs contre 5g/kg de semence conseillé pour ce produit), l'effet de ce traitement pouvait donc être considéré comme négligeable dans les parcelles en LAEF et LAMF.

### 3.2. Résultats des prélèvements faits sur la macrofaune

#### 3.2.1. Groupes taxonomiques identifiés

Suivant le protocole de prélèvement présenté en 2.2., 900 échantillons ont ainsi été obtenus (60 parcelles prélevées x 5 monolithes x 3 horizons = 900 échantillons).

Le tableau suivant présente les différents groupes taxonomiques identifiés au cours des prélèvements effectués durant la campagne 2014-2015 dans les douze exploitations agricoles sélectionnées :

Tableau 2: Groupes taxonomiques identifiés lors des prélèvements autour d'Antsirabe au cours de la campagne 2014-2015

Phylum	Classe	Ordre	Super-famille, Famille	Espèce	Groupe fonctionnel (d'après Ratnadass et al., 2013)		
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxidae	Acanthodrilidae	<i>Dichogaster affinis</i>	Détritivore		
				<i>Dichogaster bolau</i>	Détritivore		
				<i>Dichogaster saliens</i>	Détritivore		
					Enchytreidae	Enchytreide	Détritivore
					Glososcolecidae	<i>Ponthoscolex corethrurus</i>	Géophage
					Kynotidae	<i>Kynotus parvus</i>	Géophage
					Megascolecidae	<i>Aminthas sp.</i>	Détritivore
						<i>Aminthas affinis</i>	Détritivore
						<i>Aminthas corticis</i>	Détritivore
						<i>Aminthas minimus</i>	Détritivore
		Moniligastridae	<i>Drawida barweli</i>	Détritivore			
Annelida	Oligochaeta	Haplotaxidae		Cocon			
Arthropoda	Arachnida	Aranéides	Aranae		Prédateur		
Arthropoda	Chilopoda	Myriapodes	Iulidae	Sp.	Détritivore		
			Lithobiidae	Sp.	Prédateur		
			Scolopendridae	Sp.	Prédateur		
				Symphile	Prédateur		
				Géophilidae	Sp.	Prédateur	
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Brachinidae	<i>Metabrachinus connectoides</i>	Phytophage		
				Polycleus	Rhizophage		
				Carabidae		Prédateur	
				Cetonidae	<i>Celidota parvula</i>	Coprophage	

				<i>Euryomia argentea</i>	Coprophage
			Cryptophagidae	Cryptophage	Phytophage
			Dynastidae	<i>Heteroconus paradoxus</i>	Phytophage
				<i>Heteronychus plebeius</i>	Rhizophage
				<i>Hexodon unicolor</i>	Détritivore
			Elateridae	Taupin	Prédateur
			Elateridae		Détritivore
			Eucnemidae	Gonocéphalon	Détritivore
			Hopliidae	<i>Paramorphochelus cornutus</i>	Rhizophage
			Melolonthidae	<i>Enaria melanictera</i>	Rhizophage
				<i>Hoplochelus marginalis</i>	Rhizophage
				<i>Apicencya waterloti</i>	Rhizophage
			Orphinidae	<i>Triodontus nitidulus</i>	Rhizophage
			Pselaphidae		Prédateur
			Scarabeoidea	Sp.	Prédateur
			Sericidae	La. Scerica	Coprophage
			Staphylinidae	Staphylin	Prédateur
				Nymphe	
Arthropoda	Insecta	Dermaptera	Pigydicranidae	<i>Euborelia stati</i>	Prédateur
Arthropoda	Insecta	Dictyoptera		Blatte	Détritivore
Arthropoda	Insecta	Diptera	Tipulidae	La. Diptère tipulidae	Détritivore
Arthropoda	Insecta	Homoptera	Pentatomoidae	Punaise	Phytophage
Arthropoda	Insecta	Hymenoptera	Formicidae	<i>Camponotus</i>	Détritivore

			Formicidae	<i>Monomorium</i>	Détritivore
			Formicidae	<i>Nylanderia</i>	Détritivore
				<i>Paraparatréchina</i>	Détritivore
			Formicidae	<i>Tétramorium</i>	Détritivore
Arthropoda	Insecta	Isoptera	Termitidae	Termite	Détritivore
Arthropoda	Insecta	Lepidoptera		Chenille	Phytophage
Arthropoda	Insecta	Orthoptera	Acrididae	<i>Locusta migratoria</i>	Phytophage
			Gryllidae	Grillon	Phytophage
			Gryllotalpidae	<i>Grillotalpa</i>	Phytophage
Arthropoda	Insecta	Thysanoure		Poisson d'argent	Prédateur
Arthropoda	Malacostracae	Isopoda	Agnaridae	Cloporte	Détritivore

Au total, 25 espèces ont été identifiées à partir des 5 009 individus collectés. Ceux-ci se répartissent dans 13 ordres différents. Même si certains individus collectés se trouvaient à des stades de leur cycle biologique où une identification jusqu'à l'espèce n'était pas possible (Nom commun mentionné dans le Tableau 2), une répartition de ceux-ci en groupes fonctionnels a pu être faite. Six groupes fonctionnels ont ainsi été définis d'après Ratnadass et al., (2013):

- les coprophages : se nourrissent des bouses et les enfouissent au fond des galeries pour servir de nourriture à leurs larves (Boyer et al., 1994)
- les détritivores : se nourrissent de litières, de racines mortes et de bois en décomposition (Boyer et al., 1994)
- les géophages : se nourrissent de la matière organique contenue dans le sol
- les phytophages : consomment les organes des plantes autre que les racines
- les prédateurs : se nourrissent d'autres individus de la macrofaune
- les rhizophages : consomment des racines vivantes

Le classement des différentes espèces ou ordres identifiés en groupes fonctionnels ont permis de mieux appréhender l'impact des différents modes de gestion des cultures sur la macrofaune du sol. C'est donc ce classement qui est principalement utilisé dans la suite de l'étude.

### 3.2.2. Effets des facteurs biophysiques sur les groupes fonctionnels

Une ACP a été faite en tenant compte de la densité et de la biomasse de chaque groupe fonctionnel selon les trois horizons où les prélèvements ont été effectués ainsi que de la densité et de la biomasse totale de la macrofaune pour chaque parcelle prélevée (DENSITE TOTALE et BIOMASSE TOTALE). L'objectif de cette ACP était de déterminer quelles variables choisir par la suite en vérifiant s'il n'y avait pas de corrélations entre les différents horizons et entre densité et biomasse pour les différents groupes fonctionnels (voir la Matrice de Pearson en Annexe (vi)).

Cette ACP contenait à la fois des données quantitatives sur la macrofaune prélevée sur l'ensemble du profil (densité et biomasse sur 0-30, DENSITE TOTALE et BIOMASSE TOTALE) et des données quantitatives sur les pratiques culturales (quantités de fumier sur l'année) ainsi qu'en variables supplémentaires les cinq modes de gestion des cultures.

Enfin, concernant les données biophysiques du sol sur l'horizon 0-10, des données quantitatives avaient également été jointes (humidité, pH, carbone organique, phosphore assimilable, couleur selon le code Munsell (Hue, Value, Chroma)).

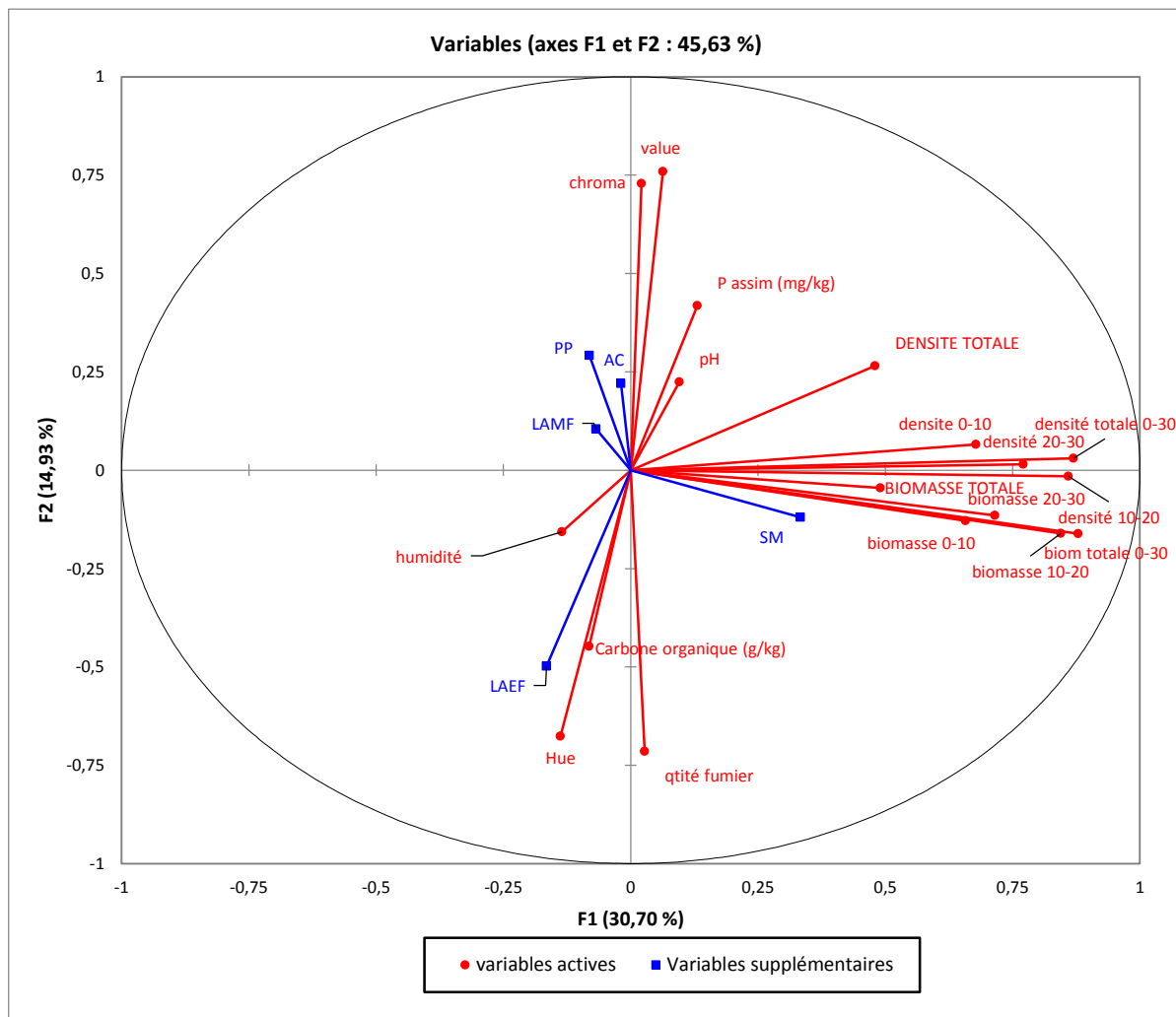


Figure 4 : ACP représentant la biomasse et la densité pour les différents horizons des groupes fonctionnels selon les cinq modes de gestion des cultures

Même si les axes F1 et F2 n'expliquent que 45,63% des variables à eux deux, cette ACP a permis de constater qu'il existe une corrélation entre la densité des différents horizons (0-10, 10-20, 20-30 et 0-30) pour chaque groupe fonctionnel et de même pour la biomasse correspondante. De plus, cette corrélation a été vérifiée par d'autres ACP effectuées sur chaque groupe fonctionnel pris indépendamment les uns des autres. La BIOMASSE TOTALE est également corrélée à la biomasse totale 0-30 mais ce n'est pas le cas pour la DENSITE TOTALE et de la densité totale 0-30.



Ainsi, cette ACP a permis de trier les variables à considérer pour étudier l'impact des différents modes de culture sur la macrofaune du sol. Pour cela, seule la variable densité des différents groupes fonctionnels sur l'horizon 0-30 cm sera conservée.

Même si de nombreuses données récoltées, notamment pH, humidité, et matière organique, concernent l'horizon 0-10, nous faisons l'hypothèse que la mesure sur 0-10 cm est, comme constaté dans de nombreuses études en milieu tropical, un bon critère d'évaluation du profil cultivé et donc de l'ensemble de la profondeur 0-30 cm.

Les critères de couleur de sol Hue, quantité de fumier et C organique du sol sont associés aux parcelles LAEF, suggérant un impact de l'apport en fumure organique sur la teneur en matières organiques du sol et donc ce critère de couleur est reconnu pour une gamme de texture de sol homogène comme bien corrélé avec la teneur en C organique.

Le facteur humidité du sol (estimé en surface) n'a pas visiblement impacté sur les densités et la qualité de la macrofaune sur l'ensemble du profil. Aucune relation n'a pu être faite entre acidité, phosphore assimilable

Le facteur sol ne semblant avoir qu'un faible impact sur la macrofaune du sol, cette étude s'est ensuite concentrée sur l'effet des différents modes de culture sur les groupes fonctionnels de la macrofaune.

