



ATHENEE SAINT JOSEPH ANTSIRABE
(A.S.J.A)

Université Privée à vocation Professionnalisante

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE MASTER

Mention : Sciences agronomiques

Parcours : Production végétale

**ETUDE DES INTERACTIONS PLANTE- VERS DE
TERRE (*Dichogaster saliens*) DANS LES CULTURES
DE RIZ ET DE L'ELEUSINE**

Soutenu par

RAZAFINDRAKOTO Sarindra Dinah, le 28 Novembre 2013

Devant le jury composé de

Président : Monsieur TSIRINIRINDRAVO Herisetra Lalaina, Microbiologiste

Rapporteurs : Monsieur RANDRIANAIVOARIVONY Jean Marc, Sélectionneur
Madame RABARY Bodovololona, Docteur en agrophysiologie

Examineurs : Madame ANDRIAMALAZA Sahondra, Docteur en pédologie
Monsieur BLANCHART Eric, Docteur en écologie du sol



REMERCIEMENTS

Ce travail achevé, je tiens tout d'abord à remercier le bon Dieu tout puissant pour nous avoir donné la force et le courage tout au long de ces 5 années académiques et durant la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à :

- ❖ Père **Mario Giuseppe CUOMO**, Fondateur de l'Athénée Saint Joseph Antsirabe qui a bien voulu nous intégrer au sein de cet établissement.
- ❖ Madame le Professeur **Laurence RALAMBORANTO**, Recteur de l'ASJA dont la droiture et le sérieux imposent la discipline au sein de l'établissement et sa volonté pour le bien de notre université.
- ❖ Monsieur **Herisetra Lalaina TSIRINIRINDRAVO**, enseignant à l'A.S.J.A, de me faire l'honneur de présider le jury de soutenance.
- ❖ Madame **Bodovololona RABARY**, chercheur du FOFIFA mon maître de stage pour m'avoir encadré tout au long de ce travail avec sa disponibilité, son savoir-faire, ses conseils, elle m'a permis de réaliser ce mémoire dans les meilleures conditions. Sa compétence, sa patience, son enthousiasme et l'attention particulière avec laquelle elle a suivi et dirigé ce travail ont permis son aboutissement à temps.
- ❖ Monsieur **Jean Marc RANDRIANAIVOARIVONY**, Enseignant à l'A.S.J.A, encadreur, pour ses précieux conseils et directives tout au long du déroulement du stage jusqu'à la réalisation de ce mémoire.
- ❖ Madame **Sahondra ANDRIAMALAZA**, Enseignante à l'A.S.J.A, qui nous fait le grand honneur d'être l'examineur de ce mémoire. Veuillez trouver ici l'expression de nos sincères remerciements.
- ❖ Monsieur **Eric BLANCHART**, chercheur à l'IRD, qui a accepté de siéger parmi les membres de jury en tant qu'examineur malgré son emploi du temps chargé et qui a bien voulu apporter des critiques constructives pour améliorer la qualité de ce mémoire.

J'adresse mes sincères remerciements à toute l'équipe de l'IRD qui contribuent à la réalisation de ce travail. Tout particulièrement à

- ❖ Madame **Malalotiana RAZAFINDRAKOTO**, poste Doc à l'IRD, pour les encadrements sur terrain qu'elle a bien voulu nous accorder, la manipulation et l'identification des vers de terre.
- ❖ Madame **Laetitia BERNARD**, chercheur à l'IRD, de nous avoir donné des directives importantes pour la réalisation de ce mémoire.

Je remercie également tous les responsables (chercheurs, techniciens) du FOFIFA Antsirabe, de leur accueil, de leurs conseils et de l'amitié qu'ils m'ont exprimé tout au long de mon stage.

Particulièrement, j'exprime mes sincères remerciements à tous les membres de ma famille pour leur soutien moral et financier ainsi qu'à tous mes amis.

Sans oublier, je tiens à remercier très chaleureusement tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont aidés à la réalisation de ce mémoire.

RESUME

La dégradation de l'environnement en particulier la ressource sol ne cesse de s'amplifier entraînant une diminution de sa fertilité. Face à ce problème, une étude d'interaction plante-vers de terre a été initiée pour déterminer s'il existe un partenariat bénéfique pour la plante car, les vers de terre contribuent beaucoup à l'amélioration de la structure et de la composition physico-chimique du sol. Cette étude a été menée dans le site d'URP-SCRiD à Andranomanelatra en collaboration avec le FOFIFA et l'IRD. L'essai a été conduit sous deux dispositifs sur terrain : i) en mésocosme, vase de végétation (en pots) et ii) au champ. Les traitements testés sont l'apport de *Dichogaster saliens* dans les pots ou au champ avec un nombre croissant de 0, 4, 8, 12 vers de terre. Le riz et l'éléusine sont les plantes testées. Après 6 mois de culture, le nombre de *D.saliens* augmente dans la rhizosphère du riz. Par contre, il diminue chez l'éléusine. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différences significatives sur la productivité en grains du riz due à une grande variabilité entre les blocs ainsi que sur la biomasse racinaire des plantes. Cependant, une corrélation positive est obtenue entre le poids de *Dichogaster saliens* et le poids en grains plein du riz. Des contaminations d'autres vers non étudiés, *Pontoscolex corethrurus* et *Amyntas minimus*, ont été observées. Malgré cela, le phénomène de compétitivité entre les espèces n'a pas eu lieu.

Mots clés : vers de terre, *Dichogaster saliens*, riz, éléusine, mésocosme

ABSTRACT

The environmental degradation especially soil resource continues to amplify leading to a decrease in soil fertility. Faced to this problem, an interaction study plant - earthworms was initiated to determine whether a beneficial partnership for the plant exists, because earthworms contribute significantly to improving the structure, physical and chemical soil composition. This study was conducted in the URP - SCRiD site Andranomanelatra in collaboration with FOFIFA and IRD. The trial was conducted in two experimental designs in the field: i) mesocosm, vase vegetation (potted) and ii) in plots. The tested treatments are the effects of *Dichogaster Saliens* in pots or in the field, with a growing number of 0, 4, 8, 12 earthworms. Effects of earthworms are tested on Rice and finger millet crops. After 6 months of cropping, the number of *D. saliens* increased in the rhizosphere of rice. In the contrary, it decreased within finger millet's rhizosphere. The results showed that there was no significant increase on rice grain yields and on the plant root biomasses due to high variability between blocks. However, a positive correlation was obtained between the weight of *Dichogaster Saliens* and the weight of filled spikelets of rice. Contamination from other unstudied earthworms, *Pontoscolex corethrurus* and *Amyntas minimus* were observed. Nevertheless, competitiveness effect between species has not occurred.

Key words: earthworms, *Dichogaster Saliens* , rice, finger millet , mésocosm

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cycle biologique ver de terre.....	3
Figure 2 : Répartition écologique des vers de terre	4
Figure 3 : Carte de distribution <i>Dichogaster saliens</i>	6
Figure 4 : Localisation de la commune Andranomanelatra.....	20
Figure 5 : Courbe ombrothermique 2003 à 2012.....	21
Figure 6 : Les traitements de l'essai en pots sur terrain Andranomanelatra.....	26
Figure 7 : Dispositif de l'essai en pots	27
Figure 8 : Dispositif au champ.....	29
Figure 9 : Evolution du nombre de <i>D.saliens</i> dans l'essai en pots avec le riz et l'éleusine	32
Figure10 : Evolution du poids de <i>D.saliens</i> dans l'essai en pots avec le riz et l'éleusine...	32
Figure 11: Evolution du nombre de <i>D.saliens</i> dans l'essai au champ avec le riz et l'éleusine.....	36
Figure 12: Evolution du poids de <i>D.saliens</i> dans l'essai au champ avec la culture riz et l'éleusine	36
Figure 13 : Cercle de corrélation du nombre de <i>D.saliens</i> adulte, du nombre <i>D.saliens</i> juvénile , du poids <i>D.saliens</i> adulte +juvénile, du poids 100 grains pleins et vides, du poids sec tige et racine, du nombre de talle/touffe et du nombre de panicule/touffe	40
Figure 14 : Cercle de corrélation de <i>D.saliens</i> et de la biomasse de l'éleusine en pots...	41

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : ver épigé (<i>Dichogaster saliens</i>).....	5
Photo 2 : <i>Pontoscolex corethrurus</i>	7
Photo 3 : <i>Apporoctodea giardi</i>	7
Photos 4 : Variété « Chhomrong Dhan ».....	22
Photos 5 : <i>Eleusine coracana</i> en cours de maturation de graine.....	23
Photo 6 : <i>Dichogaster saliens</i>	23
Photo 7 : Zone de prélèvement de sol	24
Photo 8 : Dispositif de l'essai en pots	27
Photo 9: Trouaison de l'emplacement en pots.....	27
Photo 10 : Dispositif de l'essai au champ.....	29
Photo 11 : Démontage des mésocosmes	30

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Composition des turricules et de la terre arable à différentes profondeurs....	15
Tableau 2 : Dispositif de l'essai au champ.....	28
Tableau 3 : Effectifs et biomasse de <i>P.corethrurus</i> et <i>A. minimus</i> dans l'essai en pots ...	33
Tableau 4 : Biomasse végétale du riz et de l'éleusine en pots.....	34
Tableau 5 : Composantes de rendement du riz en pots	35
Tableau 6: Effectifs et biomasse de <i>P.corethrurus</i> et <i>A.minimus</i> dans l'essai au champ	37
Tableau 7 : Biomasse végétale du riz et de l'éleusine au champ	38
Tableau 8 : Composantes de rendement du riz au champ.....	38

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : Description et anatomie <i>Dichogaster saliens</i>	I
ANNEXE II : Caractéristique et distribution géographique des Vers de terre (<i>Pontoscolex corethrurus</i> et <i>Amyntas minimus</i>).....	III
ANNEXE III : Tableau de corrélation entre plante et vers de terre.....	
ANNEXE IV : ANOVA au seuil de signification de 5%.....	IV

LISTE DES ABREVIATIONS

ASJA : Athénée Saint Joseph Antsirabe

FOFIFA : FOibem-pirenena momban'ny Fikarohana ampiarina amin'ny Fampandrosoana ny Ambanivohitra./ Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural

FAO : Food Agricultural Organisation

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

PIB : Produit Intérieur Brute

SCV: Système de culture en semis direct sur Couverture Végétale

URP/SCRiD : Unité de Recherche en Partenariat/ Systèmes de Culture et Rizicultures Durables

LISTE DES UNITES DE MESURES

% : pour cent

° : degré

°C : degré Celsius

Ar : Ariary

cm : centimètre

Fmg : Francs malagasy

g/m² : grammes par mètre carré

Kg/ha: Kilogramme par hectare

Km : kilomètre

m: mètre

pH : Potentiel d'hydrogène

t/ha : Tonnes par hectare

GLOSSAIRE

Agroécologie : C'est la science qui concerne l'ensemble des techniques protectrices du sol et amélioration de sa fertilité mais en même temps productive et économies en intrant chimique. Elle améliore les fonctions naturelles des écosystèmes et donc intensifie l'activité biologique du sol.

Allelopathie : se définit comme « tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, d'une plante (micro-organismes inclus) sur une autre par le biais de composés biochimiques libérés dans l'environnement (atmosphère et sol) ». C'est un phénomène complexe, car il met en jeu, en plus des deux végétaux respectivement « producteur » et « cible » des molécules, un intermédiaire, le sol, dont les caractéristiques abiotiques et biotiques (en particulier la microfaune) sont fondamentales pour l'expression de ce potentiel allélopathique.

Biomasse : désigne la masse totale des organismes animaux et végétaux concernés sur une surface ou dans un volume donnés

Ingénieurs de l'écosystème : Ce sont des organismes qui directement ou indirectement modifient la disponibilité des ressources pour d'autres espèces en causent des changements d'état physique sur les matériaux biotiques et abiotiques.

Itinéraire technique : C'est une suite logique et ordonnée d'opérations culturales appliquées à une espèce cultivée dans le cadre d'un système de culture.

Macrofaune : Organismes vivants de taille relativement grande (> 2 mm) jouant généralement un rôle important dans l'amélioration de la structure du sol.

Mésocosme : Dispositif expérimental en pots, de taille moyenne, destiné aux études écologiques. Récipients plus grands pouvant contenir une grande quantité de sol et des organismes. Dans notre cas, ce sont des seaux qui constituent les mésocosmes.

Phytotechnie : C'est une science qui traite l'usage des végétaux. D'où, l'art d'exploiter les ressources naturelles en vue de pourvoir et de satisfaire aux besoins en produits végétaux de l'homme.

Puberculum : Le pore sexuel des vers de terre

Rhizosphère : C'est un environnement dynamique où s'effectue tous les échanges et les diverses interactions entre la plante et les principales composantes biologiques et physico-chimiques du sol.

Turricules : Ce sont les rejets des vers de terre présents à la surface du sol. Tandis que ceux qui sont déposés sur les parois des galeries sont appelés déjections. La taille des turricules varie de quelques millimètres à quelques centimètres et dépend des espèces

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

RESUME/ABSTRACT

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS-TABLEAUX ET ANNEXE

LISTE DES ABREVIATION

GLOSSAIRE

INTRODUCTION..... 1

Première partie: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....3

CHAPITRE 1 : LES VERS DE TERRE..... 3

1.1. Biologie et classification 3

1.1.1. Cycle de vie 3

1.1.2. Répartition écologique 4

1.2. Condition abiotique des vers de terre 8

1.2.1. Température et humidité du sol..... 8

1.2.2. Type de sol et pH 8

1.3. Importance et caractéristique des vers de terre..... 8

1.3.1. Création des galeries 9

1.3.2. Drilosphère 9

1.3.3. Formation des turricules..... 9

CHAPITRE 2 : RIZ PLUVIAL ET ELEUSINE..... 10

2.1. Le riz..... 10

2.1.1. Les différentes phases du cycle du riz..... 10

2.1.2. Les composantes de rendement..... 11

2.1.3. La Rhizosphère du riz 11

2.2. L'éleusine 11

2.2.1. Description et caractéristiques générales 11

2.2.2. Importances agronomiques 12

2.2.3. La Rhizosphère de l'éleusine..... 13

CHAPITRE 3: INTERACTION PLANTE-SOL-VER DE TERRE..... 14

3.1. Les différents rôles et effets des vers de terre 14

3.1.1. Action mécanique 14

3.1.2. Action sur la chimie du sol 15

3.1.3. Action sur la biologie du sol	16
3.2. Développement de la plante	16
3.2.1. Biomasse racinaire	16
3.2.2. Biomasse aérienne.....	17
3.2.3. Mécanismes responsables de l'accroissement de la biomasse végétale.....	17
3.3. Dynamique de la population des vers de terre.....	17
Deuxième partie: CADRE D'ETUDE ET MATERIELS - METHODE.....	19
CHAPITRE 1 : CADRE D'ETUDE	19
1.1. Importance de l'étude et cadre institutionnel	19
1.2. Site de l'étude	19
1.2.1. Localisation	19
1.2.2. Sol.....	20
1.2.3. Climat	21
CHAPITRE 2: MATERIELS	22
2.1 Matériels végétaux.....	22
2.1.1. Riz pluvial : variété « Chhomrong Dhan »	22
2.1.2. <i>Eleusine coracana</i>	22
2.2. Matériel animal : ver de terre	23
CHAPITRE 3: METHODES	24
3.1. Dispositif expérimental.....	24
3.1.1. Le mésocosme	24
3.1.2. Essai au champ	28
3.2. Fertilisation.....	29
3.3. Entretien.....	29
3.4. Evolution du développement des plantes	29
3.5. Mesure de la hauteur des plantes	30
3.6. Récolte	30
3.7. Collectes des vers de terre et prélèvement de sol	30
3.8. Analyses statistique	31
Troisième partie: RESULTATS, INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS.....	32
CHAPITRE 1: RESULTATS DE COMPTAGE APRES 6 MOIS DE CULTURE.....	32
1.1. Résultats de l'essai en pots	32
1.1.1. Population des vers de terre sur le riz et l'éleusine	32

1.1.2.	Biomasse végétale	34
1.1.3.	Composantes de rendement.....	34
1.2.	Résultats de l'essai au champ	35
1.2.1.	Population de vers de terre dans les parcelles de riz et de l'éléusine.....	35
1.2.2.	Biomasse végétale	37
1.2.3.	Composantes de rendement.....	38
CHAPITRE 2 : CORRELATION ENTRE PLANTE ET VER DE TERRE.....		39
2.1.	Corrélation entre <i>Dichogaster saliens</i> et riz	39
2.2.	Corrélation entre <i>Dichogaster saliens</i> et éléusine	40
CHAPITRE 3 : DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS		42
3.1.	Evolution des vers de terre <i>Dichogaster saliens</i> dans la culture de riz et de l'éléusine en pots et au champ	42
3.2.1.	Effets sur la biomasse végétale	43
3.2.2.	Effet sur les composantes de rendement du riz	44
3.3.	Comportement du <i>Dichogaster saliens</i> en présence de <i>Pontoscolex corethrurus</i> et <i>Amyntas minimus</i>	45
3.4.	Limite et opportunité de l'expérimentation	45
3.5.	Recommandations	46
CONCLUSION		47

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

INTRODUCTION

A Madagascar, du point de vue économique, la riziculture contribue à hauteur de 12% au PIB en termes courants et de 43% au PIB agricole du pays. La consommation de riz est classée parmi les plus fortes du monde, évaluée à 138 - 145kg/tête/an en milieu rural et 118kg/tête/an en milieu urbain (FAO, 2001). Heureusement que la recherche de l'adaptation et l'amélioration de la phytotechnie de la riziculture pluviale ne cesse d'évoluer.

Le sol constitue un milieu particulièrement favorable à la vie ; permettant le développement d'une grande diversité d'organismes (Diehl, 1975). En plus, c'est un milieu dynamique et complexe grâce en particulier, aux micros et macro organismes qui l'habitent. Ces derniers constituent un des maillons du cycle biologique et l'étude de leurs nature, nombre, effets, est un élément nécessaire à la connaissance des sols en ce qui concerne la formation, la conservation, l'évolution et la fertilité. Dans les écosystèmes cultivés, ces organismes, notamment les vers de terre contribuent largement à l'amélioration et au maintien de la fertilité des sols. La participation et le rôle des vers de terre pour l'amélioration de la structure et texture du sol tiennent une grande place pour promouvoir cette culture de riz pluvial.

Le biofonctionnement du sol regroupe l'ensemble des fonctions assurées par les organismes vivants du sol. Ces organismes, une fois en interaction avec les composants physiques et chimiques du sol, permettent la dynamique de la matière organique, le recyclage des nutriments et la dynamique de l'eau (Masse, 2007). Ces fonctions sont assurées par des organismes de taille variable comprenant les microorganismes (bactéries, champignons, protozoaires) et les invertébrés tels que les vers de terre (Ruellan et al., 2009). Les microorganismes décomposeurs minéralisent la matière organique et y retirent des substances selon leur besoin métabolique (Mengel, 1996).

Suite à de nombreuses études sur les effets des vers de terre sur différentes espèces végétales, Brown et al. (1999) ont compilé dans une revue 246 expériences réalisées en milieu tropical, en champ et en serre. Ces expériences ont impliqué 34 espèces de vers de terre, 19 espèces végétales et 23 types de sols différents. De l'ensemble de ces données, il ressort que les vers de terre affectent de manière positive la biomasse des plantes dans 75% des cas, biomasses aérienne et racinaire confondues, avec une augmentation moyenne de 57% pour les parties aériennes et 36% pour le rendement en graines. Ses études se sont intéressées tout

particulièrement à l'effet des vers de terre sur des espèces de plantes d'intérêt agronomique, en se focalisant surtout à déterminer les espèces de plantes les plus affectées et l'espèce de vers de terre la plus efficace dans la promotion de la croissance des plantes. Selon une nouvelle approche de Wenz (2008), les vers de terre sont considérés comme des alliés naturels et comme les principaux contributeurs à la fertilisation des sols. Il a mentionné « Mon seul engrais, ce sont les vers de terre ». Aucune investigation sur le ver *Dichogaster saliens* n'a encore été effectuée à Madagascar ni dans le monde concernant son interaction avec les cultures. Et c'est la raison pour laquelle cette étude est orientée sur l'étude des interactions plante-vers de terre *D.saliens* dans les cultures de riz et de l'éleusine. Chaque espèce de ver de terre à sa propre caractéristique dans l'agroécosystème. L'étude menée par Razafindrakoto (2012) a montré que *Dichogaster saliens* se faufile entre les racines de plantes d'où notre hypothèse principale que les plantes pourraient bénéficier directement de ses produits de minéralisation. Cette hypothèse est déclinée comme suit :

- ✚ La présence des vers de terre (*Dichogaster saliens*) dans la rhizosphère du riz et de l'éleusine pourrait améliorer la biomasse et la production en grains des plantes.

