

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
RESUME.....	ii
ABSTRACT	ii
SOMMAIRE	iii
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES ANNEXES	viii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	ix
GLOSSAIRE.....	xi
INTRODUCTION.....	1
1.1.Contexte général de l'étude et problématique.....	1
1.2.Objectifs de l'étude	3
CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET EXPERIMENTAL DE L'ETUDE.....	4
1.1- Cadre théorique	4
1.2- Cadre expérimental	4
1.2.1- Le site d'étude	4
1.2.2- Le laboratoire	5
1.2.3- Les matériels utilisés	7
1.2.3.1- Les matériels animaux.....	7
1.2.3.2- Les matériels végétaux.....	8
1.2.4- Méthodologie	10
1.2.4.1- Dispositifs expérimentaux	10
1.2.4.2- Méthodes de mesure de la biodiversité	11
1.2.4.3- Les mésocosmes.....	14
1.2.4.4- Les analyses physico-chimiques	17
1.2.4.5- Les méthodes de mesure	18
1.2.4.6- Analyses statistiques	23
CHAPITRE II : RESULTATS ET INTERPRETATIONS	24
2.1- Résultats sur terrain.....	24
2.1.1- Densité et biomasse de la macrofaune	24
2.1.1.1- Macrofaune du pitfall traps	24
2.1.1.2- Macrofaune du monolithe	27

2.1.2- Composition et diversité de la macrofaune selon le dispositif.....	33
2.1.2.1- Macrofaune du pitfall traps	33
2.1.2.11-Effectifs piégés et types de traitements des dispositifs	34
2.1.2.12- Composition taxonomique de la macrofaune dans les deux dispositifs	34
2.1.2.13- Principales classes trophiques.....	36
2.1.2.2- Macrofaune du Monolithe.....	41
2.1.2.21-Composition et diversité de la faune extraite du monolithe	41
2.1.2.22- Composition de la densité du monolithe et types de traitement des dispositifs	42
2.1.2.23- Diversité de la macrofaune extraite selon le type de traitement du dispositif.....	43
2.1.2.24- Principales classes trophiques.....	44
2.2- Résultats des mésocosmes	48
2.2.1- Effets des modes d'apport des plantes de service sur les vers	48
2.2.1.1- Effets sur le vers de terre	49
2.2.1.2- Effets sur le vers blanc	50
2.2.2- Effets des plantes de service sur le carbone organique (C), l'azote total (N), le phosphore assimilable (P) et sur le pH	51
2.2.3- Effets sol sur les vers	52
2.2.3.1- Effets sol sur les attaques du ver blanc	52
2.2.4- Effets des vers sur les activités de la minéralisation.....	53
CHAPITRE III : DISCUSSION.....	55
3.1- Densité et biomasse de la macrofaune	55
3.2- Diversité de la macrofaune.....	57
3.3- Fonctions trophiques.....	59
3.4- Impacts sur le ver de terre et le ver blanc	61
CONCLUSION	66
BIBLIOGRAPHIE	68
ANNEXES	I

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Climat du site d'Andranomanelatra.....	5
Figure 2 : Courbe des températures moyennes mensuelles dans la serre.....	5
Figure 3 : Carte de localisation de la région Vakinankaratra.....	6
Figure 4 : Vue à la loupe binoculaire des vers utilisés dans le mésocosme.....	7
Figure 5 : Dispositif plantes de service seules.....	10
Figure 6 : Dispositif riz pluvial.....	11
Figure 7: Méthode standard TSBF de prélèvement de la macrofaune du sol.....	12
Figure 8 : Prélèvement du Pitfall traps (a) et stockage de la macrofaune dans l'alcool (b).....	12
Figure 9 : Prélèvement (a) et séchage(b) du sol à l'air libre.....	13
Figure 10 : Schéma des traitements utilisés dans le mésocosme.....	15
Figure 11 : Mésocosme.....	15
Figure 12 : Stockage et congélation des échantillons des sols.....	17
Figure 13 : Trie manuel des turricules.....	18
Figure 14 : Mesure de l'humidité du sol.....	19
Figure 15 : Mesure de la biomasse (a) et comptage des attaques en mésocosme (b).....	20
Figure 16 : Mesure du pH par un pH-mètre.....	21
Figure 17 : Détermination du carbone organique.....	22
Figure 18 : Détermination de l'azote total.....	22
Figure 19 : Extraction des sols au KCL et détermination d'azote minéral.....	23
Figure 20 : Densité de la macrofaune du pitfall traps dans les deux dispositifs.....	24
Figure 21 : Nombre moyen des fourmis capturées selon les traitements.....	26
Figure 22 : Biomasse de la macrofaune du pitfall traps dans les deux dispositifs.....	27
Figure 23 : Densité moyenne de la macrofaune du monolithe dans les deux dispositifs.....	29
Figure 24 : Densité des vers blancs extraits du monolithe suivant les traitements.....	30
Figure 25 : Densité des vers terre extraits du monolithe suivant les traitements.....	32
Figure 26 : Densité des fourmis extraites du monolithe suivant les traitements.....	33
Figure 27 : Biomasse moyenne de la macrofaune du monolithe dans les deux dispositifs.....	34
Figure 28 : Biomasse moyenne des vers blancs extraits du monolithe suivant les traitements.....	36
Figure 29 : Biomasse moyenne des vers de terre extraits des monolithes par traitement.....	37
Figure 30 : Biomasse moyenne des fourmis extraites du monolithe suivant les traitements.....	38
Figure 31 : Composition des détritiphages selon le type de traitement des dispositifs.....	44
Figure 32 : Composition des saprophages selon le type de traitement des dispositifs.....	45
Figure 33 : Composition des néctarifères selon le type de traitement (dispositif riz pluvial).....	45

Figure 34 : Composition des prédateurs selon le type de traitement des dispositifs	46
Figure 35 : Composition des phytopages selon le type de traitement des dispositifs	46
Figure 36 : Composition en densité des détritiphages du monolithe	49
Figure 37 : Composition en densité des saprophages du monolithe.....	51
Figure 38 : Composition en densité des prédateurs du monolithe	53
Figure 39 : Composition en densité des phytophages du monolithe	53
Figure 40 : Effets du radis et de la Vesce sur le nombre du <i>Pontoscolex Corethrurus</i>	54
Figure 41 : Effets du radis et de la Vesce sur la biomasse du <i>Pontoscolex Corethrurus</i>	55
Figure 42 : Poids moyens des turricules en fonction des traitements.....	55
Figure 43 : Effets du radis et de la Vesce sur le nombre de <i>Heteroconus paradoxus</i>	56
Figure 44 : Effets du radis et de la Vesce sur la biomasse de <i>Heteroconus paradoxus</i>	57
Figure 45 : Taux d'attaques moyens des plantes de services par le vers blanc en fonction du sol	60
Figure 46 : Taux d'attaques moyens des plants du riz par le vers blanc en fonction du sol.....	60
Figure 47 : Taux moyens d'azote minéral des turricules en fonction des traitements	61

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Diversité et équitabilité des pitfall traps selon le dispositif	33
Tableau 2 : Composition taxonomique de la macrofaune dans le dispositif plantes de services seuls.....	34
Tableau 3 : Composition taxonomique de la macrofaune dans le Dispositif riz pluvial.....	35
Tableau 4 : Diversité et équitabilité de la macrofaune des pitfall traps par traitement.....	36
Tableau 5 : Classification trophique des groupes représentés dans les pitfall traps	37
Tableau 6 : Effectifs moyens de la macrofaune piégée par classe trophique et par type de traitement....	38
Tableau 7 : Diversité et équitabilité de la macrofaune du monolithe selon le dispositif	41
Tableau 8 : Composition taxonomique de la macrofaune du monolithe selon le type des traitements du dispositif: (dispositif plantes de service seules.....	42
Tableau 9 : Composition taxonomique de la macrofaune du monolithe selon le type des traitements du dispositif: (dispositif riz pluvial	43
Tableau 10 : Diversité et équitabilité de la macrofaune du monolithe selon les traitements	44
Tableau 11 : Effectifs moyens de la macrofaune du monolithe par classe trophique et par traitement	45
Tableau 12 : Analyse chimique complète du sol total	51
Tableau 13 : Analyse physique du sol total.....	51
Tableau 14 : Analyse du Fumier de Bovin.....	51
Tableau 15 : Analyse chimique du sol en fin de la manipulation.....	53

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Les plantes de services.....	I
Annexe 2 : Les plantes cultivées	V
Annexe 3 : Nombre moyen de vers de terre capturé selon les traitements.....	VII
Annexe 4 : Nombre moyen de vers blanc capturés selon les traitements.....	VII
Annexe 5 : Composition taxonomique des pitfall traps (Dans les deux dispositifs	VIII
Annexe 6 : Composition taxonomique de la macrofaune extraite du monolithe	IX
Annexe 7 : Répartition des proportions prédateurs/phytophages piégés selon les traitements	X
Annexe 8 : Localisation sol/litière des différentes familles extraites du monolithe.....	X
Annexe 9 : Répartition des proportions prédateurs/phytophages issus du monolithe	XI
Annexe 10 : ANOVA des effets des plantes de service sur la densité et la biomasse du <i>Pontoscolex corethrurus</i> et <i>Heteroconus paradoxus</i>	XVII
Annexe 11 : Larves de Scarabaeoidea présentes en riziculture pluviale.....	XIII

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

Abréviations :

CIRAD : Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

FOFIFA: Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural

ONG: Organisme Non Gouvernementale

PCP : Pole de Compétences en Partenariat

SCV: Semis sous Couvert Végétal

SPSS: Statistical Package for the Social Science

TAFA: Tany sy Fampanandrosoana

TSBF: Tropical Soil Biology and Fertility

URP-SCRiD : Unité de Recherche en Partenariat Système de Culture et Riziculture Durables

Symboles chimiques :

C: Carbone

Ca: calcium

E.D: eau iodée

FeSO₄ : acide sulfurique

N : azote

Na : sodium

NaOH : soude

P: phosphore

K: potassium

KCl: chlorure de potassium

K₂Cr₂O₇ : bichromate de potassium

Mg : magnésium

Unités de mesure :

% : pourcentage

Are : 100 m² (surfaces agraires)

°C : Degré Celsius (température)

CEC : capacité d'échange cationique

cm : centimètre

g : gramme

ha : hectare

kg : kilogramme

L: litre (volume = 0,001 m³)

ml : millilitre

m : mètre (longueur)

méq : milliéquivalent

mg : milligramme

Moy : moyenne

ppm : parti-millième

t : Tonne (masse = 1000 kg)

GLOSSAIRE

Allophane : C'est une espèce minérale du groupe des Silicates, sous groupe des Phyllosilicates, composée de silicate d'aluminium hydraté, mal cristallisé, de formule idéale $Al_2O_3 \cdot (SiO_2)_{1.3-2} \cdot ((H_2O))_{2.5-3}$ avec des traces de Ti, Fe, Mg, Ca, Na et K.

Baiboho : Nom malgache désignant un sol très fertile, alluvial ou colluvial, riche en limons, issu de l'accumulation des produits de l'érosion.

Biomasse : Masse d'origine biologique.

Caractères andiques : Désigne un sol à faible densité apparente avant séchage, une teneur élevée en Al et Fe extractibles et une forte capacité de rétention du P.

Haies : Barrières faites avec des plantes (arbres ou arbustes, épineux ou non), plantées en lignes serrées pour empêcher le passage d'animaux et réduire le ruissellement de l'eau.

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

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

Mésocosme : Récipients plus grands pouvant contenir une grande quantité de sol et des organismes. Dans notre cas, ce sont des seaux qui constituent les mésocosmes.

Monolithe : C'est un bloc de terre de dimension définie (coté, profondeur) prélevé dans le sol suivant les différents horizons (0-10; 10-20 et 20-30 cm) afin de déterminer la faune présente.

Mulch végétal : C'est une couverture végétale permanente, vivante ou morte fabriquée par des plantes productrices de biomasses dans laquelle est semée la culture principale.

Nuisibles (insectes) : Les insectes nuisibles sont des insectes qui font des dégâts aux cultures. Ils peuvent manger les racines ou les feuilles, pondre dans leur tige, sucer la sève, transmettre des maladies, etc.

Pitfall traps : Ce sont des pots en plastique de diverses dimensions munis de solution placés dans le sol de manière que leurs bords affleurent à la surface afin de piéger la faune épigée.

Plantes de service : Ce sont des plantes utilisées dans le SCV et permettant de limiter la pression des maladies et des parasites sur les cultures.

Tanety : Colline (terme malgache).

Turricules : Ce sont les sols excrétés par les vers de terre à la surface du sol, le long des parois des galeries ou dans les galeries.

INTRODUCTION

1.1 – Contexte général de l'étude et problématique :

A Madagascar, la demande en riz et l'augmentation de la pression foncière sur les terres inondées conduisent au développement d'une riziculture pluviale sur les versants des collines, qui du fait de la fragilité de l'écosystème, ne permet pas de concilier les objectifs de durabilité et de production, si elle est conduite de façon conventionnelle avec labour. Introduits depuis 1990 dans l'île, les systèmes de cultures avec semis direct sur couvertures végétales (SCV) ouvrent de nouvelles perspectives à cette riziculture (Muller *et al*, 2003).

Les systèmes SCV adaptés à Madagascar ont fait preuve de leur capacité à réduire la dégradation des sols et à améliorer progressivement les productivités agricoles. Ces systèmes de culture basés sur le semis direct consistent à installer des plantes productrices de biomasse qui forment un mulch végétal permanent, vivant ou mort dans le quel est semée la culture principale (Seguy *et al*, 1996).

Ce mode de cultures possède de nombreux avantages agronomiques, environnementaux et socio-économiques : augmentation des rendements, contrôle des adventices et de l'érosion, conservation de l'eau, restauration de la fertilité, meilleur état sanitaire, séquestration de carbone, plus grande efficacité dans l'utilisation de divers intrants, diversification des cultures. Selon Quaranta, 2009, les plantes dites de service, utilisées dans ces SCV permettent de limiter la pression des maladies et des parasites sur les cultures. Cependant, l'effet de l'utilisation des plantes de service sur les populations et les dégâts des bio-agresseurs du riz, notamment les insectes terricoles (vers blancs) est encore mal connu (RATNADASS *et al*, 2003; Quaranta, 2009). On ignore aussi, si ces plantes de service à propriétés insecticides ou répulsives (Rafaraso, 2011) utilisées dans les systèmes SCV ont toujours une relation positive avec les lombrics et quels sont leurs effets sur la biodiversité et le biofonctionnement du sol.

La faune du sol est l'ensemble des animaux qui passent une partie de leur cycle biologique dans le sol (faune endogée) ou sur sa surface (faune épigée) dont la majorité intervient dans le fonctionnement biologique du sol (Lavelle *et al*, 1991 ; Gobat, 1998). Les invertébrés du sol présentent une extraordinaire diversité taxonomique (on estime qu'ils représentent 23% des espèces vivantes actuellement décrites). Ils comprennent des organismes de petite taille (moins de 0,2mm, la microfaune) comme les nématodes, qui vivent dans les films d'eau autour des particules de sol, des organismes de taille intermédiaire (entre 0,2 et 2mm, la mésofaune) comme les acariens et les collemboles. Enfin, des organismes de grande taille, la macrofaune (plus de 2mm,) comme les vers de terre et l'essentiel des larves d'insectes (Blanchart *et al*, 2009).

Le biofonctionnement des sols 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 (Ruellan *et al*, 2009). Les microorganismes décomposeurs minéralisent la matière organique et y retirent des substances selon leur besoin métabolique (Mengel, 1996). Leur travail permet la libération graduelle des deux composants majeurs des substances organiques : le carbone et l'azote. L'azote est un élément essentiel à la croissance des plantes (Tremblay, 2008).

La macrofaune des sols comprend des peuplements très diversifiés. Généralement à la surface du sol, la macrofaune est constituée par divers Arthropodes, tels les Fourmis, des Isopodes, des Coléoptères phytophages et prédateurs, des Hyménoptères parasites, des Dermaptères polyphages, d'Orthoptères ... En profondeur, elle est majoritairement représentée par les larves de Diptères, les vers de terre, les vers blancs. Plusieurs facteurs interviennent dans la composition de la macrofaune : le climat, le type d'habitat et le degré de perturbation (Curry & Good, 1992; Ramanantsialonina, 1998). Actuellement, les interventions humaines menacent gravement cette macrofaune : le labour, les pesticides, les pollutions diverses et certains modes de culture ont des effets qui peuvent affecter jusqu'à 90% de la faune et la flore du sol (Blanchart, 2005). Elle est donc une ressource qu'il faut connaître, protéger et gérer au mieux (Rovillé *et al*, 2008 ; Chauvel and al, 1999 ; Barros, 1999). La macrofaune constitue une source indispensable à la conservation de la qualité des sols (Lacassin et Schwartz, 2004 ; Gamfeld and al, 2008). Elle peut affecter significativement les processus de décomposition et contribue à la structuration du sol mais elle peut avoir aussi une action de destruction de culture (Tissaux, 1996).

La macrofaune ingénieure joue un rôle clé dans le fonctionnement des sols. Ces ingénieurs du sol sont les vers de terre, les termites et les fourmis, qui aèrent, stabilisent et permettent la bonne circulation de l'eau dans les sols (Rovillé, 2008). Ils fonctionnent dans le cadre d'interactions multiples et complexes avec les autres composantes biologiques du sol (microorganismes, microflore, racines (Blanchart, 2010). Pourtant le rôle bénéfique de ces organismes dans le fonctionnement des sols et la fourniture de services écosystémiques est encore mal connu et peu utilisé par les agriculteurs. Ils sont des indicateurs de la qualité des sols et doivent être considérés comme une ressource permettant de mieux gérer et améliorer les services fournis par les agro-écosystèmes (Aufray et Rovillé, 2008 ; Masse, 2007 ; Zirbes *et al*, 2009).