### 3.2.3. Effets des modes de gestion des cultures sur les différents ordres identifiés

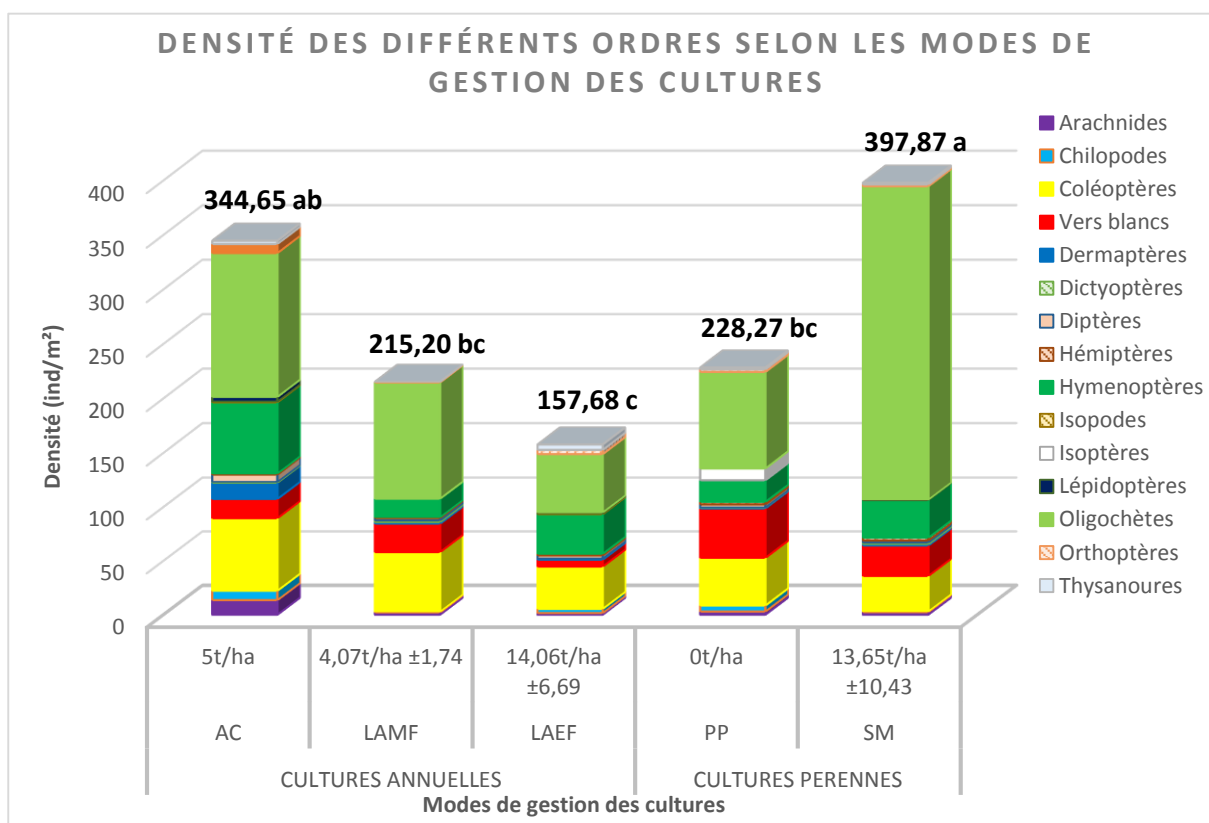
Tableau 3: Densité des différents ordres identifiés selon les 5 modes de gestion des cultures (12 parcelles par mode de gestion)

	CULTURES ANNUELLES			CULTURES PERENNES	
	AC	LAMF	LAEF	PP	SM
	5 t/ha	4,07 t/ha ±1,74	14,06 t/ha ±6,69	0 t/ha	13,65 t/ha ±10,43
Arachnides	13,48	2,13	1,48	2,93	2,40
Chilopodes	8,78	0,53	3,94	5,60	0,53
Coléoptères	67,37	55,47	39,26	44,27	33,07
Vers blancs	17,87	26,40	6,40	45,87	28,27
Dermaptères	15,12	1,33	0,98	0,53	1,07
Dictyoptères	0,49	1,60	0,00	0,27	1,60
Diptères	6,89	2,13	2,95	2,93	1,87

Hémiptères	0,98	0,80	1,48	2,40	2,67
Hyménoptères	65,48	17,33	36,88	20,00	34,93
Isopodes	0,49	0,00	0,49	0,00	0,00
Isoptères	0,00	0,00	0,00	10,93	0,00
Lépidoptères	4,43	0,00	0,98	0,00	0,27
Oligochètes	132,00	106,93	54,00	88,53	288,00
Orthoptères	8,31	0,27	3,94	2,40	1,60
Thysanoures	2,95	0,27	4,89	1,60	1,60
<b>Densités totales</b>	<b>344,65</b>	<b>215,20</b>	<b>157,68</b>	<b>228,27</b>	<b>397,87</b>

Les données du Tableau 3 qui ont servi à élaborer le graphique de la Figure 5 ci –après ont permis de constater qu’en considérant tous les modes de gestion des cultures, ce sont les Oligochètes qui sont les plus présents en densité (53%), suivi des Coléoptères (28,4% dont 11% de vers blancs) et des Hyménoptères (9,7%).

Le graphique ci-dessous présente la répartition des différents ordres selon les cinq modes de gestion des cultures testés. Bien qu’ils fassent partie de l’ordre des Coléoptères (en jaune), les vers blancs ont été mis à part sur ce graphique (en rouge) pour pouvoir juger plus facilement de leur présence :



Les moyennes surmontées d’une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Fisher pour l’ANOVA).

**Figure 5 : Densité des différents ordres selon les modes de gestion des cultures**

La Figure 5 présentée précédemment a permis de constater que pour les cultures annuelles, la macrofaune était la plus abondante et la plus diversifiée dans le mode de gestion AC puisque c'est là qu'il y avait le plus d'ordres taxonomiques représentés. Le non labour semblait en effet entraîner la présence d'une plus grande diversité macrofaunique malgré l'application plus continue de traitements insecticides. De plus, il était à noter que la présence d'une plus grande quantité de fumier dans le mode de gestion LAEF s'est accompagnée d'une plus faible densité de Coléoptères et en particulier de vers blancs par rapport aux parcelles en AC. Par ailleurs, les densités observées entre les modes LAMF et LAEF n'étant pas significativement différentes, la comparaison des résultats obtenus entre ces deux modes n'a pas permis de déterminer l'effet du fumier sur la macrofaune.

En ce qui concerne les cultures pérennes, la comparaison des modes de culture PP et SM a permis de constater que la densité macrofaunique la plus élevée était observée au niveau des parcelles en SM même si une plus grande diversité a été constatée au niveau des pâturages permanents (PP). Cependant, malgré le fait qu'il n'y ait ni labour, ni fumier, une plus forte proportion de Coléoptères y a été trouvée que dans les parcelles gérées en systèmes mixtes (SM) qui eux contiennent plus de vers de terre que les parcelles en PP. L'observation d'une plus faible quantité de vers blancs ravageurs dans les parcelles en SM pourrait être liée à l'apport de fumier et donc de matière organique au sein de ces parcelles.

#### 3.2.4. Effets des modes de gestion des cultures sur les groupes fonctionnels

L'ACP présentée précédemment ayant permis d'estimer l'effet des différents facteurs biophysiques sur les groupes fonctionnels, des comparaisons de moyennes ont été faites (soit avec des analyses de variance ANOVA soit avec des tests non-paramétriques avec le test de Kruskal-Wallis) en ne gardant cette fois-ci que la densité de chaque groupe fonctionnel, en posant l'hypothèse qu'il n'y a pas d'interaction site-traitement. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Groupes et densités moyennes des différents groupes fonctionnels selon les modes de gestion des cultures.

	Phytophages		Prédateurs		Rhizophages		Détritviores		Géophages		Coprophages		Densité totale
AC	37,87	a	40,80	a	17,87	a	220,26	a	5,33	a	18,04	ab	340,17
LAMF	14,67	b	5,60	b	6,93	ab	116,00	bc	50,13	c	19,73	ab	213,06
LAEF	12,27	b	10,40	b	6,40	a	80,53	c	24,00	c	16,53	ab	150,13
PP	31,73	ab	14,13	ab	11,73	ab	118,67	bc	20,80	c	33,07	a	230,14
SM	14,40	b	8,80	b	7,20	a	140,53	ab	215,73	b	18,93	b	405,59
Valeurs des indices de Fisher et Kruskal-Wallis	12,02*		14,85**		7,010		<b>2,04*</b>		25,21***		<b>1,270</b>		

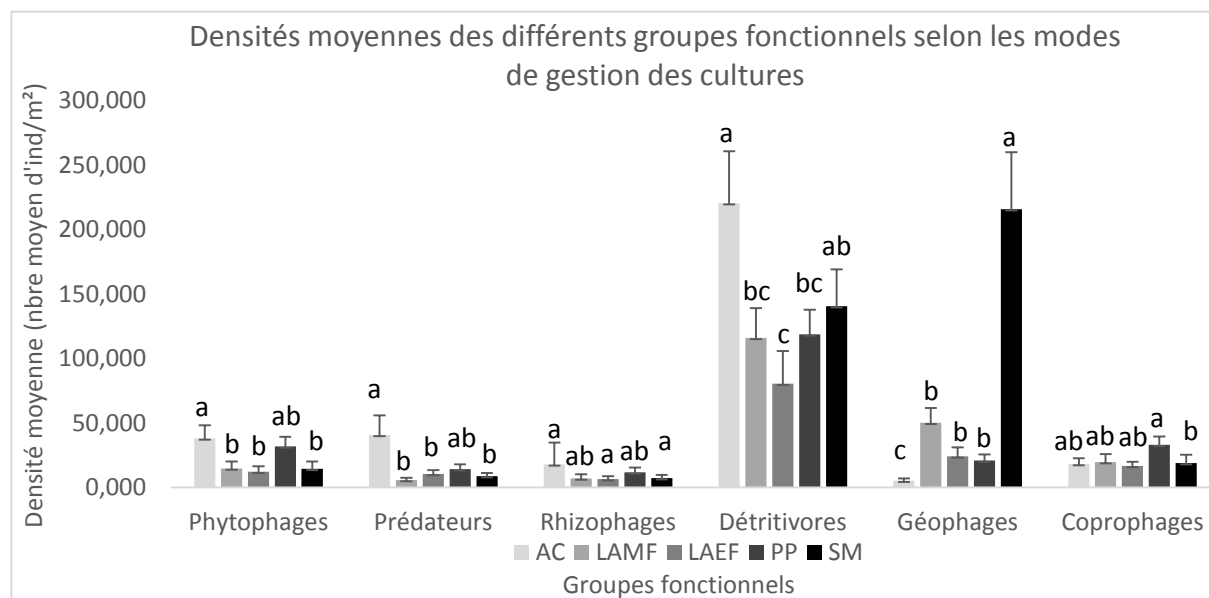
Test de Kruskal-Wallis K (analyse non paramétrique): normal

Test de Fisher F (ANOVA): gras

Niveau de significativité : \* <0,05 significatif, \*\* <0,01 très significatif,

\*\*\* <0,001 hautement significatif

Les résultats du Tableau 4 ont servi à élaborer le graphe suivant :



Les moyennes surmontées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (test de Fisher pour l'ANOVA et test de Mann-Whitney pour l'analyse non-paramétrique).

Figure 6 : Densités moyennes des différents groupes fonctionnels selon les modes de gestion des cultures.

D'après la Figure 6, en ce qui concerne les cultures annuelles, on constate que c'est au niveau des cultures en AC que l'impact sur les groupes fonctionnels est le plus fort à l'exception des géophages et des coprophages. Les parcelles en AC contiennent significativement plus de phytophages, de prédateurs et de détritivores que les parcelles en LAMF et LAEF mais moins de géophages. De plus, on ne constate pas de différences significatives entre les modes de gestion AC, LAMF et LAEF en ce qui concerne les rhizophages et les coprophages. Par ailleurs, aucune différence significative n'est constatée quel que soit le groupe fonctionnel considéré lorsque l'on compare les modes de culture LAMF et LAEF.

Les résultats obtenus au niveau des cultures annuelles ont donc laissé présager un impact du labour sur la densité de la macrofaune mais pas d'effet du fumier sur celle-ci.

Pour les cultures pérennes, la comparaison des modes de culture PP et SM fait apparaître des différences significatives au niveau des géophages et des coprophages. Les géophages sont en effet plus nombreux dans les parcelles en SM alors que la densité des coprophages est plus élevée dans les parcelles en PP.

Ces résultats ont laissé entendre qu'il pourrait y avoir un impact du fumier sur les géophages en absence de labour.

### 3.3. Perception et lutte contre les ravageurs

#### 3.3.1. Noms vernaculaires des principaux individus de la macrofaune du sol identifiés par les agriculteurs

Il a également été demandé à chaque agriculteur chez qui ont eu lieu les prélèvements les noms vernaculaires des principaux éléments de la macrofaune qu'ils ont pu observer dans leurs parcelles. La récolte de ces noms a d'ores et déjà permis de dresser un premier bilan de l'état des connaissances de chaque agriculteur sur la macrofaune du sol. De plus, ces noms ont permis par la suite de mieux communiquer avec les agriculteurs sur ce sujet, notamment grâce à la conception du livret dédié à la macrofaune du sol.

Tableau 5 : Noms vernaculaires des principaux éléments de la macrofaune observée par les agriculteurs et statuts

Nom vernaculaire	Traduction	Statut
biby panimba	ravageur	Ravageur
fano	Coléoptère adulte ( <i>Heteronicus</i> )	Ravageur
kakana	vers de terre	Macrofaune utile
kalabe	vers blanc larve	Ravageur
manga kely	charançon	Ravageur
mavo kely	larves jaune poussin	Macrofaune utile
olitra kely	vers gris	Ravageur
rainibe paraka	vers gris	Ravageur
sakivy (fotsy)	ver blanc	Ravageur

Le relevé de ces noms vernaculaires a permis de constater que les agriculteurs ont souvent associé la macrofaune du sol avec les ravageurs du sol. En effet, sur les neuf noms fournis par les agriculteurs, sept ont désigné des ravageurs. De plus, on a remarqué que plusieurs noms sont donnés aux Coléoptères, vers blancs et charançons parfois pour désigner une même espèce de ravageurs, preuve que des confusions ont été faites dans la reconnaissance des Coléoptères ravageurs.