Ainsi plus spécifiquement, l'objectif de cette étude est de déterminer l'interaction entre plantes (riz et éleusine) et vers de terre *Dichogaster saliens* :

- (1) Evaluer la viabilité de *Dichogaster saliens* dans un champ de culture et dans un mésocosme.
- (2) Identifier l'effet de *Dichogaster saliens* sur les composantes de rendement du riz
- (3) Déterminer l'action de chaque plante sur la dynamique de la population de *Dichogaster saliens*

Ce mémoire est composé de trois parties :

- ✚ Première partie : Synthèse bibliographique : plante et vers de terre
- ✚ Deuxième partie : Cadre d'étude et matériels- méthodes
- ✚ Troisième partie : Analyse des résultats et discussions



Première partie :

SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : LES VERS DE TERRE

Les vers de terre, aussi appelés « lombriciens » représentent une composante majeure de la macrofaune du sol dans la plupart des écosystèmes terrestres. En 1994, plus de 3600 espèces de vers de terre, réparties en 15 familles, avaient été recensées dans le monde, auxquelles s'ajoutent plus de 60 nouvelles espèces chaque année. Ils jouent un rôle important dans leur environnement grâce à différents mécanismes physico-chimiques et biologiques, permettant d'améliorer la fertilité et de préserver la structure du sol (Stork et Eggleton, 1992 ; Lavelle et al., 1997). Ainsi, en affectant les propriétés physiques et chimiques du sol, ils modifient le biotope des communautés microbiennes (Lavelle et Gilot, 1994 ; Lavelle et al., 1997 ; cité par Huynh, 2009).

1.1. Biologie et classification

1.1.1. Cycle de vie

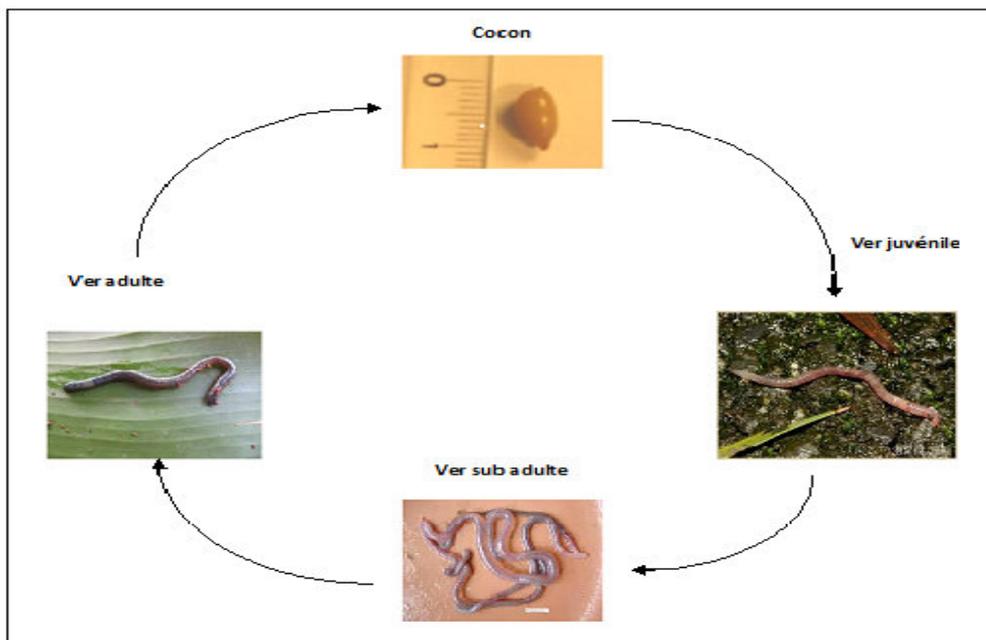


Figure 1 : Cycle biologique ver de terre

Tous les vers de terre sont hermaphrodites. Un échange de spermatozoïdes a lieu lors d'un accouplement, qui se produit généralement à la surface du sol, lorsque les conditions sont favorables. Quelques jours plus tard, le clitellum (partie renflée formant une bague sur le corps d'un ver de terre adulte) glisse le long de la partie antérieure du ver et le cocon, encore appelé œuf ou zygote, contenant des gamètes mâles et femelles, est émis dans le sol sous forme d'une capsule fermée aux deux extrémités.

Les cocons sont résistants aux conditions défavorables comme la sécheresse ou une modification de la température (Edwards et Bohlen, 1996). Le dessèchement du sol provoque la déshydratation du cocon, ce qui peut retarder le développement embryonnaire (Evans et Guild, 1948 ; Gerard, 1967, citée par Pelosi, 2008).

Le ver juvénile va progressivement acquérir des caractères sexuels secondaires externes liés à l'accouplement comme le puberculum tuberculeux ou les pores sexuels; il sera alors au stade sub-adulte. Un clitellum, organe lié au processus de ponte, va ensuite se former et permettre au ver de devenir sexuellement mature pour pouvoir se reproduire à son tour ; le ver est alors adulte. Le temps de maturation varie beaucoup entre espèces et dépend des conditions de milieu (température, humidité, nourriture).

Les vers de terre ont une durée de vie dépendante de l'espèce, de leur biotope et des conditions dans lesquelles ils vivent. La durée des quatre étapes fondamentales du cycle de vie des lombriciens (cocon, juvénile, sub-adulte et adulte) : figure1, ainsi que la fécondité et la survie des vers dépendent fortement de l'espèce considérée mais aussi des conditions du milieu.

1.1.2. Répartition écologique

En 1971 Bouché a distingué 3 classes écologiques distinctes de vers de terre, suivant des paramètres morphologiques et comportementaux, physiologiques, reflétant leur mode de vie et activité dans le sol: les épigés, les anéciques et les endogés, représenté par la figure 2.

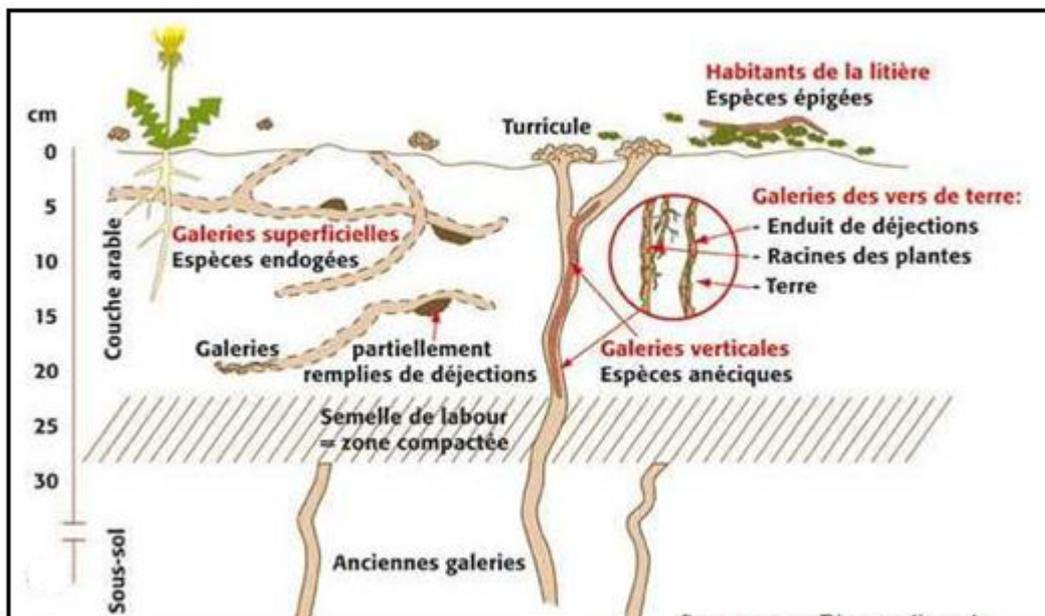


Figure 2 : Répartition écologique des vers de terre (Source : www.bioactualites.ch)

1.1.2.1. Les vers de terre épigés

Ce sont des espèces de petite taille environ 1 à 5 cm et de couleur foncé (rouge, marron). Ils vivent généralement à la surface du sol, au niveau de la litière et dans les matières organiques en décomposition. Mais ils ne creusent que peu ou pas de galeries dans le sol.



Photo 1 : ver épigé (*Dichogaster saliens*)

Source : <http://www.google.fr/search?q=dichogaster%20saliens>

Ils se nourrissent de la litière déjà bien fragmentée comme les résidus de feuilles et autres parties végétales mortes. Ils ont une pigmentation cutanée semblable à celle du milieu dans lequel ils vivent. De plus, quand la nourriture est abondante et les conditions climatiques sont favorables, ils peuvent se multiplier très rapidement avec une fertilité élevée et produire 42 à 106 cocons par adulte et par an.

Les vers de terre épigés jouent un rôle important dans le recyclage de la matière organique. L'espèce de vers de terre *D.saliens* utilisée dans la présente étude fait partie de cette catégorie écologique. D'après Ehouman et al. (2012), C'est une espèce épigée détritivore que l'on peut trouver dans des savanes herbeuses, savanes boisées et dans les forêts. A Madagascar, *D.saliens* se repartie plus particulièrement dans deux zones, dans le Parc National d'Ankarafantsika situé à 16°18'50.1" S ; 46°49'01.6" E à une altitude de 100 m, puis à Andranomanelatra Antsirabe, région de Vakinankaratra, 19°46'42.19" S ; 47°06'28.70" E à une altitude de 1616 m (Razafindrakoto, 2012). La figure 3 représente la distribution géographique de *Dichogaster saliens* à Madagascar.

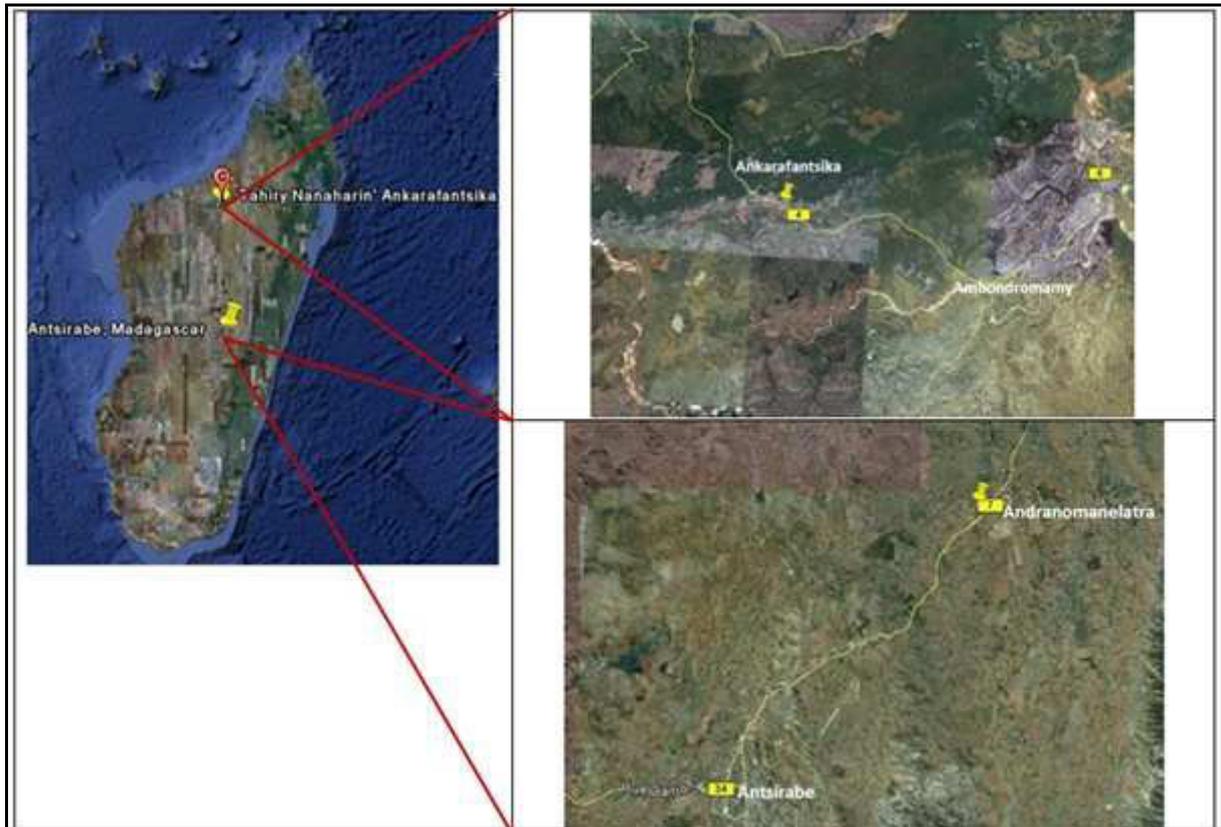


Figure 3 : Carte de distribution *Dichogaster saliens*

Source : Razafindrakoto, 2012

1.1.2.2. Les vers de terre endogés

Ce sont des espèces de taille variable entre 1 et 20 cm. Ils sont très peu colorés à apigmentés (gris, rose ou vert). Ils vivent essentiellement dans les trente premiers centimètres du sol. Ils creusent des galeries temporaires horizontales à subhorizontales. Ils représentent 20 à 40 % de la biomasse des terres fertiles et vivent en permanence dans le sol où ils creusent des galeries horizontales (Menard, 2005). Ils ont une fécondité moyenne 8 à 27 cocons par adulte et par an. Ils se nourrissent de terre plus ou moins riche en matière organique. En période de sécheresse ils tombent en léthargie et on les trouve enroulés sur eux-mêmes.

Les vers endogés présentent des modes de vie assez différenciés. Certains sont filiformes et s'installent le long des racines, d'autres forment des pelotes dans les couches profondes du sol, à proximité des drains, et filtrent l'eau dont ils séparent les particules organiques. Ils ont comme rôle à la création d'une « structure grumeleuse », influençant la rétention et l'infiltration de l'eau dans le sol. Exemple *Pontoscolex corethrurus*



Photo 2 : *Pontoscolex corethrurus* (Crédit photo : E. Blanchart)

1.1.2.3. Les vers de terre anéciques

Ce sont des espèces possédant une taille entre 10 et 110 cm donc de grande taille. Leurs couleurs varient du rouge au brun, avec couramment un gradient de couleur de la tête vers la queue. Ils vivent sur l'ensemble du profil du sol (galeries jusque 5 m de long). Toutefois ils creusent des galeries permanentes verticales à subverticales et ouvertes en surface, qui permet à l'eau de s'infiltrer.



Photo 3 : *Apporoctodea giardi* (Source : <http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/news.php>)

Les feuilles et les débris organiques qu'ils peuvent entraîner dans leurs galeries sont ingurgités avec de la terre. Les excréments sont déposés à la surface du sol sous forme de tortillons appelés aussi turricules. Des trois groupes ce sont eux qui ont la fécondité la plus réduite : 3 à 13 cocons par adulte et par an. Les vers anéciques jouent un rôle à la fragmentation de la matière organique morte en surface, enfouissement et brassage de cette matière organique avec le sol ingéré.

1.2. Condition abiotique des vers de terre

1.2.1. Température et humidité du sol

La température a une influence sur la rapidité de développement des vers de terre. Tandis que la production de cocons par les *Lombrics* devient quatre fois plus importante quand la température s'élève de 6 à 16°C (Evans et Guild, 1948). D'après Bachelier (1978), les conditions optimales de température se situent en général entre 10 et 20°C pour les espèces de régions tempérées et entre 20 et 30°C pour les zones tropicales. Mais peu d'espèces survivent à des températures inférieures à 0°C ou supérieures à 28°C (Lee, 1985 ; Curry, 1998).

Les vers de terre sont composés à 80-90 % d'eau lorsqu'ils sont pleinement hydratés (Lee, 1985, citée par Pelosi, 2008) et, même s'ils peuvent supporter des pertes en eau, ils restent très sensibles aux faibles humidités. Lorsque les conditions de température et d'humidité du sol deviennent défavorables, la survie, la fécondité et la croissance des lombriciens sont affectées (Lee, 1985).

La température, l'humidité du sol sont les facteurs clés qui régulent l'abondance et l'activité des vers en milieu naturel (Satchell, 1967 ; Hartensein et Amico, 1983 ; Sims et Gerard, 1999 ; citée par Pelosi, 2008) et les populations lombriciennes répondent relativement rapidement à des variations de ces facteurs du milieu.

1.2.2. Type de sol et pH

Les vers sont plus abondants dans les sols limoneux, argilo-limoneux et argilo-sableux que dans les sables, les graviers et les argiles. (Guild, 1948), Selon Razafindrakoto (2012), l'espèce *Dichogaster saliens* trouvé à Ambodimanga et Ankarafantsika s'abrite dans le sol est de type ferrallitique avec une texture très fine argileuse. Dans la zone d'Antsiranana, le sol est de type ferrallitique et très humide. Celle qui a trouvé à Antsirabe s'est dans le sol est de type ferrallitique argileux.

Les vers sont généralement absents dans des sols très acides ($\text{pH} < 3.5$) et sont peu nombreux dans les sols à $\text{pH} < 4.5$ (Curry, 1998). Il existe un pH optimal pour chaque espèce (Edwards et Bohlen, 1996). La majorité des espèces de régions tempérées se trouvent dans des sols à pH compris entre 5.0 et 7.4 (Satchell, 1967).

1.3. Importance et caractéristique des vers de terre

Les vers de terre font probablement partie des organismes terrestres les plus anciens. En termes de biomasse, ils dominent la macrofaune du sol dans la plupart des écosystèmes

terrestres (Girard et al, 2005). En tant qu'ingénieur de l'écosystème, au sens décrit par Jones et al. (1994) et ils modifient directement ou indirectement la disponibilité des ressources pour d'autres organismes de la biocénose. Ils ont un rôle important au sein des agrosystèmes car ils participent à la dynamique physique, chimique et biologique du sol, à travers trois principales fonctions (Pelosi, 2008). La création de galeries, la formation des turricules sont caractéristique formé par les vers surtout chez les endogés et les anéciques

1.3.1. Création des galeries

A cause de la forte contribution aux taux de renouvellement du sol, les vers de terre sont d'importance spéciale pour le cycle des nutriments, la structure du sol et les processus de transfert de matières (Buck et al., 1999). Les vers de terre créent des structures qui favorisent, dans le sol, une nette amélioration de la porosité, de l'aération, du régime hydrique et de la stabilité structurale en forant un réseau permanent plus ou moins profond. Le réseau de galeries sera différent selon la catégorie écologique des lombriciens. Les galeries vont former des voies de pénétration préférentielles pour les racines.

1.3.2. Drilosphère

Le système drilosphère qui est la zone du sol influencée par les vers de terre tandis que la fraction de la terre qui est passée par le tube digestif des vers de terre et qui constitue la paroi des galeries, d'où ensemble du volume de terre sous l'influence des vers de terre, (Brown et al., 2000).

1.3.3. Formation des turricules

On appelle turricules les rejets présents à la surface du sol et déjections ceux qui sont déposées sur les parois des galeries. La taille des turricules varie de quelques millimètres à quelques centimètres et dépend de celle des espèces (Darwin, 1881). Les turricules remontées à la surface par les vers de terre représentent un poids de 40 à 120 tonnes par an et ont une valeur fertilisante considérable. De plus, même si les vers de terre n'augmentent pas les quantités d'éléments nutritifs, ils les rendent plus assimilables tout en stabilisant le pH (Manfred, 2008). Cependant, la production et l'abondance des turricules de vers de terre apparaissent très variables en fonction du milieu des espèces de vers présentes ainsi que du couvert végétal. La disparition des turricules est de 70% en saison des pluies, et de 20% en période sèche. Les turricules sont donc intégrés plus lentement à la matrice du sol en période sèche (Binet et Le Bayon, 1999 ; citée par Huynh, 2009).

CHAPITRE 2 : RIZ PLUVIAL ET ELEUSINE

2.1. Le riz

C'est une des principales cultures alimentaires dans le monde, bien que près de 40% de la population mondiale a comme base alimentaire du riz. Il est produit dans environ 110 pays, incluant à des degrés variables, tous les pays d'Afrique de l'Ouest (Lacharme, 2001).

2.1.1. Les différentes phases du cycle du riz

Chaque variété du riz à sa durée de cycle végétatif allant de 90 à 120 jours. Généralement, ce cycle peut comporter trois phases.

➤ Phases végétative

C'est la phase de développement de la partie végétative du riz en commençant par la germination, la levé, le tallage et se termine par la d'initiation paniculaire.

L'apport d'azote pendant cette phase se manifeste par un verdissement de la culture correspondant à un accroissement de la teneur en chlorophylle et donc un accroissement de la photosynthèse. Tandis que l'azote permet une croissance vigoureuse des plants de riz pendant la phase végétative (Lacharme, 2001).

Le phosphore permet une meilleure croissance racinaire, favorise un tallage plus actif avec des talles fertiles.

Le potassium permet à la plante de mieux résister à la verse et aux attaques de maladies et d'insectes d'où la formation des parois cellulaires plus épaisses et de mieux résister à la sécheresse. Enfin il accroît la réponse de la plante au phosphore.

➤ Phase reproductive

La phase reproductive va de l'initiation paniculaire à la fécondation. Elle dure de 19 à 25 jours mais varie en fonction de la variété. Elle comprend l'initiation paniculaire, la-montaison, l'épiaison et la fécondation. Durant la phase reproductive, le plant de riz est particulièrement sensible à des conditions défavorables (sécheresse, basses températures ...). La disponibilité en éléments nutritifs fait partis des facteurs le plus mis en jeu pendant cette phase.