Les vers de terre endogés géophages ont un rôle dans le brassage de différents horizons (Coineau, 1995; Blanchart, 2010). Ils ingèrent de la terre qu'ils rejettent ailleurs apportant des éléments minéraux vers le haut et des éléments organiques vers le bas (Bikay, 2005). Leur activité permet aussi d'améliorer l'aération et la perméabilité des sols. Leur biomasse importante constitue une réserve d'azote pour le sol (Coineau, 1995). Ils jouent un rôle primordial dans l'incorporation, la transformation des matières organiques et améliorent la structure du sol. Par leurs activités, les lombrics sont des véritables acteurs et bioindicateurs de la fertilité des sols (Pelosi, 2008 ; Zirbes *et al*, 2009). Parmi les vers de terre, *Pontoscolex corethrurus* de la famille de Glossoscoloscidae, est un

excellent ingénieur du sol et majoritairement présent sur le haut plateau malgache dans la région d'Antsirabe (Blanchart *et al*, 2007).

Les vers blancs représentent une grande diversité spécifique et fonctionnelle. Certaines espèces favorisent une bonne structuration du sol et ne causent pas des dégâts sur les cultures (Ratnadass *et al*, 2006), alors que d'autres sont de redoutables ennemis des cultures malgaches (Vercambre *et al*, 1990, cité par Randriamanantsoa *et al*, 2010). Ces vers blancs constituent aujourd'hui l'un des problèmes phytosanitaires majeurs des cultures pluviales et peuvent entraîner des dégâts allant jusqu'à environ 100%. Cependant, la composition de la matière organique du sol a une influence importante sur le comportement et le statut de ces insectes. Le comportement rhizophagique ou saprophagique de vers blancs (au même titre que les lombrics) dépend de la qualité du sol (Blanchart, 2005). Toutefois, certaines espèces de vers blancs sont des ravageurs strictes quelque soit le type du sol. *Heteroconus paradoxus* de la famille de Dynastidae est un ver ravageur. Cependant, ses dégâts peuvent dépendre de la qualité du sol en matière organique (Ratnadass *et al*, 2006).

Aucune étude des effets des plantes de service sur la biodiversité de la macrofaune et de leurs impacts sur les vers blancs et les vers de terre n'a encore été effectuée sur les hauts plateaux malgaches. Dans cette étude, la problématique à la quelle on essayera de résoudre est : « **Les plantes de service utilisées comme couverture en SCV ont-elles des effets sur la biodiversité de la macrofaune et les activités des vers de terre tout en contrôlant les dégâts des vers blancs ???** ».

1.2 – Objectifs de l'étude :

Cette étude fixe les objectifs de :

- connaître les impacts de ces plantes sur les vers blancs et les vers de terre ;
- Déterminer la diversité taxonomique et fonctionnelle de la macrofaune du sol sous l'effet des plantes de service ;
- Analyser les effets des plantes de service tels le Radis fourrager (*Raphanus sativus*) et la Vesce velue (*Vicia villosa*), vivantes ou résiduelles, selon la qualité de la matière organique du sol, sur le ver blanc *Heteroconus paradoxus* et le ver de terre *Pontoscolex corethrurus*.

Afin de répondre à ces questions, nous allons voir dans un premier temps, le cadre théorique et expérimental adoptés pour réaliser ce travail. Ensuite, nous donnerons les résultats et interprétations. Enfin, nous évoquerons des discussions et des recommandations pour les travaux ultérieurs.

CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET EXPERIMENTAL DE L'ETUDE

1.1- Cadre théorique :

L'URP-SCRiD, notre organisme d'accueil a son siège au FOFIFA d'Antsirabe. L'URP-SCRiD, a été créée en fin 2001 sous la nomination de Pôle de compétence en partenariat (PCP) sur « les systèmes de cultures et rizicultures durables » (SCRiD). Devenue URP (Unité de Recherche en Partenariat) en 2004, elle associe le CIRAD (Centre de Coopération International pour la Recherche Agronomique de Développement), le FOFIFA (Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural) et l'Université d'Antananarivo.

L'unité est née de la volonté de ces 3 institutions de renforcer leur coopération d'une part, pour assurer l'accompagnement agronomique et économique du développement de la riziculture pluviale sur les collines, et d'autre part, de promouvoir à la fois une recherche de qualité répondant aux besoins du développement, et la formation sous tous ses aspects.

Cette unité se propose de répondre au défi de l'augmentation durable de la production rizicole, par l'amélioration de la productivité et de la durabilité technique et socio-économique des systèmes pluviaux. Ainsi, l'unité a considéré deux points majeurs, l'un est la création et la diffusion des variétés de riz pluvial d'altitude, et l'autre est la création et la diffusion de systèmes de culture à base de semis direct sur couvertures végétales permanentes (SCV).

1.2- Cadre expérimental

Il se rapporte au site d'étude, au laboratoire et aux matériels et méthodes.

1.2.1-Le site d'étude

Il se trouve dans la commune rurale d'Andranomanelatra, district d'Antsirabe II, région Vakinankaratra, à 168 km au Sud d'Antananarivo, sur les Hautes Terres centrales de Madagascar. Situé à 1628 m d'altitude, ce site a pour coordonnées géographiques : 19°47'S, 47°06'E. 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 pluviosité moyenne annuelle est de 1300 mm avec une température moyenne annuelle de 16°C. Le sol est du type ferrallitique lessivé, fortement désaturé, roux ou ocre, sur alluvions volcano-lacustres. Il est caractérisé par la présence d'allophanes qui lui confèrent des caractères andiques.

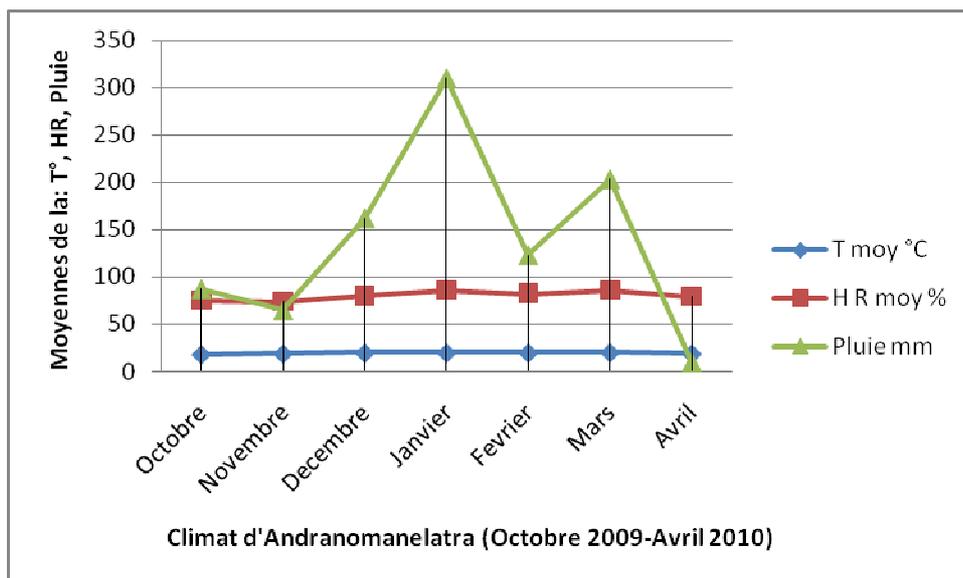


Figure 1 : Climat du site d'Andranomanelatra (Source station CIMEL)

1.2.2-Le laboratoire

La serre se trouve au sein de la station régionale du FOFIFA d'Antsirabe, District d'Antsirabe I, région Vakinankaratra à 1500m d'altitude. Elle a comme coordonnées : 19°51'44,21'' de latitude Sud et 47°0'37,43'' de longitude Est. La température moyenne journalière dans la serre variait de 15 à 38° C. La température moyenne mensuelle variait de 23,5 à 29,7 °C.

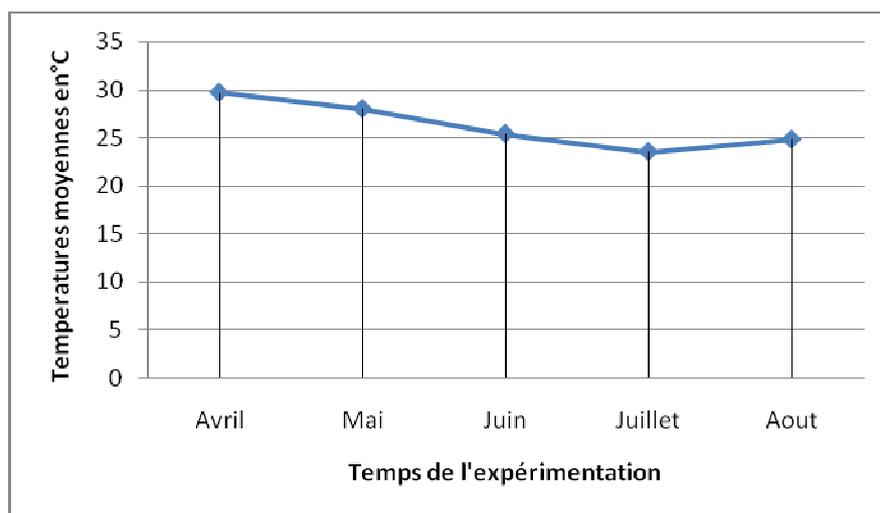


Figure 2 : Courbe des températures moyennes mensuelles dans la serre (Source auteur)

CARTE DE LOCALISATION DE LA REGION DE VAKINAKARATRA

DIRECTION REGIONALE de DEVELOPPEMENT RURAL DE VAKINAKARATRA



Code postal	Nom SSP
114	Faratsiho
113	Betafo
109	Antanifotsy
111	Antsirabe II
110	Antsirabe I



Source: BD 500 FTM | MAEP | SAGE

20 0 20 40 Km

Edition: Mars 2003

LEGENDE :

⊙	Chef lieu de Sous préfecture
—	Route Nationale
□	Délimitation des Sous préfecture
■ (light green)	Région du Vakinankaratra
■ (grey)	Régions limitrophes

Figure 3 : Carte de localisation de la région de Vakinankaratra

1.2.3– les matériels utilisés

1.2.3.1- Les matériels animaux :

🚩 Le ver de terre (*Pontoscolex corethrurus*) :

Pontoscolex corethrurus est un ver endogé oligohumique vivant dans le sol, se nourrissant de la matière organique et ayant le rôle d'ingénieur de l'écosystème. Il est classé dans :

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

🚩 Le ver blanc (*Heteroconus paradoxus*) :

Comme tous les vers blancs, *Heteroconus paradoxus* est un ver endogé. C'est une espèce plastique dont son statut dépend de la qualité du sol. Elle a comme systématique :

- Classe : Insecta
- Ordre : Coleoptera
- Superfamille : Scarabaeoidea
- Famille : Dynastidae
- Sous-famille : Dynastinae
- Genre/espèce : *Heteroconus paradoxus*.



Figure 4 : Vue à la loupe binoculaire des vers utilisés en mésocosme (Source auteur)

4-a) Ver blanc *Heteroconus paradoxus*

4-b) Ver de terre *Pontoscolex corethrurus*

Ces deux types de vers sont collectés dans la région : le ver de terre, dans le même site d'Andranomanelatra, alors que les vers blancs sont originaires de Talata (Antsirabe I) à environ 3Km du laboratoire.

1.2.3.2- Les matériels végétaux :

A- Les plantes de service :

Les plantes de services sont des plantes de couvertures utilisées dans les systèmes « SCV » pour limiter les dégâts dus aux bios agresseurs des cultures. Plusieurs familles de plantes sont impliquées dans ce processus dont la famille des Brassicacées, la famille des Légumineuses ou Fabacées, la famille des Graminées ou Poacées et la famille des Composées.

1) L'Haricot (*Phaseolus vulgaris*) :

L' haricot est une légumineuse à racines longues et riches en nodules. Ces dernières sont les sièges des relations symbiotiques entre les légumineuses et les bactéries du genre *Rhizobium* (annexe 1).

2) La Vesce velue (*Vicia villosa*) :

La vesce est une légumineuse annuelle d'origine tempérée, recommandée sur les hautes terres et en moyenne altitude pendant la saison fraîche (annexe 1). Elle constitue en SCV une intéressante couverture végétale et agit comme plante étouffante en empêchant le développement des adventices. Elle a une influence plus ou moins toxique sur le développement de certains ravageurs tels : la mouche du chou (*Delia radicum*), la teigne des crucifères (*Plutella xylostella*), des champignons parasites responsables des maladies cryptogamiques (*Alternaria solani*, *Fusarium oxysporum*),..., (Quaranta, 2010).

3) Le Radis fourrager (*Raphanus sativus*) :

Raphanus sativus de la famille des Brassicacées est une crucifère tempérée, annuelle à port dressé (annexe 1). Il possède la faculté de nuire au développement de quelques nématodes et de champignons pathogènes.

4) Les Brachiarias (*Brachiaria ruziziensis*, *Brachiarias brizantha*, *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mutica* et *Brachiaria hybrideMulato*)

Les brachiarias sont des graminées pérennes supportant les sols acides et dégradés. Ce sont des bonnes plantes de couverture qui restaurent la fertilité des sols et éliminent les mauvaises herbes par leur forte production de biomasse (annexe 1). Les Brachiarias ont des influences négatives envers les nématodes phytoparasites (*Rotylenchus reniformis*), les fourmis nuisibles (*Acromyrmex landolti*) et les champignons pathogènes (*Rhizoctonia spp*, *Fusarium spp*).

5) L'éléusine (*Eleusine coracana*) :

L'éléusine est une plante annuelle de la famille des graminées (annexe 1). Elle a de légère influence envers les ravageurs des cultures notamment les Nématodes.

6) Les crotalaires (*Crotalaria grahamania*, *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria juncea*)

Crotalaria grahamania, *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria juncea*, sont des espèces de légumineuse (annexe 1). Elles ont une influence sur certains ravageurs dont le même caractère répulsif contre les nématodes.

7) Le cléome (*Cleome hirta*) :

Le cléome est une plante herbacée annuelle de la famille des Capparidacées (annexe 1). Non appréciée par les animaux, *cleome hirta* produit une huile essentielle à effet répulsif sur des insectes tels que les tiques et les charançons

8) Le tagète (*Tagete minuta*) :

Le tagète appelé aussi « œillet d'Inde » est une plante herbacée vivace de la famille des Composées (annexe 1). Les tagètes secrètent des substances toxiques pour les insectes et les nématodes.

9) Le cosmos (*Cosmos caudatus*):

Le cosmos est une plante herbacée vivace ou annuelle de la famille des composées (annexe 1). Non appréciée par les animaux, *Cosmos caudatus* présente des fortes substances antifongiques et antibactériennes.

B- Le riz pluvial, variété FOFIFA 161

Le riz est une céréale de la famille des Poacées cultivé dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes pour son fruit, ou caryopse, riche en amidon. Il désigne l'ensemble des plantes du genre *Oryza*, dont parmi les 23 espèces qui existent, deux sont cultivées :

- *Oryza sativa*, originaire des tropiques humides de l'Asie, qui est le plus cultivé.
- *Oryza glaberrima*, ou riz de Casamance, de l'Afrique de l'Ouest.

Les riz asiatiques cultivés se sont diversifiés en trois races éco-géographiques : *indica*, *japonica* et *javanica*. (FAO, 2004). Les variétés de riz pluviales sont pour la plupart issues d'*Oryza sativa japonica*. La variété FOFIFA 161 est obtenue en 2003 par croisement entre Irat 114 et FOFIFA 133 (annexe 10). Elle possède plusieurs qualités notamment une bonne résistance à la pyriculariose et une forte tolérance au froid (CIRAD, 2005).

1.2.4 – Méthodologie :

1.2.4.1 – Dispositifs expérimentaux :

L'essai comportait deux dispositifs :

- dispositif plantes de service ;
 - dispositif riz pluvial.
- Le dispositif plantes de service est situé sur une parcelle de l'ONG TAFE sur flanc de tanety, et composé de 6 traitements (plantes de service en SCV) randomisés, avec 3 répétitions (blocs 0, 1 et 2). Les plantes de service sont : haricot, vesce, Brachiaria, radis fourrager, le mélange crotalaire + éleusine et le mélange cléome + tagète + cosmos.
- Chaque parcelle élémentaire mesurait 10m de long et 7m de large, et l'espace entre chaque parcelle et chaque bloc était de 0,3m.

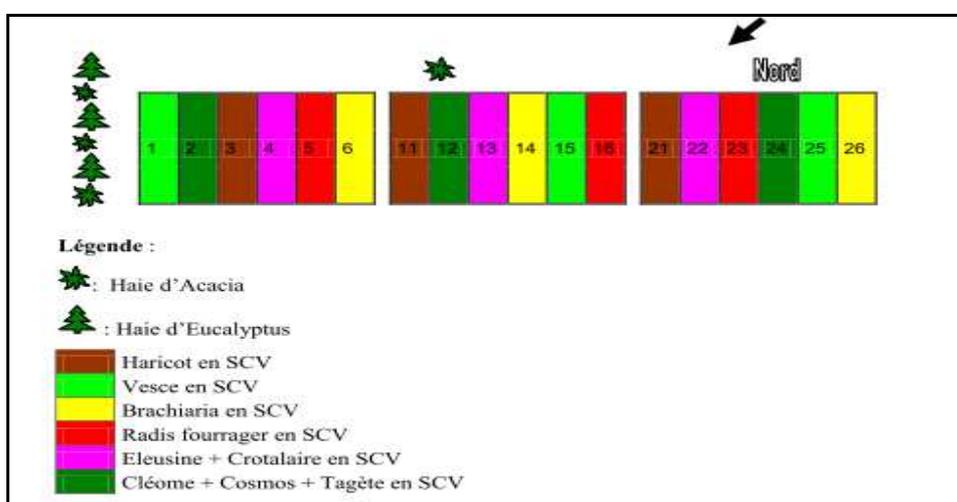


Figure 5 : Dispositif plantes de service

Le dispositif riz pluvial se trouve sur une autre parcelle expérimentale de l'ONG TAFE sur tanety à sommet plat, et contenait 8 traitements (Riz + plantes de service) répartis de façon aléatoire en 6 blocs (répétitions) (A, B, C, D, E, F) et six parcelles « témoins » avec le riz pluvial seul afin de voir les différences entre riz pluvial seul, riz pluvial associé aux plantes de service, riz pluvial associé au haricot en SCV et en labour. Les plantes de services sont: la vesce, le radis fourrager, le *brachiaria mulato*, un mélange crotalaire-éleusine, et un mélange cléome-tagète-cosmos (Figure 6).