### 3.3.2. Résultats de l'enquête sur la perception macrofaune

Voici ce qui est ressorti de l'enquête menée auprès des douze agriculteurs chez lesquels les prélèvements de macrofaune du sol ont été effectués :

- Les agriculteurs ont eu tendance à faire un amalgame entre la macrofaune du sol et les ravageurs du sol.
- D'ailleurs, les noms vernaculaires donnés lors des entretiens avec les agriculteurs ont concerné pour la plupart des ravageurs du sol (surtout vers blancs et Coléoptères adultes).
- Ils connaissent cependant le rôle que peuvent jouer les vers de terre : fertilisation (« manamasaka »), dégradation de la matière organique (« manapotika fako ») et le « brassage » du sol (« manafangaro »).

- Même si la plupart d'entre eux connaissaient les plantes cibles des vers blancs (ravageurs du riz et du maïs), ils ne savaient pas identifier et reconnaître les différents vers blancs. Ils pensaient ainsi que tous les vers blancs étaient nuisibles, ce qui n'est pas le cas.
- Les 2/3 des agriculteurs ont remarqué qu'il semble exister un lien entre la quantité de fumier apportée aux parcelles et la présence de vers blancs (non montré dans notre étude)
- Enfin, la plupart ont remarqué qu'il existe un lien entre humidité du sol et abondance de la macrofaune: plus le sol est sec et plus il y a de vers blancs. Là encore il y a un amalgame entre macrofaune du sol et ravageurs du sol (ce critère n'a pu être traité dans notre étude).

D'où l'intérêt de créer un livret de sensibilisation sur la macrofaune utile et nuisible et sur les pratiques culturales permettant de la gérer et reprenant les résultats de notre étude ainsi que les savoirs scientifiques et locaux qui portent sur le sujet : apports de matière organique pour nourrir la macrofaune utile, impact du labour et moyens de lutte contre les vers blancs nuisibles.

Sur les dix-sept questions posées aux douze agriculteurs chez lesquels ont été faits les prélèvements, six ont été considérées comme pouvant fournir des résultats plus approfondis de la perception de la macrofaune par les agriculteurs.

En plus de la réponse de chaque agriculteur à chacune de ces questions, on y avait également joint les résultats des prélèvements de la macrofaune chez cet agriculteur ainsi que la moyenne des résultats obtenus correspondant selon le type de culture pour servir d'élément de comparaison.

Tableau 6 : Questions et indicateurs utilisés pour tenter d'évaluer la perception des agriculteurs vis-à-vis de la macrofaune

Question	Résultats obtenus	Témoin utilisé
Q1) Est-ce que vous constatez la présence de macrofaune sur vos parcelles ?	Densité de macrofaune totale	Densité totale moyenne de macrofaune obtenue selon le mode de gestion des cultures considérées

Q6) Avez-vous déjà observé des vers de terre sur vos parcelles ?	Densité d'Oligochètes chez l'agriculteur	Densité d'Oligochètes selon le mode de gestion des cultures considérées
Q8) Avez-vous déjà observé des vers blancs sur vos parcelles ?	Densité de vers blancs nuisibles chez l'agriculteur	Densité de vers blancs nuisibles selon le mode de gestion des cultures considérées
Q9) Avez-vous remarqué qu'il peut y avoir des vers blancs et pas de dégâts ?	Densité de vers blancs utiles chez l'agriculteur	Densité de vers blancs utiles selon le mode de gestion des cultures considérées
Q11) Avez-vous remarqué des types de végétation pouvant indiquer la présence de ces vers blancs ?	Densité de vers blancs nuisibles chez l'agriculteur	Densité de vers blancs nuisibles selon le mode de gestion des cultures considérées
Q12) Avez-vous remarqué que plus vous mettez de fumier et plus il y a de vers blancs ?	Quantités de fumier appliquées par l'agriculteur + densité de vers blancs nuisibles chez l'agriculteur	Quantités de fumier appliquées selon les différents modes de gestion des cultures + densité de vers blancs nuisibles selon le mode de gestion des cultures considérées

Les résultats ont été les suivants :

- Q1) (Est-ce que vous constatez la présence de macrofaune sur vos parcelles ?) : Tous les agriculteurs ont répondu oui mais aucun n'a su quantifier cette affirmation.
- Q6 (Avez-vous déjà observé des vers de terre sur vos parcelles?) : 11/12 (91,67%) des agriculteurs ont déjà observé des vers de terre sur leurs parcelles mais 2/12 (16,67%) ont une mauvaise appréciation de leur quantité et seulement 1/12 (8,33%) a une bonne appréciation de la quantité de vers de terres présents dans son sol. Seuls 3/12 ont été capables de donner une estimation de la quantité de vers de terre présents dans leurs parcelles.
- Q8 (Avez-vous déjà observé des vers blancs sur vos parcelles?) : 10/12 agriculteurs chez lesquels la présence de vers blancs est corrélée avec leur réponse et sur 3 agriculteurs qui ont estimé leur quantité, 2 se sont avérées justes.



- Q9 (Avez-vous remarqué qu'il peut y avoir des vers blancs et pas de dégâts?) : 1/12 agriculteur a déjà constaté qu'il existe des différences de nuisibilité entre les vers blancs, tous les autres ont dit que non mais seuls 2/12 ont raison.
- Q11 (Avez-vous remarqué des types de végétations pouvant indiquer la présence de vers blancs?) : 9/12 ont donné un type de culture lié à la présence de vers blancs nuisibles. Cependant, 7/12 ont donné une réponse corrélée aux résultats des prélèvements et 5/12 se sont trompés. La plupart ont affirmé que les vers blancs se trouvaient surtout dans les cultures de riz et de maïs mais une quantité importante se trouve dans le fourrage, cependant il est probable que les agriculteurs le constatent peu.
- Q12 (Avez-vous remarqué que plus vous mettez de fumier et plus il y a des vers blancs?) : 7/12 agriculteurs ont répondu voir un lien entre quantité de fumier appliquée et présence de vers blancs. Par ailleurs, aucune corrélation n'a pu être faite entre la quantité de fumier appliquée par les agriculteurs et la présence plus ou moins importante de vers blancs: ce n'est pas parce que l'agriculteur épand beaucoup de fumier qu'il aura beaucoup de vers blancs, cela dépend aussi de la culture considérée.

De plus, il est important de rappeler que tous ces résultats n'ont été le fruit que d'une campagne, de même que les résultats des prélèvements sur la macrofaune. Ils ne peuvent en aucun cas être généralisés à tous les agriculteurs et à toutes les exploitations agricoles de la région. Il ne s'agissait donc que d'une estimation prise à un instant donné. Les tendances qui pourraient s'en dégager seraient à confirmer avec d'autres enquêtes plus approfondies sur un échantillon plus grand et plus représentatif des exploitations agricoles de la région présentant des caractéristiques similaires (production de lait, de riz et de fourrage).

### 3.3.3. Conception du livret de sensibilisation à la macrofaune du sol

Une maquette de ce livret intitulé *Sensibilisation à la connaissance de la macrofaune du sol* a pu être réalisée selon le plan suivant. Ce livret fait la synthèse des résultats acquis grâce à cette étude et des résultats obtenus antérieurement à la suite d'études menées dans la région :

- Première partie portant sur la macrofaune utile :
  - o Les vers de terre (reconnaissance et fonctions)
  - o Les différents groupes fonctionnels (détritivores, coprophages, phytophages, rhizophages, géophages et prédateurs) : identification des espèces les plus répandues et rôles

- Les facteurs biophysiques et agronomiques favorisant le développement de la macrofaune utile (travail du sol, apports suffisants de matière organique, couverture du sol, associations culturales) (page du livret correspondante présentée en Annexe (vii))
- Seconde partie portant sur la lutte contre la macrofaune nuisible et en particulier les vers blancs :
  - Les pratiques culturales : apports suffisants de fumier pour éviter que les vers blancs qui ne sont pas rhizophages stricts ne s'attaquent aux racines, rotations culturales cassant la succession « riz-maïs » et privilégiant les légumineuses.
  - Les répulsifs biologiques : Utilisation de feuilles d'Eucalyptus, de Margousier et d'Agave et plantation de radis fourrager ou de crotalaire.
  - Les infrastructures agroécologiques autour des parcelles qui sont susceptibles de servir de refuges et de plantes hôtes pour les ravageurs.
  - La lutte chimique en dernier recours, en veillant à utiliser des produits homologués et en respectant les doses prescrites.

Ce livret, qui s'adressera en priorité aux agriculteurs, devrait permettre de vulgariser des connaissances scientifiques portant sur la macrofaune du sol. Il devrait donc contenir les informations essentielles et être abondamment illustré, d'autant plus qu'un certain nombre d'agriculteurs sont illettrés. Il devrait être disponible fin 2015 dès qu'il sera validé (après la validation faite par les agriculteurs) par l'équipe de chercheurs spécialisés sur la macrofaune.

## **4. DISCUSSION**

### 4.1. Eléments de discussion concernant les résultats des prélèvements faits sur la macrofaune

#### 4.1.1. Effets des pratiques culturales sur la macrofaune du sol dans son ensemble

Un impact important des pratiques sur la macrofaune a pu être mis en évidence dans une petite région et sur une période courte de prélèvements.

Le contraste le plus important des pratiques a pu être établi au sein des cultures annuelles entre AC, LAMF et LAEF et au sein des cultures pérennes entre PP et SM.

Pour les cultures annuelles, la densité de la macrofaune dans son ensemble était plus élevée en AC mettant en jeu l'importance du non-travail du sol et la présence de couverture

végétale du sol ; l'hypothèse d'un impact du fumier sur la macrofaune n'a pu être mise en évidence.

Pour les cultures pérennes, la densité macrofaunique la plus élevée a été observée au niveau des parcelles en SM en liaison avec un groupe fonctionnel particulier (géophages) mais une plus grande diversité a été constatée au niveau des parcelles en PP.

De nombreux travaux ont été menés dans la région (Rabary et al., 2011 ; Coq et al., 2007) et dans d'autres pays (Lavelle et al., 2001) et en particulier au Brésil (Blanchart et al., 2006) sur le lien entre la matière organique du sol et les vers de terre et plus précisément entre le carbone organique et les vers de terre. Cependant, aucune étude n'a été menée sur le lien direct entre les quantités de fumier appliquées et la présence de vers de terre.

De même, des études ont été faites pour déterminer l'impact du labour sur les vers de terre mais peu relèvent son impact sur les vers blancs à l'exception de Michellon et al., (1998) et de Ratnadass et al. (2007). Cependant, Ratnadass et al., (2013) a étudié l'influence de la matière organique du sol et de sa qualité sur les vers blancs en testant les effets de la paille de riz et de la bouse de vache séchée ainsi que Randriamanantsoa et al., (2008).

Notre étude a donc été la première à croiser les résultats de l'impact du labour et du fumier à la fois sur les vers de terre et les vers blancs.

Termites et fourmis sont souvent les taxons les plus abondants dans les sols tropicaux (Blanchart et al., 2007). En effet en 2010, sur les mêmes parcelles qui ont servi de témoin pour le mode de système AC de cette étude à Andranomanelatra, Rabary et al., (2011) avait récolté, compté et identifié 2 155 individus appartenant à 20 ordres et 48 familles différentes. Le taxon majoritaire était les Hyménoptères (fourmis) (32%), suivi des Oligochètes (vers de terre) (23%), puis les Coléoptères (21%).

Notre étude a permis de récolter 1 302 individus sur ce même site, appartenant en majorité au taxon des Oligochètes (44,6%), à celui des Coléoptères (29,6% dont 8,2% de vers blancs) et aux Hyménoptères (10,2%). Ainsi, en cinq ans, si le nombre de Coléoptères a légèrement augmenté, celui des Hyménoptères a diminué d'un tiers et celui des Oligochètes a doublé, cela peut être dû au fait que les expériences menées par Rabary et al., (2011) contenaient également des parcelles labourées, ce qui diminue la présence d'Oligochètes. Cependant, en considérant la répartition de la macrofaune totale de notre étude selon les cinq modes de gestion des cultures, les Oligochètes représentaient 53% de la macrofaune totale, les Coléoptères

atteignaient 28,4% (dont 11% de vers blancs) et les Hyménoptères 9,7% de la macrofaune totale. On retrouve donc des résultats proches de ceux constatés dans ces parcelles en AC à part pour les Oligochètes dont le nombre est plus élevé lorsque l'on considère l'ensemble des modes de gestion des cultures. Cela est dû à leur nombre très élevé dans les parcelles de PP et SM (voir paragraphe 3.2.3.).

Rabary et al., (2011) a montré que les parcelles de riz en non labour avaient le plus faible nombre de détritivores ainsi qu'une faible diversité macrofaunique. Concernant la biomasse de la macrofaune, il y avait une différence significative entre les systèmes de cultures mais seulement entre les phytophages et les groupes de macrofaune non identifiée. Les plus faibles moyennes de biomasse des phytophages ont été trouvées dans les systèmes de labour riz-haricots et les systèmes sans labour de riz-radis fourrager. Les vers blancs représentaient 7,7% de la densité avec une dominance des espèces non ravageuses. Les vers blancs ravageurs étaient absents dans seulement trois systèmes de culture (riz-haricots labouré, riz en culture seule, et riz-radis fourrager) alors que le plus grand nombre a été trouvé dans les cultures de *Brachiaria* et de Vesce.