➤ Phase de maturation

Cette phase est précédée de la phase de remplissage du grain qui passe par une phase de grain laiteux, puis grain pâteux et enfin de grain mature. Durant la phase de remplissage des grains, le mouvement des éléments nutritifs de la plantes s'accumule vers les grains.

Le phosphore agit sur le bon développement des grains en élevant leur valeur alimentaire et 70 % du phosphore total se trouve dans les graines pendant la phase de maturation des grains.

2.1.2. Les composantes de rendement

Selon Gomez (1975), pour le riz, le rendement sont constitué de 4 composantes. Ce sont :

- ❖ Le nombre de panicule qui est le nombre, à maturité, de panicules entièrement dégainés et portant des grains par plante ou par unité de surface.
- ❖ Le nombre de grain remplis par panicule qui est le nombre moyen de grains entièrement développés par panicules.
- ❖ Pourcentage de grains vides, l'un des principaux facteurs de rendement de la culture de riz. C'est la proportion de grains peu développés ou totalement non développé.
- ❖ Le poids des grains totalement développés, en pratique ce poids est rapporté sur la base de 100 ou 1000 graines.

Nombreux sont les facteurs influençant chaque composante de rendement. Toute fois, la maîtrise de l'itinéraire technique a son importance pour influencer la composante de rendement. Donc ces facteurs se basent surtout sur des facteurs agronomique tel que les variétés utilisé, la fertilité du sol, les maladies et ennemies de la culture. Ainsi des facteurs abiotiques comme la température et l'humidité du sol.

2.1.3. La Rhizosphère du riz

Le riz a des racines de type fasciculées, se trouvent dans les 15 premiers centimètres du sol avec des racines secondaires qui prennent naissance sur les nœuds de la base des tiges. Chaque racine porte 10 à 30 radicelles avec des poils absorbants et le système sol-racine - macro et microorganisme forme la rhizosphère.

La rhizosphère est donc la partie du sol qui est directement soumise à l'influence de la racine, et est considérée comme l'habitat des microorganismes liés aux activités de la racine (Darrah, 1991). Tandis que le volume du sol qui est hors de l'influence de la racine est désigné comme le sol non rhizosphérique.

2.2. L'éleusine

2.2.1. Description et caractéristiques générales

L'éleusine est classé comme des céréales secondaires. L'espèce *Eleusine coracana* est originaire d'Ouganda et d'Ethiopie. Elle est une céréale cultivée pour ses graines en Afrique de l'Est et du Sud et en Inde. Elle constitue la base de l'alimentation humaine dans de nombreuses régions, et est utilisée pour la semoule, le pain, la bière et comme fourrage. Nourrissante, elle contient des acides aminés essentiels (méthionine). L'éleusine est adaptée à de nombreux milieux mais résiste mal à la sécheresse. Elle tolère des précipitations modérées

de 500 mm à 1000 mm annuels bien distribués pendant la saison de croissance. Elle supporte des températures élevées jusqu'à 35°C, mais ce sont les zones de montagnes ou de collines (moyenne des températures maximum de 27°C et moyenne des températures minimum de 18°C) qui lui conviennent particulièrement. C'est une plante de jours courts (optimum : douze heures d'ensoleillement par jour). Elle se développe dans tous les types de sols et tolère un excès d'eau ponctuel.

La production annuelle mondiale est de 4,5 millions de tonnes de grains, dont 2 millions en Afrique. Les surfaces cultivées diminuent au Congo Démocratique, au Burundi et au Rwanda en raison de la quantité de travail nécessaire pour désherber, récolter et vanner, alors que cette céréale était la plus diffusée dans ces zones. Les prix de l'éleusine augmentent du fait de la baisse de la production et elle devient une céréale de fête. Au Kenya, par exemple, le prix de l'éleusine est deux fois plus élevé que celui du sorgho ou du maïs. En revanche, au Népal, la surface cultivée en éleusine augmente de 8 % par an.

2.2.2. Importances agronomiques

Sur le plan agronomique et environnemental, l'éleusine est avant tout intéressante pour sa production rapide de biomasse et son système racinaire puissant, ce qui lui permet d'injecter dans le sol une forte quantité de matière organique, contribuant à la séquestration rapide de carbone. De plus l'éleusine a la capacité de recycler de grandes quantités de potasse, de calcium, de magnésium au niveau des feuilles et de fer (au niveau des racines) (Husson O. et al., 2012).

2.2.2.1. Utilisation comme fourrage

La paille d'*Eleusine coracana* peut être utilisée comme fourrage, avant maturation des graines car sa qualité baisse rapidement après maturation. Pour 100 g. de paille, on trouve 3,7 g. de protéines, 0,9 g. de lipides, 87,3 g de sucres ainsi que 1,1 g de calcium, et 1,5 g de potassium. Ces pailles peuvent cependant être très fibreuses, ce qui fait de l'éleusine un fourrage grossier. Les graines d'éleusine en revanche sont très riches et constituent un excellent aliment pour le petit bétail, en particulier les porcs et les volailles (Husson et al, 2012).

2.2.2.2. Utilisation comme couverture végétale

Plante annuelle, l'éleusine se contrôle facilement par simple fauche ou passage d'un rouleau à cornières après floraison. Dans le Moyen-Ouest malgache, la forte pression de *Roettboellia cochinchinensis* qui n'est que partiellement contrôlée par la couverture d'éleusine rend souvent nécessaire l'application d'herbicide. Pour l'installation d'une céréale comme le riz

dans des résidus d'éléusine, il est conseillé d'apporter 15 à 20 kg d'azote/ha (soit 30 à 45 kg/ha d'urée) au semis pour éviter les blocages d'azote en début de cycle. Cet apport n'est pas nécessaire si l'éléusine était associée à une légumineuse comme le cajanus ou la crotalaire.

2.2.3. La Rhizosphère de l'éléusine

Bien que le système rhizosphère qui est la zone d'interactions mutualistes entre les racines, la microflore et la microfaune (Lavelle et al, 1992 citée par Cécile, 1997). La structure de la rhizosphère dépend de celle de l'appareil racinaire, la densité et la longueur racinaire, ainsi que la morphologie des racines (Lynch, 1995).

Particulièrement dans la rhizosphère de *E.coracana*, l'association de la racine avec des bactéries libres du sol telles que « *Acetobacter diazotrophicus*, *Azospirillum brasiliense*, *Bejerinckia sp.*, divers *rhizobia* », a la faculté de fixer l'azote en quantité exceptionnelle pour une graminée. Cette fixation d'azote est très variable suivant l'humidité, le type de sol, la fertilisation et la variété, allant de 20 à 145 kg N/ha et pouvant atteindre 70 kg/ha en quelques mois.

Malgré cela, la disponibilité en nutriments influence la structure de l'appareil racinaire qui est également évalué indirectement à travers les modifications de biomasse. Ainsi, l'allocation préférentielle de biomasse aux racines par rapport aux parties aériennes est une réponse largement observée chez les plantes exposées à de faibles valeurs de disponibilité de nutriments dans le sol (Wilson, 1988 ; Lynch, 2007 ; cité par Hinsinger, 2012).

CHAPITRE 3: INTERACTION PLANTE-SOL-VER DE TERRE

3.1. Les différents rôles et effets des vers de terre

L'interaction plante-vers de terre se manifeste réellement par l'intermédiaire du sol. Certains auteurs démontrent que les galeries de vers de terre forment dans les sols à bonne stabilité un réseau préférentiel d'activité biologique. Elles forment des voies de pénétration préférentielles pour les racines, qui descendent d'autant plus aisément par ces galeries que celles-ci ont été faites par des vers qui creusent plus profondément (les anéciques). Les plantes venant à être récoltées, leurs racines se nécrosent et sont absorbées par la faune ; les galeries tendent alors à se rouvrir (Cécile, 1997).

3.1.1. Action mécanique

3.1.1.1 Formation d'agrégats stables et amélioration de la porosité

Les vers de terre, succède le broyage microscopique des myriapodes puis des collemboles, des acariens et des nématodes. Puis le brassage énergétique que subissent ces fragments dans le tube digestif des lombrics, les mélanges aux éléments minéraux et aux micro-organismes qui y trouvent des conditions favorables à leur prolifération. Ce malaxage par les vers de terre contribue profondément à la construction d'agrégats stables (Soltner, 2005). En effet, ces animaux mettent parfaitement en contact d'une part la terre qu'ils ingèrent, d'autre part les substances organiques qui la cimenteront en agrégats ou les débris végétaux qui donneront naissance à ces substances. Ce malaxage s'accompagne aussi d'un transport des matières organiques dans tout le profil. Plus que tout travail mécanique du sol par les instruments de culture, celui des vers de terre permet la dissémination parfaite des matières organiques. A l'augmentation de porosité qui résulte de cette formation d'agrégats, s'ajoute la meilleure circulation de l'eau et de l'air au travers des galeries verticales des lombrics.

3.1.1.2 Amélioration de la structure du sol

Les lombrics jouent un rôle essentiel dans la structuration des horizons A des mull actifs et peu acides. Ils décomposent la litière et l'incorporent au sol minéral. Par leur transit digestif, ils facilitent la formation de complexes organo minéraux, notamment liens entre argile et humus, et assurent leur cohésion. Les lombrics sont donc importants pour la structure grumeleuse du sol (Soltner, 2005). Les vers de terre devraient affecter la modification de la structuration du sol par l'intermédiaire de la bioturbation et la production des structures biogéniques (turricules) (Lavelle et Spain, 2001). Etant donné qu'ils colonisent tous les étages

du sol. Un des rôles les plus visibles du ver de terre est l'amélioration de la structure et le brassage du sol. Ce phénomène est appelé la bioturbation. Ainsi les vers de terre ingèrent de grandes quantités de sol par jour (5 à 30 fois leur propre poids). Au cours du transit intestinal, ce sol est mélangé à la matière organique ingérée et au mucus intestinal, déstructuré et finalement restructuré sous une forme plus stable (Barois, 1987 ; citée par Cécile, 1997).

Ils sont aussi à l'origine de grandes structures, comme les réseaux de galeries ou de chambres qui ont un impact sur les caractéristiques physiques du sol tels que la porosité, ainsi que la formation et la stabilité des agrégats de sol par la formation de complexes argilo-humiques.

3.1.2. Action sur la chimie du sol

En remontant en surface une partie des éléments lessivés, notamment du calcium, les vers de terre auraient tendance à limiter la décalcification du sol. Mais le plus important encore semble leur rôle d'intermédiaire entre le sol et la plante. En effet leurs déjections dénommé « turricules » sont considérablement plus riches en potassium, phosphore et magnésium assimilables. Ces turricules présentent une teneur en nutriments élevée pour NH_4^+ , NO_3^- , Mg^{2+} , K^+ et HPO_4^{2-} en comparaison avec un sol non ingéré (Syers et al., 1979; Mackay et al., 1983; Tiwari et al., 1989; James, 1991). Cet enrichissement vient de l'attaque de minéraux par les enzymes digestifs, et de la décomposition des matières organiques incorporées. Le tableau 1 présente la composition des turricules de vers de terre et de la terre arable à différentes profondeurs. Ces données sont le résultat d'une étude menée par Lunt et Jacobson, Minnich en 1972.

Tableau 1 : Composition des turricules et de la terre arable à différentes profondeurs

	Turricules	0-15cm du sol	20-40cm du sol
Azote globale (%)	0,35	0,25	0,081
Carbone organique (%)	5,2	3,32	1,1
Rapport C/N	14,7	13,8	13,8
NO_3^- (mg/l)	22,0	4,7	1,7
P_2O_5 (mg/l)	150,0	20,8	8,3
pH	7,0	6,4	6,0
Humidité (%)	31,4	27,4	21,1

Source : Menard, 2005

3.1.3. Action su la biologie du sol

Les vers de terre ont également une influence avec les autres microorganismes dans le sol. Ils opèrent une sélection qui rajeunit et stimule la flore microbienne. Ce rôle semble indispensable à l'humification : on remarque que les matières organiques contenues dans les déjections des lombrics du sol s'humifient plus facilement que les autres débris végétaux : leur passage dans le tube digestif semble avoir fait proliférer une flore humifiante, et éliminer une flore destructrice des matières organiques.

3.2. Développement de la plante

Le développement de la plante est lié par la caractéristique biologique et physico- chimique du sol. En faite la mesure de la biomasse permet d'évaluer ce développement. La biomasse est constituée par l'ensemble des végétaux, des animaux et des déchets qui leur sont associés. Du point de vue énergétique, le terme biomasse désigne l'ensemble des matières organiques pouvant être utilisées comme des sources d'énergie. Sur l'intérêt agronomique, la biomasse était considérée comme la masse totale des organismes animaux et végétaux concernés sur une surface ou dans un volume donnés.

3.2.1. Biomasse racinaire

Le système racinaire des plantes est un constituant important des organismes vivant dans le sol. Il comprend plusieurs parties, caractérisées par le diamètre et le niveau de ramification. La longueur et la forme des racines dépendent de facteurs génétiques des plantes et des contraintes du milieu. Ce sont les racines les plus petites, ou radicelles, qui permettent la nutrition des plantes (Kerchove, 2009). Elles absorbent l'eau et les éléments minéraux, elles sécrètent des substances organiques plus ou moins complexes. La radicelle et son environnement de sol immédiat sont un lieu privilégié d'échange appelé la rhizosphère.

La biomasse racinaire contribue à l'apport de matière organique dans le sol par des débris de racines mortes et des exsudats racinaires, et favorise ainsi le développement racinaire des cultures. En effet, cet apport influence directement la nutrition de la plante ainsi que les propriétés physico-chimiques des sols tels que la capacité d'échange des cations par sa minéralisation et son importance dans la dynamique de l'azote. La disponibilité des éléments nutritifs par rapport à la matière organique qui est l'agent principal de la stabilisation de la structure du sol et constitue l'une des propriétés primordiales du sol en matière de développement de systèmes de production durables. L'absorption de l'eau et des éléments nutritifs dépend non seulement de la longueur et de la surface des racines, mais aussi de leur

répartition dans les différents horizons. Outre le diamètre ainsi que le poids et la longueur, la densité des racines constitue un paramètre déterminant le degré d'exploitation du sol. En effet, la densité racinaire optimale nécessaire à une exploitation efficace d'un sol pour le nitrate, par exemple, est du même ordre de grandeur que celle pour une utilisation efficace de l'eau (Rob Groot et al, 1997).

3.2.2. Biomasse aérienne

Toute la partie aérienne de la plante constitue sa biomasse. L'augmentation de cette biomasse était en relation étroite avec la qualité nutritionnelle assimilable par la plante ou les vers de terre. Via l'effet des vers de terre dans le sol l'étude de la nutrition minérale en présence des vers de terre peut permettre d'améliorer la connaissance des mécanismes responsables de l'accroissement de biomasse.

3.2.3. Mécanismes responsables de l'accroissement de la biomasse végétale

Nombreux sont les mécanismes produits qui assurent l'accroissement de la biomasse végétale. L'effet des vers de terre étant considéré comme le plus en relation. Brown et al. (2004) ont identifié sept grands mécanismes permettant d'expliquer les effets des vers sur la croissance et le développement des plantes. Ces effets peuvent être de natures physiques, chimiques ou encore biologiques. Ce sont :

- Modifications de la structure du sol
- Minéralisation accentuée et modification de la disponibilité en nutriments
- Interactions avec les micro-organismes bénéfiques
- Production de facteurs de croissance et de vitamines
- Régulation des parasites du sol
- Interaction avec les semences
- Abrasion et ingestion des racines et des parties aériennes

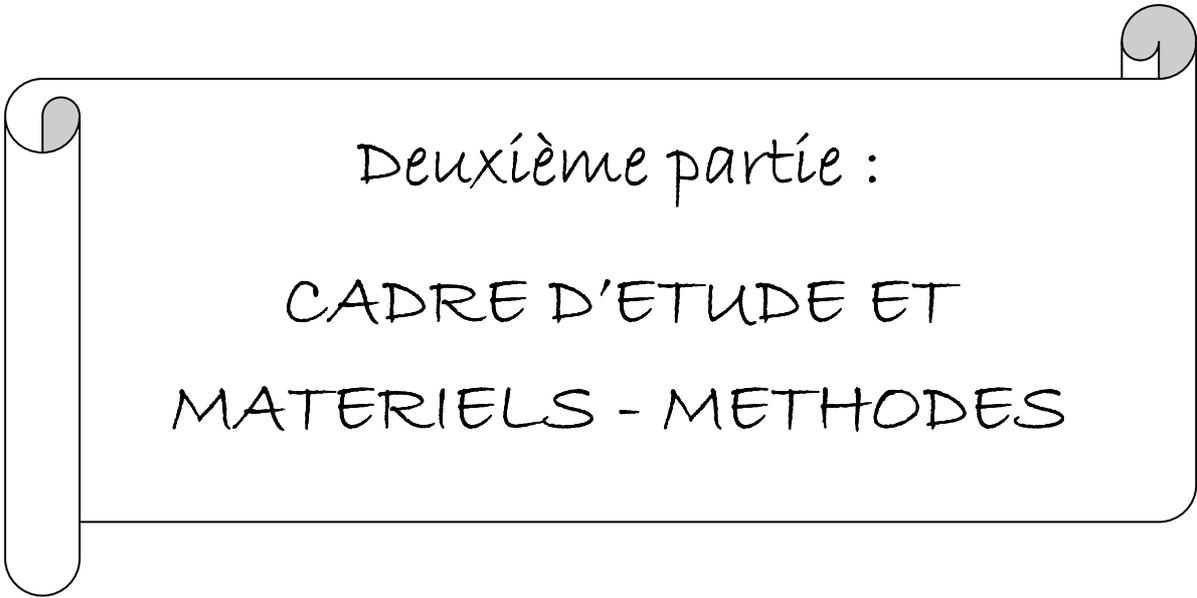
3.3. Dynamique de la population des vers de terre

Ils varient suivant la condition du milieu et en fonction de l'espèce abritée aussi. Les densités de vers de terre se situent généralement entre 50 et 400 vers par m², excédant parfois les 1 000 vers par m² (Lee, 1985). La biomasse vivante de vers de terre se situe entre 30 et 100 g/ m² (Lavelle et Spain, 2001 ; citée par Pelosi, 2008) mais peut dépasser 300 g/ m² (Lee, 1985). En milieu de culture, la densité et la biomasse de vers de terre sont généralement très variables et la taille des populations est intermédiaire entre celle trouvée dans les habitats les plus stériles ,

trop acides, trop secs ou trop froids, et celle des prairies naturelles, qui abritent en général un très grand nombre de vers de terre (Edwards et Bohlen, 1996).

La population de vers de terre varie selon la région, mais aussi selon les pratiques agricoles adoptées. Elle dépend d'abord de l'abondance de nourriture et ensuite de l'endroit où celle-ci se trouve. Plus les résidus sont enfouis, moins ils sont disponibles pour les vers de terre (Menard, 2005).

En théorie, l'ensemble des techniques culturales comme la nature des espèces cultivées peuvent jouer sur le niveau des populations de vers de terre et leur diversité spécifique. Le travail du sol, l'application de produits phytosanitaires ainsi que le tassement affectent négativement les communautés lombriciennes alors que la fertilisation, le chaulage et l'irrigation leur sont généralement favorables (Pelosi, 2008).



Deuxième partie :

CADRE D'ETUDE ET
MATERIELS - METHODES

CHAPITRE 1 : CADRE D'ETUDE

1.1. Importance de l'étude et cadre institutionnel

Cette étude est dans le cadre des recherches des interactions plantes-sol-vers de terre, en s'orientant vers l'intérêt agronomique. De plus, elle vise à quantifier l'effet (négatif ou positif) des vers sur la biomasse des plantes, identifier quelles espèces de plantes sont les plus affectées et est-ce que l'espèce *Dichogaster saliens* devrait elle efficace dans la promotion de la croissance du riz et de l'éleusine. Etude menée en collaboration avec l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et le FOFIFA Antsirabe.

FOFIFA ou Centre de Recherche Appliquée au Développement Rural a été créé en 1974 à la suite de départ des institutions agronomiques françaises. Il est la plus importante institution de recherche agricole à Madagascar. La Station de Recherche Régionale (SRR) Antsirabe où nous avons effectué notre stage se situe à Tsivatrinikamo à proximité de La Pépinière d'Antsirabe. Ses activités principales de recherche sont axées dans les domaines suivants :

- ❖ Riziculture pluviale et irriguée
- ❖ Légumineuses en particulier le haricot
- ❖ Systèmes de culture sous couvertures végétales SCV dans le cadre de l'Unité de Recherche en Partenariat avec le Système de Cultures et Rizicultures Durables (URP/SCRiD).

Cette institution travaille aussi avec de nombreux organismes de recherche et de diffusion régionaux, nationaux et internationaux. Le progrès de la recherche rizicole au cours de ces dernières années constitue un autre atout important du secteur. Il porte aussi bien sur des variétés performantes de riz pluvial et irrigué notamment le riz d'altitude que sur des nouvelles techniques plus productives telles que le SRI et le SCV.