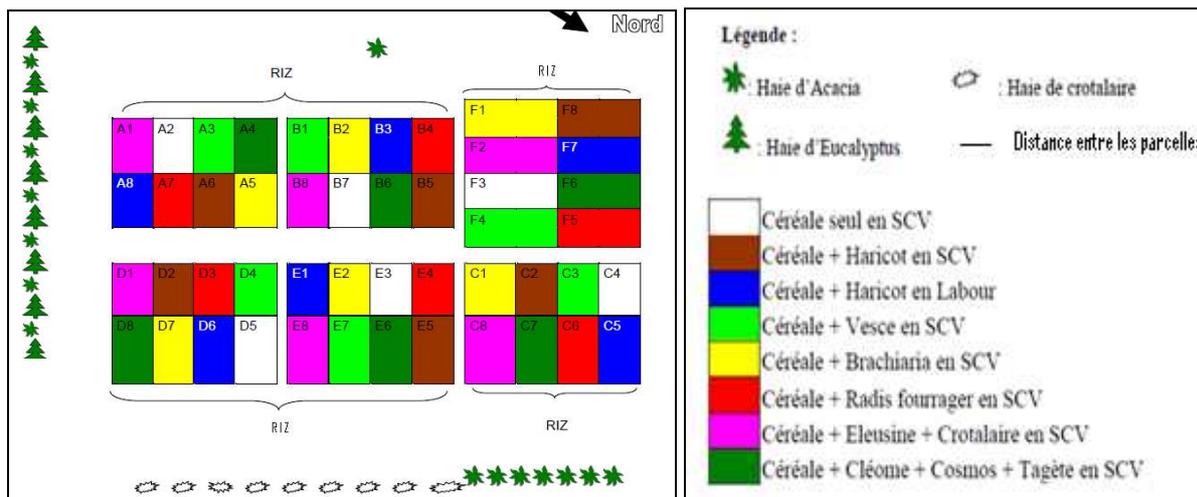


Figure 6 : Dispositif riz pluvial

A, B et C étaient des blocs de riz en 2009-2010 (les précédentes cultures étaient du riz en 2008-2009, et de l'avoine en 2007-2008). D, E et F étaient aussi des blocs de riz en 2009-2010 (les précédentes cultures étaient du maïs en 2008-2009, et du riz en 2007-2008).

Dans ce dispositif, chaque parcelle élémentaire mesurait 14m de long et 9m de large, espacée de 0.5m entre elles et entre blocs.

1.2.4.2 – Méthodes de mesure de la biodiversité:

Pour la réalisation de cette étude, les données provenant du prélèvement de la macrofaune du sol au mois de mars 2010 ont été analysées.

Cette mesure va montrer les divers groupes de macrofaune présents dans les parcelles et les changements induits par les plantes de service. Elle permettra de bien analyser les variations taxonomiques de la macrofaune selon les systèmes de culture.

Deux méthodes ont été appliquées :

- La méthode de <<monolithe>> décrite par le programme TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) (Anderson et Ingram, 1993) qui consiste à prélever au milieu de chaque quart de parcelle, un bloc carré de sol de 25 cm de côté et de 30 cm de profondeur par horizon de 0-10 cm ; 10-20 cm et 20-30 cm. La collecte de macrofaune a été faite par le triage manuel de la faune des monolithes au niveau de la litière et des ces trois couches de sol. Les échantillons sont gardés dans l'alcool 70° avant d'être déterminés, classés en groupes taxonomiques (diversité), dénombrés (densité : individu /m²) et pesés (biomasse : g/m²). Seuls les vers blancs nécessitaient une plongée dans de l'eau bouillante pendant quelques secondes avant la conservation.



Figure 7 : Méthode standard TSBF de prélèvement de la macrofaune du sol (source auteur)

7- a) Dégagement du bloc de sol

7- b) Triage de la macrofaune

- Les pitfall traps : un prélèvement de la macrofaune épigée (arthropodes et fourmis actifs en surface du sol) a été réalisé par la mise en place de deux pitfall traps par parcelle placés à 1,5m de part et d'autre du monolithe. Il s'agit de pots en plastique de 9,5 cm diamètre et de 8,5cm de profondeur placés dans le sol de manière que leurs bords affleurent à la surface. L'insertion du pot se faisait avec le minimum de perturbation des microhabitats autour du point d'insertion. Une solution saline avec quelques gouttes de détergent a été versée au fond du pot pour retenir les individus piégés. Les pièges étaient prélevés après 48 heures (Moreira *and al*, 2008).



Figure 8 : Prélèvement du Pitfall traps (a) et stockage de la macrofaune dans l'alcool (b) (Source : auteur)

• **Diversité taxonomique :**

La diversité des organismes qui peuplent le sol représente l'un des paramètres importants dans l'expression de sa « qualité ». Cette notion regroupe deux aspects (Fournier & Pichot vialé, 1995) :

- le nombre d'espèces (diversité spécifique) ou de genres (diversité générique),
- la régularité, c'est-à-dire la modalité selon laquelle les individus, pour un nombre d'espèces ou de genres, se répartissent entre eux.

Plusieurs indices de diversité, qui intègrent ces deux notions, ont été proposés pour décrire la diversité d'un peuplement parmi lesquels :

- **l'indice de Richesse** (Ambard, 2010) :

$$H = S-1$$

Où S est égal au nombre de catégories (ici, nombre de genre ou espèce), c'est-à-dire le nombre total des taxons rencontrés sur la parcelle. Ainsi, un nombre de catégorie égal à 1 correspond à une diversité nulle.

- **l'indice de Shannon-Weaver** (Zirbes *et al*, 2009) :

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

Où p_i est la proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces dans le milieu d'étude, qui se calcule de la manière suivante:

$$P_i = n_i \div N$$

Où n_i est le nombre d'individu pour l'espèce i et N est l'effectif total. Cet indice mesure la perte d'information due à la perte d'une entité. Il est nul quand il n'y a qu'un taxon et sa valeur est maximale quand tous les taxons ont la même abondance.

- **L'équitabilité** (Bikay, 2005) :

$$E = H' / \ln(S)$$

Cette notion mesure la répartition équitable des taxons. Elle tend vers 0 lorsqu'un taxon domine largement un peuplement et égal à 1 lorsque tous les taxons ont la même abondance.



Figure 9 : Prélèvement (a) et séchage(b) du sol à l'air libre (Source auteur)

En fin, après le prélèvement de la macrofaune, l'étude des effets biocides des plantes de service a été réalisée en mésocosmes.

1.2.4.3 – Les mésocosmes :

Les mésocosmes sont des récipients grands d'environ 25 cm de diamètre, dont le volume du sol et le nombre d'espèces introduites sont supérieurs à ceux des microcosmes qui ont moins de 10 cm de diamètre. Ils sont soumis à des conditions contrôlées de température et d'humidité. Ces dispositifs permettent d'approcher d'avantage les conditions naturelles tout en conservant un contrôle sur les systèmes mis en place.

Cette étude se déroulait entre le mois d'avril et le mois de juillet selon les mêmes méthodes que celles décrites par Sylvain coq *et al*, 2007. Le sol utilisé provenait d'Andranomanelatra, dans la partie laissée en jachère derrière les dispositifs expérimentaux. Avant le prélèvement du sol, la végétation et la couche superficielle jusqu'à un niveau de cinq centimètres ont été enlevées afin de récupérer le sol le moins riche possible. Ce sol a été séché à l'air libre (figure 9), puis tamisé au grand tamis (maille = 4 mm), suivi d'un autre tamisage avec une maille de 2 mm avant d'être manipulé. Deux types de sol ont été utilisés : sols avec apport de fumier et sols sans fumier; les matériels biologiques sont le ver de terre *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscoloscidae), le ver blanc *Heteroconus paradoxus* (Dynastidae), les plantes de service *Raphanus sativus* (Crucifères) et *Vicia villosa* (Légumineuse) vivantes ou en résidus et la plante principale est le riz *Oryza sativa*, variété FOFIFA 161.

Une centaine de seaux en plastique de 22 cm de hauteur, de 23 cm de diamètre en surface et de 18 cm de diamètre en profondeur servait de mésocosmes. Chaque seau a été rempli d'environ 5 kg de sol (avec ou sans fumier) jusqu'à un niveau de 3,5 cm de son bord.

Les seaux étaient ensuite numérotés selon les traitements correspondants :

- 1 à 10 : sol + fumier (sol riche)
- 10 à 20 : sol sans apport de fumier (sol moins riche)
- 1 à 5 et 11 à 15: seaux contenant le vers de terre (6 VT/seau)
- 6 à 10 et 16 à 20 : seaux contenant le vers blanc (3 VB/seau).

Pour les sols riches, une quantité de 41,5 g de fumier de bovin, soit 10 t/ha ont été apportée et mélangée à chacun de ces sols. Différents traitements ont été réalisés : 4 plants de riz associés soit à 2 plants vivants de radis fourrager , 2 plants vivants de vesce velue ou leurs résidus à raison de **33,22 g** de radis **pour 415,26 cm²** de surface (surface de chaque seau), soit 80 kg de matière sèche/are et **16,61 g** de vesce pour **415,26 cm²**, soit 40 kg de matière sèche/are, des seaux témoins sans plantes de services (ni vivantes, ni résidus) (figure 11). Chaque seau a été arrosé toutes les 24 à 72 heures d'environ 100 à 150 ml d'eau.

La manipulation contenait 20 traitements répartis dans la serre d'une façon aléatoire (figure 10) et dont chacun a été répété cinq fois (Cf. figure 11-a et b).

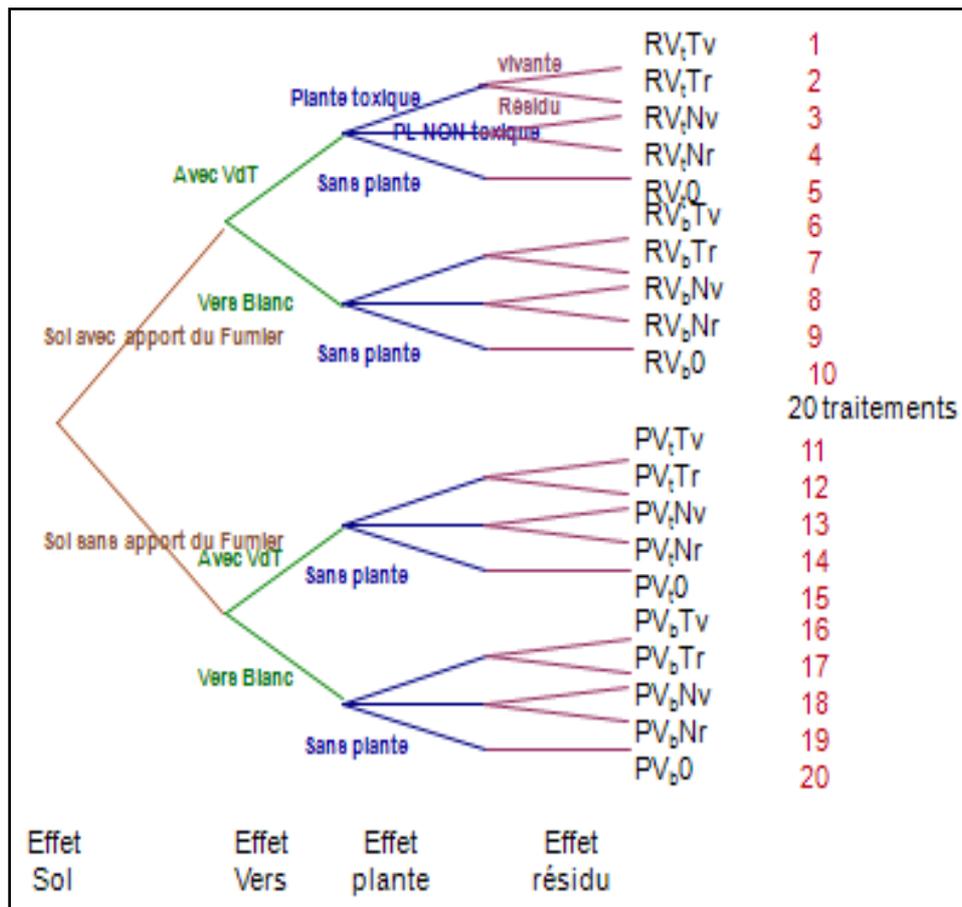


Figure 10: Schéma des traitements utilisés dans le mésocosme.



Figure 11-a: Mésocosmes (Source auteur)

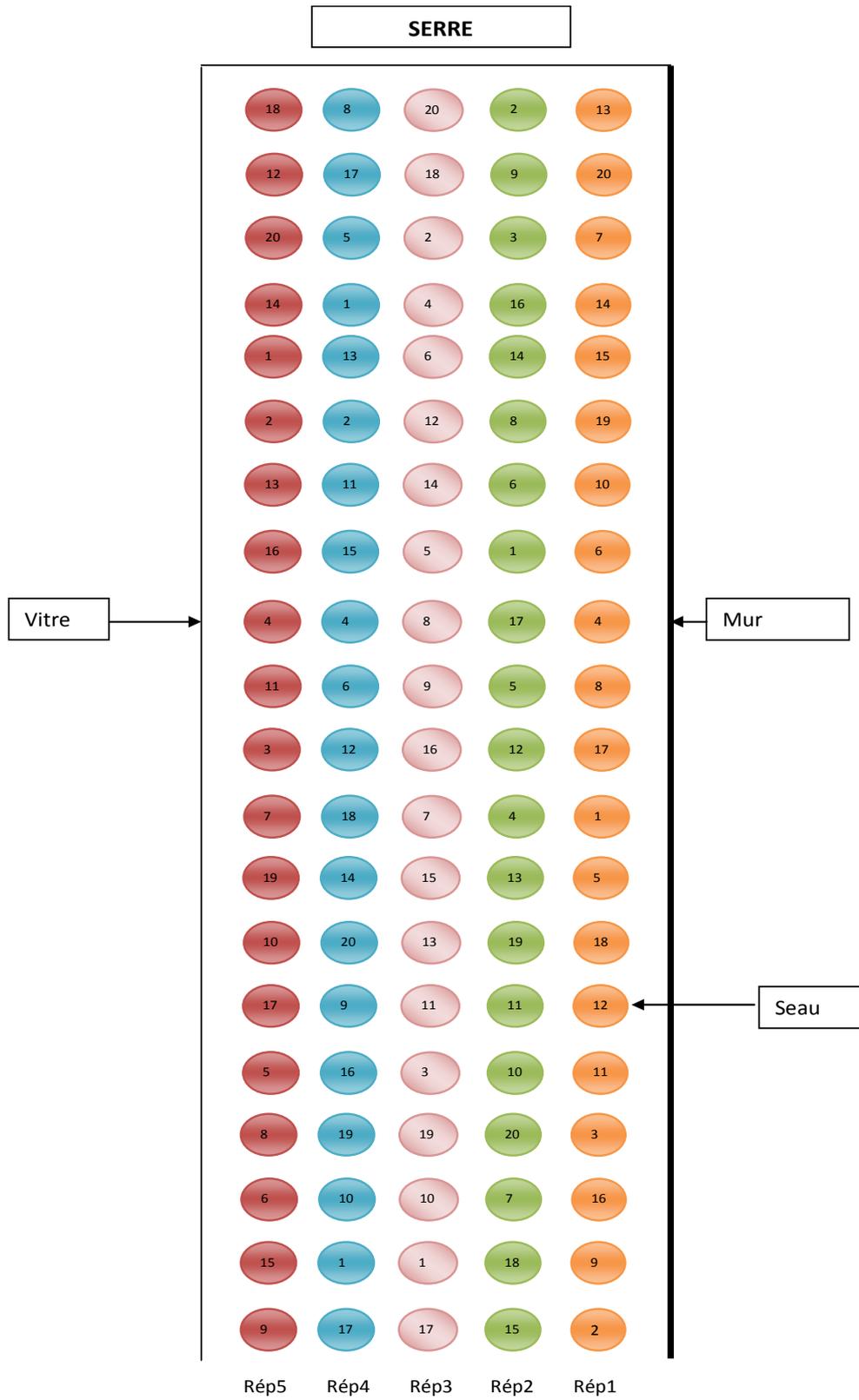


Figure 11-b : Représentation schématique des mésocosmes

Après quatre mois dans la serre, les mésocosmes étaient enlevés, leurs contenus étaient séparés et la faune présente était analysée.

Les mesures suivantes étaient effectuées dans ce dispositif à la fin de l'expérimentation :

- Le nombre et le poids d'individu par seau.
- Le nombre de plante de riz et plantes de service attaqué par seau.
- La biomasse du riz et des plantes de services.
- Les activités des vers : nombre d'œufs, les poids des turricules et fèces.
- Les analyses de sol avant et après l'expérimentation, des turricules et fèces en mesurant le pH, le phosphore(P), le carbone(C), l'azote total(N) et l'azote minéral (NH_4^+ , NO_3^-).