Or, dans notre étude, les différences les plus marquées ont été observées sur les géophages et les détritivores. C'est le mode de gestion AC (non labour, couverture du sol et associations culturales) qui présentait un effet positif et significatif sur les densités des détritivores de façon très marquée ainsi que sur les phytophages et les prédateurs par rapport aux modes LAMF et LAEF (parcelles de riz labourées). En comparant les modes de gestion AC et LAMF, il est apparu que le seul groupe fonctionnel auquel ne bénéficie pas l'AC était celui des géophages. Cela pourrait être dû à l'utilisation répétée des pesticides dans les parcelles gérées en AC pour s'affranchir d'une contrainte vers blancs (Lavelle et al., 1999). Cet effet néfaste est un réel problème pour le modèle de l'agriculture de conservation testé à la fois en expérimentation contrôlée en station de recherche et chez les agriculteurs (projet Biova). De plus une présence plus importante des rhizophages (non significative), malgré l'application de pesticides, mérite que l'on surveille de près les effets notamment de la qualité des résidus de récolte laissés au sol (études en cours).

L'effet des différents modes de gestion des cultures sur les rhizophages (vers blancs nuisibles) et les coprophages était plus difficilement percevable puisqu'en effet les résultats n'étaient pas statistiquement significatifs. De plus, les résultats de la biomasse suivaient les résultats de la densité macrofaunique.

Cependant, Blanchart et al., (2006) avait testé l'introduction de légumineuses comme plantes de couverture au Bénin, ce qui avait permis d'augmenter la macrofaune du sol notamment avec l'augmentation de la densité et de la biomasse des vers de terre. Rabary et al., (2011) avait également montré qu'une association riz-radis fourrager permettait de diminuer la présence de vers blancs ravageurs à Madagascar. De plus amples travaux portant sur les associations de cultures pour favoriser la présence de la macrofaune utile et diminuer l'impact de la macrofaune nuisible sont ainsi à mener.

#### 4.1.2. Impact de l'apport de fumier sur les rhizophages

L'une des conclusions de notre étude est que c'est davantage le travail du sol et non la quantité de fumier qui semble impacter le plus la macrofaune. Le fumier ne semble pas avoir d'influence sur les rhizophages.

Ces résultats sont donc une nouveauté pour la région puisqu'il avait déjà été montré qu'en présence de fumier et donc de matière organique, les vers blancs non rhizophages stricts devenaient coprophages puisqu'ils consommaient la matière organique fournie par le fumier au lieu des systèmes racinaires du riz (Ratnadass et al., 2013), ce que nous n'avons pu constater en comparant les parcelles des modes de gestion LAEF et LAMF ainsi que PP et SM. En effet, les parcelles en LAMF et SM contenaient moins de vers blancs nuisibles et bénéficiaient d'apports plus importants de fumier que les parcelles en LAEF et PP. Cependant, cela pourrait également être lié au fait que les parcelles ne sont pas issues du même site et disposent donc d'une macrofaune différente liée non seulement à leurs modes de culture et leur historique, mais aussi à leurs caractéristiques physiques. C'est ce que nous appellerons par la suite l'« effet site ».

En Nouvelle Zélande, King (1977) avait montré que l'addition de fumier pouvait avoir un effet phagostimulant sur les vers blancs et en particulier sur *Heteronychus arator*. L'ajout de matière organique pourrait donc aider à l'accélération de la décomposition de la litière grâce aux espèces saprophages obligatoires ou facultatives mais aussi favoriser la consommation de tissus végétaux vivants par les rhizophages obligatoires. De plus, certains vers blancs sont apportés avec le fumier de bovin (Randriamanantsoa et al., 2010). Il y a donc un risque de contamination des parcelles par apport de fumier de bovin car celui-ci représente en particulier un milieu favorable au développement des larves de Dynastidae (Randriamanantsoa et al., 2008).

Des études menées à Madagascar avaient montré une augmentation significative de l'abondance de biomasse et de la diversité de la macrofaune (en particulier les vers de terre et les larves de Coléoptères dans les systèmes de SCV, en comparaison avec les systèmes conventionnels (Coq et al., 2007). Ratnadass et al. (2007) avait également étudié l'effet du labour et du SCV sur la macrofaune du sol à Madagascar. Il y avait noté une augmentation des ravageurs du riz en SCV ainsi qu'une augmentation des populations et des dégâts des bioagresseurs ce qui ne s'est pas vraiment vérifié dans notre étude puisque les vers blancs ravageurs étaient majoritaires dans les cultures pérennes des modes de gestion PP et SM. Il a cependant été noté que le mode de gestion AC contenait un nombre plus élevé de Coléoptères que les modes de gestion LAEF et LAMF ainsi qu'une plus grande diversité macrofaunique.

#### 4.1.3. Effet du non labour sur les géophages dans les cultures annuelles

Les parcelles qui nous ont servi de référence pour le mode de gestion PP n'ont pas été labourées depuis environ dix ans, il est donc très probable que leurs sols soient plus compactés que les parcelles du mode SM qui n'ont pas été labourées depuis quatre à cinq ans en moyenne. Cependant, notre étude a montré que les vers de terre étaient plus nombreux dans les pâturages gérés selon le mode SM que dans ceux gérés selon le mode PP, c'est-à-dire labourés tous les cinq ans environ. On peut donc émettre l'hypothèse qu'il existe un effet année selon lequel à partir d'une certaine durée sans labour, la population de vers de terre commencerait à diminuer et certaines espèces disparaîtraient au détriment d'autres. Cela peut être dû au fait qu'à partir de cinq ans, le sol deviendrait alors trop compact pour certaines espèces de vers de terre (Blanchart et al., 1999). Un lien entre la durée de non labour et le taux de matière organique a aussi été démontré (Bartz et al., 2013) : plus la durée de non labour est élevée et plus le taux de matière organique est élevé aussi, entraînant de fait une plus grande population de vers de terre. Six ans seraient ainsi une durée minimale pour que le système au niveau du sol soit « consolidé » (Bartz et al., 2013). Le contenu de la matière organique peut également influencer les communautés de vers de terre en divisant les endogés en groupes se nourrissant de substrats riches, médiums ou pauvres (Lavelle, 1983).

Au Brésil Blanchart et al., (2007) a observé une stagnation de la densité de vers de terre en absence de labour. Le recours à un système sans labour induisait une augmentation significative de la densité et de la biomasse totale de la macrofaune du sol, tous taxons confondus. La densité de vers de terre était significativement plus élevée en SCV que dans un système conventionnel, mais sans augmentation continue. En revanche, une corrélation entre

biomasse, carbone organique stocké dans le sol et âge de la parcelle en SCV a été observée pour les Coléoptères. Cette constatation peut également se faire dans notre étude puisqu'en effet, la densité de Coléoptères collectés dans les modes de gestion PP était plus élevée que celle du mode de gestion SM et de même entre les modes de gestion AC et LAEF/LAMF.

#### 4.1.4. Utilisation des vers de terre comme bio-indicateurs de la qualité des sols

En ce qui concerne les populations de vers de terre et leur utilisation comme bio-indicateurs de la qualité des sols, des travaux réalisés au Brésil sur des parcelles gérées sans labour ont tenté d'utiliser les vers de terre comme indicateurs de la qualité des sols. Quatre classes de sols ont ainsi été définies selon la densité de vers de terre par m<sup>2</sup> et le nombre d'espèces observées (Bartz et al., 2013) :

- Pauvre : <25ind/m<sup>2</sup> et 1 espèce
- Modéré : entre 25 et 100 ind/m<sup>2</sup> et 2-3 espèces
- Bon : entre 100 et 200 ind/m<sup>2</sup> et 4-5 espèces
- Excellent : > 200 ind/m<sup>2</sup> et > 6 espèces

Tableau 7 : Modes de gestion des cultures et qualité des sols selon le classement de Bartz et al., (2013) :

Mode de gestion des cultures	Densité (Nombre d'individus/m <sup>2</sup> )	Classe de sol en fonction de la densité	Richesse spécifique (Nombre d'espèces)	Classe de sol en fonction de la richesse spécifique
AC	132	Bon	3,67	Modéré
LAMF	106,93	Bon	2,08	Modéré
LAEF	54	Modéré	1,42	Pauvre
PP	88,53	Modéré	3,67	Modéré
SM	288	Excellent	2,33	Modéré

Le tableau ci-dessus donne les densités des Oligochètes selon les différents modes de gestion des cultures. Suivant la classification de Bartz et al., (2013), si l'on considère la densité, les parcelles en AC et LAMF sont sur de « bons » sols, les parcelles en LAEF et PP sont sur des sols « modérés » et les parcelles en SM sont sur d' « excellents » sols. Cependant, lorsque l'on considère cette classification en fonction du nombre d'espèces de vers de terre présentes dans les différents modes de gestion des cultures, ce classement diffère quelque peu. Seules les parcelles gérées selon le mode PP ont leurs deux indicateurs qui correspondent à une même

classe, la classe de sol « modéré ». Tous les autres modes de gestion ont leurs deux indicateurs appartenant à des classes différentes. Dans ce cas, peut être conviendrait-il de qualifier les sols de « modérés à bons » ou de « pauvres à modérés » ? Ces deux indicateurs, basés sur la densité et la richesse spécifique des vers de terre, pourraient donc bien aider à qualifier la qualité de nos sols sauf pour le mode de gestion SM dont les deux classes sont trop éloignées (« excellent » et « modéré »). Ce classement de la qualité des sols pourrait peut-être encore être affiné en y incluant un indicateur lié au groupe fonctionnel auxquelles appartiennent les espèces de vers de terre prélevées pour ce classement. En effet, ceux-ci font soit partie des détritivores, soit des géophages, et c'est la présence d'individus de ces deux groupes fonctionnels qui garantit une bonne qualité du sol. Des travaux sont donc encore à mener à ce sujet, d'une part pour proposer une amélioration de cet outil de classement de la qualité des sols, et d'autre part, sur les différentes espèces de vers de terre et sur leur rôle au niveau du sol.

#### 4.2. Eléments de discussion concernant les résultats de la perception de la macrofaune par les agriculteurs

La macrofaune du sol et en particulier les vers de terre reste encore mal connue. La majorité des agriculteurs en région tropicale et des agronomes ont peu de connaissances sur la diversité des vers de terre, leurs activités et leurs effets sur le sol (Fragoso et al., 1999).

Ainsi, quelques enquêtes sur la perception des vers de terre ont été menées par Ortiz et al., (1999) au Mexique, Pérou, Inde et au Congo. Aucune enquête n'avait encore été faite à Madagascar sur la perception de la macrofaune par les agriculteurs et en particulier sur les vers de terre et les vers blancs. Nos résultats sont donc une nouveauté dans ce domaine.

Ortiz et al., (1999) s'était tout particulièrement penché sur la perception qu'avaient les agriculteurs de la fertilité des sols et de sa relation à l'activité de vers de terre. Au Pérou et en Inde, la plupart des agriculteurs ont reconnu l'effet bénéfique des vers de terre alors qu'au Congo et au Mexique, un très fort manque de connaissances à ce sujet s'est fait sentir. Cependant, au sein de certaines populations indigènes au Mexique, les vers de terre constituaient un pont symbolique entre la fertilité et la santé entre l'homme et la nature. Les connaissances qu'avaient les agriculteurs sur les vers de terre variaient selon les pays voir selon les régions. Dans certaines régions, les vers de terre pouvaient même être considérés comme des ravageurs des cultures, ce qui n'a été relevé que chez un agriculteur de notre étude.



Cependant à Madagascar, les agriculteurs rencontrés ont révélé avoir de bonnes connaissances des vers de terre et de leur rôle d'ingénieurs du sol. C'est au niveau de leur perception de la macrofaune du sol et de son intérêt que des lacunes sont apparues, ainsi qu'au niveau de la reconnaissance des vers blancs nuisibles et utiles, preuve que des démarches restent à faire pour les sensibiliser à la macrofaune du sol et à ses enjeux.

De plus, lors de notre enquête, de nombreux agriculteurs n'ont pas réussi à détailler plus leurs réponses, notamment pour donner des réponses plus quantifiées. C'est notamment le signe qu'il y a nécessité de donner des valeurs repères pour quantifier la macrofaune utile (vers de terre et certains vers blancs) et nuisibles (vers blancs). C'est-à-dire qu'il faudrait déterminer un seuil de nuisibilité pour les vers blancs à partir duquel on considérerait qu'une lutte est à envisager. Ces seuils existent par exemple déjà en France pour de nombreux bioagresseurs et sont utilisés pour déterminer les plans de lutte à mettre en place. A la Réunion, un seuil a été décidé dans la lutte contre le ver blanc *Hoplochelus marginalis* dans les cultures de canne à sucre. Ce ravageur fait ainsi l'objet d'un suivi particulier par le FDGDON et est mentionné dans les Bulletins de Santé du Végétal de l'Ile de la Réunion mais il occasionne aussi des dégâts au sein des cultures de riz à Madagascar dont il est natif. Ainsi, certaines parcelles de notre étude en contenaient. Ces protocoles de suivi et de lutte contre ce ver blanc pourraient donc servir d'inspiration et être adaptés pour la lutte contre d'autres vers blancs ravageurs du riz.

En ce qui concerne les vers de terre, Bartz et al., (2013), ont ainsi déjà tenté de mettre en place un classement des sols en fonction de l'abondance de vers de terre et de leur richesse spécifique. Cependant, le protocole à suivre est assez lourd puisqu'il faut prélever puis identifier les vers de terre, il n'est donc pas très accessible aux agriculteurs, sauf si on ne prend en compte que la densité, ce qui est plus parlant que le nombre ou l'identité des espèces.