1.2. Site de l'étude

1.2.1. Localisation

L'expérimentation se déroule à la station matrice de l'URP-SCRiD à Andranomanelatra Antsirabe, se situe dans le district d'Antsirabe II. Elle se trouve à 12 Km au Nord de la ville d'Antsirabe. S'étendant sur une superficie de 164 Km², elle est formée de 14 fokontany. Situé à 1628 m d'altitude, ce site a pour coordonnées géographiques : 19°47'S, 47°06'E. Les

communes limitrophes sont : Antsoatany au Nord, Ambohimiarivo à l'Est, Ambano à l'Ouest et Antsirabe au Sud.

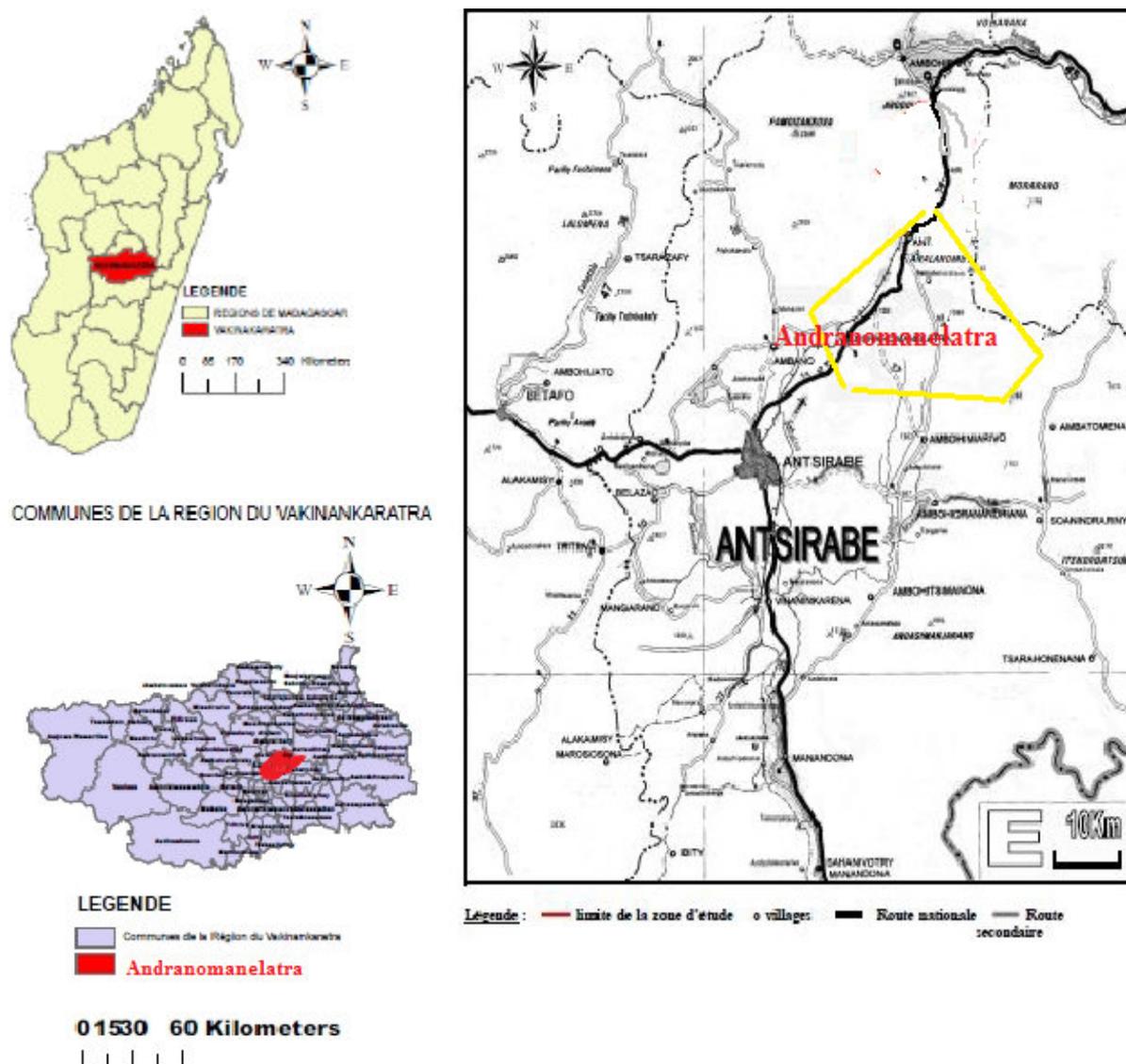


Figure 4 : Localisation de la commune Andranomanelatra

Source : Ramahandry et al, 2007

1.2.2. Sol

A Andranomanelatra, les sols sont caractérisés par la présence d'allophanes ce qui leur confère des caractères andiques. La teneur en argile est de 70 % (pouvant atteindre 80 à 90 % dans certains endroits) et ils sont relativement riche en matière organique (C : 5,55 % et N : 0,32%) (Razafimbelo, 2005).

1.2.3. Climat

Le climat est de type tropical avec une saison froide et sèche de 6 mois entre le mois d'avril et le mois d'octobre et une saison chaude et humide de 6 mois du mois d'octobre au mois d'avril. La saison chaude d'octobre à avril dont la température moyenne est de 17 à 20°C ; et saison sèche et fraîche de mai à septembre avec une température moyenne de 11 à 15°C. La pluviosité moyenne annuelle est de 1300 mm avec une température moyenne annuelle de 16°C. La variation de la des précipitations annuelles de l'année 2003 jusqu'à 2012 est indiqué par la figure 5

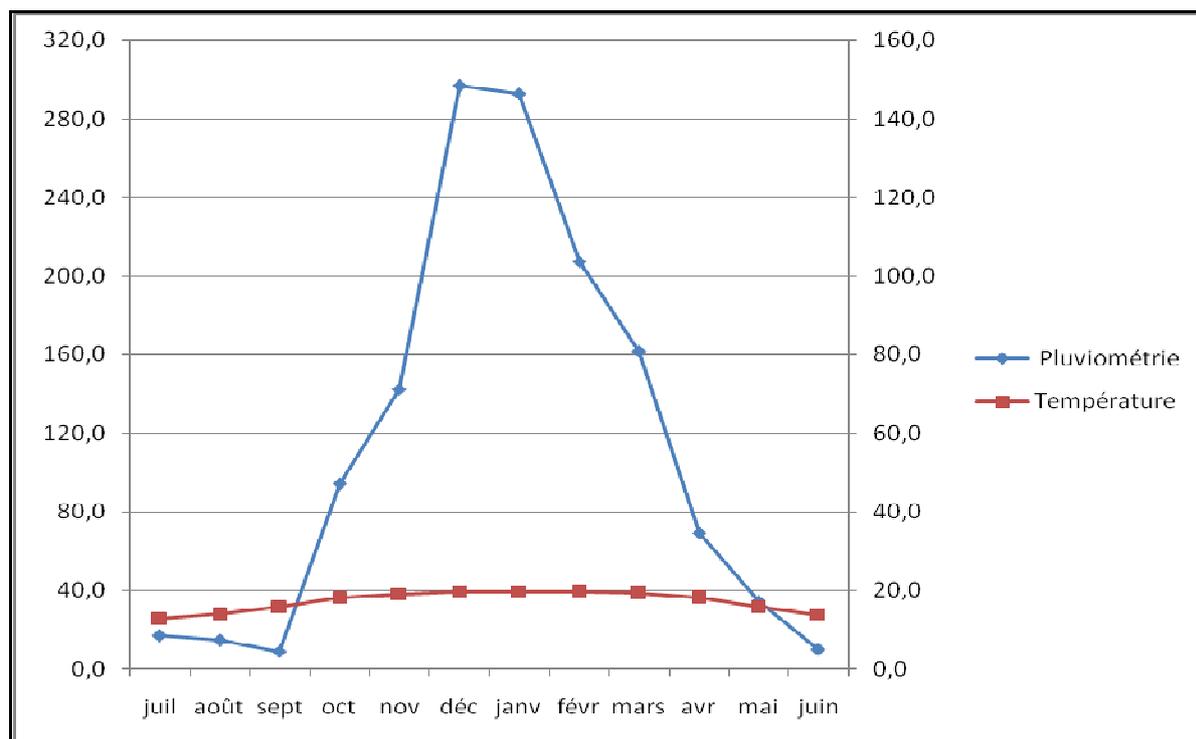


Figure 5 : Courbe ombrothermique 2003 à 2012

Source : Station CIMEL Andranomanelatra

CHAPITRE 2: MATERIELS

2.1 Matériels végétaux

Deux plantes ont été testées, ils s'agissent du riz pluvial nommée Chhomrong Dahn portant son nom vernaculaire « variété Tsipolotra » et de l'*Eleusine coracana* qui a sa faculté de fixer l'azote en quantité exceptionnelle pour une graminée.

2.1.1. Riz pluvial : variété « Chhomrong Dhan »

Elle est originale du Népal, portant son numéro de collection national 4368. L'avantage de cette variété étant de son adaptation en haute altitude et son cycle semi précoce. De plus elle a une bonne résistance à la maladie et au froid. Par contre, face a sa taille atteignant jusqu'à 125cm de haut, elle est sensible à la verse et au stress hydrique entraînant le blanchissement des panicules.



Photos 4 : Variété « Chhomrong Dhan »

2.1.2. *Eleusine coracana*

L'éleusine est une plante annuelle appartenant dans la famille des *Poaceae*, tribu des *Eragrostideae*. Les variétés d'*Eleusine coracana* sont classées en premier lieu par couleurs (brun-rouge, vert, blanc). Diverses variétés ont été testées à Madagascar comme Ragi, PG 6240, PG 94, etc. C'est une plante touffue, de 40 à 130 cm de haut, à feuilles étroites et aux nombreuses ramifications dans tous les sens. Au sommet de la tige, l'épi forme un groupe de doigts de 3 à 13 cm de longueur. Le poids de mille graines est de 2,6 g. La fécondation se réalise par autopolinisation.



Photos 5 : *Eleusine coracana* en cours de maturation de graine

2.2. Matériel animal : ver de terre

Le *Dichogaster saliens* appartenait dans la classe des vers épigés dont qui se trouve sous le débris de matière organique. Il a de longueur entre 30 à 60 mm avec un diamètre égal à 1,5 mm, le segment compte au totale entre 70 – 120 (Beddard, 1893). De plus, il n'y a pas de pigmentation mais à l'intérieur de son corps il y a présence d'une sorte de rayure sombre et claire qui s'intercale. (Razafindrakoto M. et Blanchart E, 2009).

Selon Beddard, 1893, *Dichogaster saliens* a été nommé *Dichogaster* Beddard, mais Michaelsen en 1900 l'a dénommé *saliens*. Il est classé comme suit :

- **Phylum:** Annelida
- **Classe :** Clitellata
- **Ordre:** Haplotaxida
- **Famille :** Octochaetidae
- **Genre :** *Dichogaster* Beddard, 1888



Photo 6 : *Dichogaster saliens*

CHAPITRE 3: METHODES

3.1. Dispositif expérimental

L'étude, réalisée au cours de la campagne agricole allant du décembre 2012 à mai 2013, s'appuie sur deux dispositifs de traitements identiques. On distingue un premier dispositif d'essai en pots (mésocosme), organisé en blocs complets répartis au hasard, avec 5 répétitions et un deuxième dispositif d'essai au champ disposé également en blocs complets randomisés, avec 5 répétitions. La mise en place de ces deux essais a eu lieu pendant la même période.

3.1.1. Le mésocosme

Pour notre cas, ce sont des seaux plastiques d'environ 25 cm de diamètre qui constituent le mésocosme.

❖ Le sol utilisé

Le sol a été prélevé dans la partie laissée en jachère de la matrice de l'URP-SCRiD à Andranomanelatra à côté du dispositif expérimental. C'est une parcelle de chiendent avec présence de *Brachiaria*. Avant le prélèvement du sol, la végétation a été enlevée à l'aide d'un angady. L'horizon le plus riche en matière organique a été récupéré, c'est-à-dire 10 cm de profondeur. Ce sol a été tamisé avec un tamis à maille de 4 mm, suivi d'un autre tamisage avec un tamis de 2 mm avant d'être manipulé. Le sol est ensuite séché à l'air libre avant de le débarrasser de tous vers de terre et cocons qui étaient présents.



Photo 7 : Zone de prélèvement de sol

❖ Les plantes

Le riz et l'éléusine n'ont pas été semés mais des plantules âgées de 1 mois, issus des parcelles non traitées de la matrice, ont été utilisées. Ceci pour éviter l'effet des pesticides ou insecticides sur les vers de terre de l'expérimentation. La contamination des intrants chimiques était strictement évitée dans la parcelle. Les plantules de riz et d'éléusine transplantées étaient de même variété et de même âge.

❖ Les vers de terre

Les vers de terre ont été collectés à côté de la matrice de l'URP-SCRiD à Andranomanelatra, plus précisément vers la partie ouest de la matrice dans un endroit humide, riche en matière organique, sous des débris de feuilles et d'épais humus (champ de poire et de Kaki). Les vers collectés sont gardés dans une cuvette en plastique remplie de terre plus ou moins humide. Avant la mise en place de l'essai, les vers *D.saliens* ont été triés pour avoir des vers à peu près de même taille. Ensuite, avant de les inoculer dans le mésocosme, les vers de terre ont été pesés pour chaque traitement c'est-à-dire, pesage des 4, 8 et 12 vers respectivement, afin de connaître leur poids initial et avoir des poids les plus homogènes possibles pour chaque répétition.

❖ L'essai en pots

Cet essai a été conduit afin de tester la viabilité et l'adaptation du *Dichogaster saliens* dans un milieu semi-contrôlé. On a utilisé des pots de 15 litres. Les pots sont perforés pour laisser l'eau s'écouler. Afin d'éviter la fuite des vers, les trous sont protégés à l'aide d'une voile fine à mailles très serrées.

Les pots ont été placés en milieu réel sur le terrain, en conditions naturelles. Les substrats utilisés sont les sols déjà préparés auparavant. Mais avant de les mettre dans le seau, ils ont été bien mélangés et homogénéisés puisque lors du tamisage, il y a eu séparation des terres fines et des gros agrégats. Les seaux sont remplis avec 11 kg de substrat sec. Au total, il y avait 40 pots pour les différents traitements. Ils ont été ensuite placés dans un trou de même profondeur, dont le fond est tapissé de gravillons pour assurer le drainage. L'ouverture des pots dépasse la surface du sol de 5 cm (Photo 9). L'essai comporte deux cultures (riz et éléusine) croisées avec 4 niveaux de vers de terre (0, 4, 8 et 12 vers de terre) faisant 8 traitements par répétition et avec 5 blocs. Les pots témoins étaient sans vers de terre. Les pots sont disposés selon le plan d'expérimentation présenté dans la Figure 6 et 7 et Photo 7.

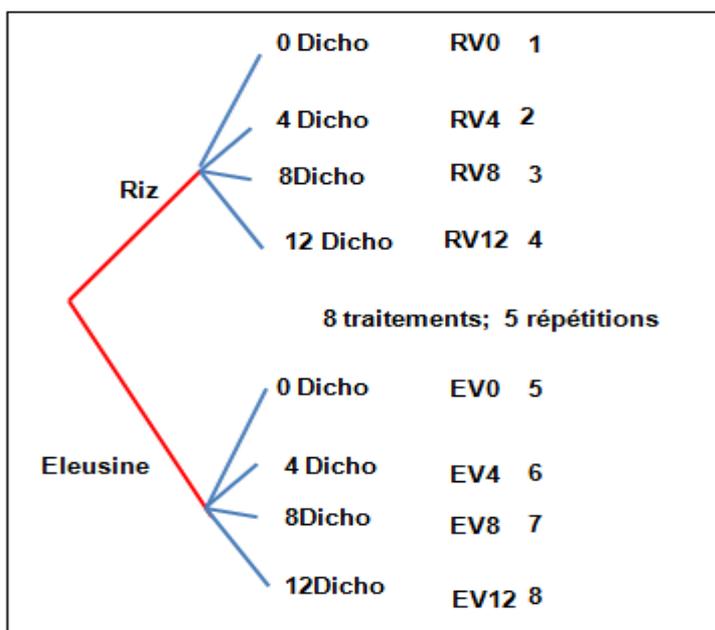


Figure 6 : Les traitements de l'essai en pots sur terrain Andranomanelatra

Les plantules de riz pluvial et de l'éleusine ont été transplantées respectivement au stade de 4 à 6 feuilles et de 3 à 4 feuilles, le 7 décembre 2012. La densité de repiquage du riz est de 2 poquets/seau avec 2 plants/poquet et un écartement de 20 cm entre les poquets. Pour l'éleusine le repiquage s'est fait dans 2 poquets avec 1 plant/poquet et de même écartement que le riz c'est-à-dire 20 cm entre les deux poquets. L'inoculation des vers de terre a eu lieu une semaine après la transplantation des plantes pour que les plantules soient bien rétablies. De plus un bon fonctionnement racinaire des plantules fait partie de la condition nécessaire à la croissance et au développement de *D.saliens*. Le contrôle de l'humidité dans les pots a été fait. Les seaux ont été arrosés toutes les 24 à 72 heures en cas d'absence de pluie. Le mésocosme était maintenu ni trop sec ni trop inondé pour préserver la survie des vers de terre. Pour favoriser l'adaptation des vers hors de son milieu d'origine et pour garder l'humidité du sol, des paillages de bozaka ont été apportés dans les pots.

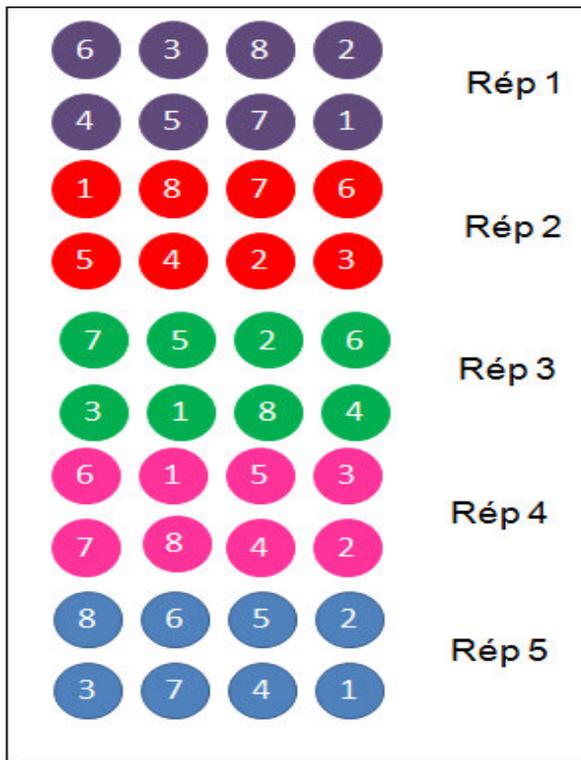


Figure 7 : Dispositif de l'essai en pots

Source : auteur

Photo 8 : Dispositif de l'essai en pots

Source : auteur



Photo 9: Trouaison de l'emplacement en pots (Source : auteur)

3.1.2. Essai au champ

L'objectif principal de cet essai était d'évaluer la dynamique de *D.saliens* en condition libre, c'est-à-dire sans barrière pour son déplacement dans le champ de culture. Il a été installé juste auprès de l'essai en mésocosme. L'essai comportait 8 traitements répartis au hasard avec 5 répétitions, dont 2 niveaux de plantes (riz pluvial et éleusine) combiné avec 4 niveaux de vers de terre 0, 4, 8 et 12 vers (Tableau 2). Les parcelles témoins étaient sans vers de terre. L'essai au champ mesurait 7 m de long et 3 m de large. Une parcelle élémentaire mesurait 0,09 m² (0,30 m x 0,30 m) et comportait 4 poquets de plants écartés entre eux de 0,20 m. Les écartements entre parcelles était de 0,30 m et 0,60 m entre les blocs. L'essai a été disposé selon le plan d'expérimentation présenté dans la Figure 8. Celui-ci a été obtenu après avoir réalisé un tirage au hasard, nous permettant de nous affranchir des facteurs environnementaux pouvant fausser nos résultats. Le sol était paillé, mais le paillage était beaucoup plus épais (environ 5 cm) pour l'essai au champ par rapport à celui appliqué à l'essai en pots pour assurer une meilleure rétention de l'humidité du sol et favoriser l'infiltration de l'eau jusqu'en profondeur.