1.2.4.4 – Les analyses physico-chimiques :

❖ Les analyses du sol :

L'analyse du sol consiste à donner les caractéristiques physico-chimiques du lieu où on mène l'étude. Elle donne la teneur initiale en matière organique du sol, sa richesse ou sa pauvreté selon le milieu du prélèvement. Un échantillon de sol total original (sol avant manipulation) a été séché à l'air libre après tamisage, stocké et gardé en vue d'une analyse physico-chimique complète. Les variables pédologiques mesurés sont : la texture (sable, limon et argile), le pH (H_2O), le carbone organique(OC), l'azote total(N), le phosphore assimilable, les bases échangeables (Ca, Mg, K, et Na), et la capacité d'échange cationique (CEC).

Les autres échantillons du sol provenaient du mésocosme et ils étaient tamisés avec un tamis de 2mm, de manière à obtenir une masse de terre fine de chaque échantillon représentative. Ces sols étaient ensuite séchés à l'air libre, puis stockés dans des sachets en plastique et étiquetés selon leur traitement d'origine (Pansu et al, 1998). Les variables pédologiques mesurés sont : le pH (H_2O), le carbone organique(OC), l'azote total(N), le phosphore assimilable et le rapport C/N.

En outre, 100 échantillons de sol de 100g chacun étaient prélevés, tamisés, stockés, étiquetés et congelés directement au frigo pour une analyse d'azote minéral.



Figure 12 : Stockage et congélation des échantillons des sols (source auteur)

12- a) Stockage dans des sachets plastiques

12- b) Congélation au frigo

❖ **Autres analyses chimiques :**

En plus des analyses du sol avant et après manipulation, le fumier de bovin apporté au sol est aussi analysé dont les variables mesurés sont : l'azote total (N), le carbone total (C), le phosphore (P) et les bases (Ca, Mg, K, et Na).

En fin, l'azote minéral est le seul variable mesuré pour les turricules et fèces. Ces derniers ont été triés et collectés manuellement, pesés dans une balance de précision, puis stockés et congelés au frigo avant analyse.

- **Les turricules :**

Les turricules correspondent au sol excrété à la surface du sol, le long des parois des galeries ou dans



les galeries par les vers de terre généralement endogés. Ils présentent des caractéristiques biologiques, physiques et chimiques différentes du sol environnant. Ces caractéristiques dépendent fortement des espèces lombriciennes étudiées et aux conditions environnementales (Texture du sol, disponibilité et qualité de la matière organique) (RAMIANDRISOA, 2008).

Figure 13 : Tri manuel des turricules (source auteur)

- **Les fèces :**

Les fèces correspondent aux résidus solides de la digestion évacués par les vers blancs. Ils ont des structures cylindriques de petites tailles ou des structures très fines mais différentes des celles du sol environnant. On les trouve à la surface du sol ou le long des parois des galeries creusés par les vers et parfois mélangés avec les résidus des plantes. Cependant, lors de cette manipulation, les fèces ont été contaminées par les rejets des chenilles Noctuidae. Ce qui fait qu'ils étaient difficiles à les distinguer. Ainsi, les résultats concernant les fèces ne seront pas représentés dans cette étude.

1.2.4.5 – Les méthodes de mesure :

➤ **Mesure de l'humidité du sol :**

La mesure de l'humidité du sol consistait à déterminer le taux de l'humidité (en %) contenue dans les différents horizons du sol (de 0 à 30 cm) selon les traitements mis dans les parcelles. Cette mesure a été réalisée parallèlement au prélèvement de macrofaune, afin de voir s'il existe une relation entre ce taux d'humidité et la densité de macrofaune présente dans les parcelles. Cette mesure a été faite

à l'aide d'un appareil humidimètre à lecture direct, en introduisant ces deux électrodes à l'intérieur du sol pendant environ 30 secondes (figures 14-a et b). La valeur obtenue est affichée directement dans la boîte de lecture. Afin de calibrer cet appareil, des aliquotes ont été prélevés et pesés directement (figure 14-c), puis séchés à l'étuve à une température de 105° C pendant 24 heures et pesés de nouveau (figure 14-d). La valeur du taux de l'humidité du sol est donnée par la différence entre le poids humide du sol et le poids après séchage, divisé par ce même poids sec et multiplié par cent (CIRAD, 2004).

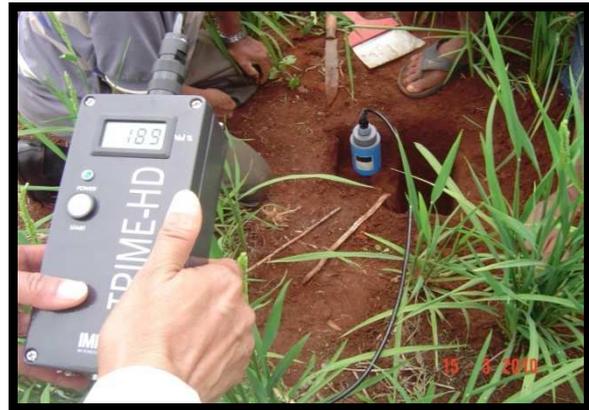


Figure 14 : Mesure de l'humidité du sol (source auteur)

14- a) Humidimètre

14- b) Mesure direct de l'humidité



14-c) Mesure des poids frais des échantillons



14-d) Mesure des poids secs des échantillons

➤ **Mesure des biomasses :**

- La mesure de la biomasse de la macrofaune du sol et des pitfall traps a été effectuée en laboratoire au milligramme près à l'aide d'une balance de précision. Elle consiste à calibrer l'appareil par une boîte de verrerie de 50 g sur lequel on met ensuite la macrofaune à peser. Toutes les portes de la balance sont alors fermées pour éviter une perturbation de l'air. Le poids de macrofaune est ainsi directement affiché sur l'écran de la balance. C'est par cette même procédure que les mesures de poids des œufs, des poids initiaux et finaux des vers du mésocosme ont été réalisés.

- La biomasse des racines et des plantes a été mesurée par les mêmes techniques. Le poids frais des plantes a été mesuré directement après la coupe, afin d'éviter une perte de poids par évaporation d'eau. Par contre, la biomasse racinaire a été mesurée quelques heures après le triage et le lavage des racines, pour éviter un surpoids venant de cette eau de lavage. Ces parties aériennes et racinaires des plantes étaient ensuite emballées et étiquetées. Afin de mesurer leurs poids secs, ces échantillons étaient mis dans l'étuve à 35°C pendant une semaine, puis pesaient.
- En fin, d'autres mesures de masses dont celles de turricules et fèces avaient été faites avec la même balance de précision.

➤ **Mesure d'attaques des plantes :**

L'évaluation des attaques des plants de riz et des plantes de service par les ravageurs en mésocosmes consistait à compter le nombre de plantes manquantes tout au long de la manipulation. Pour les vers blancs, les dégâts sont localisés soit au niveau des racines (cas du riz), soit au niveau même de la tige (cas de la vesce).



Figure 15 : Mesure de la biomasse (a) et comptage des attaques en mésocosme (b)

➤ **Mesure des densités et diversités de la macrofaune :**

La mesure des densités de la macrofaune du sol est exprimée en nombre d'individus par mètre carré. Les diversités de la macrofaune du sol et des pitfall traps, sont exprimées uniquement en nombre d'individus. Ainsi, pour la mesure de cette biodiversité, les indices de richesse et de Shannon ont été utilisés.

➤ **Mesures analytiques :**

❖ **Mesure du pH :**

La détermination du pH du sol, consiste à :

- Prendre 10g de sol,

- Ajouter 25ml d'E.D,
- Mélanger bien pendant environ 30 secondes,
- Laisser reposer pendant 30 minutes,
- Mesurer le pH de chaque échantillon au pH-mètre en plongeant la cathode à l'intérieur de l'échantillon. Le pH de chaque échantillon est affiché directement sur l'écran de l'appareil.



Figure 16 : Mesure du pH (source auteur)

16-a) Cathode plongée dans la solution

16-b) Affichage du résultat par le pH-mètre

❖ **Mesure du carbone :**

Le dosage du carbone a été fait par la méthode de Walkley et Black qui consistait à :

- Prendre 0,1g à 10g de terre broyé à 0,2mm,
- Mettre dans un bêcher de 250cc et ajouter 10cc de solution de bichromate de potassium,
- Ajouter 20cc d'acide sulfurique concentré,
- Laisser sur une plaque d'amiante pendant 30 minutes,
- Ajouter après 200cc d'E.D,
- Ajouter avant dosage quelques gouttes de diphénylamine et 2cc d'acide phosphorique,
- Filtrer l'excès de bichromate avec le sel de Mohr (sulfate de fer et d'ammonium) N/2.

Différents types de sols ont été ainsi analysés, ainsi que le témoin. Le taux du carbone est déterminé par l'équation suivant :

$$C (\%) = (No V_o - Nr Vr) \times 0,39 / \text{masse}$$

Avec:

o: oxydant → $K_2Cr_2O_7$

r: reducteur → $FeSO_4$ (0,5N)

Masse= masse en blanc (c'est à dire la masse de l'échantillon témoin).



Figure 17 : Détermination du carbone (source auteur)

17-a) Préparation de la solution

17-b) Dépôt des béchers sur une plaque d'amiante

❖ **Mesure de l'azote total :**

Pour la détermination de l'azote :

- Peser 1g d'échantillon de sol dans un tube à essai, ajouter une pastille catalyseur,
- Ajouter 10 ml de H_2SO_4 concentré en agitant l'ensemble,
- Faire la digestion à 43° pendant au moins 1/2 heure,
- Attendre 1/4 d'heure et mettre le contenu dans une fiole de 50 ml et ajuster avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- Extraire l'azote en pipétant 10 ml de la solution préparée et la mettre dans le distillateur d'azote,
- Ajouter 10 ml de NaOH (10N) et capter la chaleur avec une solution d'acide borique pendant 5 minutes et enfin, faire le dosage.



Figure 18 : Détermination de l'azote total (source auteur)

18-a) Pesage d'un échantillon de sol

18-b) Distillateur d'azote

❖ **Mesure de l'azote minéral :**

Cette mesure nécessite le maintien au froid des échantillons à déterminer :

Faire l'extraction au KCl. Pour cela, pour chaque échantillon de sol :

- Peser 10g de l'échantillon (fig19-a),
- Ajouter 50 ml de solution de KCl (fig19-b),
- Fermer les erlen-Meyer par du papier parafilm (fig19b), et bien les fixer à l'agitateur (fig19-c),
- Régler l'agitateur à 1 heure d'agitation et attendre l'arrêt automatique de l'appareil,
- Attendre 10 minutes pour que les solutions se décantent,
- Filtrer les solutions dans un entonnoir muni de papier filtre qualitative 410 à filtration lente (fig 19-d et f),
- Congeler directement les flacons contenant les solutions,
- Passer les échantillons dans un analyseur en flux (relié directement à un ordinateur) (fig19-f),
- On met 50ml de chaque solution dans des godets,
- Placer les godets dans le passeur et chaque solution sera prise automatiquement par l'aiguille de prélèvement,
- La durée de lecture de chaque échantillon dure environ 91 secondes et les résultats sont directement affichés sur l'ordinateur.



19-a) Pesage des sols



19-b) Addition du KCL



19-c) Agitation des solutions



19-d) Préparation du filtrage



19-e) Filtration de la solution



19-f) Analyse de l'azote

1.2.4.6 – Analyses statistiques :

Pour confirmer ou infirmer nos hypothèses, des traitements statistiques des données ont été faits en utilisant le logiciel SPSS 10. Pour déterminer les effets des plantes de services sur la macrofaune, l'ANOVA a été utilisée pour comparer les moyennes des vers vivants dans les mésocosmes, leur biomasse et leur activité en fin de l'expérimentation. La probabilité est considérée comme significative lorsqu'elle est inférieure à 5%.

CHAPITRE II : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

2.1- Résultats sur terrain

2.1.1- Densité et biomasse de la macrofaune

Il est noté par:

Br m: *Brachiaria mulato*

Cl+Ta+Co: Cléome +Tagète +Cosmos

El et Cr: Eleusine et Crotalaire

Ha : Haricot

Ve : Vesce

Ra f: Radis fourrager

Ha (SCV) : Haricot en SCV

Ha (La): Haricot en labour

Riz S : Riz seul

2.1.1.1- Macrofaune du pitfall traps

Pour les pitfall traps, la macrofaune est composée essentiellement de larves et d'adultes d'insectes ainsi que des araignées.

a) Densité

Dans les pitfall traps, pour les deux dispositifs plantes de service et riz pluvial + plantes de service, la macrofaune est fortement dominée par les Hyménoptères (244,67 et 354,08 individus/piège). Les autres groupes ont des densités faibles. Il s'agit d'insectes Orthoptères, Coléoptères et Diptères ainsi que des araignées (figures 20).

Pour les deux dispositifs, la composition de la macrofaune est la même mais leur densité est différente. Sur dispositifs plantes de service, le nombre maximal d'individus par piège ne dépasse pas 60, alors que sur dispositif riz pluvial, elle atteint 90,5. Toutefois, ce nombre ne varie pas beaucoup pour l'ensemble des plantes de service à l'exception du *Brachiaria mulato* où une différence de 40 individus/piège est observée sur les deux dispositifs.

Concernant les plantes de service, la densité de la macrofaune est élevée pour l'association éléusine – crotalaire, la vesce et le haricot. Elle est la plus faible avec le radis fourrager. Le Riz seul favorise également l'abondance de la macrofaune. Pour le traitement haricot, le nombre d'individus capturés est plus élevé en SCV qu'en labour.

Les Orthoptères sont aussi présents sur tous les traitements et un peu plus abondants sur vesce, cléome-tagète-cosmos.

Les Coléoptères sont également présents sur tous les traitements et particulièrement abondants sur cléome-tagète-cosmos. Les larves des Coléoptères (vers blancs) n'étaient pas abondantes sur les pitfall traps et leur densité moyenne maximale est d'environ 0,18 individus/piège. Les espèces présentes sont *Enaria melanictera* et *Euryomia argentea*. Elles sont observées sur l'association éléusine-crotalaire, sur radis et l'haricot pour le dispositif plantes de service et sur l'association cléome- tagète –cosmos, sur le radis et sur le brachiaria pour le dispositif riz pluvial (annexe 4).

Les vers de terre sont aussi peu abondants au niveau de la litière (Pitfall traps) avec une densité moyenne totale de 1,75 individus/piège et absents dans plusieurs traitements. *Sur le dispositif plantes de service*, les vers de terre sont capturés uniquement sur les traitements eleusine-crotalaire, radis et sur *Brachiaria mulato*. *Sur le dispositif riz pluvial*, ils sont présents sur la vesce, le brachiaria, l'haricot en labour et sur riz seul (annexe 3).

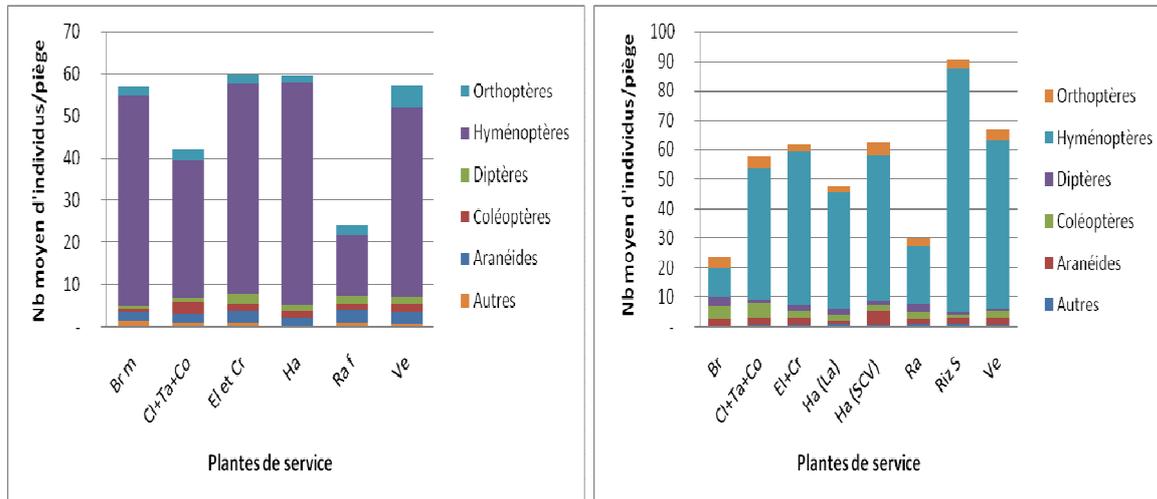


Fig 20 a : Densité de la macrofaune du pitfall traps Dispositif plantes de service **Fig 20 b : Densité de la macrofaune du pitfall traps Dispositif riz pluvial + plantes de service**

Il est constaté que les Hyménoptères sont présents sur tous les traitements avec une abondance plus marquée sur riz, éleusine – crotalaire, haricot et vesce. Les Hyménoptères sont surtout représentés par les fourmis. Le genre *Tetramorium* est dominant sur le dispositif plantes de service. Il partage cette dominance avec le genre *Monomorium* sur le dispositif riz + plantes de service.

Concernant les fourmis (figure 21), sur le dispositif plantes de service, la densité la plus faible est observée sur radis (13,67 individus/piège). Il n'y a pas beaucoup de différences pour les autres traitements. Sur le dispositif riz pluvial, la densité moyenne maximale est obtenue avec le traitement riz seul (82,66 individus/piège). Il n'y a pas de beaucoup de différence pour la vesce, association éleusine-crotalaire et haricot en SCV (respectivement 56,92 ; 51,25 et 49,08 individus/piège).

Le traitement haricot en semis direct est riche en fourmis par rapport à l'haricot conduit en labour. Les traitements avec le radis et le brachiaria donnent les densités moyennes les plus faibles (18,5 et 9,5 individus/piège).