Par ailleurs, même en améliorant leurs connaissances sur la macrofaune, un autre enjeu majeur qui se pose est celui de sa gestion et notamment de l'apport de matière organique pour nourrir la macrofaune du sol. En effet, les agriculteurs malgaches possèdent peu de moyens pour acquérir des engrais et produire du fumier (Sester et al., 2015). Par ailleurs, laisser au sol les résidus de culture pourrait permettre de fournir de la matière organique à la macrofaune du sol tout en le protégeant des aléas climatiques. Cependant, cela est rendu difficile par l'utilisation des parcelles comme pâturage pour le bétail en saison sèche, source de nombreux conflits sociaux entre éleveurs et agriculteurs (Sester et al., 2015).

Donc en l'état de nos connaissances, les pratiques actuelles conventionnelles associant labour, apports de fumier en quantités variables et protection phytosanitaire chimique modérée semblent contenir la pression en vers blancs rhizophages des cultures et maintenir une diversité biologique des sols.

#### 4.3. Eléments de discussion concernant la typologie des exploitations à partir des flux de biomasse durant la campagne 2014-2015

En ce qui concerne la caractérisation qui a été faite sur les douze exploitations où ont été effectués les prélèvements, deux typologies avaient déjà été élaborées dans la région, celle d'Alvarez (2012) qui a fait l'objet d'une thèse portant sur les pratiques de gestion de la biomasse au sein des exploitations familiales d'agriculture-élevage des hauts plateaux de Madagascar : conséquences sur la durabilité des systèmes et celle de Randrantoarimbola (2015) sur la caractérisation des systèmes de production au niveau des exploitations agricoles mixtes: structure et fonctionnement, cas des Hautes-Terres de la région du Vakinankaratra.

Bien que notre caractérisation n'ait porté que sur douze exploitations et que par conséquent l'on ne puisse parler de "typologie", il était intéressant de croiser nos résultats avec ceux de ces deux études. Rappelons que le but n'était pas de chercher à représenter toutes les exploitations laitières de la région. L'intérêt de notre étude a donc été de décrire avec le plus de précisions possibles les différents modes de gestion des cultures rencontrés. La mise en place d'une typologie plus représentative aurait nécessité d'échantillonner un nombre bien plus grand d'exploitations laitières.

Alvarez (2012) avait déjà constaté un déficit en biomasse dans les exploitations laitières de la région, ce qui a été confirmé dans notre étude. Les retours de biomasses végétales au sein des parcelles étaient rares et les apports de matière organique et d'éléments nutritifs se faisaient surtout grâce au fumier ou aux engrais minéraux. Ces apports étaient ciblés par les agriculteurs en fonction de certaines cultures plus rentables que d'autre ou selon la fertilité des parcelles Alvarez (2012). Les enquêtes menées auprès des agriculteurs ainsi que les analyses de sol qui ont été faites au sein de notre étude corroborent également ces affirmations. Alvarez (2012) en a conclu qu'au sein d'une exploitation, ces différentes pratiques (fertilisation ciblée et exportation des biomasses végétales) et les différentes utilisations des terres (cultures annuelles ou pérennes, jachères) pouvaient favoriser l'hétérogénéité de la fertilité des sols, ce qui a également été constaté dans notre étude. Par ailleurs, chez Alvarez (2012), il a été trouvé des

teneurs en carbone organique et en azote total du sol significativement inférieures pour les parcelles de bas-fonds, ce qui lui a fait recommander d'augmenter les apports de fertilisants organiques et minéraux sur ces parcelles. Or, lors de la réalisation de notre caractérisation des exploitations, il est apparu qu'en effet les agriculteurs ne fertilisaient pas leurs parcelles de bas-fonds, sauf pour les cultures de contre-saison mais pas de façon systématique. En effet, traditionnellement les agriculteurs ont tendance à penser que ce sont des parcelles fertiles car en bas de pente et recouvertes par l'eau une partie de l'année donc avec une forte sédimentation (Alvarez, 2012). Bien que nous n'ayons pas effectué de prélèvements de macrofaune ou d'analyses de sol dans ces parcelles pour corroborer ces éléments, il serait intéressant d'étudier plus en détails la fertilité des bas-fonds dans cette région.

Concernant la typologie des exploitations, Alvarez (2012) a décrit six types d'exploitations à partir de 50 exploitations enquêtées. Seuls deux types d'exploitations correspondent à nos exploitations :

- Type 1 (4% des exploitations enquêtées) : Exploitations avec grands élevages intensifs hors-sol, race Pie Rouge Norvégienne, importante diversification avec volailles et porcs, cultures fourragères,
- Type 3 (18% des exploitations enquêtées) : Exploitations de petite surface de tanety, troupeau laitier nourri avec des fourrages à volonté, sans pâture,

Ainsi, les exploitations au sein desquelles ont été menées nos enquêtes et nos prélèvements ne représentent que 22% des exploitations agriculture-élevage laitier de la région.

Randrantoarimbola (2015) avait proposé une typologie à la suite d'une enquête réalisée auprès de 119 exploitations de la région. Cette typologie décrivait six groupes d'exploitations en agriculture-élevage notamment en fonction du nombre de bovins laitiers, de bovins de trait et des surfaces cultivées. Il est apparu que les exploitations dans lesquelles avaient été faits nos prélèvements appartenaient toutes à l'un des deux groupes suivants :

- Groupe 3 : Grands éleveurs laitiers ayant des surfaces agricoles importantes (17,6% des exploitations enquêtées) intensification de la production laitière, 9 vaches laitières en moyenne et 1,6 bovin de trait, 3 ha de surface cultivée en moyenne.
- Groupe 4 : Exploitants à surface assez élevée et élevant en même temps des bovins de traits et laitiers (13,44% des exploitations enquêtées) : 2 vaches laitières en moyenne, 1 bovin de trait, et 1,5ha de surface cultivée en moyenne.

Ces deux groupes ne représentant que 31% des exploitations enquêtées pour l'élaboration de cette typologie, il est apparu que les exploitations sur lesquelles s'est fondée notre étude n'étaient pas représentatives des exploitations en agriculture-élevage laitier de la région. Cependant, à la lueur de cette constatation, nos résultats concernant la macrofaune et les modes de gestion des cultures n'ont pas perdu de leur pertinence.

#### 4.4. Limites de l'étude

Concernant la méthodologie générale appliquée tout au long de cette étude, celle-ci s'est révélée être pertinente puisqu'elle a permis d'obtenir des résultats nouveaux dans le domaine, d'en confirmer d'autres et d'envisager des perspectives pour la suite de l'étude. Cependant, certains points nécessiteraient d'être améliorés si l'étude était à refaire.

##### 4.4.1. Lien entre présence de vers de terre et carbone organique

Dans notre étude, aucun lien n'a pu être fait entre la teneur en carbone organique du sol (corrélée à la quantité de fumier épandue) et la présence de chaque groupe fonctionnel et en particulier des géophages (vers de terre). Cependant, Coq et al., (2007) avait montré un effet des vers de terre sur le carbone organique du sol notamment par la richesse en carbone des turricules plus élevée que dans le sol non digéré. Or, il a été montré que l'effet intégratif des vers de terre sur la minéralisation du carbone dépendait de l'échelle de temps considérée. En effet, pour expliquer le stockage du carbone du sol, Coq et al., (2007) avait fait l'hypothèse que l'agrégation protégeait physiquement la matière organique du sol contre la minéralisation. Cependant, vérifier cette hypothèse était impossible au sein de notre étude en raison d'un protocole de prélèvement et d'analyse du sol en carbone organique inadapté. En effet, les mesures du carbone organique n'ont été faites qu'à un seul moment à la suite d'un prélèvement unique dans chaque parcelle. Pour étudier l'impact des vers de terre sur le carbone organique, il aurait fallu faire un suivi de la variation de ce carbone durant toute la période de l'étude. Par ailleurs, même si aucune relation n'a pu être faite entre acidité, phosphore assimilable et groupes fonctionnels, cette étude visait à mesurer l'effet des pratiques culturales et non l'effet biophysique des parcelles.

##### 4.4.2. Existence d'un possible « effet site » non testé

Par ailleurs, lors du calcul de notre analyse de variance, l'existence de facteurs qui n'auraient pas été pris en compte et qui pourraient expliquer une variabilité entre parcelles s'est

révélée possible. Ils pourraient se substituer ou masquer l'effet du mode de gestion des cultures. Un possible « effet site » aurait notamment été à envisager même s'il n'a pas été possible de le tester statistiquement avec le test de Kruskal-Wallis de même que les interactions systèmes\*sites qui n'ont pas non plus être testées avec les ANOVA lorsque les données des densités des groupes fonctionnels suivaient une loi normale.

De plus, le dispositif expérimental mis en place laissant peu de latitude, un contrôle de cet effet était peu envisageable. Les parcelles paysannes ayant des caractéristiques similaires auraient pu éventuellement être réparties en différents groupes selon les zones géographiques puisqu'elles auraient des sols et des environnements semblables ou alors selon les itinéraires culturaux semblables. Une ANOVA à deux facteurs ou un test non paramétrique équivalent auraient ensuite été utilisés mais étant donné la complexité de mise en place de cette démarche, ce scénario n'a pas été retenu. Cet effet site pourrait cependant se révéler non négligeable et entraîner une confusion dans la lecture des résultats. Ceux-ci doivent donc être considérés en gardant ce facteur à l'esprit. Cette interaction site\*mode de gestion du sol avait déjà été constatée par Ratnadass et al., (2013) à Andranomanelatra. Selon lui, cette interaction site\*mode de gestion du sol pouvait être liée à des différences d'évolution du spectre d'entomofaune non directement corrélées à l'expérimentation entre les différents sites observés. C'est également l'hypothèse que nous avons avancé au regard de nos résultats (voir paragraphe 3.2.4.), cependant, cette hypothèse s'est retrouvée difficile à vérifier lors de notre étude. En effet, il aurait fallu faire des prélèvements de macrofaune avant l'implantation des cultures pour réaliser un inventaire de la macrofaune présente dans le sol voir même réaliser régulièrement ces inventaires pour pouvoir ainsi comparer l'évolution de cette macrofaune en fonction des deux facteurs à tester. Il a été dit par exemple que l'apport de fumier en plus grandes quantités impactait sur la présence et l'activité des vers blancs en comparant leur densité entre les modes de gestion LAMF et LAEF, or, ces parcelles ne provenaient pas d'un même site. L'hypothèse que les vers blancs s'y trouvaient en quantités semblables au début de l'étude pourrait donc être contestée.

#### 4.4.3. Choix des exploitations enquêtées et représentativité de celles-ci au niveau régional

Concernant l'enquête menée auprès des douze agriculteurs chez lesquels les prélèvements de macrofaune ont été faits, celle-ci était également l'occasion de confronter les savoirs scientifiques aux savoirs locaux. Ce type de dialogue entre agriculteurs et chercheurs

devrait déboucher sur un développement participatif visant à développer la petite agriculture familiale (Altieri, 2004). Cependant, il était tout à fait possible que les savoirs de ces agriculteurs ne soient pas représentatifs des savoirs des agriculteurs locaux puisque ceux-ci faisaient partie d'un réseau lié à la recherche. Il existait donc un risque que ceux-ci soient déjà plus informés et plus au fait des pratiques culturelles et des doses de fumier à apporter aux cultures. C'est également ce qu'avait constaté Sester et al., (2015) lors d'une étude portant sur la perception des SCV par les agriculteurs dans la région du Lac Alaotra à Madagascar. Puisque ceux-ci avaient participé à des ateliers de sensibilisation aux SCV, il y avait de fortes chances pour que leur jugement ne soit influencé par ces ateliers. Néanmoins, en gardant cela à l'esprit, les résultats obtenus conservent leur intérêt. Cependant, le fait que ces agriculteurs fassent partie d'un réseau lié à la recherche a permis de nous assurer qu'ils mettent des quantités de fumier différentes et donc qu'ils aient bien des modes de gestion de cultures différents qu'il a été intéressant de tester.

De plus, les exploitations avaient été choisies en essayant de conserver une certaine homogénéité, surtout au niveau du milieu physique (composition des sols identiques, pluviométrie, etc.). Cependant, une grosse hétérogénéité existait au niveau du fumier, de sa production et de sa qualité. En effet, pour établir les flux de biomasse au niveau de chaque exploitation, l'hypothèse a été faite que tous les fumiers étaient identiques au niveau de la qualité et de la composition, ce qui n'était pas le cas. Il est en effet rare que les agriculteurs épandent un produit qui est à 100% du fumier de bovin, en général il s'agit d'un mélange bovin-volaille, voire bovin-porcin. Il a par ailleurs été assez difficile de quantifier les proportions de ces mélanges. Pour affiner notre étude, il aurait fallu analyser le fumier de chaque exploitation pour en déterminer la composition, ce qui n'a pas été fait, notamment pour des raisons financières. De plus, même lorsque l'on considère le fumier de bovin, sa richesse en N, P et K peut varier du fait du rationnement des bovins qui n'est pas identique dans chaque exploitation. Ajoutons à cela que selon les exploitations, la durée de compostage du fumier varie de plusieurs semaines, ce qui peut influencer de façon importante sur la qualité du fumier.