Tableau 2 : Dispositif de l'essai au champ

Riz	0 vers de terre	RV0	A
	4 vers de terre	RV4	B
	8 vers de terre	RV8	C
	12 vers de terre	RV12	D
Eleusine	0 vers de terre	EV0	E
	4 vers de terre	EV4	F
	8 vers de terre	EV8	G
	12 vers de terre	EV12	H

Source : Auteur

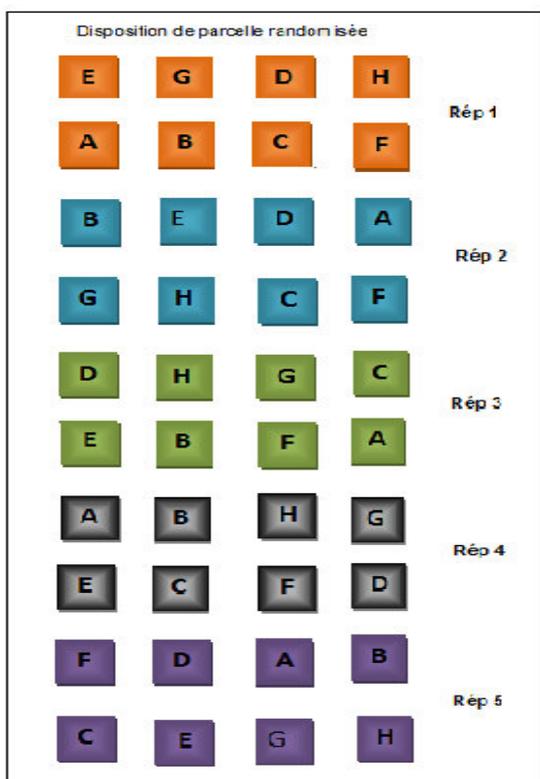


Figure 8 : Dispositif au champ

Photo 10 : Dispositif de l'essai au champ

Source : auteur

3.2. Fertilisation

Les essais en pots et au champ n'ont reçu aucune fertilisation. Seule l'inoculation de ver D.saliens dans la culture était effectuée.

3.3. Entretien

L'arrosage constitue le principal entretien culturel avec le sarclage. Il a été effectué deux fois par jour en cas d'absence de pluie. Tandis que, le sarclage manuel a été réalisé mensuellement afin d'éviter l'envahissement des mauvaises herbes.

3.4. Evolution du développement des plantes

La mesure de la dynamique de tallage est obtenue par le comptage du nombre de talles, étant donné que le nombre de talles émis est un critère fiable pour exprimer la productivité de la plante. Dans notre cas, le nombre de talles par touffe a été utilisé. Le nombre de panicules aussi est compté à partir de la floraison pour avoir le rapport talles fertiles et talles stériles ainsi que la régression des talles jusqu'à la récolte.

3.5. Mesure de la hauteur des plantes

La hauteur des plantes a été mesurée à l'aide d'un mètre. Elle était mesurée par la distance entre le niveau du sol et l'extrémité de la panicule la plus haute. Toutes les plantes ont été mesurées.

3.6. Récolte

A la fin de l'essai, le démontage du mésocosme a eu lieu. Chaque plante a été récoltée individuellement. La mesure des composantes du rendement a été faite. La hauteur des plants, le nombre de grain/panicule, le nombre de panicule/talle, le nombre de talle/pied et le nombre de plant/touffe ont été mesurés. Les tiges racines et graines ont été séparées. Leurs poids frais ont été mesurés à l'aide d'une balance de précision, puis séchées à l'étuve à 60°C pendant 72 heures et leur poids sec a été mesuré.

3.7. Collectes des vers de terre et prélèvement de sol

Après la récolte des plantes, chaque pot a été vidé séparément et leur contenu était étalé sur une bâche en plastique pour collecter tous les vers de terre et les racelles de la plante. On a prélevé aussi une partie du sol rhizosphérique qui se trouve au voisinage de la racine pour une analyse chimique ultérieure du sol. Tous les vers récoltés ont été ensuite ramenés au laboratoire de FOFIFA Antsirabe afin de les identifier et de les peser. Ils sont ensuite conservés dans des flacons contenant de l'alcool à 70°.



Photo 11 : Démontage des mésocosmes (Source : auteur)

Après 5 mois de culture, pour l'essai au champ, les plantes étaient déterrées. Toute la partie du sol autour des systèmes racinaires de la plante a été prélevée, donc jusqu'à la semelle de labour (25 à 30 cm de profondeur). Tous les vers de terre trouvés dans ce sol ont été collectés.

Les plantes débarrassées du sol étaient ensuite coupées au niveau du collet pour séparer les racines afin de déterminer les biomasses racinaires et aériennes produites.

3.8. Analyses statistique

Les analyses statistiques comprennent l'analyse descriptive des résultats, l'analyse de variance (ANOVA), l'analyse en composante principale (ACP) et le test de TUKEY HSD au seuil de 0,05. On a traité séparément l'analyse statistique concernant le riz et l'éléusine à l'aide du logiciel XLSTAT 2013.

L'analyse descriptive, permet d'obtenir la distribution de chaque variable étudiée à savoir : valeur moyenne, minimale et maximale, coefficient de variation.

Pour l'analyse de variance, elle permet de vérifier les effets des variables étudiées sur la dynamique de la population des vers de terre : composantes de rendement, biomasses racinaires, biomasses aériennes, nombre et poids des vers de terre. La probabilité est considérée comme significative lorsqu'elle est inférieure à 5%.

L'analyse en composantes principales (ACP) permet d'identifier les corrélations existantes entre les différentes variables.



Troisième partie :

RESULTATS,
INTERPRETATIONS ET
DISCUSSIONS

CHAPITRE 1: RESULTATS DE COMPTAGE APRES 6 MOIS DE CULTURE

1.1. Résultats de l'essai en pots

1.1.1. Population des vers de terre sur le riz et l'éléusine

A la fin de l'essai, chez le riz, le nombre de vers de terre *Dichogaster saliens* reste constant pour les traitements RV4 (4 vers de terre initiaux) et RV8 (8 vers de terre initiaux), tandis que le nombre a augmenté dans le traitement RV12 (12 vers initiaux) et est devenu 16,4, des juvéniles ont été trouvés dans les pots. Par contre, chez l'éléusine, le nombre *D.saliens* a diminué dans tous les traitements (Figure9et10). Surtout dans les traitements EV8, il n'y a que 37% de la population qui reste dans les pots. Une disparition de 25% et 35% de la population initiale de *D.saliens* est observée respectivement pour les traitements EV12 et EV4.

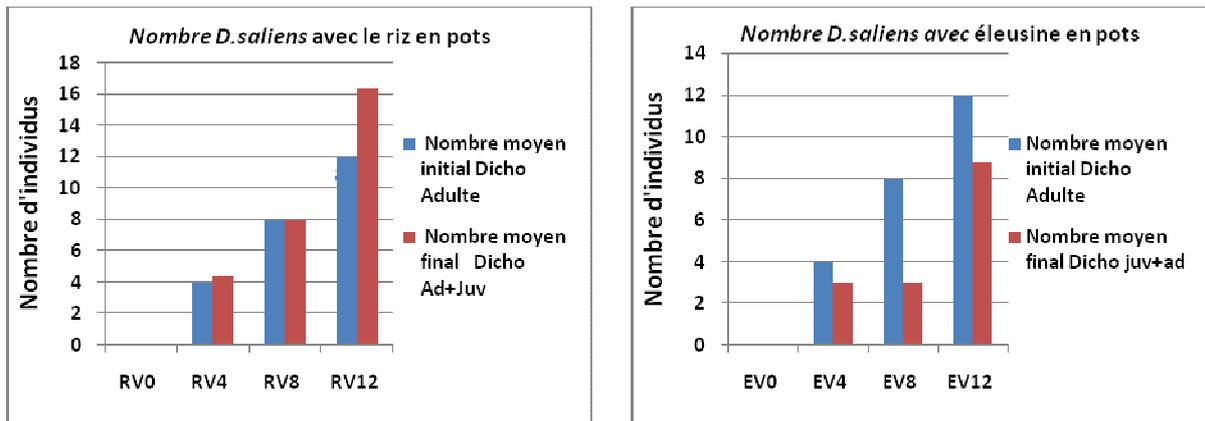


Figure 9 : Evolution du nombre de *D.saliens* dans l'essai en pots avec le riz et l'éléusine ; RV0 :Riz sans *D.saliens* ; RV4 : riz+4 vers *D.saliens* initiaux ; RV8 : riz+8 vers *D.saliens* initiaux ; RV12 : riz+12 vers *D.saliens* initiaux ; EV0 :éléusine sans *D.saliens* ; EV4 : éléusine +4 vers *D.saliens* initiaux ; RV8 : éléusine +8 vers *D.saliens* initiaux ; RV12 : éléusine +12 vers *D.saliens* initiaux.

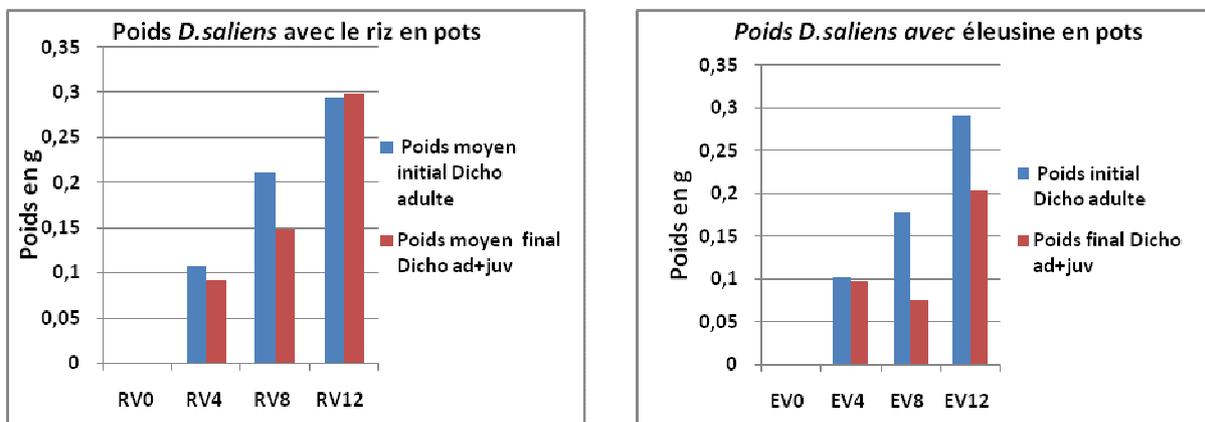


Figure10 : Evolution du poids de *D.saliens* dans l'essai en pots avec le riz et l'éléusine

Concernant l'évolution du poids de la population de *Dichogaster saliens* dans l'essai en pots, une diminution généralisée de leur poids dans tous les pots est observée chez le riz et l'éléusine sauf pour RV12 où le poids est resté inchangé.

Après 6 mois de culture, il y a eu apparition de deux autres espèces de vers de terre dans les pots. Ce sont *Pontoscolex corethrurus* qui est classé parmi les vers endogés et *Amyntas minimus* dans la catégorie des vers épigés.

Le *P.corethrurus* se trouve uniquement à l'état juvénile dans cette culture en pots. Sa population moyenne va de $0,8 \pm 1,01$ à $3 \pm 3,46$ individus par traitement pour le riz. Alors que le nombre moyen ne dépasse pas de 1 pour l'éléusine.

La population de l'*A. minimus* a été abondante dans tous les traitements pour la culture en pots. Dans la riziculture en pots, le nombre est compris entre $5,2 \pm 5,54$ et $12,6 \pm 8,02$ individus (adultes + juvéniles) avec des poids variant de 0,24 à 0,56 g. Tandis que pour l'éléusine en pots, le nombre moyen de l'*A. minimus* (adultes + juvéniles) est de $1,4 \pm 1,95$ à $3 \pm 2,45$ individus avec une variation de poids allant de $0,03g \pm 0,04g$ à $0,10g \pm 0,13g$.

Tableau 3 : Effectifs et biomasse de *P.corethrurus* et *A. minimus* dans l'essai en pots (Ad: adulte ; Juv: juvénile; Ponto: *P.corethrurus* ; RV0 : Riz sans *D.saliens* ; RV4 : riz+4 vers *D.saliens* initiaux ; RV8 : riz+8 vers *D.saliens* initiaux ; RV12 : riz+12 vers *D.saliens* initiaux ; EV0 : éléusine sans *D.saliens* ; EV4 : éléusine +4 vers *D.saliens* initiaux ; RV8 : éléusine +8 vers *D.saliens* initiaux ; RV12 : éléusine +12 vers *D.saliens* initiaux)

Traitement variable	Nombre Ponto juv	Poids Ponto Juv (en g)	Nombre Amyntas Adulte	Nombre Amyntas juvénile	Nombre Amyntas Ad+juv	Poids Amyntas Ad+juv (en g)
RV0	1,6±1,52	0,16±0,19	8,4±8,02	4,2±4,02	12,6±8,02	0,56±0,54
RV4	0,8±1,10	0,03±0,05	7,2±5,17	2,2±2,39	9,4±6,66	0,48±0,35
RV8	1,6±2,61	0,12±0,23	3,6±3,36	1,6±3,05	5,2±5,54	0,24±0,22
RV12	3±3,46	0,24±0,23	6,2±3,70	2,8±3,7	9±5,79	0,45±0,26
EV0	0,4±0,55	0,02±0,03	1,6±2,07	1 ± 1	2,6±2,70	0,10±0,13
EV4	0,6±0,89	0,02±0,03	1,8±1,48	1,2± 1,10	3±2,45	0,09±0,08
EV8	0,2±0,45	0,002±0	0,6±0,89	0,8±1,10	1,4±1,95	0,03±0,04
EV12	0,6±1,34	0,02±0,04	1±1,41	1,2±1,30	2,2±2,49	0,08±0,09

1.1.2. Biomasse végétale

Pour le riz, la biomasse racinaire ne montre pas de différences significatives entre les traitements (Tableau 4). De même pour la biomasse aérienne, elle ne varie pas beaucoup entre les traitements. La valeur en poids sec de la tige+feuille va de 41 à 45 g, les différences ne sont pas significatives.

Pour l'éleusine, l'absence d'apport de vers de terre dans EVO induit des biomasses racinaires et parties aériennes faibles par rapport aux traitements avec vers. Cependant, il n'y a pas de tendance claire de l'augmentation de biomasses pour les traitements avec vers (tableau 4).

L'analyse statistique ne montre aucune différence significative pour la biomasse végétale entre les différents traitements (Annexe IV).

Tableau 4 : Biomasse végétale du riz et de l'éleusine en pots

Traitement	Poids sec racine (en g)	Poids sec tige+feuille (en g)
RV0 (Riz sans <i>D.saliens</i>)	14,68 ± 3,73	44,08 ± 4,85
RV4 (Riz+4 vers <i>D.saliens</i>)	13,22 ± 3,43	45,56 ± 4,07
RV8 (Riz+8 vers <i>D.saliens</i>)	12 ± 3,02	41,98 ± 9,11
RV12 (Riz+12 vers <i>D.saliens</i>)	13,14 ± 2,34	44,42 ± 7,97
EVO (Eleusine sans <i>D.saliens</i>)	9,5 ± 5,90	16,98 ± 9,69
EV4 (Eleusine+4 vers <i>D.saliens</i>)	12,78 ± 5,05	31,8 ± 8,49
EV8 (Eleusine +8 vers <i>D.saliens</i>)	10,94 ± 6,09	20,56 ± 8,94
EV12 (Eleusine +12 vers <i>D.saliens</i>)	11,22 ± 3,46	30,9 ± 10,76

1.1.3. Composantes de rendement

L'évaluation s'est faite pendant la période de récolte en tenant compte : du nombre de panicules, du nombre de grains remplis par panicule, du pourcentage de grains vides et du poids des grains totalement développés. A Madagascar, la culture de l'éleusine n'est pas destinée à la production de grains mais elle est utilisée comme plante de service en SCV ou fourrage. C'est la raison pour laquelle nous n'avons pas déterminé ses composantes de rendement.

Pour le nombre de panicule du riz, il y a en moyenne 18 panicules par pied dans tous les traitements (Tableau 5). De même, le nombre moyen de grains par panicule est de 53 pour les

traitements RV0, RV4 et RV8. Tandis qu'il augmente à 57 grains/panicule quand la quantité de vers (*D.saliens*) apporté est au nombre de 12 (RV12). Cependant, cette différence n'est pas significative.

Concernant le pourcentage de grains vides, il varie de 6,8 à 8,5%. Il n'y a pas de différence significative entre les traitements.

Pour le poids de grains pleins du riz, la tendance montre une légère augmentation de leurs poids quand le nombre de vers *D.saliens* est élevé dans le pot de culture (Tableau 5). Mais aucune différence significative n'est obtenue (Annexe IV).

Tableau 5 : Composantes de rendement du riz en pots ; RV0 : Riz sans *D.saliens* ; RV4 : riz+4 vers *D.saliens* initiaux ; RV8 : riz+8 vers *D.saliens* initiaux ; RV12 : riz+12 vers *D.saliens* initiaux

Traitement Variable	Nombre de panicules	Nombre de grains/panicule	Pourcentage en grains vides	Poids 100 grains plein
RV0	18,5 ± 2,26	52,8 ± 6,53	7,46 ± 3,13	2,47 ± 0,25
RV4	18,5 ± 1,27	52,6 ± 2,19	6,83 ± 1,99	2,33 ± 0,13
RV8	18 ± 3,69	53,40 ± 7,8	8,52 ± 2,87	2,61 ± 0,25
RV12	18,5 ± 3,43	57 ± 5,87	6,83 ± 3,17	2,60 ± 0,27

1.2. Résultats de l'essai au champ

1.2.1. Population de vers de terre dans les parcelles de riz et de l'éléusine

L'objectif de l'essai au champ était d'évaluer la dynamique et le déplacement de *D.saliens* dans un milieu sans frontière tel que le pot. Les résultats ont montré une diminution massive du nombre de ce vers dans la rhizosphère des plantes pour la culture au champ.

Pour le nombre de *D.saliens*, il n'y a que 2,5 à 15% de la population qui a été retrouvé dans les rhizosphères du riz (Figure 11), donnant une biomasse très faible de 0.0014 à 0,0072 g (Figure 12). De même pour l'éléusine, il ne reste que 2.5% de la population initiale qui a été récupéré (Figure 11) avec une biomasse variant de 0,0028 à 0,0070 g (Figure 12).

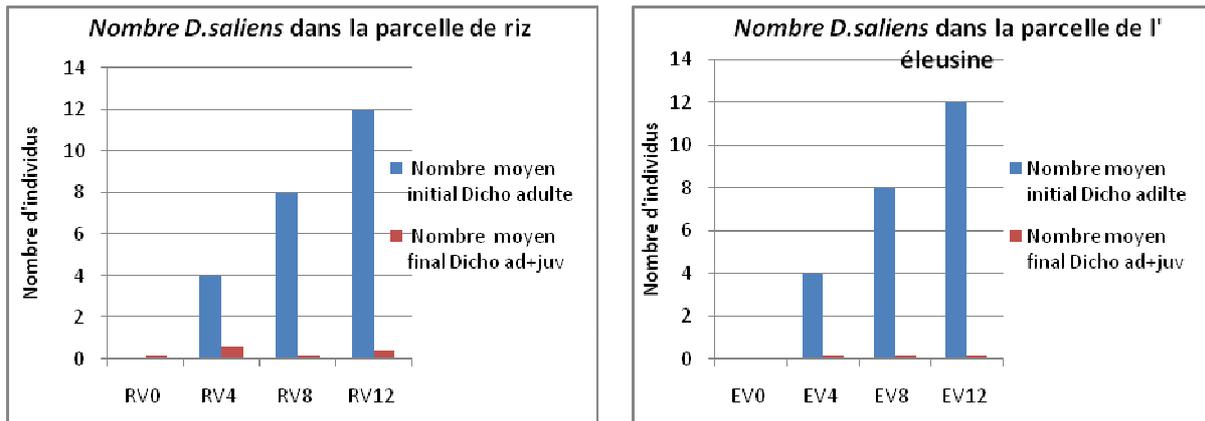


Figure 11: Evolution du nombre de *D.saliens* dans l'essai au champ avec le riz et l'éléusine ; RV0 :Riz sans *D.saliens* ; RV4 : riz+4 vers *D.saliens* initiaux ; RV8 : riz+8 vers *D.saliens* initiaux ; RV12 : riz+12 vers *D.saliens* initiaux ; EV0 :éléusine sans *D.saliens* ; EV4 : éléusine +4 vers *D.saliens* initiaux ; RV8 : éléusine +8 vers *D.saliens* initiaux ; RV12 : éléusine +12 vers *D.saliens* initiaux

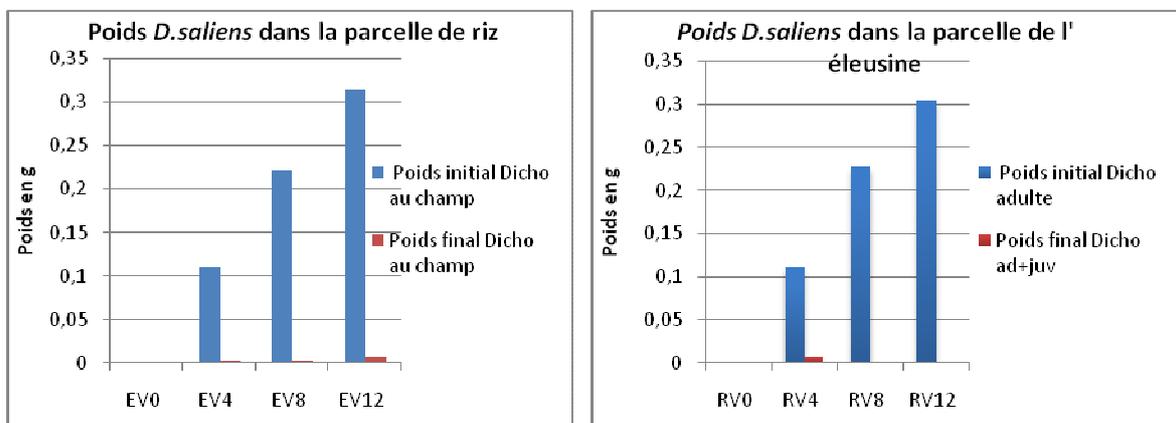


Figure 12: Evolution du poids de *D.saliens* dans l'essai au champ avec la culture riz et l'éléusine

Cependant, au champ il y a toujours apparition de *Pontoscolex corethrus* et *Amyntas minimus* dans les cultures. Pour le cas de *P.corethrus*, les vers étaient également au stade juvénile comme ceux trouvés dans les pots, le nombre moyen par pot varie de 0,2 à 2,4 vers. Tandis que *A.minimus* a été retrouvé aux stades à la fois adulte et juvénile. L'espèce *A.minimus* est toujours abondante dans les cultures où elle compte en moyenne $1,8 \pm 2,49$ à $4,6 \pm 4,04$ vers par parcelle (Tableau 6).