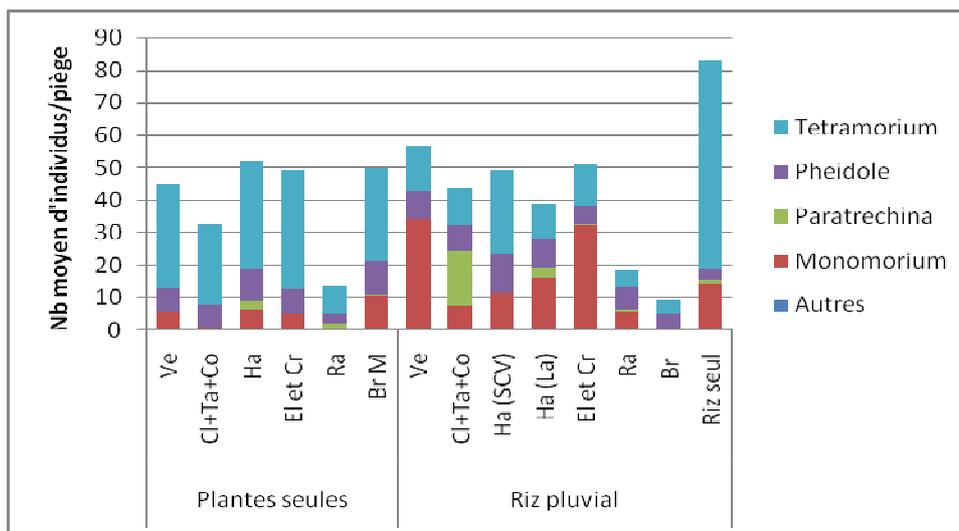


Figure 21 : Nombre moyen des fourmis capturés selon les traitements

b) Biomasse

La biomasse est fonction de la taille des individus.

Pour les deux dispositifs, la biomasse est dominée par celle des Coléoptères suivi de celles des Orthoptères et des Hyménoptères (figures 22).

La biomasse a été la plus élevée sur dispositif riz + plantes de service avec une maximale de 2,2g/piège. La biomasse varie beaucoup en fonction des traitements. Sur le dispositif plantes de service, elle est plus élevée sur l'association cléome – tagète – cosmos (1,67 g) et sur la vesce (1,18 g). Par contre sur le dispositif riz + plantes de service, elle est élevée sur l'association cléome – tagète – cosmos (1,65 g) et brachiaria (1,31 g). La biomasse obtenue avec le traitement vesce est toujours supérieure à celle du radis fourrager.

La biomasse des Coléoptères la plus élevée est sur l'association cléome – tagète – cosmos pour les deux dispositifs (1,82 et 2,12 g/ piège) et également sur la vesce sur dispositif plantes de service (1,53 g/piège) et sur brachiaria sur le deuxième dispositif (1,59 g/piège). La biomasse des Orthoptères est élevée sur vesce (0,33 g), suivi par radis, brachiaria pour le premier dispositif et sur haricot labour (0,33 g), vesce (0,30 g), suivi par riz, haricot en SCV, brachiaria pour le deuxième dispositif.

Pour les Hyménoptères, C'est sur le dispositif plantes de service que leur biomasse est plus importante. C'est le radis qui donne la biomasse la plus élevée pour les deux dispositifs.

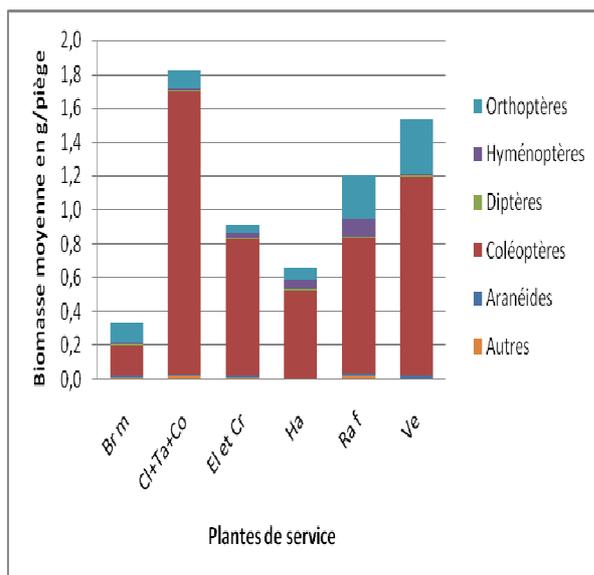


Figure 22 a : Biomasse moyenne de la macrofaune du pitfall traps dans le dispositif plantes de service

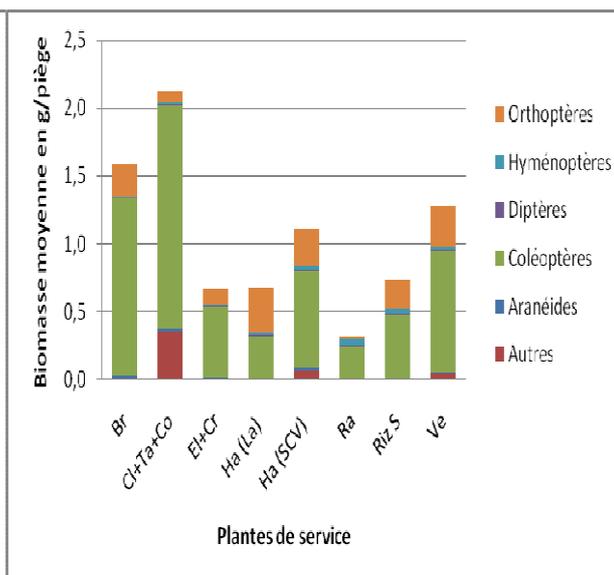


Figure 22 b : Biomasse moyenne de la macrofaune du pitfall traps dans le dispositif riz pluvial

2.1.1.2 – Macrofaune des monolithes

a) Densité

Pour les monolithes, sur les deux dispositifs, la macrofaune est toujours dominée par les Hyménoptères avec les densités moyennes totales de 2944 et 1821 individus/m² respectivement. Toutefois, il est constaté également une abondance des vers de terre et des Coléoptères. Les Hyménoptères sont surtout représentés par les fourmis.

Pour les deux dispositifs, la composition de la macrofaune est légèrement différente. En particulier, on note la présence des Dermaptères et l'absence des Orthoptères et des Diptères sur le dispositif plantes de service.

Sur dispositifs plantes de service, le nombre maximal d'individus par piège atteint 2500, alors que sur dispositif riz pluvial, elle est seulement de 1500. Toutefois, ce nombre ne varie pas beaucoup pour l'ensemble des plantes de service sauf pour l'association Cléome – tagète – cosmos et la vesce pour lesquelles une différence énorme de plus de 1000 individus/piège est observée sur les deux dispositifs. La densité de la macrofaune est faible avec le traitement radis fourrager par rapport à la vesce sur dispositif riz + plantes de service. Pour le traitement haricot, le nombre d'individus capturés est toujours plus élevé en SCV qu'en labour.

La densité de la macrofaune est élevée pour l'association cléome-tagète-cosmos sur le dispositif plantes de service et sur la vesce pour le dispositif riz + plantes de service. Il est constaté que les Hyménoptères sont présents sur tous les traitements avec une abondance plus marquée sur l'association cléome-tagète-cosmos sur le dispositif plantes de service et sur la vesce pour le dispositif riz + plantes de service. Les vers de terre sont aussi présents sur tous les traitements et plus abondants

sur *Brachiaria* sur le dispositif plantes de service et sur la vesce sur le dispositif riz + plantes de service. Les Coléoptères sont aussi présents sur tous les traitements.

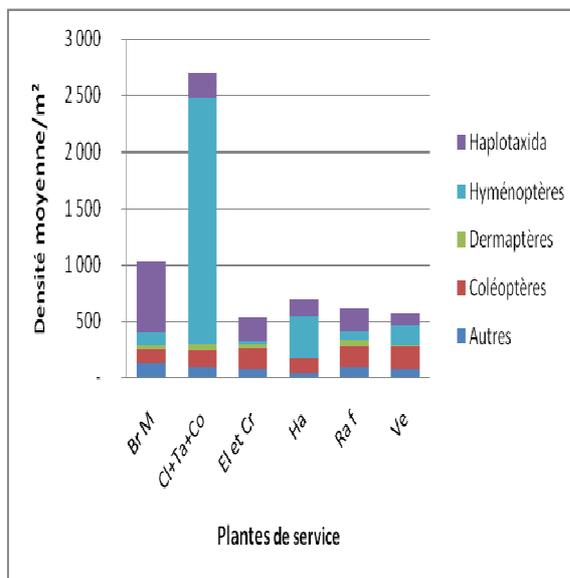


Fig 23 a: Densité moyenne de la macrofaune du monolithe dans le dispositif plantes de service

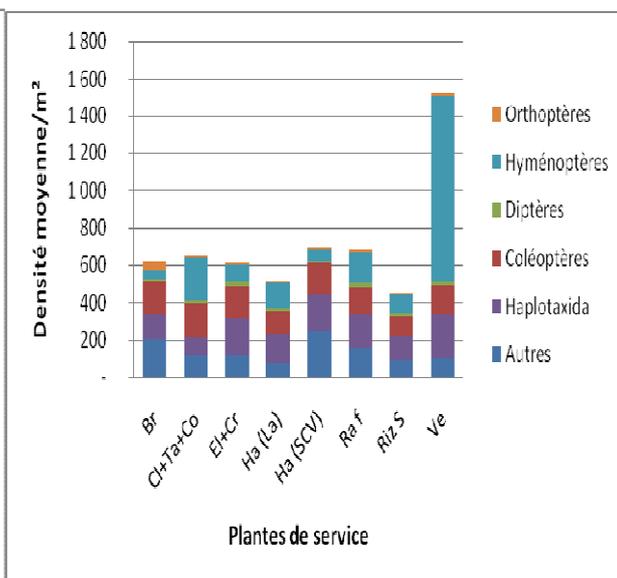


Fig 23 b: Densité moyenne de la macrofaune du monolithe dans le dispositif riz pluvial

La diversité des Vers blancs et leur densité sont différentes sur les deux dispositifs. Les espèces communes sont *Sp 1B*, *Sp 17*, *Triodontus nitidulus*, *Bricoptis variolosa*, *Apicencya waterloti* et *Sp 1A*. Par contre *Paramorphochelus cornutus*, *Hexodon unicolor* et autres dont *Enaria melanictera*, *Encya sikorai*, *Heteronyhus bitiberculatus*, *Hexodon unicolor* et *Hoplochelus marginalis* sont présents uniquement sur dispositif riz pluvial. La densité maximale est supérieure à 100 VB/m² sur dispositif riz + plantes de service alors qu'elle est seulement de 75 VB/m² sur le dispositif plantes de service. L'espèce *Sp1B* domine sur tous les traitements sur les deux dispositifs. *Sp17* est aussi présente sur tous les traitements. *Triodontus* est toujours présente sur éléusine – crotalaire. Ainsi, on peut penser que certaines espèces de vers blancs sont attirées par certaines plantes de service ou par le riz pluvial.

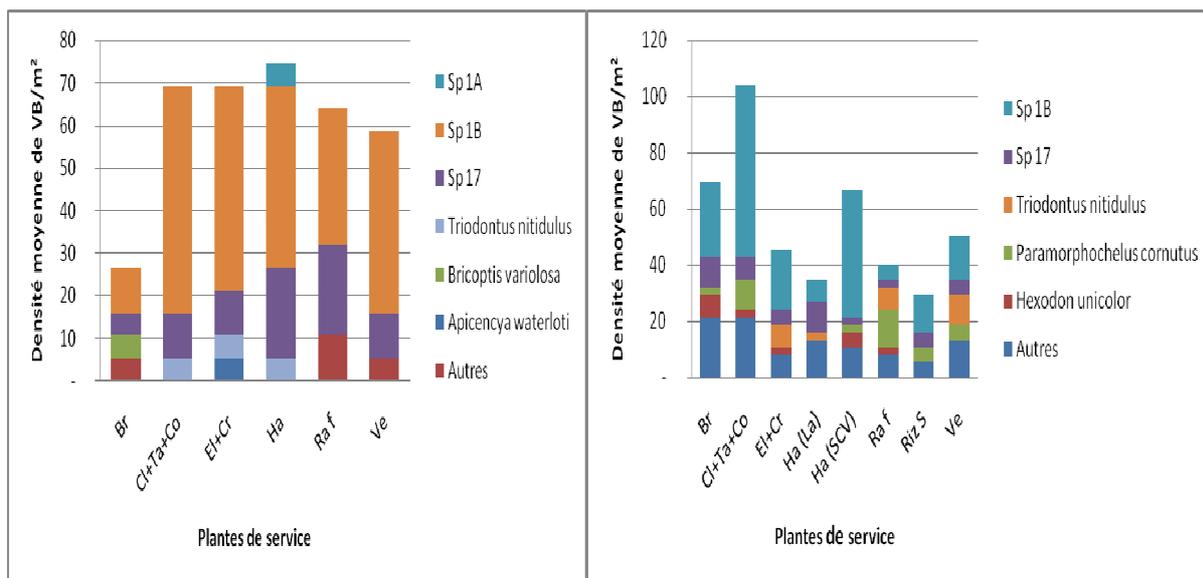


Fig 24-a: Densité moyenne des vers blancs extraits du monolithe dans le Dispositif plantes de service **Fig 24-b: Densité moyenne des vers blancs extraits du monolithe dans le dispositif riz pluvial**

Les Vers de terre sont abondants au niveau de l'horizon 10- 20 cm sur les deux dispositifs. Leur densité moyenne est élevée seulement sur *Brachiaria* (635 VT/m²) sur dispositif plantes de service alors qu'elle l'est sur vesce (232 VT/m²), haricot en SCV (197 VT/m² élusine – crotalaire (195 VT/m²) et radis (176 VT /m²) sur le deuxième dispositif.

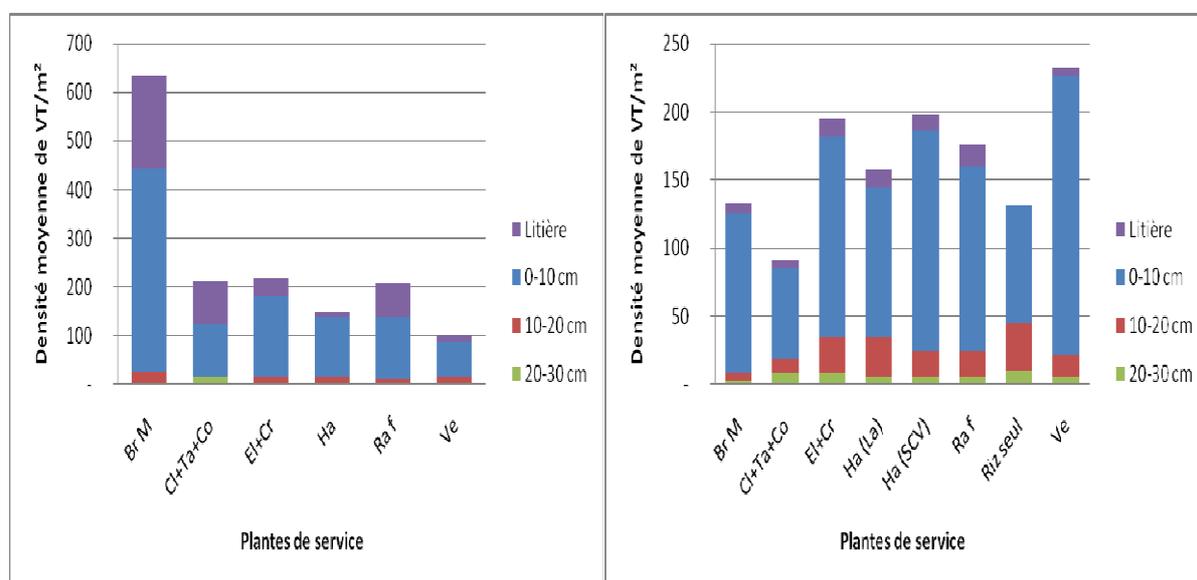


Fig 25-a: Densité moyenne des vers de terre extraits du monolithe dans le dispositif plantes de service **Fig 25-b: Densité moyenne des vers de terre extraits du monolithe dans le dispositif riz pluvial**

Sur le dispositif plantes de service, les fourmis sont très abondantes sur cléome-tagète-cosmos avec la densité moyenne maximale de 2181individus/m² et représentées en majorité par les deux genres

Aphaenogaster (1616 individus/m²) et *Pheidole* (251 individus/m²). Sur le dispositif riz pluvial, la densité moyenne la plus élevée est constatée sur vesce (947 individus/m²) et dominée par les genres *Pheidole* (608 individus/m²) et *Tetramorium* (227 individus/m²). Sur les deux dispositifs, le genre *Aphaenogaster* n'existait pas sur les traitements éleusine-crotalaire et haricot tandis que le genre *Hypoconera* (3 individus/m²) est obtenu uniquement sur le traitement riz seul.