Pour pouvoir étendre nos résultats à un plus grand nombre d'exploitations, il aurait fallu augmenter la taille de l'échantillon puis une analyse en composantes multiples (ACM) aurait permis de sélectionner les variables à prendre en compte. La méthode de Classification ascendante hiérarchique (CAH) aurait ensuite été appliquée pour dégager les différents types d'exploitations. C'est cette méthode qu'a suivi Alvarez (2012) pour la réalisation de sa typologie. Les variables prises en compte étaient : la localisation géographique des

exploitations, leur structure (surfaces et élevages), les caractéristiques de l'élevage laitier, les types de cultures sur tanety et sur bas-fond ainsi que l'utilisation de fumier et des engrais minéraux pour la fertilisation des cultures. A l'exception de la variable « caractérisation de l'élevage laitier » qui n'a pas été prise en compte, notre caractérisation des exploitations repose sur les mêmes critères, il aurait donc été possible d'établir une typologie selon cette méthode en augmentant l'effectif des exploitations enquêtées.

#### 4.4.4. Choix des indicateurs utilisés lors du traitement d'enquête

En ce qui concerne les données sélectionnées pour servir d'indicateurs lors du traitement des résultats de l'enquête, ceux-ci n'étaient pas forcément adaptés pour bien comprendre et décrire la perception de la macrofaune par les agriculteurs. Par exemple, pour la question Q12: « Avez-vous remarqué que plus vous mettez de fumier et plus il y a de vers blancs ? », les données sélectionnées étaient les doses de fumier appliquées et la densité de vers blancs selon le mode de gestion de culture considéré. Mais y-avait-t-il vraiment un lien entre ces deux informations sachant que cette étude a montré que le lien n'était pas clairement établi entre la présence de vers blancs et les quantités de fumier épandues? Un indicateur comme le rendement aurait également pu être considéré mais étant donné qu'il dépend également des variétés utilisées et qu'il est commun chez les agriculteurs de la région de mélanger les variétés au sein d'une parcelle, il aurait finalement été difficile à mettre en place et sa pertinence contestable.

## 5. CONCLUSION

Cette étude a permis de caractériser douze exploitations en agriculture - élevage laitier de la région d'Antsirabe à travers un travail de terrain, d'enquêtes, de description et de schématisation des données récoltées suivant les caractéristiques de chaque exploitation (superficie des exploitations, importation ou non de pailles/foin, nombre de bovins/ha, quantité de fumier produite/an et quantité de fumier disponible/ha).

A la suite de cette caractérisation, trois modes de gestion des cultures en cours chez les agriculteurs se sont dégagés (Culture annuelles avec labour et quantités de fumier modérées (LAMF), Culture annuelles avec labour et quantités de fumier élevées (LAEF) et Cultures fourragères sans labour et avec apport de fumier en systèmes mixtes (SM)) susceptibles d'impacter la macrofaune du sol et tout particulièrement les vers de terre (faune utile) et les vers blancs (faune essentiellement nuisible).

Suite à la description de ces modes de gestion des cultures, deux facteurs connus dans la bibliographie pour avoir un impact sur la macrofaune du sol ont été étudiés : l'effet du labour et la quantité de fumier épandue dans des cultures annuelles et pérennes. Dans le but de tester ces deux facteurs, des prélèvements de macrofaune ont été faits au niveau de ces douze exploitations suivant la méthode TSBF (Anderson et al., 1993) dans les trois modes de gestion des cultures considérés ainsi que dans deux autres modes de gestion qui ont servi de témoins (Cultures gérées selon le modèle de l'agriculture de conservation (non labour, couverture du sol et associations de culture) et fertilisées (AC) et des parcelles de pâturages permanents, non labourées depuis au moins dix ans et non fertilisées (PP)).

L'identification et l'analyse de cette macrofaune du sol en fonction de nos deux facteurs à tester, impact du fumier et impact du non labour du sol combiné à la présence de plantes pérennes ou annuelles a permis de préciser que :

- La présence de fumier en systèmes conventionnels avec travail du sol répété ne semble impacter que secondairement la diversité et la quantité de macrofaune du sol (résultat nouveau).
- Les pratiques actuelles conventionnelles associant labour, apport de fumier en quantité variable et protection phytosanitaire chimique modérée, semblent bien contenir la pression en vers blancs rhizophages des cultures (résultat nouveau).
- L'absence de labour sur une longue durée associée à la présence d'une couverture végétale (agriculture de conservation) semble bien favoriser la présence de la macrofaune du sol dans son ensemble (confirmation des résultats antérieurs).
- L'agriculture de conservation doit cependant être surveillée à Madagascar notamment à cause de la présence de vers blancs rhizophages des cultures d'autant plus que ce système a fait l'objet d'une protection phytosanitaire accrue (confirmation des résultats antérieurs).
- L'agriculture de conservation combinée à des apports de pesticides contre les vers blancs ne maintient pas une densité de vers de terre comparable à d'autres systèmes conventionnels associant un travail du sol épisodique et des apports de fumier plus conséquents (résultat nouveau)
- Une moindre fréquence du labour (1 tous les 4/5 années) associée à des apports de fumier favorise la présence de vers de terre (résultat nouveau).



Au travers d'une enquête menée sur la macrofaune du sol auprès de ces agriculteurs, il en est ressorti que ceux-ci ont bien tendance à percevoir la macrofaune du sol comme un facteur nuisible plutôt que pouvant bénéficier à leurs parcelles même si tous connaissent le rôle des vers de terre. Par ailleurs, des confusions existent au niveau des ravageurs et notamment lors de l'identification des vers blancs qui ne sont pas tous nuisibles pour le riz et le maïs puisque certains se révèlent même être des ingénieurs du sol.

Il existe donc une réelle nécessité de créer des outils pour mieux informer les agriculteurs de l'intérêt de la macrofaune utile et de la lutte qui peut être mise en place pour la macrofaune nuisible et notamment de mieux étudier en milieu réel l'impact réel de la pression en vers blancs sur les cultures.

C'est dans cette optique qu'une maquette de livret de *Sensibilisation à la connaissance de la macrofaune du sol a été créée*. Il reprendra quelques résultats de cette étude notamment sur le fumier, le non travail du sol et la perception de la macrofaune par les agriculteurs et fera le point sur les différentes méthodes de lutte existant contre les vers blancs nuisibles en s'appuyant à la fois sur des savoirs scientifiques et traditionnels. De plus, cette étude donnera suite à une publication dans une revue scientifique comme BASE (Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement) en insistant sur les enseignements nouveaux.

Ce travail a également permis de soulever différentes questions qui pourront donner lieu à des travaux de recherche. Ainsi, une étude pourrait être axée sur les moyens de lutte contre les vers blancs en agriculture de conservation car ce mode de gestion n'est pas encore un système validé sur le plan biologique à cause de son risque de favoriser le développement des vers blancs. En ce qui concerne les vers de terre, il pourrait également être intéressant d'étudier plus particulièrement l'effet du tassement du sol et ainsi définir plus précisément la fréquence à laquelle les parcelles devraient être labourées pour « réactiver » l'activité de ces ingénieurs du sol.

## BIBLIOGRAPHIE

Altieri M.A, 2004. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Front Ecol Environ* (2004) 2(1): 35–42

Alvarez S, 2012. Pratiques de gestion de la biomasse au sein des exploitations familiales d'agriculture-élevage des hauts plateaux de Madagascar : conséquences sur la durabilité des systèmes, Thèse de Montpellier SupAgro, Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosociétés et Environnement, Filière : Ecosystèmes, Discipline : Agronomie

Anderson JM, Ingram J, 1993. Tropical soil biology and fertility. *A Handbook of methods*. 2nd ed. Wallingford (UK) : CAB International.

Avelino J, Babin R, Fernandes P, ten Hoopen M, Laurent J-B, Naudin K, Ratnadass A, 2012. Incorporating plant species diversity in cropping systems for pest and disease risk management

Bartz M L C, Pasini A, Brown G G, 2013. Earthworms as soil quality indicators in brazilian no tillage systems. *Applied soil ecology* 69 (2013) 39-48

Brown G.G, Pashanasi B, Villenave C, Patrón J.C, Senapati B.K, Giri S, Barois I, Lavelle P, Blanchart E, Blackemore R.J, Spain A.V, Boyer J, 1999. Effets of earthworms on plant production in the tropics. In : Lavelle P, Brussaard L and Hendrix P (Eds.), *Earthworms management in tropical agroecosystems*, (1999) CAB International, London.

Blanchart E, Albrecht A, Alegre J, Duboisset A, Villenave C, Pashanasi B, Lavelle P & Brussaard L, 1999. Effects of earthworms on soil structure and physical properties. In : Lavelle P, Brussaard L and Hendrix P (Eds.), *Earthworms management in tropical agroecosystems*, (1999), pp 149-172, CAB International, London.

Blanchart E, Bernoux M, Sarda X, Siqueira N, Cerri C.C, Piccolo M, Douzet J-M, Scopel E, Feller C, 2007. Effect of direct seeding mulch-based systems on soil carbon storage and macrofauna in central Brazil, In : *Agriculturae Conspectus Scientificus*, Vol. 72 (2007) No. 1 (81-87)

Blanchart E, Villenave C, Viallatoux A, Barthès B, Girardin C, Azontonde A, Feller C, 2006. Long-term effect of a legum cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin. In : *European journal of soil biology* 42 (2006) S-136 S-144.

- Boyer J, Lavelle P, 1994, Caractérisation de la faune du sol dans différentes parcelles des Hauts de l'Ouest de la Réunion, thèse, Laboratoire d'Ecologie des sols tropicaux, Paris VI/ORSTOM
- Brussaard L, Hauser S, Tian G, 1993. Soil faunal activity in relation to the sustainability of the agricultural systems in the humid tropics. In *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*, edited by K. Mulongoy and R. Merckx. IITA/K.U. Leuven
- Coq S, Barthès B.G, Oliver R, Rabary B, Blanchart E, 2007. Earthworm activity affects soil aggregation and organic matter dynamics according to the quality and localization of crop residues – An experimental study (Madagascar). In: *Soil Biology & Biochemistry* 39 (2007) 2119-2128.
- Djigal D, Saj S, Rabary B, Blanchart E, Villenave C, 2011. Mulch type affects soil biological functioning and crop yields of conservation agriculture systems in a long-term experiment in Madagascar. In: *Soil & Tillage Research* 118 (2012) 11-21.
- Fragoso C, Kanyonyo J, Moreno A, Senapati B.K, Blanchart E, Rodriguez C, 1999. A survey of tropical earthworms: taxonomy, biogeography and environmental plasticity. In: Lavelle P, Brussaard L and Hendrix P (Eds.), *Earthworms management in tropical agroecosystems*, (1999) CAB International, London.
- Fragoso C, Lavelle P, Blanchart E, Senapati B.K, Jimenez J.J, de los Angeles Martinez M, Decaëns T, Tondoh J, 1999. Earthworms communities of tropical agroecosystems: Origin, structure and influence of management practices. In: Lavelle P, Brussaard L and Hendrix P (Eds.), *Earthworms management in tropical agroecosystems*, (1999) CAB International, London.
- King PD, 1977. Effect of plant species and organic matter on feeding behaviour and weight gain of larval black beetle, *Heteronychus arator* (Coleoptera : Scarabaeidae). *New Zealand Journal of Zoology* 4 : 445-8.
- Lavelle P, 1983. The structure of earthworms communities. In: Satchell J.E. (ed.) *Earthworms Ecology: From Darwin to Vermiculture*. Chapman and Hall, London, pp. 449-466.
- Lavelle P, 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. In: *Advances in ecological research*, Academic press limited, vol. 21 ISBN 0-12-013927-8

Lavelle P, Barros E, Blanchart, E, Brown G, Desjardins T, Mariani L, Rossi J-P, 2001. SOM management in the tropics: Why feeding the soil macrofauna? *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61: 53–61, 2001. Kluwer Academic

Lavelle P, Brussaard L, Hendrix P, 1999. *Earthworm management in tropical agroecosystems*, CABI Publishing

Lavelle P, Decaëns T, Aubert M, Barot S, Blouin M, Bureau F, Margerie P, Mora P, Rossi J-P, 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. In: *European journal of soil biology* 42 (é006) S3-S15.

Michellon R, Randriamanantsoa R, Razanamparany C, Rasoloarimanana D, Moussa N, 1998. Evolution de la faune du sol selon sa gestion - Protection des plantes par traitement des semences, Fiche d'essai 1998 n°1, O.N.G "TAFA".

Ortiz B, Fragoso C, M'Boukou I, Pashanasi B, Senapati B.K, Contreras A, 1999. Perception and use of earthworms on tropical farming systems. In: Lavelle P, Brussaard L and Hendrix P (Eds.), *Earthworms management in tropical agroecosystems*, (1999) CAB International, London.

Rabary B, Naudin K, Letourmy P, Mze Hassani I, Randriamanantsoa R, Michellon R, Rafaraso L, Ratnadass A, 2011. White grubs, Scarabaeidae larvae (Insecta, Coleoptera) control by plants in conservation agriculture: effects on macrofauna diversity. 5th World Congress of Conservation Agriculture. 26-29 September 2011, Brisbane.

Raboin LM, Ramanantsoanirina A, Dzido JL, Frouin J, Radanielina T, Tharreau D, Dusserre J, Ahmadi N, 2013. Création variétale pour la riziculture pluviale d'altitude à Madagascar : bilan de 25 années de sélection. *Cahiers Agricultures* 22 : 1-9. doi : 10.1684/agr.2013.0624

Randriamanantsoa R, Aberlenc H-P, Ralisoa O. B, Ratnadass A, Vercambre B, 2010. Les larves des Scarabaeoidea (Insecta, Coleoptera) en riziculture pluviale des régions de haute et moyenne altitudes du Centre de Madagascar. In : *Zoosystema* 32 (1) : 19-72.