La présence des cocons de vers de terre sont ainsi trouvés dans l'essai en pots, avec le nombre moyen de $0,2 \pm 0,4$ à $1,2 \pm 1,7$ cocons pour la riziculture. Pourtant, celle de l'éléusine est avec un nombre de 0,4 à 0,8 cocons. Pour tous les traitements, le poids moyen des cocons de vers de terre allant de 0,01 à 0,03g.

Tableau 6: Effectifs et biomasse de *P.corethrurus* et *A.minimus* dans l'essai au champ (Ad: adulte ; Juv: juvénile; Ponto: *P.corethrurus* ; RV0 :Riz sans *D.saliens* ; RV4 : riz+4 vers *D.saliens* initiaux ; RV8 : riz+8 vers *D.saliens* initiaux ; RV12 : riz+12 vers *D.saliens* initiaux ; EV0 :éleusine sans *D.saliens* ; EV4 : éleusine +4 vers *D.saliens* initiaux ; RV8 : éleusine +8 vers *D.saliens* initiaux ; RV12 : éleusine +12 vers *D.saliens* initiaux)

Traitement variable	Nombre Ponto juvénile	Poids Ponto juvénile (en g)	Nombre Amynthas Adulte	Nombre Amynthas juvénile	Nombre Amynthas Ad+juv	Poids Amynthas Ad+juv (en g)	Nombre cocon	Poids cocon (en g)
RV0	1,8±2,68	0,11±0,19	2,4±2,61	0,8±1,3	3,2±3,11	0,07±0,06	1,2±1,79	0,03±0,04
RV4	0,4±0,55	0,05±0,06	2,6±2,97	2±2,92	4,6±3,11	0,16±0,22	0,6±1,34	0,02±0,05
RV8	0,6±0,89	0,03±0,04	1,8±2,05	2,8±2,05	4,6±4,04	0,14±0,13	0,2±0,45	0,01±0,01
RV12	1,8±3,03	0,07±0,10	2,2±3,49	1,6±1,14	3,8±4,15	0,06±0,08	1,0±1,7	0,03±0,05
EV0	0,2±0,45	0,02±0,03	2,8±4,38	1±2,24	3,8±6,5	0,08±0,13	0,4±0,9	0,01±0,03
EV4	1,2±1,79	0,04±0,06	0,4±0,55	1,4±1,95	1,8±2,17	0,04±0,04	0,4±0,9	0,01±0,3
EV8	1±1,41	0,11±0,05	1,2±1,64	0,6±0,89	1,8±2,49	0,04±0,06	0,8±1,8	0,02±0,04
EV12	2,4±3,58	0,08±0,12	1,4±2,19	1±1,73	2,4±3,29	0,08±0,12	0,8±1,1	0,02±0,03

1.2.2. Biomasse végétale

Concernant la biomasse racinaire, les poids les plus élevés pour les deux plantes, riz et éleusine se situe au niveau des traitements sans *Dichogaster* RV0 et EV0 avec respectivement 4,10 g et 16,24 g ainsi que pour les traitements avec 12 *Dichogaster* RV12 (4,12 g) et EV12 (14,62 g). Les autres traitements ont des valeurs intermédiaires 3,0 g et 3,38 g pour RV4 et RV8, 12,46 g et 12,14 g pour EV4 et EV8 (Tableau 7).

Par contre pour la biomasse aérienne, il n'y a pas de tendance claire des valeurs obtenues pour le riz. Tandis que pour l'éleusine, la tendance observée suit celle de la biomasse racinaire c'est-à-dire, les poids les plus élevés sont obtenus avec EV0 (109,76 g) et EV12 (115,74 g). Les deux autres traitements ont des valeurs plus faibles (Tableau 7). Pourtant, les différences ne sont pas statistiquement significatives entre les traitements.

Tableau 7 : Biomasse végétale du riz et de l'éléusine au champ ; RV0 :Riz sans *D.saliens* ; RV4 : riz+4 vers *D.saliens* initiaux ; RV8 : riz+8 vers *D.saliens* initiaux ; RV12 : riz+12 vers *D.saliens* initiaux ; EV0 :éléusine sans *D.saliens* ; EV4 : éléusine +4 vers *D.saliens* initiaux ; RV8 : éléusine +8 vers *D.saliens* initiaux ; RV12 : éléusine +12 vers *D.saliens* initiaux

Traitement Variable	Poids sec racine (en g)	Poids sec tige+feuille (en g)
RV0	4,10 ± 1,03	53,78 ± 19,09
RV4	3,38 ± 1,45	36,54 ± 16,33
RV8	3 ± 2,29	54,94 ± 31,47
RV12	4,12 ± 1,35	45,12 ± 19,14
EV0	16,24 ± 8,54	109,76 ± 99,71
EV4	12,46 ± 7,55	97,28 ± 38,93
EV8	12,14 ± 7,54	98,3 ± 71,96
EV12	14,62 ± 7,05	115,74 ± 75,13

1.2.3. Composantes de rendement

D'après l'analyse de la variance, les résultats obtenus sur les composantes de rendement du riz au champ ne montrent aucune différence significative entre les traitements (Annexe IV).

Les valeurs restent plus ou moins constantes (Tableau 8).

Tableau 8 : Composantes de rendement du riz au champ

Traitement Variable	Nombre de panicules	Nombre de grains/panicule	Pourcentage en grains vides	Poids 100 grains pleins
RV0	11,62 ± 3,32	49,2 ± 5,54	3,96 ± 1,2	2,88 ± 0,09
RV4	9,86 ± 3,28	58,2 ± 9,58	4,89 ± 1,76	2,89 ± 0,19
RV8	12,63 ± 4,19	46 ± 8,15	5,12 ± 2,49	2,9 ± 0,09
RV12	11,73 ± 3,57	50,6 ± 7,06	4,19 ± 1,52	2,76 ± 0,17

CHAPITRE 2 : CORRELATION ENTRE PLANTE ET VERS DE TERRE

2.1. Corrélation entre *Dichogaster saliens* et riz

Pour pouvoir structurer les différentes variables étudiées et voir celles qui sont associées entre elles, des analyses en composantes principales (ACP) ont été réalisées. L'analyse de corrélation a été faite entre les valeurs finales de vers de terre et des plantes. Les résultats ont montré que c'est uniquement au niveau de l'essai en pot qu'une corrélation existe entre les vers *D.saliens* et le riz.

La Figure 13 montre le cercle de corrélation présentant le partenariat *D.saliens* - riz, qui donne une représentation sur le plan factoriel 1-2 qui explique 61,29% de la variance totale (axe F1 39,37%, axe F2 21,92%). Les axes 3, 4 et 5 expliquent respectivement 11,05%, 9,67% et 6,30% de l'information. Les 5 axes expliquent 88,30% des informations sur les variables étudiées.

L'axe F1 est essentiellement expliqué par le nombre de *D.saliens* adulte+juvénile ($r = 0,830$). Les variables suivantes sont aussi liées à cette axe : le poids de *D.saliens* adulte+juvénile ($r = 0,815$), le nombre de *D.saliens* juvénile ($r = 0,795$), le nombre de *D.saliens* adulte ($r = 0,759$) et le poids 100 grains pleins du riz ($r = 0,682$). A l'opposé, lié négativement à cet axe 1 la variable nombre de talles de riz /touffe ($r = -0,680$).

L'axe F2 est expliqué principalement par le poids sec tige+feuille ($r = 0,723$). Le nombre de panicule/touffe ($r = 0,673$) est également lié à cet axe.

L'axe F3 est expliqué par le poids total des grains ($r = 0,884$). La variable pourcentage de grains vide ($r = -0,524$) est liée négativement à cet axe 3.

L'axe F4 est expliqué par le nombre de grains/ panicule ($r = 0,654$) et l'axe F5 par le poids 100 de grains vides ($r = 0,560$).

La projection des individus (Figure 13) sur le plan principal 1 – 2 montre 3 groupes distincts :

Groupe 1: constitué par la riziculture en pot ayant reçu de nombreux vers de terre *D.saliens* au début de la culture, c'est-à-dire 12 vers de terre initiaux (RV12). Ce groupe est caractérisé par un nombre et un poids de *D.saliens* adultes et juvéniles relativement élevés en corrélation avec le poids 100 grains plein du riz.

Groupe 2 : La culture du riz en pot n'ayant pas reçu de vers de terre *D.saliens*, c'est le traitement RV0. Ce groupe est caractérisé par un pourcentage de grains vides, un nombre de talles /touffe relativement élevé et un poids total des grains relativement faible.

Groupe 3 : Les cultures du riz ayant reçu un nombre intermédiaire de vers de terre *D.saliens*. Ce sont les traitements RV4 (4 vers initiaux) et RV8 (8 vers initiaux). Ce groupe est caractérisé par le poids sec racine relativement faible.

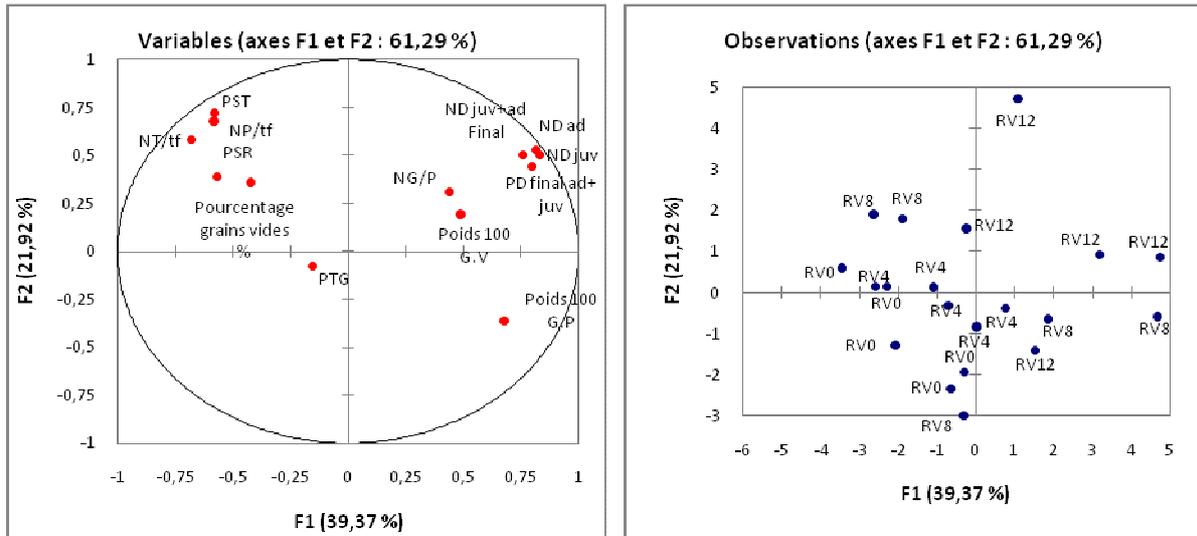


Figure 13 : Cercle de corrélation du nombre de *D.saliens* adulte (NDad), du nombre *D.saliens* juvénile (NDjuv), du poids *D.saliens* adulte +juvénile (PD ad+juv), du poids 100 grains pleins et vides (poids 100GP et 100GV), du poids sec tige et racine (PST. PSR, du nombre de talle/touffe (NT/tf) et du nombre de panicule/touffe (NP/tf)

2.2. Corrélation entre *Dichogaster saliens* et éléusine

La corrélation entre le *D.saliens* et l'éléusine a été déterminée avec une ACP. Seulement les résultats de l'essai en pots qui montre cette corrélation. Le cercle de corrélation (Figure 14) donne une représentation sur le plan factoriel 1 - 2 qui explique 72,78 % de la variance totale des deux composantes : 48,40 % pour la composante 1 et 24,38 % pour la composante 2. Les autres axes n'apportent pas d'information intéressante complémentaire.

L'axe F1 est principalement expliqué par le nombre finale du *D.saliens* adulte + juvénile ($r = 0,975$). Les variable nombre finale *D.saliens* adulte ($r=0,912$), poids finale *D.saliens* adulte + juvénile ($r = 0,896$) et nombre *D.saliens* juvénile ($r = 0,664$) sont ainsi liés à cet axe.

L'axe F2 est expliqué par le poids total des grains ($r = 0,808$). Cet axe est également lié avec le poids sec racine ($r = 0,804$).

La figure 14 représente également la projection des individus sur un plan principal 1 et 2. Trois groupes sont identifiés :

Le groupe 1 est formé par la culture de l'éléusine en pots ayant de nombreux vers de terre (12 *D.saliens*) au début de la culture. Ce groupe est caractérisé par le nombre de *D.saliens* juvénile corrélé positivement avec le poids sec de la tige+feuille de l'éléusine.

Le groupe 2 : constitué par la culture de l'éléusine en pots n'obtenue pas l'apport en vers de terre (*D.saliens*) au début de la culture (EV0). La biomasse racinaire (poids sec racine) et aérienne (poids sec tige +feuille) de l'éléusine sont relativement faibles pour cette EV0.

Le groupe 3 est composé de la culture de l'éléusine en pots qui a reçu un nombre de 4 et 8 vers de terre (*D.saliens*). Ce groupe est caractérisé par le poids total des grains de l'éléusine relativement élevé.

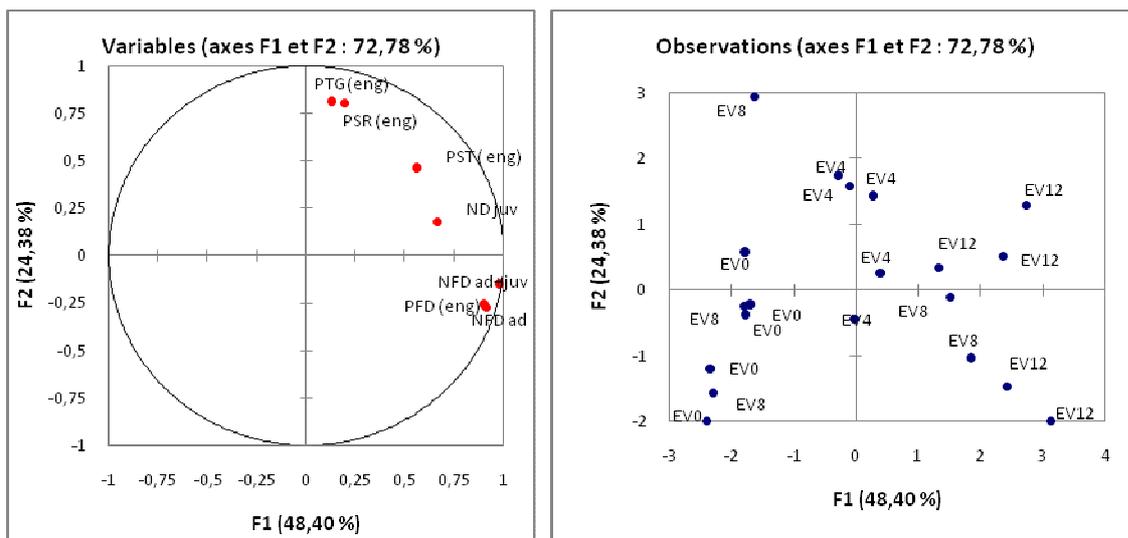


Figure 14 : Cercle de corrélation de *D.saliens* et de la biomasse de l'éléusine en pots (ND : nombre *D.saliens* ; PST : poids sec tige+feuille ; PSR : poids sec racine ; PTG : poids total grains, NFD : nombre final *D.saliens* ; ad : adulte ; juv : juvénile)

CHAPITRE 3 : DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

3.1. Evolution des vers de terre *Dichogaster saliens* dans la culture de riz et de l'éléusine en pots et au champ

Les petits vers de terre *Dichogaster saliens* ont été collectés dans un milieu de type forestier, c'est-à-dire en présence d'arbres, sous ombrage et de litières épaisses de feuilles mortes et d'humus. C'est un endroit où l'humidité du sol est bien conservée. Les vers étaient logés dans les racines ou sous la litière épaisse. Comme ces vers vivent dans les racines, l'hypothèse de l'étude était que la présence de ces vers améliore la production du riz et de l'éléusine due à ses activités minéralisatrices dans le sol. Le transfert des *Dichogaster saliens* dans le système cultivé de riz en mésocosme avec paillage du sol a montré que cette espèce peut s'adapter hors de son milieu naturel.

Les résultats montrent une augmentation du nombre de population de *D.saliens* dans la culture de riz avec inoculation de 12 vers initiaux. Cette augmentation est caractérisée par la présence de vers juvéniles. Cependant, la population reste constante lorsqu'on inocule un nombre inférieur de *Dichogaster saliens* (4 et 8 vers initiaux). Il semble qu'il y a un effet de groupe favorisant la reproduction des vers. Les vers *D.saliens* ont été tous retrouvés entre les racines du riz. Ceci montre que la rhizosphère du riz convient à la survie et à la reproduction de *D.saliens*. La température et l'humidité du sol sont les variables environnementales clés qui influencent la croissance, la survie et la fécondité des vers de terre (Satchell, 1967 ; Hartensein et Amico, 1983 ; Sims et Gerard, 1999). En effet, l'humidité du sol était bien retenue dans la culture en pots sous paillage, ce qui a certainement contribué en partie à la viabilité des vers. Par contre, dans les mêmes conditions de culture en pots, la population de vers de terre *D. saliens* a diminué dans les racines de l'éléusine ce qui laisse supposer qu'il y a eu mortalité des individus. Une étude antérieure en mésocosme a montré l'influence de la qualité des résidus sur la présence et les activités de *P. corethrurus* (Coq et al., 2007), donc de leur viabilité. La paille de riz est supposée plus palatable pour les vers de terre car elle contient une forte proportion de composés solubles (28,9% de C soluble). Le résidu de riz favorisait la production de turricules par les vers. Par transposition, nous faisons l'hypothèse que la qualité biochimique de l'éléusine ne convient pas à la survie des *D. saliens*. Il y a probablement un effet allélopathique de l'éléusine. L'allélopathie est un mécanisme d'interférence des plantes avec son environnement par sécrétion de substances chimiques nocives ou toxiques qui inhibent la croissance d'autres organismes (Kavitha et al., 2012).

Sivakumar et al. (2006) a trouvé que l'éléusine pourrait être utilisée pour lutter contre différentes insectes de denrées stockées (bruches, charançons, etc.). En effet, leurs études ont montré l'inhibition de l' α -amylase, dans l'intestin des insectes riche en cette enzyme, par l'éléusine. Prabha et al. (2007) ont confirmé la présence de différentes enzymes de digestion dans les intestins des vers de terre dont l'amylase. Nous émettons donc l'hypothèse que l'éléusine a eu un effet inhibiteur de l'amylase de *D. saliens*.

Pour l'essai au champ où il n'y a plus de barrière pour retenir les vers, une disparition massive de la population du *D. saliens* a été observée pour les deux cultures (riz et éléusine). Soit les vers se sont, déplacés vers un autre endroit où la condition écologique est plus favorable à leur survie, soit ils étaient morts. Les causes peuvent être multiples, d'une part, elles peuvent être dues au fait que *D. saliens* ne s'adapte pas dans cette niche écologique à cause des agressions multiples comme les facteurs édaphiques, la texture et l'humidité du sol d'autre part, il y aussi l'effet des prédateurs et parasites des vers (Bachelier, 1978) qui peuvent être présents dans les parcelles sans barrières. En effet, dans les pots, le sol était tamisé pour éliminer les autres vers avant la mise en place, ce qui a également exclu les autres insectes qui aurait pu interférer avec les vers. Tandis que ce n'est pas le cas pour l'essai au champ. Selon Frago et al. (1997), les espèces de vers de terre épigées ne sont pas très répandues dans les systèmes agricoles. La dépendance de leur survie aux couches de litière suggère une mise en place d'une bonne gestion de celle-ci dans le champ pour que les rôles de ces vers dans la fonction du sol soient effectifs.