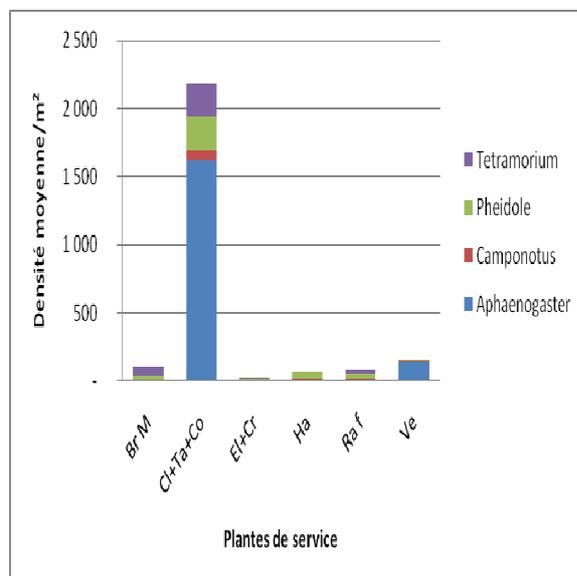


Fig 26-a: Densité moyenne des fourmis extraites du monolithe dans le dispositif plantes de services

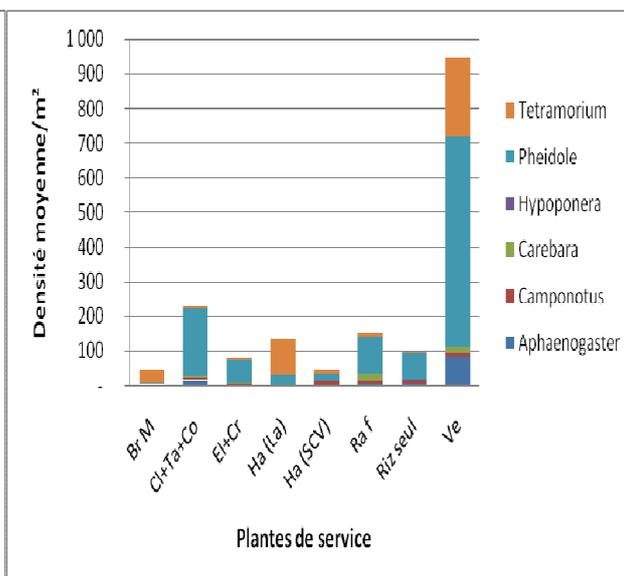


Fig 26-b: Densité moyenne des fourmis extraites du monolithe dans le dispositif riz pluvial

- Biomasse

Pour les deux dispositifs, la biomasse est dominée par celle des Coléoptères suivie par celle des vers de terre. La biomasse a été la plus élevée sur dispositif plantes de service avec une maximale de 38g/m². La biomasse varie beaucoup en fonction des traitements. Sur le dispositif plantes de service, elle est la plus élevée sur l'association cléome – tagète – cosmos (38,36 g/m²) et sur le Brachiaria (37,96 g/m²). Par contre sur le dispositif riz + plantes de service, elle est élevée sur *Brachiaria* (22,96 g/m²) et association éleusine – crotalaire (22,62 g/m²). La biomasse obtenue avec le traitement vesce est toujours supérieure à celle du radis fourrager. La biomasse des coléoptères est élevée sur *Brachiaria* pour les deux dispositifs et également sur éleusine- crotalaire sur dispositif riz + plantes de service.

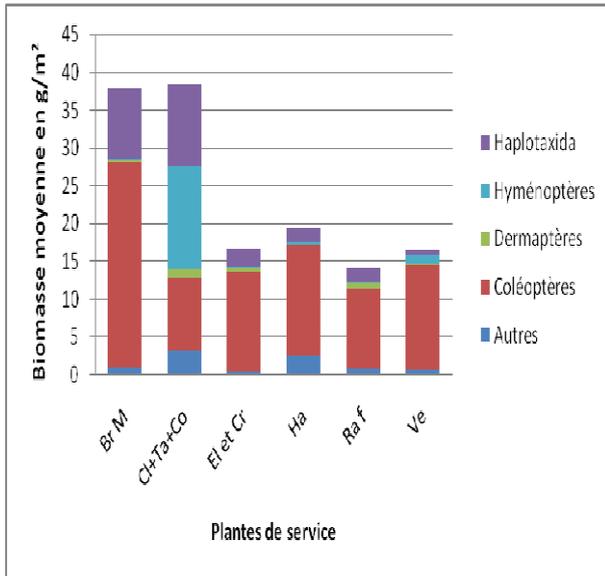


Figure 27 a: Biomasse moyenne de la macrofaune du monolithe dans le dispositif plantes de service

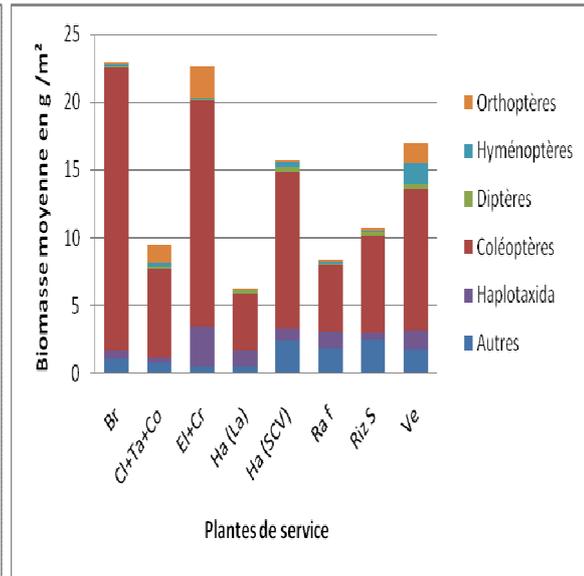


Figure 27 b: Biomasse moyenne de la macrofaune du monolithe dans le dispositif riz pluvial

Sur le dispositif plantes de service, la biomasse des vers blancs est élevée sur éléusine-crotalaire (10,22 g/m²) dont les 7,71 g/m² appartenaient à l'espèce *Apicencya waterloti* et sur *brachiaria* (9,32 g/m²) dont les 7,24 g/m² appartenaient à l'espèce *Bricoptis variolosa*. Sur le dispositif riz + plantes de service, la biomasse des vers blancs est également élevée sur *Brachiaria* (14,41 g/m²) et légèrement élevée sur éléusine-crotalaire (6,18g/m²).

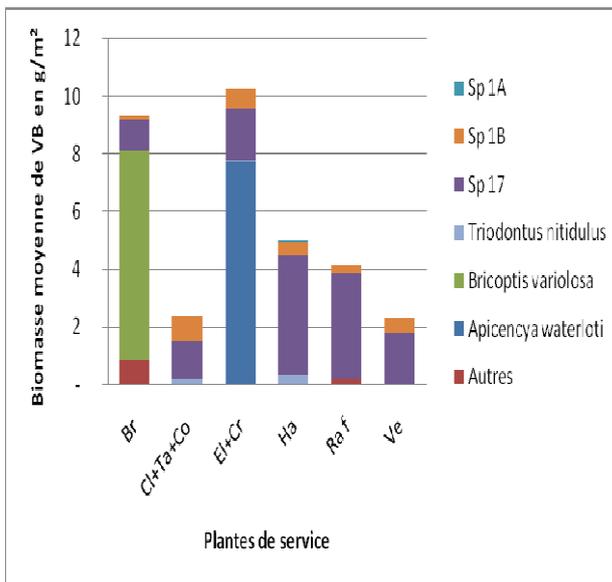


Figure 28-a: Biomasse des vers blancs extraits du monolithe dans le dispositif plantes de service

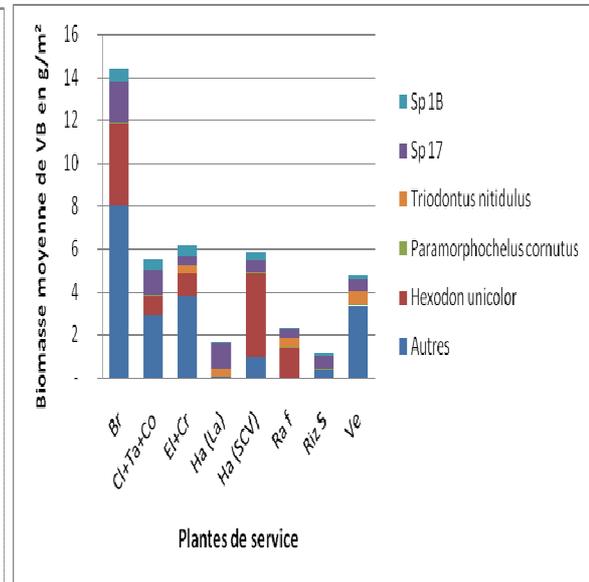


Figure 28-b: Biomasse des vers blancs extraits du monolithe dans le dispositif riz pluvial

Les vers de terre

Quelque soit le dispositif, la biomasse de vers de terre est élevée sur éléusine-crotalaire et vesce par rapport aux autres traitements. Sur dispositif plantes de service, elle est de 8,88 g/m² sur vesce et 7,40

g/m² sur éléusine-crotalaire. Sur dispositif riz + plantes de service, la biomasse moyenne la plus élevée est de 2,89 g/m² sur éléusine- crotalaire, suivie par celle de la vesce (1,38 g/m²).

Comme pour la densité, la biomasse des fourmis est très élevée sur dispositif plantes de service pour cléome-tagète-cosmos avec 13,69 g/m² tandis que sur riz + plantes de service, elle est très élevée pour vesce avec 1462 mg/m².

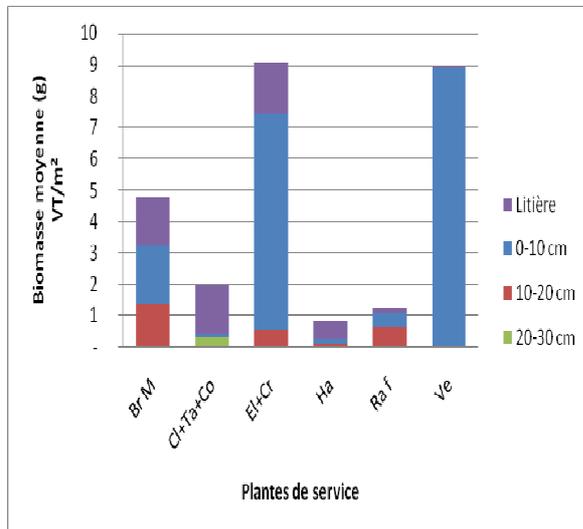


Fig 29-a: Biomasse moyenne des vers de terre du monolithe dans le Dispositif plantes de service

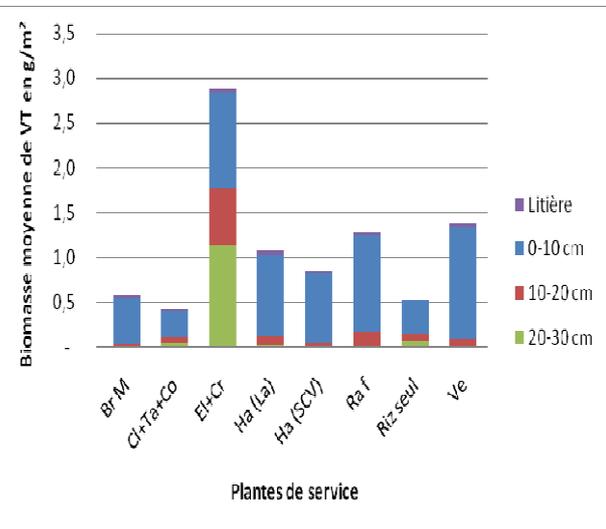


Fig 29-b: Biomasse moyenne des vers de terre du monolithe dans le Dispositif riz pluvial

Les fourmis

Comme pour la densité, la biomasse est élevée dans le dispositif plantes de service sur l'association cléome-tagète-cosmos (13691mg/m²). Cette biomasse est due au genre *Aphaenogaster* (12797 mg/m²), endémique à Madagascar et l'une des plus grosses espèces de fourmis (figure 30-a). Sur le dispositif riz pluvial, une biomasse très élevée est constatée sur la vesce due à *Pheidole* (1461,87 mg/m²).

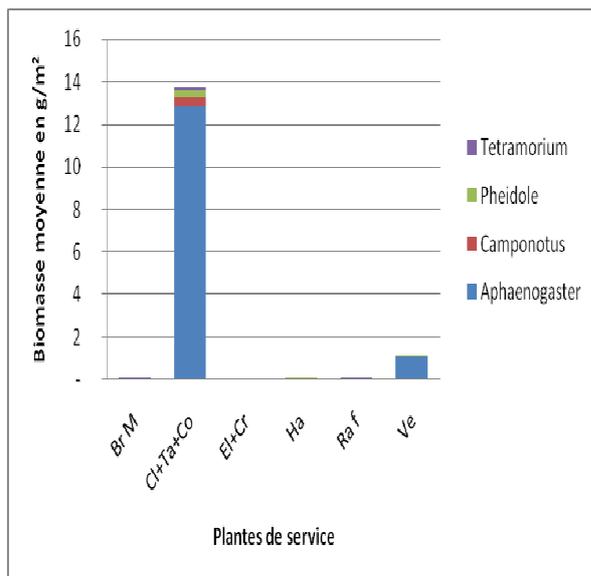


Figure 30-a: Biomasse moyenne des fourmis extraites du monolithe dans le Dispositif plantes de service

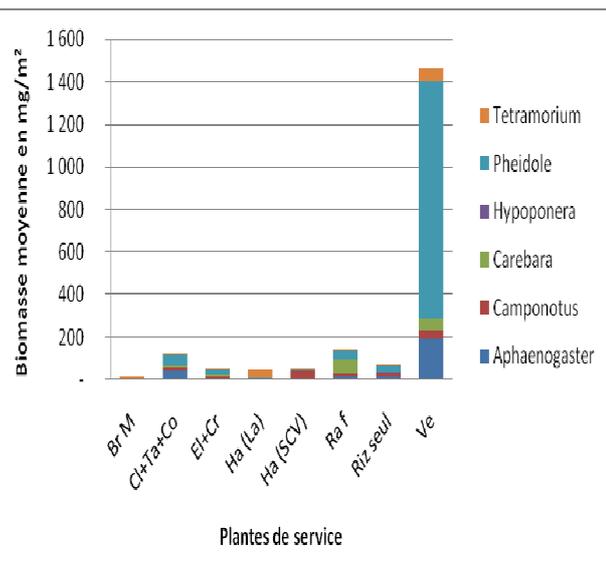


Figure 30-b: Biomasse moyenne des fourmis extraites du monolithe dans le Dispositif riz pluvial

2.1.2 – Composition et diversité de la macrofaune selon le dispositif

2.1.2.1- Macrofaune des pitfall traps

La macrofaune du sol capturée dans les pièges est composée de nombreuses espèces appartenant à 51 familles différentes regroupées dans 15 ordres, 6 classes et 3 embranchements (annexe 14). Sur les 2 dispositifs, la quasi totalité de la faune capturée appartient à plus de 99% à l'embranchement des Arthropodes, et le reste à l'embranchement des Annélides (0,17%), et des Mollusques (0,09%). Parmi les Arthropodes, la classe des Insectes est extrêmement importante avec 95,68%, et domine la classe des Arachnides (3,78%), la classe des Myriapodes (0,18%) et la classe des Crustacés (0,04%). Ces 2 dernières classes ne sont présentes que sur le dispositif plantes seules.

La classe des Insectes est composée essentiellement de l'ordre des Hyménoptères (84,83%) dont 99% des fourmis, de l'ordre des Orthoptères (10,73 %), des Coléoptères (4,99%), des Diptères (3,12%), des Hémiptères (0,6%), des Dermaptères (0,14%), des Lépidoptères (0,08%), des Dictyoptères (0,01%) et des Protoures (0,01%). La classe des Arachnides se compose des Aranéides (3,78%) dont 87,21% appartiennent à la famille de Salticidae.

La diversité (richesse taxonomique, indice de Shannon Weaver et NGE 95) au niveau des ordres et des familles varient selon les dispositifs. Toute fois pour les deux dispositifs, la richesse taxonomique est faible au niveau de l'ordre et élevée au niveau de la famille et l'indice de Shannon est assez élevé quelque soit le groupe, l'équitabilité est élevée pour l'Ordre alors qu'elle est faible pour la Famille. Pour cette dernière, l'équitabilité est la même quelque soit le dispositif.

Enfin, il est constaté que dans les deux dispositifs, 4 Ordres permettent d'atteindre les 95% des espèces collectées. Pour la famille, le nombre de groupes permettant d'atteindre les 95% des individus est légèrement élevé pour le dispositif plantes de services (9) que pour le riz pluvial (7) (tableau 1).

Tableau 1 : Diversité et équitabilité des échantillons selon le dispositif

Niveau taxonomique	Dispositif	Richesse taxonomique	Indice de Shannon-Weaver	Equitabilité	NGE 95
Ordre	Riz pluvial	10	0,82	0,34	4
	Plantes de service	14	0,81	0,30	4
Famille	Riz pluvial	44	1,02	0,27	7
	Plantes de service	37	0,99	0,27	9

Critères calculés sur la base des effectifs des classes identifiées par ordre et par famille.

NGE 95 = nombre de groupes nécessaires pour atteindre 95% des effectifs capturés.

2.1.2.11 – Composition taxonomique de la macrofaune des pitfall traps selon les traitements

Sur les deux dispositifs, la composition de la macrofaune par parcelle varie selon les traitements (tableaux 2 et 3).