Randriamanantsoa R, Ratnadass A, Aberlenc H-P, Rabearisoa Y. M, Rajaonera T.E, Rafamatanantsoa E, Vercambre B, 2008. Les vers blancs du riz pluvial d'altitude (Coleoptera Scarabaeoidea) à Madagascar : effets de la plante-hôte et de la matière organique du sol sur le comportement larvaire. Séminaire international « Les sols tropicaux en semis direct sous couvertures végétales », 3 au 8 décembre 2007, Antananarivo, Madagascar. *Terre malgache* 26: 35-37.

Randrantoarimbola L, 2015, Caractérisation des systèmes de production au niveau des exploitations agricoles mixtes: structure et fonctionnement, cas des Hautes-Terres de la région du Vakinankaratra, Mémoire de fin d'études, Université d'Antananarivo, Ecole supérieure des sciences agronomiques, département élevage.

Ratnadass A, Michellon R, Randriamanantsoa R, Séguy L, 2006. Effects of soil and plant management on crop pests and diseases. In: *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*, eds N Uphoff, A Ball, E Fernandes, H Herren, O Husson, M Laing, C Palm, J Pretty, P Sanchez, N Sanginga and J Thies, CRC Press-Taylor and Francis, Boca Raton, Florida, pp. 589-602.

Ratnadass A, Randriamanantsoa R, Rajaonera TE, Rabearisoa MY, Rafamatanantsoa É, Moussa N, Michellon R, 2013. Interaction entre le système de culture et le statut (ravageur ou auxiliaire) des vers blancs (Coleoptera : Scarabeoidea) sur le riz pluvial. *Cahiers Agricultures*, 22 : 1-10. doi : 10.1684/agr.2013.0649

Ratnadass A, Randriamanantsoa R, Rajaonera TE, Rafamatanantsoa E, Ramahandry F, Ramarofidy M, Michellon R, 2007. Impacts d'un système de culture à base de riz pluvial et de semis direct sur couverture végétale (SCV) sur la macrofaune du sol à Madagascar, avec référence particulière aux effets sur la production du riz.

Sester M, Craheix D, Daudin G, Sirdey N, Scopel E, Angevin F, 2015. Évaluer la durabilité de systèmes de culture en agriculture de conservation à Madagascar (région du lac Alaotra) avec MASC-Mada. *Cahiers agriculture*, Volume 24, numéro 2, Mars-Avril 2015,

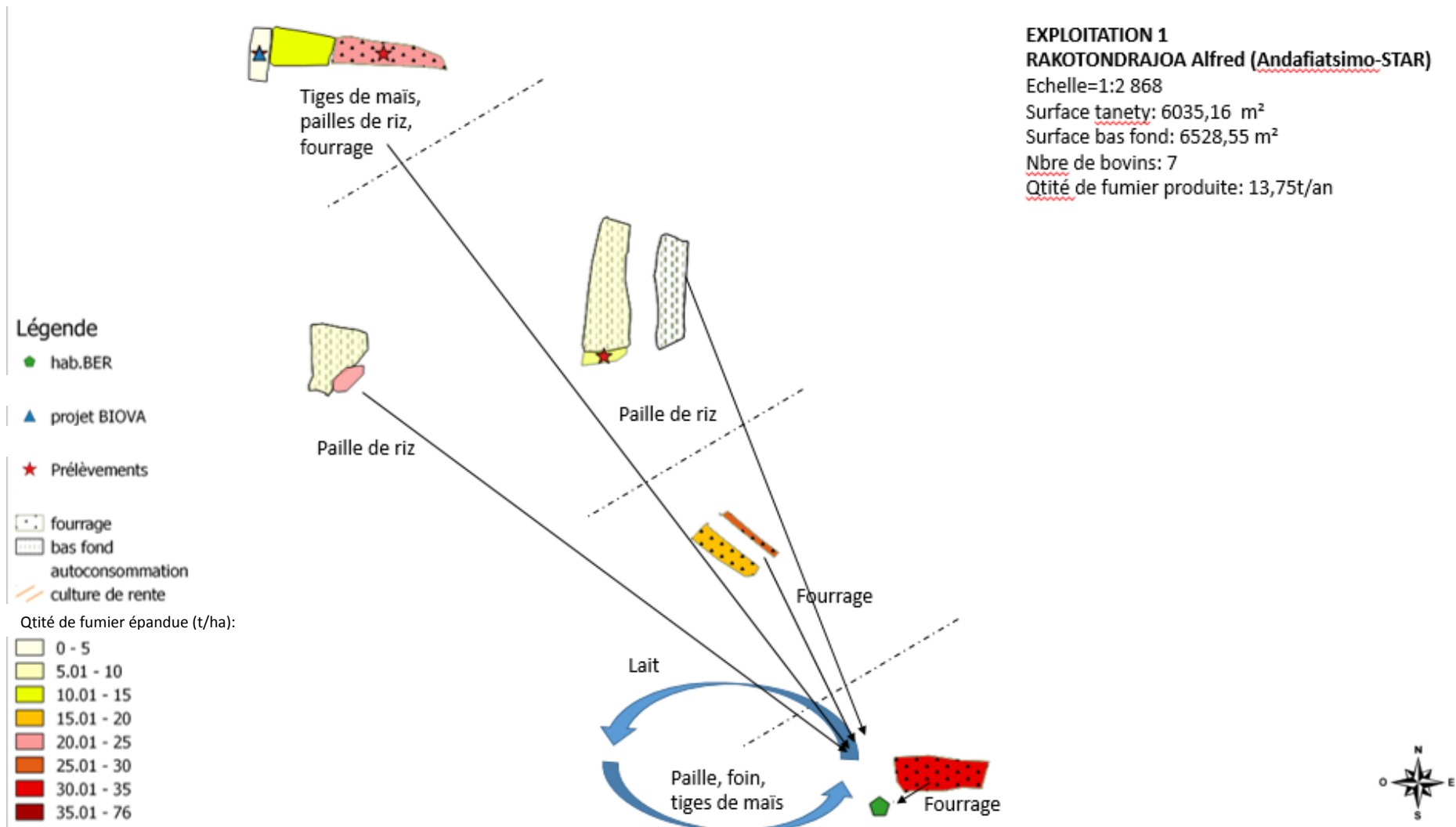
Tonneau J-P, Sabourin E, Marçal da Silveira L, Sidersky P, 2002. Modélisation des flux de biomasse: une approche de la fertilité dans l'Agreste de la Paraíba (Brésil). *Cahiers Agricultures*, 11 ; 127-36

## ANNEXES

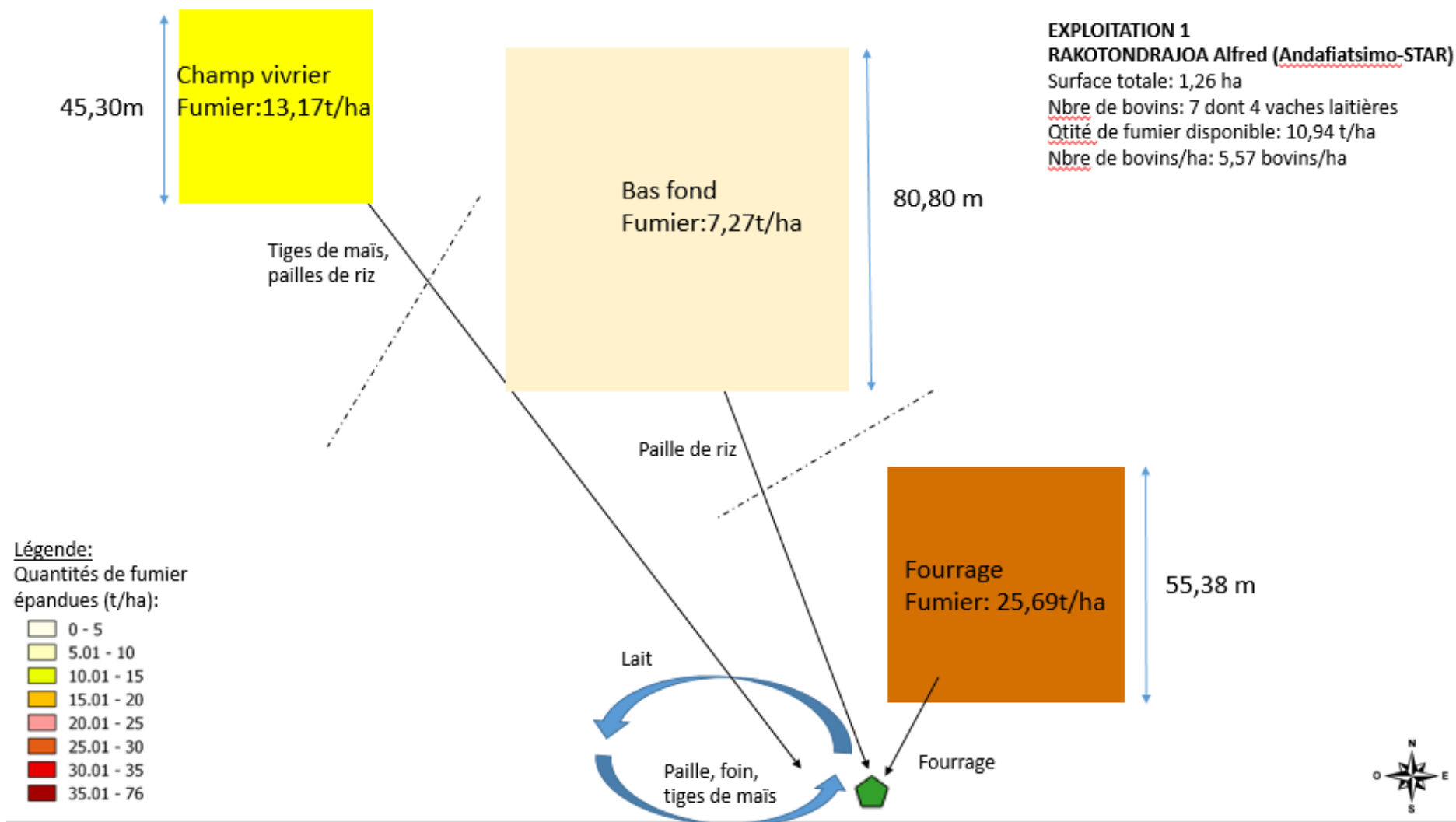
### ANNEXE (I) : RETROPLANNING PRESENTANT LE DEROULEMENT DU STAGE

ACTIVITES	Mars			Avril			Mai			Juin			Juillet			Août			Septembre		
Bibliographie	■	■	■					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■				
Réunions	■				■					■		■									
<b>TERRAIN</b>		■	■	■																	
Prélèvements site d'expérimentation		■																			
Enquêtes + Prélèvements essais paysans			■	■	■																
<b>TRAITEMENT DES DONNEES</b>		■	■	■	■																
Identification des échantillons		■	■	■	■																
Capitalisation des données				■	■																
<b>ANALYSE DES DONNEES</b>						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Ateliers avec les agriculteurs									■		■										
Conception du livret										■	■	■	■	■							
Rédaction du mémoire													■	■	■	■	■				
Rendu du mémoire																	■				
Soutenance de mémoire																			■		
Rédaction de l'article scientifique																		■	■	■	■

**ANNEXE (II) : EXEMPLE D'UNE CARTE DE L'EXPLOITATION 1 REALISEE AVEC QGIS POUR MODELISER LES FLUX DE BIOMASSE DE L'EXPLOITATION**



**ANNEXE (III) : EXEMPLE DU SCHEMA DE L'EXPLOITATION 1 REALISE POUR MODELISER LES FLUX DE BIOMASSE DE L'EXPLOITATION**





**ANNEXE (IV) : QUESTIONNAIRE SUR LA PERCEPTION DE LA MACROFAUNE PAR LES  
AGRICULTEURS**

NOM DE L'AGRICULTEUR :

NUMERO DE L'EXPLOITATION :

QUESTIONNAIRE :

Q1) Est-ce que vous constatez la présence de macrofaune sur vos parcelles ?

Q2) Si oui, lesquelles ? Quelles sont les cultures implantées dessus ?

Q3) A quel moment lors de votre travail sur la parcelle ?

Q4) Est-ce que vous voyez une différence entre un sol avec beaucoup de macrofaune et un sol qui en a moins?

Q5) Faites-vous bien la différence entre les vers de terre et les vers blancs ?

Q6) Avez-vous déjà observé des vers de terre sur vos parcelles ?

Q7) Selon vous, à quoi peuvent servir les vers de terre?

Q8) Avez-vous déjà observé des vers blancs sur vos parcelles ?

Q9) Avez-vous remarqué qu'il peut y avoir des vers blancs et pas de dégâts ?

Q10) Sur quel type de sol les avez-vous remarqué ?

Q11) Avez-vous remarqué des types de végétation pouvant indiquer la présence de ces vers blancs ?

Q12) Avez-vous remarqué que plus vous mettez de fumier et plus il y a de vers blancs ?

Q13) Est-ce que vous constatez des modifications/changements dans vos parcelles lorsque des vers de terre ou des vers blancs sont présents?

Q14) Quelles-peuvent être les conséquences sur le rendement ?

Q15) Est-ce que vous avez l'impression que la présence de macrofaune et l'humidité de votre sol sont liées?

Q16) Si vous avez remarqué des individus de la macrofaune, comment les appelez-vous ?

Q17) Avez-vous d'autres remarques sur la macrofaune du sol?