3.2. Effets *Dichogaster saliens* sur le riz et éléusine

3.2.1. Effets sur la biomasse végétale

Le résultat en pots de l'effet des vers de terre (*Dichogaster saliens*) sur la biomasse racinaire du riz montre que la présence de vers dans les racines réduit légèrement la biomasse racinaire des plantes. Quelques études, font l'état d'effets négatifs causés par les vers de terre sur les cultures. Les galeries des vers ainsi que leurs turricules sont souvent en contact étroit avec la rhizosphère. De ce fait, la présence des vers peut affecter négativement les racines, particulièrement les jeunes pousses qui n'ont pas encore développé de cortex protecteur. Barrion et Litsinger (1996) ont reporté un phénomène d'abrasion racinaire lié à la présence de vers de terre dans une culture de riz aux Philippines. Certains auteurs tels que Cortez et Bouché (1992) ont également supposé que les vers de terre se nourrissent de racines vivantes. Des analyses du bol alimentaire prélevé dans le gésier et du tube digestif de 30 espèces

différentes de vers de terre ont révélé que les racines ne formaient qu'une fraction infime de l'alimentation des lombrics (Brown et al. 1999). Ainsi, nous supposons que la faible diminution de la biomasse racinaire en présence de *D. saliens* est due à cet effet.

Contrairement au riz, l'éleusine présente une augmentation des biomasses racinaires et aériennes en présence de *D. saliens*. Même si l'analyse statistique ne montre pas de différence significative entre les traitements concernant ces variables, cette tendance est notable. Cela est surprenant car la population de *D. saliens* a diminué dans la culture d'éleusine. Ceci laisse supposer que l'éleusine utilise efficacement les produits des activités minéralisatrices des vers *D. saliens* malgré leur faible nombre.

3.2.2. Effet sur les composantes de rendement du riz

Pour la composante de rendement, le poids de 100 grains pleins du riz est corrélé positivement avec le nombre et le poids finaux de *Dichogaster* (adulte + juvénile) qui est lié au traitement RV12 ou 12 vers initiaux. Il est connu que le poids de 100 grains est une caractéristique variétale. Cependant, nos résultats montrent que le poids de 100 grains de la même variété de riz varie selon les traitements. Cela suppose que le remplissage des grains soit différent entre les traitements. Le remplissage des grains est fonction du climat, de la santé des plantes ou des carences en nutriments. La corrélation observée pour RV12 suppose que les activités des vers dans les racines du riz ont améliorées la nutrition de celui-ci. Le facteur limitant majeur pour l'amélioration de la productivité du riz pluvial pour un sol acide est la carence en phosphore (Dobermann et Fairhurst, 2000). Ainsi dans la plupart des cas, la carence en phosphore doit être corrigée avant d'obtenir une réponse à l'azote. Le phosphore, est présent sous forme d'acide phosphorique de façon abondante dans tous les organes jeunes de la plante et dans les semences. Cependant, c'est dans les graines que se trouvent plus de 70 % du phosphore total de la plante.

Les vers de terre influencent la disponibilité du phosphore dans le sol, ceci a été vérifié aussi bien chez les vers endogés, anéciques qu'épigés (Guerra, 1982, Jimenez et al., 2003, Kuczak et al., 2006 et Gupta et al., 2007). Les vers transforment le phosphore fixé par le complexe absorbant du sol sous une forme accessible aux plantes à l'aide des enzymes phosphatases présentes dans leur transit intestinal. Toutefois, il y a une ingestion sélective des fines particules par les vers de terre (Brossard *et al*, 1996). Nous déduisons donc que sous l'action des nombreux *D. saliens* de RV12, une biodisponibilité en P du sol aurait amélioré le remplissage de grains de riz.

3.3. Comportement du *Dichogaster saliens* en présence de *Pontoscolex corethrurus* et *Amyntas minimus*

L'apparition de vers *P.corethrurus* et *A. minimus* dans l'essai en pots peut être expliqué par deux moyens : soit ils proviennent à l'origine du substrat utilisé, soit par introduction directe dans les pots due à leur position au niveau du sol, juste avec un affleurement de 5cm.

Les résultats de l'ACP montrent qu'aucune corrélation n'existe entre la population de *D.saliens* avec les deux autres vers de terre (Annexe III). Du point de vue écologique, les espèces *D.saliens* et *A. minimus* sont tous deux épigées et ont le même régime alimentaire en ingérant les matières organiques en surface. Mais d'après les résultats de l'expérimentation, l'effet de la compétition n'est pas apparu. En effet, même épigées, *D. saliens* occupent une niche écologique bien particulière dans les racines des plantes et étaient restés dans cet endroit. L'absence de compétitivité entre les différentes espèces de vers de terre pourrait ainsi être attribuée à ces différentes niches écologiques.

3.4. Limite et opportunité de l'expérimentation

➤ Limites

Une des limites de cette expérimentation réside dans la présence de vers de terre exogènes au vers étudiés dans le mésocosme. Malgré l'absence de compétition entre les trois vers par rapport à leur écologie, il pourrait y avoir des effets indirects de leur présence non décelés par les mesures faites.

Une autre limite de cette étude est l'absence d'analyse du sol au début et à la fin de l'expérience, l'analyse en phosphore et azote des plantes et des grains de riz et de l'éleusine après la récolte. En effet, ces analyses auraient pu aider à mieux déceler la présence ou non des effets des vers sur la biodisponibilité en P et N du sol.

Malgré les tendances observées dans les résultats, l'absence de différences significatives due à une forte variabilité dans les dispositifs (répétitions et blocs), n'a pas permis de bien conclure notre étude.

➤ Opportunités

Cet essai a été mené près de l'endroit où l'on a effectué le prélèvement des vers de terre (*Dichogaster saliens*). En effet, Andranomanelatra fait parti des endroits répertoriés pour la répartition géographique de *Dichogaster saliens* à Madagascar.

3.5. Recommandations

Cet essai mérite d'être reconduit car son originalité réside dans le fait que c'est la première expérimentation en milieu réel de manipulation de *Dichogaster saliens*. Notre étude a montré les différents points à améliorer pour la prochaine expérimentation. Il faudra d'abord un bon paillage pour reconstituer l'habitat naturel de *D. saliens*. Un dispositif permettant d'éliminer les contaminations des autres vers en milieu réel est nécessaire. La réduction de la variabilité entre le sol et les conditions d'expérimentation est impérative pour avoir des écart-types plus raisonnables permettant de mieux comparer les traitements.

CONCLUSION

Actuellement, il est de plus en plus reconnu que les vers de terre ont un rôle important dans la transformation de la matière organique et la dynamique des nutriments du sol pour l'amélioration de la nutrition des plantes. La manipulation de *Dichogaster saliens* dans un but agronomique est nouvelle et notre étude est en quelque sorte une étude exploratoire. Malgré quelques difficultés expérimentales, nous avons pu avoir des observations intéressantes. La démarche expérimentale choisie dans le cadre de cette étude a permis de mettre en évidence l'étude de l'interaction plante-ver de terre dans une condition semi-contrôlée. De plus, nos résultats ont montré que *D. saliens* peut coloniser de nouveaux endroits dans les sols et peuvent se multiplier.

Notre hypothèse selon laquelle la présence de vers de terre (*Dichogaster saliens*) dans la rhizosphère du riz et de l'éleusine pourrait améliorer la biomasse et la production en grains des plantes n'a été vérifiée qu'en partie. Nos résultats montrent qu'il faut un certain nombre de vers optimal pour qu'il y ait effet sur la nutrition des plantes. Ce seuil peut être fixé à 240 vers m⁻² de *D. saliens* (cas du traitement RV12, 12 vers par pot) pour avoir un début de réponse. En ce qui concerne le riz, la présence de vers diminue légèrement sa biomasse aérienne tandis que le remplissage des grains est amélioré. Par contre, les biomasses racinaires et aériennes de l'éleusine sont augmentées sensiblement en présence de vers *D. saliens* sans que cela ne se traduit sur la productivité des plantes. Paradoxalement, le nombre et le poids de *D. saliens* diminuent dans la rhizosphère de l'éleusine. Un effet allélopathique de l'éleusine sur *D. saliens* est fortement soupçonné. Ceci mérite une investigation quant à la composition biochimique de l'éleusine et l'effet de la structure de ses racines sur la viabilité des vers de terre *D. saliens*.

Le ver de terre *D. saliens* est un ver épigé de très petite taille ne produisant ni de grande turricule ni d'effet spectaculaire sur la structure du sol. Le fait qu'il soit logé dans les racines des plantes est une piste qui nous a conduits à faire cette étude. Nos résultats ouvrent donc de grandes perspectives pour la recherche sur ce ver de terre.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bachelier, 1978.** La faune des sols son écologie et son action. Initiation-Documentations techniques N°38. O. R. S. T. O. M. PARIS. 400pp
- Blanchart, E., Brown, G., G., Chernyanskii, S., S., Deleporte, P., Feller, C., et Goulet, F. 2005.** Perception et popularité des vers de terre avant et après Darwin. *Étude et Gestion des Sols*, Volume 12, 2, 2005 - pages 145 à 152
- Barois, I. et Lavelle, P.,1986.** Changes in respiration rates and some physicochemical properties of a tropical soil during transit through *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae Oligochaeta). *Soil Biology and Biochemistry* 18, 539–541
- Bouché, M., 2003.** Vers de terre, de Darwin à nos jours, un révélateur *heuristique*. Académie des sciences et lettres de Montpellier. Séance du 02/06/03 Conférence n°3826
- Bourguignon, C., 2005.** Rôle des vers de terre dans l'équilibre des sols
- Cécile, I., M., 1997.** Les macroinvertébrés du sol dans différents systèmes d'agriculture au Congo : cas particulier de deux systèmes traditionnels (écobuage et brûlis) dans la vallée du Niari. Thèse de Doctorat en Ecologie. 163pp
- Csuzdi, Cs., 1995.** A catalogue of Benhamiinae species. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien* 97 B. Budapest, Hungary 99-123pp.
- Clive G. Jones, John H. Lawton, Moshe Shachak, 1994.** Organisms as Ecosystem Engineers
- Chapuis, L. et Brossard, M., 1995.** Modifications et stabilité du phosphore échangeable d'un ferrasol ingère par un ver géophage. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences de Paris Series Ila* 320, 587–592.
- Diehl, R., 1975.** Agriculture générale. 2e édition. J.-B. Baillière, 19, rue Hautefeuille, Paris 6e.129
- Edwards, C. A., Bohlen, P. J., Linden, D. R. et Subler, S., 1995.** Earthworms in agroecosystems. In: Hendrix, P. F. (eds), *Earthworm ecology and biogeography in North America*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp. 185-213.
- Edwards, C. A. et Bohlen, P. J., 1996.** *Biology and Ecology of Earthworms* 3rd ed. Chapman and Hall, London, 426 pp.

Ehouman, N. M., Tiho, S. et Dagnogo, M., 2012. C0-occurrence of earthworms in Lamto savanna : A null model analysis of community structure. *European Journal of Soil Biology*, 53, 40-47.

Evans, A. C. et Guild, W. J. M. L., 1947. Some notes on reproduction in British earthworms. *Annals and Magazine of Nature History* 654-659.

Evans, A.,C., et Guild W., J., 1948. Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. IV - On the life cycles of some British Lumbricidae. V - Field populations. *Ann. Appl. Biol.*, 35, 4, 471-484 et 485-493.

François Munoz¹ et Christophe Girod² ; Concernant deux espèces d'Eleusine (Cyperales, Poaceae) dans l'agglomération lyonnaise.

FAO, 2001. Diagnostic et perspective de développement de la filière riz à Madagascar, 111pp, Ministère de l'agriculture, UPDR, Madagascar.

Freitas, R., P., 2012. Effet du ver de terre *Aporrectodea caliginosa* sur la croissance des plantes, leur développement et leur résistance aux pathogènes. Thèse de Doctorat de l'Université Paris-Est en Sciences de l'Univers et de l'Environnement. 201p

George G. Brown, Samuel W. James, 2006. Exotic, Peregrine, and Invasive Earthworms in Brazil: Diversity, Distribution, and Effects on Soils and Plants. 20 pp

Groot, J.J., Mouhamadou Traoré et Daouda Koné , 1997. Description du système racinaire de trois espèces fourragères en zone soudano-sahélienne : *Andropogon gayanus*, *Vigna unguiculata* et *Stylosanthes hamata*. Pays Bas. 119pp.

Huber, G., 2011. La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. AGRICULTURE & TERROIRES ; Chambre d'agriculture BAS-RHIN.

Huerta, E., 2002. Étude comparative des facteurs qui déterminent la biomasse et la densité de vers de terre aux zones naturelles et anthropisés dans les sols de tropiques. Tesis doctoral. Universidad Paris 6 Pierre et Marie Curie. Paris.

Hirissou, F., 2012. Préserver les sols. Chambre d'agriculture

Huynh, T., M., D., 2009. Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante/ ver de terre/ microflore tellurique. Thèse de Doctorat de l'Université Paris-Est en Ecologie microbienne. 169pp

Hinsinger, P., 2012. Interactions entre céréale et légumineuse en association et acquisition de phosphore du sol : processus *rhizosphériques sous-jacents*. Thèse en Doctorat spécialisé en Ecosystème. Sibaghe.244

Husson, O., Charpentier, H., Michellon, R., Razafintsalama, H., Moussa, N., Enjalric, F., Naudin, K., Rakotondramanana, Seguy, L., 2012. *Eleusine coracana*. Fiches techniques plantes de couverture : Graminées annuelles. Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Volume III. Chapitre 3. § 2.2.

Jana, U., 2009. Etude des interactions entre la plante *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh et le ver de terre *Aporrectodea caliginosa* (Savigny) : Application à la phytoremédiation de l'arsenic et de l'antimoine.

Kavitha, D., Prabhakaran, J., et Arumugam, K., 2012. Allelopathic influence of *Excoecaria agallocha* L. on seed germination and seedling growth of some pulses and millets. International Journal of Pharma and Bio Sciences. Tamil Nadu, India. 10. ISSN 0975-6299

Langmaack M., Schrader S, 1999. Nutrient content of earthworm casts influenced by different mulch types. European Journal of Soil Biology, 35: 23-30.

Lacharme, M., 2001. Le plant de riz : données morphologiques et cycle de la plante, 19pp, Ministère du développement rural et de l'environnement : direction de la recherche formation vulgarisation, France.

Lacharme, M., 2001. La fertilisation minérale du riz, 15pp, Ministère du développement rural et de l'environnement : direction de la recherche formation vulgarisation, France.

Lara Zirbes1et al. 2009, Mise en relation de la diversité des vers de terre et des caractéristiques du sol de Thua Thien Hue (Centre Vietnam). Tropical Conservation Science Vol.2(3):282-298, 2009

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

- Martin, A., Mariotti, A. et Balesdent J.**, 1992. Mise en évidence de l'impact des vers de terre sur la dynamique de la matière organique du sol par la biogéochimie isotopique du carbone
- Masse D**, 2007. Changement d'usage des terres dans les agro-systèmes d'Afrique subsaharienne. Propriétés des sols et dynamique des matières organiques. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'habilitation à diriger des recherches. Hal.archives-ouvertes.fr
- Mengel, D.B**, 1996. Fertilizing corn grown conservation tillage. In agronomy Gmde.Dept.of agronomy, Purde univ., West Lafayette, IN.
- Menard, O.**, 2005. Les ouvriers du sol et les pratique agricoles de conservation. Colloque en environnement : « Des outils d'intervention à notre échelle »
- Natchimuthu Karmegam, Radha D. Kale, Thilagavathy Daniel, M. Nurul Alam, and Martín Gerardo Rodríguez**; 2010. Status, Trends, and Advances in Earthworm Research and Vermitechnology. Hindawi. 136pp
- Pelosi, C.**, 2008. Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre lumbricus terrestris au champ. Contribution a l'étude de l'impact de systèmes de culture sur les communautés lombriciennes Thèse Doctorat à l'université Agro pariTech. 141pp
- Peres, G.**, 2003. Identification et quantification in situ des interactions entre la diversité lombricienne et la macro-bioporosité dans le contexte polyculture breton. Influence sur le fonctionnement hydrique du sol. Thèse de Doctorat à l'université de Rennes 1.266pp
- Parmelee, R. W. et Crossley, D. A. J.**, 1988. Earthworm production and role in the nitrogen cycle of a no-tillage agroecosystem on the Georgia Piedmont. Pedobiol. 32, 351-361
- Penot, E.** 2009. Rôle et place du riz pluvial dans les exploitations du Vakinankaratra (Hauts Plateaux et Moyen Ouest). Atelier nationale sur la recherche et le développement du riz pluvial à Madagasacar. 41pp
- Rabary, B.**, 2011. Impact du semis direct sous couverture végétale sur la macrofaune et la microflore des sols ferrallitiques d'Andranomanelatra, Antsirabe, Hautes Terres malgaches. Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, spécialité : Biologie Végétale (Physiologie Végétale) 211

Robin, R., 2012. Stimuler la croissance des plantes pour mieux valoriser les ressources agricoles : Les engrais minéraux comme hôtes de microorganismes stimulant la croissance des plantes. Congrès sucrier ARTAS / AFCAS 2012, La Réunion

Razafindrakoto, M., 2012. Etude des Oligochètes de Madagascar : Taxonomies, écologies et distributions Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, spécialité : Biologie Animale 151p

Sivakumar, S., Mohan, M., Franco, O., L., Thayumanavan, B., 2006. Inhibition of insect pest α -amylases by little and finger millet inhibitors. Pesticide Biochemistry and Physiology 85 155–160.

Soltner, D., 2005. Les bases de la production végétale. Tome1. Le sol et son amélioration, 24^{ème} édition. 472pp.

Wenz, M., 2008. L'extraordinaire pouvoir des vers de terre. BIOFIL



ANNEXES

ANNEXE I

Description et anatomie du *Dichogaster saliens*

Dichogaster saliens (Beddard, 1893) *Microdrilus saliens* Beddard, 1893: 683.

Matériel examiné. ZMUA-020, 2 ex. Ankarafantsika parc, Antsirabe. Coll. Razafindrakoto M. et Blanchart E., 06.01.2009.

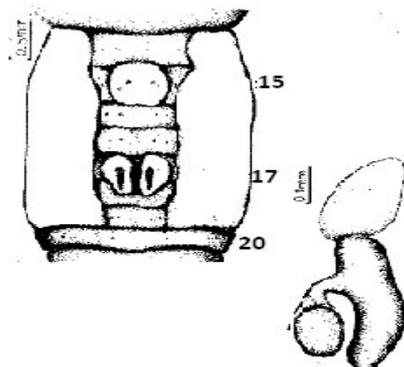
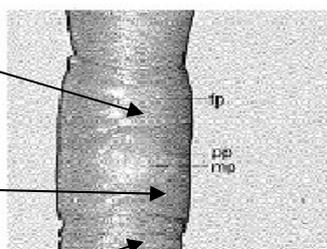
Diagnose: Pore mâle pair postérieur aux pores prostatiques, dans des porophores sur le segment 17 et vers l'arrière dans les cannelures séminales sur 18. Pore femelle pair sur 14. Dernier cœur sur 12, gésier sur 5 – 6. Glandes calcifères sur segments 15- 17.

Description: La longueur varie entre 30 – 60 mm avec un diamètre égal à 1,5 mm, le segment compte au totale entre 70 – 120. Il n'y a pas de pigmentation et durant une expérience faite avec cette espèce, nous l'avons appelée, petit vers rayés car à l'intérieur du corps, nous avons observé une sorte de rayure sombre et claire qui s'intercalent. Le clitellum en forme de selle sur $\frac{1}{2}$ 13-20, la couleur est un peu marron orangé. Le prostomium est de type épilobique. Le premier pore dorsal se localise sur 5/6. Les soies est 8 par segment, petite et de type pair rapprochées sur la face ventrale. Le pore mâle est dans des porophores sur le segment 17 et s'étale un peu vers l'arrière dans des cannelures séminales en position équatoriale sur le segment 18. Le pore femelle est paire et médian à la ligne de soie (a) sur le segment 14. Une petite papille génitale en position médio-ventrale sur l'inter-segment 15/16. Les pores de spermathèque se localisent tout près de la ligne de soie (a) sur les inter-segments 7/8 et 8/9. de type pair rapprochées sur la face ventrale. Le pore mâle est dans des porophores sur le segment 17 et s'étale un peu vers l'arrière dans des cannelures séminales en position équatoriale sur le segment 18. Le pore femelle est pair et médian à la ligne de soie sur le segment 14. Les pores de spermathèque se localisent tout près de la ligne de soie sur les inter-segments 7/8 et 8/9.