Tableau 2 : Composition taxonomique de la macrofaune dans le dispositif plantes de service

Embranchements	Classes	Ordres	Familles	Plantes de services						
				Br	Cl+Ta+Co	El et Cr	Ha	Ra F	Ve	
Arthropodes	Arachnides	Aranéides	Salticidae	10	8	8	10	13	15	
			Theraphosidae					1		
			Theridiidae		1	1				
			Thomisidae			3				
			Zodariidae		1					
	Crustacés	Isopodes	Oniscoidae	1			2			
		Insectes	Coléoptères	Alticinae		3	2	2	2	1
	Cantharidae				1					
	Carabidae			2		1	1	2	1	
	Cetoniidae					2	1		1	
	Coccinellidae					1	1			
	Curculionidae				1			1	1	
	Dynastidae			1	10	5	3	4	6	
	Melolonthidae							1		
	Staphylinidae			1	2		1		1	
	Tenebrionidae								1	
	Dermaptères			Dermatidae		1			2	
	Dictyoptères			Blattidae	1					
	Diptères			Drosophilidae					2	1
			Heleomyzidae	3	2	3	2	3	4	
			Milichiidae	2	3	11	5	7	4	
			Hémiptères	Cicadellidae	1					
				Cydnidae					2	
				Lygaeidae					1	
				Pentatomidae	1	2	2			
				Reduvidae		2			1	
			Hyménoptères	Formicidae	299	195	296	313	82	270
				Platigasteridae					2	1
				Pompilidae		1				
		Trichogrammatidae				1	1	3		
		Orthoptères	Acridiidae	7	5	6	8	7	25	
			Gryllidae	5	10	6	1	7	5	
			Tettigonidae	2	1		1		2	
	Protoures		Acerentomonidae					1		
	Myriapodes	Diplopodes		1						
		Chilopodes	Scolopendridae			1				
Annélides	Oligochètes	Haplotaxida	Lumbricidae	1		3		3		
Mollusques	Gastéropodes	Basommatophora	Planorbidae	5				2		
Total				342	250	352	354	143	344	

Tableau 3 : Composition taxonomique de la macrofaune dans le dispositif riz pluvial

Embranchement	Classes	Ordres	Familles	Traitements										
				Br	Cl+Ta+Co	El et Cr	Ha (scv)	Ha (la)	Ra f	R s	Ve			
Arthropodes	Arachnides	Aranéides	Barychelidae		1				1					
			Salticidae	23	19	20	41	8	14	19	24			
			Theraphosidae	1										
			Theridiidae	2	3	4		1	1		1			
			Thomisidae		1	1		3	2	1				
	Insectes	Coléoptères	Zodariidae		2			1		1				
			Alticinae	14	11	3	2	1	2	4	2			
			Cantharidae									1		
			Carabidae	1	7	2	1	2	3	3	2			
			Coccinellidae								1			
			Curculionidae	7	3	4	2	1	13		2			
			Dynastidae	25	19	11	9	8	2	7	17			
			Lagriidae						1	1				
			Melolonthidae		2							2		
			Staphylinidae	6	15	5	11	12	11	1	5			
			Tenebrionidae		5	1	2		1					
			Dermaptères	Dermatidae	1			1	3			2		
				Diptères	Asilidae				2					
			Culicidae							1				
			Drosophilidae		1	1		1	2					
		Heleomyzidae	28		3	21	8	16	13	5	1			
		Milichiidae	3		9	7	6	4	11	1	5			
		Muscidae	1											
		Phoridae	1			1		1			2			
		Tachinidea			2									
		Hémiptères	Cicadellidae		2			1	5	4	5			
			Lygaeidae					1	1	1				
			Pentatomidae						2	1	1			
			pyrrhocoridae			2								
			Reduviidae			1						1		
		Hyménoptères	Ammophilidae					1						
			Formicidae	114	525	615	589	467	228	992	683			
			Platigasteridae	2	4	4	3	5	4		1			
			Pompilidae				2	1						
			Scoliidae							1				
			Trichogrammatidae						2		1			
			Sphingidae		1	1	3		1					
		Lépidoptères	Acridiidae	22	13	13	18	17	10	18	22			
			Gryllidae	23	38	13	32	7	23	15	22			
			Gryllotalpidae								1			
Tettigonidae				1		1		2	1					
Myriapodes	Diplopodes		Iulidae		2									
		Lithobiidae		1	1									
	Chilopodes	Scolopendridae	1	1	2	2			1					
Annélides	Oligochètes	Haplotaxida	Lumbricidae	1				1	3	2				
Total				279	691	733	737	572	351	1079	800			

Sur les deux dispositifs, les fourmis dominent très largement les autres macrofaunes de la litière. Concernant les araignées, la famille des Salticidae existe dans tous les traitements, alors que la famille des Theraphosidae ne se trouve que sur le radis et le brachiaria (tableaux 2 et 3).

Sur le dispositif riz pluvial, l' haricot en semis direct ha(SCV) contient davantage des Arachnides (araignées) et des insectes par rapport à l' haricot labour ha (la).

Sur les deux dispositifs, il existe une différence importante des indices de diversité suivant les traitements. Pour *le dispositif riz pluvial*, le nombre élevé des taxons est observé dans le traitement associant cléome-tagète-cosmos alors que riz seul en contient moins (tableau 4). L'indice de Shannon est élevé sur brachiaria et radis fourrager, ainsi l'abondance des taxons est la même sur ces deux

traitements. Cela est bien confirmé par leur équitabilité élevée et par le nombre élevé de taxons nécessaires pour atteindre 95% de la faune. Inversement sur riz seul, l'indice de Shannon est faible, ce qui montre une dominance d'un certain groupe taxonomique dans la parcelle, une équitabilité inférieure, qui illustre l'irrégularité de la répartition des taxons, et un petit nombre de groupes taxonomiques pour atteindre 95% des individus piégés. Par contre, il n'y a pas de différences notables de l'équilibre et de la régularité des taxons entre haricot en SCV et haricot labour.

Sur le dispositif plantes de service, la richesse taxonomique la plus élevée est sur l'association cléome-tagète-cosmos, la vesce et le radis fourrager. C'est avec cette dernière plante de service, que les taxons ont à peu près la même abondance et une répartition équitable et qu'il faut plusieurs groupes taxonomiques pour atteindre les 95% des individus capturés.

Tableau 4 : Diversité et équitabilité de la macrofaune des pitfall traps par traitement

Dispositifs	Traitements	Richesse taxonomique	Indice de Shannon-Weaver	Équitabilité	NGE 95
Riz pluvial	Br	20	2,07	0,68	11
	Cl+ T+ Co	25	1,18	0,36	10
	El et Cr	22	0,85	0,27	7
	Ha (SCV)	20	0,96	0,31	6
	Ha (la)	24	0,97	0,30	9
	Ra f	23	1,56	0,49	11
	Riz seul	16	0,46	0,16	3
	Ve	21	0,75	0,24	5
Plantes seules	Br M	15	0,68	0,24	6
	Cl+ T+ Co	18	1,08	0,37	9
	El et Cr	17	0,86	0,30	8
	Ha	16	0,66	0,23	5
	Ra f	18	1,77	0,60	13
	Ve	18	1,00	0,34	7

Critères calculés sur la base des effectifs des classes identifiées par famille.

NGE 95 = nombre de groupes nécessaires pour atteindre 95% des effectifs capturés.

2.1.2.12 – Principales classes trophiques

Les divers groupes d'individus capturés sont classés sur la base de leur régime alimentaire dans l'écosystème. 5 classes ont été obtenues : les saprophages, les détritiphages, les nectarifères, les prédateurs et les phytophages (tableau 5). Certaines familles peuvent appartenir à différentes classes trophiques du fait que les espèces au sein d'une même famille n'ont pas les mêmes fonctions trophiques. L'espèce *Hexodon unicolor* de la famille de Dynastidae est saprophage alors que *Heteronychus* de cette même famille est phytophage. Les vers Oligochètes sont classés parmi les saprophages même si certaines espèces ne sont que géophages. Bien que sous certaines conditions les Gryllidae peuvent devenir des ravageurs de culture, ils ont été classés parmi les détritiphages.

Les fourmis sont classées détritiphages, cependant la sous-famille des Ponerinae (g : *Hypoponera*) peut être prédateur de Termites, de Millipèdes, des Isopodes et des Collemboles.

Tableau 5 : Classification trophique des groupes représentés dans les pitfall traps

Action	Fonction	Embranchement	Classes	Ordres	Familles			
bénéfique	saprophage	Arthropodes	Insectes	Coléoptères	Cetoniidae Dynastidae			
				Diptères	Drosophilidae Heleomyzidae Milichiidae Muscidae Phoridae			
				Diplopedes	Iulidae			
				Haplotaxida	Lumbricidae			
				Coléoptères	Carabidae Coccinellidae Staphylinidae			
	prédateur	Annélides	Arthropodes	Insectes	Diptères	Asilidae Tachinidae		
					Hémiptères	Reduviidae Ammophilidae Platigasteridae Pompilidae Scoliidae		
					Aranéides	Barychelidae Salticidae Theraphosidae Theridiidae Thomisidae Zodariidae		
					Myriapodes	Lithobiidae Scolopendridae		
					Arachnides			
		nectarifère	Arthropodes	Insectes	Diptères	Culicidae		
						Lépidoptères	Sphingidae	
						Coléoptères	Cantharidae Lagriidae Tenebrionidae	
							Dermaptères	Dermatidae
							Dictyoptères	Blattidae
nuisible	Phytophage	Arthropodes	Insectes	Hyménoptères	Formicidae Trichogrammatidae Gryllidae			
				Orthoptères				
				Protoures	Acerentomonidae			
				Isopodes	Oniscoidae			
				Coléoptères	Alticinae Curculionidae Dynastidae Melolonthidae			
			détritiphage	Arthropodes	Insectes	Coléoptères	Hémiptères	Cicadellidae Cydnidae Lygaeidae Pentatomidae pyrrhocoridae
							Orthoptères	Acrididae Tettigonidae Gryllotalpidae
							Basommatophora	Planorbidae
							Mollusques	
							Gastéropodes	

Sur les deux dispositifs, les détritiphages sont largement dominants par rapport aux autres classes trophiques (tableau 6) et ont été particulièrement abondants sur riz seul. Les prédateurs, les phytophages et les saprophages sont faiblement représentés. Les nectarifères n'ont été capturés que dans le dispositif riz pluvial et sont abondants sur radis que sur les autres plantes.

Sur haricot, les prédateurs sont capturés en abondance sur SCV qu'en labour et dominent les phytophages. Sur dispositif riz, les détritiphages sont très abondants sur riz seul, abondants sur vesce, éleusine-crotalaire, haricot SCV, Cléome-tagète-cosmos. Les prédateurs sont plus abondants que les phytophages sur radis et le cas contraire sur vesce. Sur dispositif plantes de service, les détritiphages sont abondants sur haricot, éleusine-crotalaire, Brachiaria et vesce. Les prédateurs sont aussi plus abondants que les phytophages sur radis et le cas contraire sur vesce.

Tableau 6 : Effectifs moyens de la macrofaune piégée par classe trophique et par type de traitement (Andranomanelatra, mars 2010)

Dispositifs	Traitements	Détritiphages (nb ind/piège)	Saprophages (nb ind/piège)	Nectarifères (nb ind/piège)	Prédateurs (nb ind/piège)	Phytophages (nb ind/piège)
Riz pluvial	Br	11,50	3,83	-	3,08	5,17
	Cl+Ta+Co	47,33	2,50	0,08	4,75	3,00
	El et Cr	52,42	2,75	0,08	3,50	2,83
	Ha (SCV)	52,00	1,75	0,25	6,08	2,25
	Ha (La)	39,75	2,17	-	2,83	3,00
	Ra	21,25	2,25	0,75	3,25	2,33
	Riz seul	83,92	1,17	-	2,33	2,83
	Ve	59,08	1,33	-	3,00	3,58
Plantes de service	Br	52,00	0,17	-	2,33	2,67
	Cl+Ta+Co	35,33	1,83	-	3,00	2,00
	El et Cr	52,83	1,50	-	3,33	2,00
	Ha	54,33	0,67	-	2,67	1,83
	Ra	17,50	1,17	-	3,50	2,00
	Ve	48,17	1,00	-	3,17	5,67

- Classe des détritiphages

Sur les deux dispositifs, les détritiphages sont surtout représentés par les fourmis (figure 35). Le plus grand effectif capturé est observé sur riz seul. Les autres taxons sont faiblement représentés. Il s'agit par ordre d'importance des Gryllidae, Millichidae, Heleomyzidae, Tenebrionidae, Dermatidae.

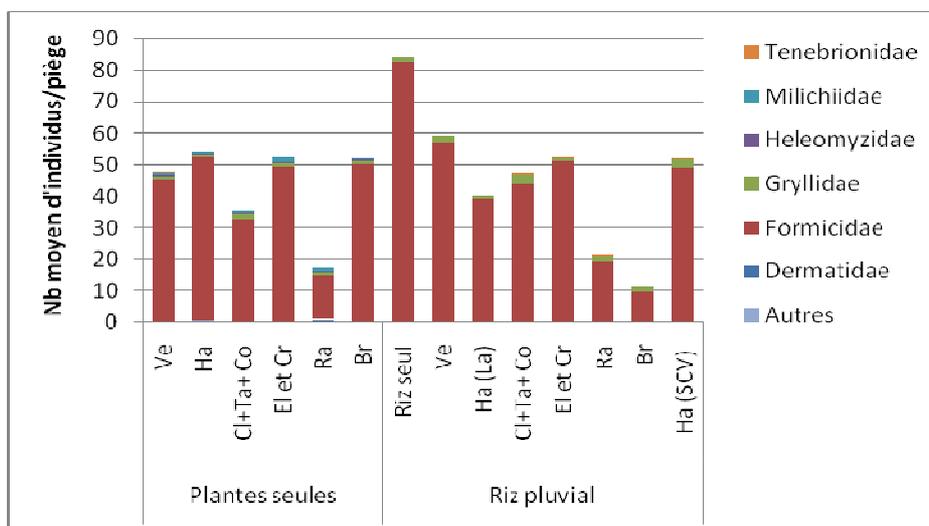


Figure 35 : Composition des détritiphages selon le type de traitement des dispositifs

- Classe des saprophages

Sur les deux dispositifs, la composition des saprophages est différente. Sur *dispositif plantes de service*, la classe des saprophages est essentiellement composée des Dynastidae et des Lumbricidae. Sur *le riz pluvial*, une importante diversité des saprophages est constatée (5 familles représentées) avec une abondance des Diptères Heleomyzidae suivi des Coléoptères Dynastidae et des Diptères Milichiidae (figure 36).

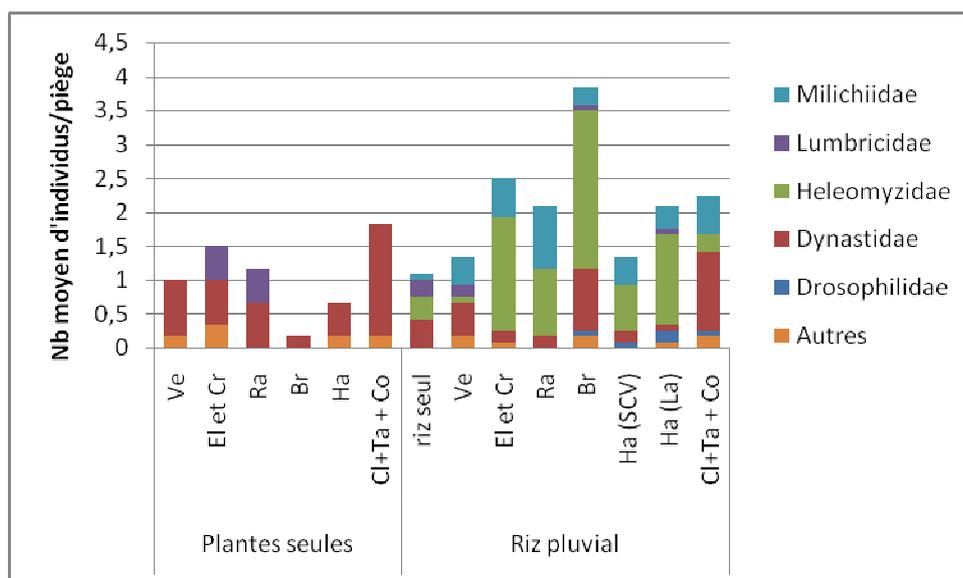


Figure 36 : Composition des saprophages selon le type de traitement des dispositifs

- Classe des nectarifères

Les nectarifères ont été capturés seulement dans le *dispositif riz pluvial*. Ils sont composés des Diptères Culicidae et des Lépidoptères Sphingidae (tableau 7). Les Culicidae n'ont été obtenus que sur radis.

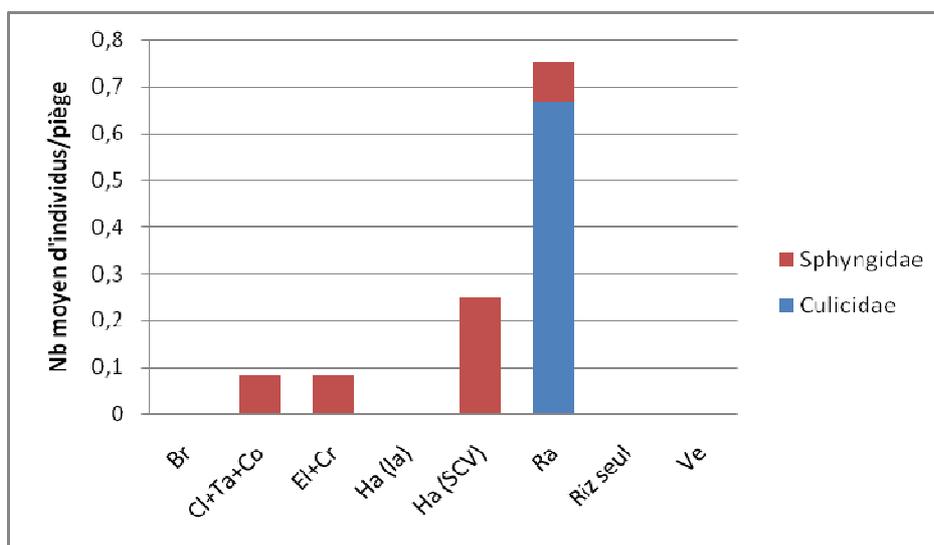


Figure 37 : Composition des nectarifères selon le type de traitement des dispositifs

- Classe des prédateurs

Les prédateurs sont composés essentiellement par les araignées de la famille de Salticidae, Thomisidae, Theridiidae et autres aranéides (figure 38). Sur le dispositif riz pluvial, il est constaté une part importante des Staphylinins. D'autres groupes sont aussi abondants sur les deux dispositifs notamment les Hyménoptères Platigasteridae et les Coléoptères Carabidae.