**ANNEXE (V) : ANALYSES DU CARBONE ORGANIQUE ET DU PHOSPHORE ASSIMILABLE DANS  
LES PARCELLES PRELEVEES**

<b>Numéro échantillon</b>	<b>Code échantillon</b>	<b>C organique g.kg<sup>-1</sup></b>	<b>P assimilable (OLSEN) mg.kg<sup>-1</sup></b>
1	AD P1 0-10 09/03	49,11	14,40
2	AD P2 0-10 10/03	48,58	11,16
3	AD P3 0-10 10/03	49,05	14,42
4	AD P4 0-10 10/03	48,30	14,44
5	AD P5 0-10 10/03	47,57	13,70
6	AD P6 0-10 10/03	49,85	15,26
7	AD A26-3 0-10 11/03	52,28	9,69
8	AD B01-3 0-10 11/03	49,73	10,29
9	AD B25-3 0-10 11/03	53,55	8,82
10	AD C29-3 0-10 11/03	48,02	11,13
11	AD D20-3 0-10 11/03	48,01	8,19
12	AD D22-2 0-10 11/03	48,29	10,70
13	TF P1 0-10 12/03	43,29	1,44
14	TF P2 0-10 12/03	50,45	3,08
15	TF P3 0-10 12/03	47,28	7,37
16	TF P4 0-10 12/03	43,75	9,27
17	TF P5 0-10 12/03	40,86	2,17
18	TF P6 0-10 12/03	38,62	2,86
19	FF P1 0-10 13/03	34,16	8,64
20	FF P2 0-10 13/03	32,39	8,38
21	FF P3 0-10 13/03	37,27	16,77
22	FFP4 0-10 13/03	46,58	21,16
23	FFP5 0-10 13/03	44,67	19,35
24	FFP6 0-10 13/03	34,24	13,76
25	BER P1 0-10 16/03	38,62	8,28
26	BER P4 0-10 16/03	28,84	9,79
27	BER P7 0-10 16/03	29,37	9,53
28	MAE P1 0-10 19/03	32,44	2,02
29	MAE P7 0-10 19/03	30,07	2,43
30	MAE P10 0-10 19/03	31,75	3,14
31	EMI P3 0-10 20/03	27,45	6,08
32	EMI P5 0-10 20/03	24,38	4,77
33	EMI P7 0-10 20/03	23,64	3,04
34	ALN P3 0-10 23/03	33,91	1,59
35	ALN P9 0-10 23/03	30,62	3,37
36	ALN P4 0-10 23/03	30,53	3,56
37	MON P9 0-10 24/03	29,62	3,07
38	MON P6 0-10 24/03	31,64	3,55

39	MON P2 0-10 24/03	33,42	1,84
40	ARD P1 0-10 25/03	33,54	5,86
41	ARD P6 0-10 25/03	155,78	3,65
42	ARD P9 0-10 25/03	95,29	3,14
43	JEA P1 0-10 26/03	35,59	4,90
44	JEA P2 0-10 26/03	28,97	4,90
45	JEA P3 0-10 26/03	39,25	3,71
46	DID P1 0-10 27/03	42,87	9,38
47	DID P4 0-10 27/03	39,62	8,59
48	DID P3 0-10 27/03	39,67	7,08
49	JOS P1 0-10 30/03	65,15	12,14
50	JOS P2 0-10 30/03	68,27	5,74
51	JOS P3 0-10 30/03	83,16	5,12
52	JUL P1 0-10 31/03	47,31	11,12
53	JUL P2 0-10 31/03	21,73	2,52
54	JUL P3 0-10 31/03	24,67	2,50
55	JCH P1 0-10 01/04	28,20	10,30
56	JCH P3 0-10 01/04	26,86	11,20
57	JCH P4 0-10 01/04	31,85	9,27
58	FLO P1 0-10 02/04	33,65	4,39
59	FLO P4 0-10 02/04	34,02	4,80
60	FLO P5 0-10 02/04	37,23	3,83

**ANNEXE (VI) : MATRICE DE CORRELATION (PEARSON (N)) DE L'ACP**


Variables	qtité fumier	pH	humidité	Hue	value	chroma	C organique (g/kg)	P assimilable (mg/kg)	densité 0-10	densité 10-20	densité 20-30	densité moyenne 0-30	biomasse 0-10	biomasse 10-20	biomasse 20-30	biomasse moyenne 0-30	DENSITE TOTALE	BIOMASSE TOTALE
qtité fumier	<b>1</b>	-0,079	-0,006	<b>0,449</b>	<b>-0,385</b>	<b>-0,413</b>	<b>0,220</b>	<b>-0,340</b>	-0,006	0,025	-0,038	-0,002	<b>0,114</b>	0,078	-0,001	0,079	-0,005	<b>0,194</b>
pH	-0,079	<b>1</b>	0,095	-0,092	0,082	<b>0,174</b>	<b>0,133</b>	<b>0,336</b>	0,042	0,008	0,075	0,042	0,020	0,031	0,087	0,051	<b>0,118</b>	<b>0,124</b>
humidité	-0,006	0,095	<b>1</b>	<b>0,203</b>	-0,018	0,067	<b>0,750</b>	<b>0,255</b>	0,040	-0,078	-0,076	-0,030	-0,058	<b>-0,110</b>	-0,081	-0,100	-0,084	<b>-0,252</b>
Hue	<b>0,449</b>	-0,092	<b>0,203</b>	<b>1</b>	<b>-0,336</b>	<b>-0,230</b>	<b>0,452</b>	<b>-0,224</b>	-0,070	-0,063	-0,100	-0,084	0,004	-0,018	-0,084	-0,035	<b>-0,237</b>	-0,084
value	<b>-0,385</b>	0,082	-0,018	<b>-0,336</b>	<b>1</b>	<b>0,771</b>	<b>-0,192</b>	<b>0,125</b>	0,067	0,063	0,005	0,060	0,005	-0,003	-0,030	-0,010	<b>0,170</b>	-0,029
chroma	<b>-0,413</b>	<b>0,174</b>	0,067	<b>-0,230</b>	<b>0,771</b>	<b>1</b>	-0,070	<b>0,204</b>	0,056	0,037	-0,037	0,034	-0,017	-0,032	-0,030	-0,031	0,095	-0,084
C organique (g/kg)	<b>0,220</b>	<b>0,133</b>	<b>0,750</b>	<b>0,452</b>	<b>-0,192</b>	-0,070	<b>1</b>	0,071	-0,038	-0,043	-0,053	-0,049	-0,022	-0,007	0,027	-0,003	<b>-0,137</b>	-0,010
P assimilable (mg/kg)	<b>-0,340</b>	<b>0,336</b>	<b>0,255</b>	<b>-0,224</b>	<b>0,125</b>	<b>0,204</b>	0,071	<b>1</b>	<b>0,105</b>	0,047	<b>0,117</b>	0,100	0,007	0,032	0,053	0,035	<b>0,281</b>	0,086
densité 0-10	-0,006	0,042	0,040	-0,070	0,067	0,056	-0,038	<b>0,105</b>	<b>1</b>	<b>0,624</b>	<b>0,600</b>	<b>0,895</b>	<b>0,525</b>	<b>0,319</b>	<b>0,152</b>	<b>0,394</b>	<b>0,307</b>	0,093
densité 10-20	0,025	0,008	-0,078	-0,063	0,063	0,037	-0,043	0,047	<b>0,624</b>	<b>1</b>	<b>0,708</b>	<b>0,884</b>	<b>0,445</b>	<b>0,672</b>	<b>0,522</b>	<b>0,655</b>	<b>0,337</b>	<b>0,303</b>
densité 20-30	-0,038	0,075	-0,076	-0,100	0,005	-0,037	-0,053	<b>0,117</b>	<b>0,600</b>	<b>0,708</b>	<b>1</b>	<b>0,824</b>	<b>0,219</b>	<b>0,525</b>	<b>0,569</b>	<b>0,518</b>	<b>0,274</b>	<b>0,259</b>
densité moyenne 0-30	-0,002	0,042	-0,030	-0,084	0,060	0,034	-0,049	0,100	<b>0,895</b>	<b>0,884</b>	<b>0,824</b>	<b>1</b>	<b>0,494</b>	<b>0,555</b>	<b>0,422</b>	<b>0,584</b>	<b>0,355</b>	<b>0,230</b>
biomasse 0-10	<b>0,114</b>	0,020	-0,058	0,004	0,005	-0,017	-0,022	0,007	<b>0,525</b>	<b>0,445</b>	<b>0,219</b>	<b>0,494</b>	<b>1</b>	<b>0,592</b>	<b>0,294</b>	<b>0,744</b>	<b>0,251</b>	<b>0,286</b>
biomasse 10-20	0,078	0,031	<b>-0,110</b>	-0,018	-0,003	-0,032	-0,007	0,032	<b>0,319</b>	<b>0,672</b>	<b>0,525</b>	<b>0,555</b>	<b>0,592</b>	<b>1</b>	<b>0,808</b>	<b>0,960</b>	<b>0,243</b>	<b>0,384</b>
biomasse 20-30	-0,001	0,087	-0,081	-0,084	-0,030	-0,030	0,027	0,053	<b>0,152</b>	<b>0,522</b>	<b>0,569</b>	<b>0,422</b>	<b>0,294</b>	<b>0,808</b>	<b>1</b>	<b>0,822</b>	<b>0,166</b>	<b>0,346</b>
biomasse moyenne 0-30	0,079	0,051	-0,100	-0,035	-0,010	-0,031	-0,003	0,035	<b>0,394</b>	<b>0,655</b>	<b>0,518</b>	<b>0,584</b>	<b>0,744</b>	<b>0,960</b>	<b>0,822</b>	<b>1</b>	<b>0,262</b>	<b>0,401</b>
DENSITE TOTALE	-0,005	<b>0,118</b>	-0,084	<b>-0,237</b>	<b>0,170</b>	0,095	<b>-0,137</b>	<b>0,281</b>	<b>0,307</b>	<b>0,337</b>	<b>0,274</b>	<b>0,355</b>	<b>0,251</b>	<b>0,243</b>	<b>0,166</b>	<b>0,262</b>	<b>1</b>	<b>0,650</b>
BIOMASSE TOTALE	<b>0,194</b>	<b>0,124</b>	<b>-0,252</b>	-0,084	-0,029	-0,084	-0,010	0,086	0,093	<b>0,303</b>	<b>0,259</b>	<b>0,230</b>	<b>0,286</b>	<b>0,384</b>	<b>0,346</b>	<b>0,401</b>	<b>0,650</b>	<b>1</b>
AC	<b>-0,156</b>	<b>0,116</b>	<b>0,325</b>	<b>-0,134</b>	0,068	<b>0,183</b>	<b>0,171</b>	<b>0,451</b>	<b>0,128</b>	-0,012	0,020	0,064	-0,097	-0,083	-0,059	-0,094	<b>0,182</b>	<b>-0,240</b>
SM	<b>0,406</b>	0,082	<b>-0,259</b>	-0,092	-0,068	-0,058	<b>-0,133</b>	<b>-0,156</b>	0,071	<b>0,199</b>	<b>0,150</b>	<b>0,151</b>	<b>0,245</b>	<b>0,257</b>	<b>0,212</b>	<b>0,282</b>	<b>0,426</b>	<b>0,701</b>
LAMF	<b>-0,201</b>	<b>-0,123</b>	<b>-0,180</b>	0,033	<b>0,204</b>	0,087	<b>-0,122</b>	<b>-0,214</b>	-0,065	-0,043	-0,021	-0,055	-0,044	-0,027	-0,030	-0,039	<b>-0,155</b>	-0,098
LAEF	<b>0,432</b>	<b>-0,158</b>	-0,078	<b>0,367</b>	<b>-0,272</b>	<b>-0,443</b>	<b>0,122</b>	<b>-0,285</b>	<b>-0,123</b>	-0,090	-0,091	<b>-0,120</b>	-0,063	-0,069	-0,059	-0,075	<b>-0,338</b>	<b>-0,187</b>
PP	<b>-0,480</b>	0,082	<b>0,191</b>	<b>-0,175</b>	0,068	<b>0,231</b>	-0,037	<b>0,203</b>	-0,011	-0,054	-0,058	-0,041	-0,041	-0,078	-0,065	-0,073	<b>-0,115</b>	<b>-0,178</b>

*Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05*

ANNEXE (VII) : MAQUETTE D'UNE PAGE DU LIVRET DE SENSIBILISATION A LA CONNAISSANCE DE LA MACROFAUNE DU SOL

## NY RAKOTRA

10




L'utilisation d'une couverture végétale permet de:

- Fournir de la matière organique à la macrofaune du sol donc d'améliorer leur activité
- Rendre le sol plus fertile
- Lutter contre les vers blancs si on plante du radis fourrager ou de la crotalaire qui sont répulsifs
- Protéger le sol de l'érosion
- Garder le sol humide


Mais attention aux zébus qui aiment bien la manger!

## NON TRAVAIL DU SOL

11



Eviter de labourer le sol avec une angady à une profondeur supérieure à 10 cm, car cela tue la macrofaune utile (vers de terre, etc)



Travailler plutôt le sol superficiellement en période sèche

### ASSOCIATION DE CULTURES

Mettre différentes cultures comme le maïs, le haricot grimpant et la patate douce sur une même parcelle permet de:

- Gagner de la place
- Le maïs pousse en hauteur et sert de support au haricot grimpant
- Le haricot fournit de l'azote aux cultures
- La patate douce protège le sol et empêche les adventices de pousser
- Lutter contre les phytophages qui sont leurrés par les racines