Pore femelle

Pore prostatique

Pore mâle



Spermathèque

Caractère interne: Gésier se localise dans les segments 5 et 6, ils sont musculaires. L'intestin s'élargit dans le segment 17. Les glandes calcifères sont digitiformes et blanchâtres dans les segments 15 – 17. Le vaisseau dorsal est simple, le dernier coeur s'observe sur le 12ème segment. Le dissépinement commence sur l'inter-segment 11/12. Les testicules et canaux déférents sur les segments 10 et 11 et des petites vésicules séminales sur le 11 et 12. Les ovaires sont petits et de couleur rose sur le segment 13, une paire de prostate tubulaire sur le segment 17, chacun est rattachée à une conduite avec une petite glande. Les spermathèques sont paires avec des ampoules sphériques et des diverticules. Les néphridies sont méroïques et il y a 4 rangées à chaque côté aux alentours du clitellum

ANNEXE II

Caractéristique et distribution géographique des Vers de terre (*Pontoscolex corethrurus* et *Amyntas minimus*)

- *Pontoscolex corethrurus* :

- Phylum : Annelida
- Classe : Clitellata
- Sous-classe : Oligochaeta
- Ordre : Haplotaxida
- Sous-ordre : Lumbricina
- Superfamille : Lumbricoidea
- Famille : Glossoscolocidae
- Genre/espèce : *Pontoscolex corethrurus*

C'est un ver endogé mésohumique originaire du plateau guyanais (Righi, 1984). Il appartient à la famille des *Glossoscolocidae* et présente une distribution pantropicale. Il s'agit d'un ver rouge, mesurant de 7 à 10 cm de long pour 3 à 4 mm de diamètre son poids est d'environ un gramme. Chez l'adulte, le clitellum recouvre les segments 14 à 22. Il vit dans les 10 à 20 cm superficiels du sol.

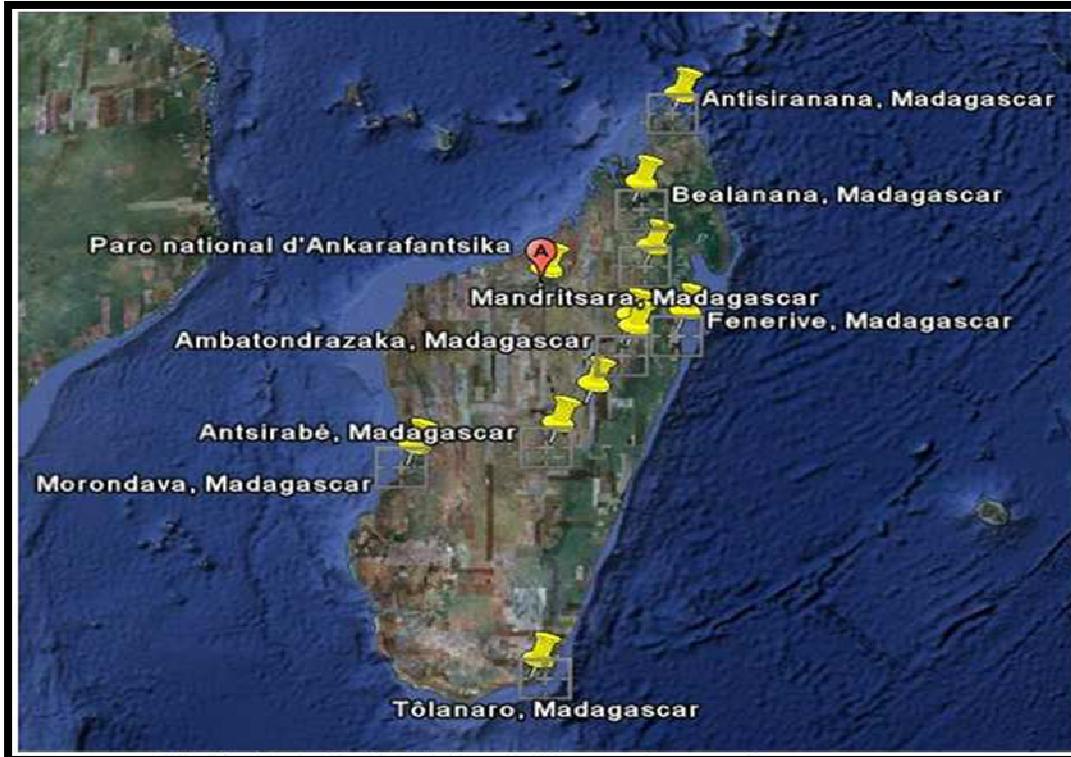
- *Amyntas minimus* :

Selon (Horst, 1893)

Règne :	Animalia	Caractères externes
Phylum :	Annelida	Longueur 22-60 millimètres, largeur de clitellum 1,5-2,5 millimètres, segment numéro 74-100.
Classe :	Clitellata	Prostomium epilobous. Premier pore dorsal
Ordre :	Haplotaxida	11/12 ou 12/13. Clitellum 14-16, annulaire. Pores de Spermathecal un paire dans 5/6 ou absent.
Super Ordre :	Lumbricina	Pore femelle simple dans 14, medio-ventral. Les
Famille :	Megascolocidae	pores masculins ont appareillé dans 18, sur
Genre /espèce :	<i>Amyntas minimus</i>	simple poropores circulaires. Rouge de phase de lumière de spécimens au blanc rougeâtre.

Distribution de *Pontoscolex corethrurus*

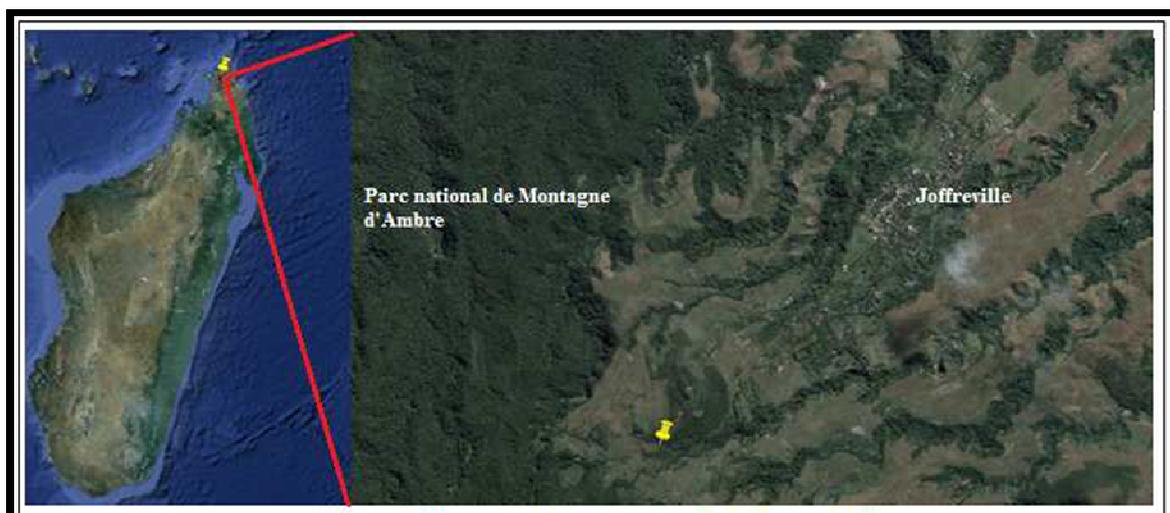
Cette espèce a été répertoriée dans toutes les régions de collecte durant le travail de Razafindrakoto M. en 2009. C'est une espèce cosmopolite qui colonise tous les types de milieux.



Carte de distribution du *Pontoscolex corethrurus*

Distribution de l' *Amyntas minimus*

Cette espèce a été répertoriée à côté du parc national de la Montagne d'Ambre à Antsiranana, 12°30'45.43" S; 49°11'17.50" E, à une altitude de 949 m.



Carte de distribution de l' *Amyntas minimus* à Madagascar

NNEXE III

TABLEAU DE CORRELATION

Tableau de corrélation entre les vers de terre *D.saliens*, *P.corethrurus* et *A.minimus* dans la riziculture en pots (ND : Nombre *D.saliens* ; PD : Poids *D.saliens*, NP : Nombre *P.corethrurus* ; PP : Poids *P.corethrurus* ; NA : Nombre *A.minimus* ; PA : Poids *A.minimus* ; ad : adulte ; juv : juvénile)

Variables	ND ad	ND juv	ND juv+ad Final	PD final ad+ juv (en g)	NP juv	PP juv (en g)	NA Ad	NA juv	NA juv +ad	PA ad+juv (en g)
ND ad	1	0,752	0,940	0,951	0,140	-0,004	0,126	-0,039	0,081	0,143
ND juv	0,752	1	0,932	0,829	-0,034	0,023	0,037	0,256	0,155	0,110
ND juv+ad Final	0,940	0,932	1	0,953	0,059	0,010	0,088	0,111	0,125	0,135
PD final ad+ juv (en g)	0,951	0,829	0,953	1	0,037	0,051	0,098	0,026	0,091	0,153
NP juv	0,140	-0,034	0,059	0,037	1	0,613	-0,232	-0,064	-0,216	-0,268
PP juv(en g)	-0,004	0,023	0,010	0,051	0,613	1	-0,325	0,008	-0,255	-0,307
NA Ad	0,126	0,037	0,088	0,098	-0,232	-0,325	1	0,161	0,876	0,969
NA juv	-0,039	0,256	0,111	0,026	-0,064	0,008	0,161	1	0,618	0,282
NA juv +ad	0,081	0,155	0,125	0,091	-0,216	-0,255	0,876	0,618	1	0,910
PA ad+juv (en g)	0,143	0,110	0,135	0,153	-0,268	-0,307	0,969	0,282	0,910	1

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

Tableau de corrélation entre les vers de terre *D.saliens*, *P.corethrurus* et *A.minimus* dans la culture de l'éleusine en pots (ND : Nombre *D.saliens* ; PD : Poids *D.saliens*, NP : Nombre *P.corethrurus* ; PP : Poids *P.corethrurus* ; NA : Nombre *A.minimus* ; PA : Poids *A.minimus* ; ad : adulte ; juv : juvénile)

Variables	NFD ad	ND juv	NFD ad+juv	PFD (eng)	NP juv	PP juv (en g)	NA ad	NA juv	NA ad+juv	PA ad+juv (eng)
NFD ad	1	0,376	0,943	0,950	-0,143	-0,175	0,073	0,303	0,186	0,109
ND juv	0,376	1	0,662	0,332	0,401	0,291	-0,203	0,079	-0,095	-0,120
NFD ad+juv	0,943	0,662	1	0,887	0,028	-0,038	-0,014	0,273	0,116	0,045
PFD (eng)	0,950	0,332	0,887	1	-0,152	-0,184	0,019	0,186	0,098	0,037
NP juv	-0,143	0,401	0,028	-0,152	1	0,908	-0,011	-0,209	-0,103	-0,048
PP juv (en g)	-0,175	0,291	-0,038	-0,184	0,908	1	0,109	-0,146	0,004	0,056
NA ad	0,073	-0,203	-0,014	0,019	-0,011	0,109	1	0,634	0,935	0,961
NA juv	0,303	0,079	0,273	0,186	-0,209	-0,146	0,634	1	0,866	0,713
NA ad+juv	0,186	-0,095	0,116	0,098	-0,103	0,004	0,935	0,866	1	0,947
PA ad+juv (eng)	0,109	-0,120	0,045	0,037	-0,048	0,056	0,961	0,713	0,947	1

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

ANNEXE IV : ANOVA au seuil de signification de 5 %

EXPERIMENTATION EN POTS

RIZ EN POTS

➤ TIGE

Tableau analyse de la variance (Variable Poids sec tige en g)

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	33,482	11,161	0,239	0,868
Erreur	16	746,696	46,669		
Total corrigé	19	780,178			

➤ RACINE

Analyse de la variance (Variable Poids sec racine(en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	18,100	6,033	0,599	0,625
Erreur	16	161,128	10,071		
Total corrigé	19	179,228			

➤ GRAINES

Analyse de la variance (Variable P.T graines final (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	100,348	33,449	1,365	0,289
Erreur	16	392,024	24,502		
Total corrigé	19	492,372			

➤ COMPOSANTE DE RENDEMENT

1. Poids des grains

Analyse de la variance (Variable Poids 100 G.P (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,260	0,087	1,594	0,230
Erreur	16	0,869	0,054		
Total corrigé	19	1,129			

2. Pourcentage de grains vides

Analyse de la variance (Variable Pourcentage grains vides %) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	9,574	3,191	0,399	0,756
Erreur	16	128,013	8,001		
Total corrigé	19	137,587			

3. Nombre de grains remplis par panicule

Analyse de la variance (Variable Nombre grains/panicule) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	63,750	21,250	0,595	0,627
Erreur	16	571,200	35,700		
Total corrigé	19	634,950			

4. Nombre de panicule

Analyse de la variance (Variable Nombre de panicules/touffe) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,938	0,313	0,039	0,989
Erreur	16	128,500	8,031		
Total corrigé	19	129,438			

VERS DE TERRE

1. *Dichogaster saliens*

Analyse de la variance (Variable Nombre *Dichogaster* Adulte final) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	220,550	73,517	10,318	0,001
Erreur	16	114,000	7,125		
Total corrigé	19	334,550			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Dichogaster* Juvénile) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	147,750	49,250	5,212	0,011
Erreur	16	151,200	9,450		
Total corrigé	19	298,950			

Analyse de la variance (Variable Poids final *Dichogaster* (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,235	0,078	11,131	0,000
Erreur	16	0,113	0,007		
Total corrigé	19	0,347			

2. *Pontoscolex corethrurus*

Analyse de la variance (Variable Nombres *Pontoscolex* Adulte) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	5,400	1,800	1,000	0,418
Erreur	16	28,800	1,800		
Total corrigé	19	34,200			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Pontoscolex* juvénile) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	19,750	6,583	1,616	0,225
Erreur	16	65,200	4,075		
Total corrigé	19	84,950			

Analyse de la variance (Variable Poids *Pontoscolex* (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,115	0,038	1,075	0,388
Erreur	16	0,572	0,036		
Total corrigé	19	0,688			

3. *Amyntas minimus*

Analyse de la variance (Variable Nombre *Amyntas* Adulte) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	62,550	20,850	0,719	0,555
Erreur	16	464,000	29,000		
Total corrigé	19	526,550			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Amyntas* juvénile) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	18,600	6,200	0,552	0,654
Erreur	16	179,600	11,225		
Total corrigé	19	198,200			

Analyse de la variance (Variable Poids *Amyntas* (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,284	0,095	0,715	0,557
Erreur	16	2,119	0,132		
Total corrigé	19	2,403			

ELEUSINE EN POTS

Analyse de la variance (Variable Poids sec tige(en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	825,348	275,116	3,042	0,059
Erreur	16	1446,820	90,426		
Total corrigé	19	2272,168			

Analyse de la variance (Variable Poids sec racine(en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	27,151	9,050	0,331	0,803
Erreur	16	437,927	27,370		
Total corrigé	19	465,078			

Analyse de la variance (Variable P.T graines final (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	199,046	66,349	1,215	0,336
Erreur	16	873,724	54,608		
Total corrigé	19	1072,770			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Dichogaster* Adulte final) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	104,200	34,733	6,492	0,004
Erreur	16	85,600	5,350		
Total corrigé	19	189,800			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Dichogaster* Juvénile) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	17,600	5,867	4,789	0,014
Erreur	16	19,600	1,225		
Total corrigé	19	37,200			

Analyse de la variance (Variable Poids final *Dichogaster* (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,106	0,035	6,201	0,005
Erreur	16	0,092	0,006		
Totalcorrigé	19	0,198			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Pontoscolex* juvénile) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,550	0,183	0,237	0,870
Erreur	16	12,400	0,775		
Totalcorrigé	19	12,950			

Analyse de la variance (Variable Poids *Pontoscolex* (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,002	0,001	0,582	0,635
Erreur	16	0,016	0,001		
Totalcorrigé	19	0,018			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Amyntas* Adulte) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	4,550	1,517	0,652	0,593
Erreur	16	37,200	2,325		
Totalcorrigé	19	41,750			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Amyntas* juvénile) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,550	0,183	0,144	0,932
Erreur	16	20,400	1,275		
Totalcorrigé	19	20,950			

Analyse de la variance (Variable Poids *Amyntas* (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,014	0,005	0,532	0,667
Erreur	16	0,136	0,009		
Totalcorrigé	19	0,150			

EXPERIMENTATION AU CHAMP

RIZ AU CHAMP

Analyse de la variance (Variable Poids sec tige(en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	1102,710	367,570	0,740	0,544
Erreur	16	7951,420	496,964		
Totalcorrigé	19	9054,130			

Analyse de la variance (Variable Poids sec racine(en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	6,594	2,198	0,857	0,483
Erreur	16	41,036	2,565		
Totalcorrigé	19	47,630			

Analyse de la variance (Variable P.T graines final (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	244,870	81,623	0,319	0,812
Erreur	16	4097,352	256,085		
Totalcorrigé	19	4342,222			

Analyse de la variance (Variable Poids 100 G.P(en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,068	0,023	1,072	0,389
Erreur	16	0,336	0,021		
Totalcorrigé	19	0,403			

Analyse de la variance (Variable Poids 100 G.V(en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,008	0,003	0,634	0,604
Erreur	16	0,070	0,004		
Totalcorrigé	19	0,078			

Analyse de la variance (Variable NG/Panicule) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	401,200	133,733	2,241	0,123
Erreur	16	954,800	59,675		
Totalcorrigé	19	1356,000			

Analyse de la variance (Variable Nombre de touffes) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,150	0,050	0,182	0,907
Erreur	16	4,400	0,275		
Totalcorrigé	19	4,550			

Analyse de la variance (Variable Nombre de talles/touffe) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	27,173	9,058	0,616	0,615
Erreur	16	235,369	14,711		
Totalcorrigé	19	262,542			

Analyse de la variance (Variable Nombre de panicules/touffe) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	20,096	6,699	0,515	0,678
Erreur	16	208,297	13,019		
Totalcorrigé	19	228,393			

Analyse de la variance (Variable Pourcentage grains vides%) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	4,664	1,555	0,425	0,738
Erreur	16	58,495	3,656		
Totalcorrigé	19	63,158			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Dichogaster* Adulte final) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,150	0,050	1,000	0,418
Erreur	16	0,800	0,050		
Totalcorrigé	19	0,950			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Dichogaster* Juvénile) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,200	0,067	0,178	0,910
Erreur	16	6,000	0,375		
Totalcorrigé	19	6,200			

Analyse de la variance (Variable Poids final *Dichogaster*(en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,000	0,000	0,572	0,641
Erreur	16	0,001	0,000		
Totalcorrigé	19	0,001			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Pontoscolex* Adulte) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,150	0,050	1,000	0,418
Erreur	16	0,800	0,050		
Totalcorrigé	19	0,950			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Pontoscolex* juvénile) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	8,550	2,850	0,651	0,594
Erreur	16	70,000	4,375		
Totalcorrigé	19	78,550			

Analyse de la variance (Variable Poids *Pontoscolex* (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,017	0,006	0,440	0,727
Erreur	16	0,205	0,013		
Totalcorrigé	19	0,222			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Amynthas* Adulte) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	1,750	0,583	0,073	0,974
Erreur	16	128,000	8,000		
Totalcorrigé	19	129,750			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Amynthas* juvénile) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	10,400	3,467	0,883	0,471
Erreur	16	62,800	3,925		
Totalcorrigé	19	73,200			

Analyse de la variance (Variable Poids *Amynthas*(en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,038	0,013	0,659	0,589
Erreur	16	0,304	0,019		
Totalcorrigé	19	0,342			

Analyse de la variance (Variable Nbr Cocon) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	2,950	0,983	0,480	0,701
Erreur	16	32,800	2,050		
Totalcorrigé	19	35,750			

ELEUSINE AU CHAMP

Analyse de la variance (Variable Poids sec tige(en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	1209,833	403,278	0,072	0,974
Erreur	16	89119,964	5569,998		
Totalcorrigé	19	90329,797			

Analyse de la variance (Variable Poids secracine(en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	55,905	18,635	0,315	0,814
Erreur	16	945,859	59,116		
Totalcorrigé	19	1001,764			

Analyse de la variance (Variable P.T graines final (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	221,757	73,919	0,060	0,980
Erreur	16	19827,307	1239,207		
Totalcorrigé	19	20049,064			

Analyse de la variance (Variable NombreDicho Adulte final) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,150	0,050	1,000	0,418
Erreur	16	0,800	0,050		
Totalcorrigé	19	0,950			

Analyse de la variance (Variable Nombres Dicho Juvénile) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,200	0,067	0,667	0,585
Erreur	16	1,600	0,100		
Totalcorrigé	19	1,800			

Analyse de la variance (Variable Poids final *Dichogaster* (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,594	0,198	0,990	0,423
Erreur	16	3,200	0,200		
Totalcorrigé	19	3,794			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Pontoscolex* Adulte) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,207	0,069	0,696	0,568
Erreur	16	1,587	0,099		
Totalcorrigé	19	1,794			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Pontoscolex* juvénile) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	12,400	4,133	0,908	0,459
Erreur	16	72,800	4,550		
Totalcorrigé	19	85,200			

Analyse de la variance (Variable Poids *Pontoscolex* (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,022	0,007	0,688	0,573
Erreur	16	0,171	0,011		
Totalcorrigé	19	0,193			

Analyse de la variance (Variable Nombre *Amynthas* Adulte) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	14,950	4,983	0,738	0,544
Erreur	16	108,000	6,750		
Totalcorrigé	19	122,950			

Analyse de la variance (Variable Poids *Amynthas* (en g)) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,009	0,003	0,350	0,790
Erreur	16	0,144	0,009		
Totalcorrigé	19	0,153			

Analyse de la variance (Variable Nombre Cocon) :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0,800	0,267	0,178	0,910
Erreur	16	24,000	1,500		
Totalcorrigé	19	24,800			