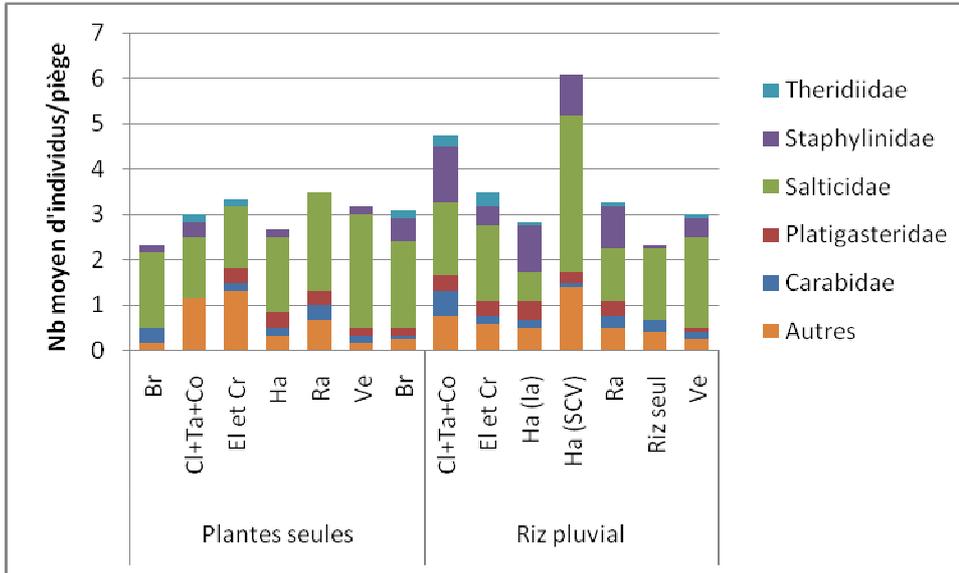


Figure 38 : Composition des prédateurs selon le type de traitement des dispositifs

- Classe des phytophages

Sur les deux dispositifs, la classe des phytophages est dominée par les acridiens quelque soit le type de traitement (figure 39). Il est noté ensuite différents coléoptères dont les poux de riz (Alticinae), les charançons (Curculionidae) et les scarabées (Dynastidae). La seule famille des Mollusques Gastéropodes phytophages (Planorbidae) est capturée uniquement sur le dispositif plantes de service en particulier sur *Brachiaria* et vesce (Tableaux 2 et 5).

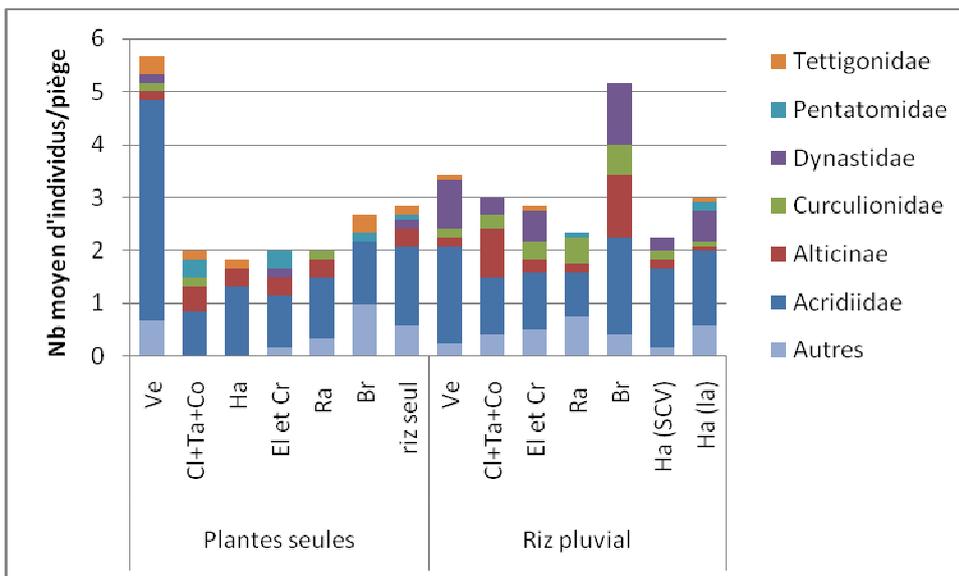


Figure 39 : Composition des phytophages selon le type de traitement des dispositifs

2.1.2.2- Macrofaune du monolithe

2.1.2.21 – Composition et diversité de la faune extraite du monolithe

La macrofaune totale extraite du monolithe a donné la somme de 33 856 individus/m² dont 29 296 (86,53%) sur le dispositif riz pluvial et 4 560 (13,47%) sur le dispositif plantes de service. Elle est composée de nombreux individus appartenant à 53 familles différentes regroupées dans 22 Ordres, 6 classes et 3 Embranchements (annexe 15).

L'embranchement des Arthropodes représente 74,29% des individus extraits, le reste est composé par les Annélides (25,51%) et les Nématodes (0,18%). La classe des insectes est extrêmement importante avec 94,45% des Arthropodes extraits dans le dispositif riz pluvial et 89,45% des Arthropodes extraits dans les plantes de service. Il existe également d'autres classes d'Arthropodes notamment les Myriapodes (2,92%) et (5,91%), les Arachnides (2,54%) et (4,64%) respectivement dans le dispositif riz pluvial et plantes de service. La classe des Crustacés est extraite seulement sur le dispositif plantes de service.

La classe des insectes est composée essentiellement des Coléoptères (Sericidae, Curculionidae, Carabidae, Staphylinidae, Melolonthidae), des Hyménoptères (Formicidae) et des Orthoptères (Gryllidae, Acridiidae).

Parmi la macrofaune extraite du monolithe, 23,63% des individus provenaient de la litière et 76,37% pour le sol. Parmi cette macrofaune du sol, 52,88% appartenaient à la couche superficielle (0-10 cm), 28,82% à la couche intermédiaire (10-20 cm) et 18,29% à la couche interne (20-30 cm) (annexe 6).

Pour la richesse taxonomique et les indices de diversité, ils sont élevés sur le dispositif riz pluvial par rapport aux plantes de service quelque soit le groupe taxonomique considéré (tableau 7). Il est constaté que sur le dispositif riz pluvial, l'équitabilité est la même pour les deux niveaux taxonomiques.

Tableau 7 : Diversité et équitabilité du monolithe selon le dispositif

Niveau taxonomique	Dispositif	Richesse taxonomique	Indice de Shannon-Weaver	Equitabilité	NGE 95
Ordre	Riz pluvial	18	1,7	0,58	8
	Plantes de service	13	1,42	0,54	6
Famille	Riz pluvial	46	2,23	0,58	20
	Plantes de service	32	1,74	0,50	13

NGE 95 = nombre de groupes nécessaires pour atteindre 95% des effectifs capturés

2.1.2.3 – Composition taxonomique de la macrofaune du monolithe selon les traitements des dispositifs (Andranomanelatra, mars 2010)

Sur les deux dispositifs, la macrofaune est composée des Insectes Coléoptères (Carabidae, Dynastidae, Sericidae, Melolonthidae, Staphylinidae...), Hyménoptères (Formicidae, Platigasteridae...), Orthoptères (Acridiidae, Gryllidae...)..., des Myriapodes Chilopodes (Scolopendridae, Geophilidae...), Diplopodes (Iulidae...), des Arachnides Aranéides (Salticidae, Theridiidae...) et des vers Oligochètes Lumbricidae...

Cette composition de la macrofaune varie suivant les traitements (tableaux 8 et 9). Le traitement non couvert contient moins de faune que les systèmes avec couvertures. Il en est de même pour l'haricot en labour par rapport à l'haricot en SCV. Le radis fourrager, l'association cléome-tagète-cosmos et l'association éleusine-crotalaire présentent plus de diversité que les autres plantes.

Tableau 8 : Composition taxonomique des extraits du monolithe : nombre d'individus par traitement (dispositif Plantes de service)

Embranchement	Classes	Ordres	Familles	Traitements						
				Br	Cl+Ta+Co	El et Cr	Ha	Ra f	Ve	
Arthropodes	Insectes	Collemboles	Sminthuridae	0	16	16	0	16	0	
			Coléoptères	Carabidae	32	64	48	16	16	64
		Cetoniidae	64	32	16	32	48	48		
		Coccinellidae	16	0	0	16	0	0		
		Curculionidae	80	32	80	0	64	32		
		Dynastidae	16	0	0	0	16	0		
		Elateridae	16	0	48	48	48	80		
		Melolonthidae	16	32	48	48	48	32		
		Orphnidae	0	16	16	16	0	0		
		Scarabaeidae	0	0	32	0	16	0		
		Sericidae	32	112	80	112	48	80		
		Staphylinidae	0	0	48	0	16	16		
		Tenebrionidae	0	0	16	0	16	16		
		Thysanoures	Lepismatidae	0	0	0	0	16	0	
		Orthoptères	Gryllidae	32	16	16	16	0	0	
			Tettigonidae	0	16	0	0	0	0	
		Lépidoptères	Noctuidae	0	16	0	16	32	16	
		Hyménoptères	Formicidae	80	320	80	80	144	64	
			Pompilidae	0	0	0	0	0	16	
		Hémiptères	Pentatomidae	16	0	0	0	0	16	
			Reduvidae	0	16	0	0	16	16	
		Diploures	Japigidae	0	0	0	0	16	0	
		Dermaptères	Dermatidae	64	80	64	0	48	32	
		Myriapodes	Chilopodes	Geophilidae	16	16	32	16	16	16
				Scolopendridae	0	0	0	0	32	16
			Diplopodes	Iulidae	32	16	0	0	0	0
				Raspedosmidae	0	0	16	0	0	0
		Arachnides	Aranéides	Barychelidae	16	0	0	0	0	16
				Salticidae	16	0	0	0	0	16
				Theraphosidae	0	16	16	0	16	0
Theridiidae	0			0	0	16	16	0		
Zodaridae	16			16	0	0	0	0		
Annélides	Oligochètes	Haplotaxida	Lumbricidae	176	144	112	112	144	80	
Total				736	976	784	544	848	672	

Tableau 9 : Composition taxonomique des extraits du monolithe: nombre d'individus par traitement (dispositif Riz pluvial)

Embranchement	Classes	Ordres	Familles	Traitements								
				Br	Cl+Ta+Co	El et Cr	Ha (scv)	Ha(la)	Ra	Riz S	Ve	
Arthropodes	Insectes	Coléoptères	Alticinae	0	0	16	0	0	16	0	16	
			Cantharidae	0	0	0	0	0	0	0	0	16
			Carabidae	144	80	96	112	48	112	176	96	
			Cetoniidae	64	16	32	48	48	16	0	0	
			Curculionidae	32	80	240	160	16	160	80	64	
			Dynastidae	112	48	64	64	0	16	16	48	
			Elateridae	96	144	32	64	176	48	80	80	
			Hopliidae	16	64	0	16	0	80	32	32	
			Melolonthidae	80	48	80	16	96	16	32	96	
			Orphnidae	0	0	48	0	16	48	0	64	
			Scarabaeidae	0	48	160	0	0	16	32	16	
			Sericidae	160	400	128	288	48	32	80	96	
			Staphylinidae	192	64	32	128	240	128	48	64	
			Tenebrionidae	48	32	48	64	16	96	16	192	
		Collemboles	Onychiuridae	0	0	0	0	0	32	0	0	
			Sminthuridae	32	32	48	16	0	32	32	32	
		Dermaptères	Dermatidae	16	48	160	48	80	288	0	96	
		Dictyoptères	Mantidae	16	0	0	0	0	0	0	0	
		Diploures	Japigidae	16	0	0	0	0	16	0	0	
		Diptères	Drosophilidae	0	0	16	0	0	0	0	0	
		Hémiptères	Cicadellidae	0	32	0	0	0	0	0	16	
			Cydnidae	0	0	0	0	0	0	32	0	
			Pentatomidae	0	0	0	32	16	16	32	0	
			Reduviidae	32	16	0	0	0	0	0	0	
		Hyménoptères	Formicidae	304	1360	528	336	800	960	576	5952	
			Platigasteridae	0	0	0	16	0	16	0	0	
			Trichogrammatidae	0	0	0	16	0	0	0	0	
		Lépidoptères	Noctuidae	16	48	0	64	0	112	96	48	
		Orthoptères	Acridiidae	224	16	0	0	0	0	16	0	
			Gryllidae	32	16	80	64	32	80	32	96	
			Gryllotalpidae	16	16	16	0	0	0	0	16	
		Protoures	Acerentomonidae	0	0	0	16	0	0	0	0	
		Thysanoures	Lepismatidae	0	16	0	0	0	0	0	0	
		Myriapodes	Chilopodes	Geophilidae	0	16	16	0	32	0	0	16
				Lithobiidae	0	0	0	16	0	16	0	0
				Scolopendridae	16	64	32	80	16	112	0	64
			Diplopodes	Iulidae	16	0	32	0	0	0	0	16
				Polydesmidae	0	0	0	0	0	16	0	0
			Symphyles	Symphylidae	48	0	0	0	0	0	0	0
			Crustacés	Isopodes	Oniscoidae	0	0	0	0	0	16	0
		Arachnides	Aranéides	Salticidae	32	16	80	32	16	64	0	48
Theraphosidae	0			16	0	0	0	0	0	16		
Theridiidae	16			16	32	48	32	16	0	16		
Zodariidae	0			0	0	0	0	0	16	0		
Acariens	Trombidiidae			0	0	16	0	0	0	0	16	
Annélides	Oligochètes			Haplotaxida	Lumbricidae	800	544	1168	1184	944	1056	784
Nématelminthes	Nématodes	Mermithidae	0	0	16	0	0	32	0	16		
Total				2576	3296	3216	2928	2672	3664	2208	8736	

2.1.2.4 - Diversité de la macrofaune extraite selon le type de traitement

Sur le dispositif riz pluvial, la richesse taxonomique la plus élevée est enregistrée sur le radis fourrager, suivi de la vesce, des associations cléome-tagète-cosmos et éleusine –crotalaire, le brachiaria. Le SCV est riche en taxons par rapport au labour. Sur le dispositif plantes de service, la diversité la plus élevée est sur le radis contrairement au haricot. La richesse taxonomique est la même sur le radis, sur l'éleusine-crotalaire et la vesce. Quant à l'équitabilité, il n'y a pas assez des différences entre les différentes plantes de service. Pour atteindre les 95% des individus capturés, le nombre de taxons est élevé sur le radis alors que la vesce, le brachiaria et l'éleusine-crotalaire totalisent le même nombre de taxons (tableau 10).

Tableau 10 : Diversité et équitabilité de la macrofaune du monolithe selon les traitements (Andranomanelatra, mars 2010)

Dispositifs	Traitements	Richesse taxonomique	Indice de Shannon-Weaver	Equitabilité	NGE 95
Riz pluvial	Br	25	2,52	0,77	18
	Cl+ T+ Co	26	2,17	0,66	17
	El et Cr	25	2,37	0,73	18
	Ha (SCV)	23	2,28	0,72	16
	Ha (Ia)	17	1,91	0,66	11
	Ra f	29	2,38	0,70	19
	Riz seul	18	2,07	0,70	14
	Ve	28	1,33	0,39	13
Plantes de service	Br	17	1,51	0,52	10
	Cl+ T+ Co	17	0,78	0,27	4
	El et Cr	17	2,14	0,74	14
	Ha	12	1,42	0,55	7
	Ra f	21	2,33	0,76	17
	Ve	18	2,26	0,77	15

2.1.2.5– Principales classes trophiques

Les différents groupes d'individus sont classés par leur régime alimentaire et la composition trophique varie en fonction des traitements. Sur les deux dispositifs, les détritiphages et les saprophages dominent (tableau 11). Les prédateurs et les phytophages sont moins abondants. Sur dispositif riz pluvial, les détritiphages sont très abondants sur vesce par rapport aux autres plantes alors que la densité des saprophages ne montre pas de différence sur tous les traitements. Les prédateurs et les phytophages sont plus abondants sur les parcelles couvertes que sur le traitement riz seul.

Sur les plantes de service, les détritiphages sont très abondants sur cléome-tagète-cosmos et les saprophages sur brachiaria. Sur radis fourrager, il y a davantage de saprophages que de détritiphages et de phytophages que de prédateurs.

Pour la vesce, le cas contraire a été observé avec plus de détritiphages que de saprophages et plus de prédateurs que de phytophages.

Tableau 11 : Effectifs moyens de la macrofaune du monolithe par classe trophique et par traitement (Andranomanelatra, mars 2010)

Dispositifs	Traitements	Détritiphages (nb ind/m ²)	Saprophages (nb ind/m ²)	Prédateurs (nb ind/m ²)	Phytophages (nb ind/m ²)	Faune totale (nb ind/m ²)
Riz pluvial	Br	114,67	189,33	80,00	69,33	453,33
	Cl+Ta+Co	285,33	184,00	56,00	48,00	573,33
	El et Cr	197,33	248,00	58,67	53,33	557,33
	Ha (SCV)	112,00	258,67	74,67	56,00	501,33
	Ha (La)	226,67	149,33	66,67	13,33	456,00
	Ra	290,67	216,00	88,00	53,33	648,00
	Riz seul	125,33	157,33	42,67	53,33	378,67
	Ve	1 093,33	272,00	64,00	53,33	1 482,67
Plantes seules	Br	181,33	725,33	42,67	58,67	1 008,00
	Cl+Ta+Co	2 245,33	298,67	64,00	21,33	2 629,33
	El et Cr	112,00	293,33	69,33	42,67	517,33
	Ha	389,33	240,00	21,33	21,33	672,00
	Ra	176,00	282,67	48,00	80,00	586,67
	Ve	229,33	181,33	85,33	42,67	538,67

Pour les résultats trophiques, seuls les 5 groupes majeurs représentés dans chaque classe trophique sont représentés sur les graphes alors que les groupes restants sont inclus dans « autres ».

- Détritiphages

Les détritiphages sont composés essentiellement des fourmis. Elles sont particulièrement abondantes sur vesce pour le dispositif riz pluvial et sur l'association cléome-tagète-cosmos pour les plantes de service (figure 40). Cette abondance est due à la présence des nids de fourmis sociaux dans ces deux traitements. D'autres familles sont aussi présentes notamment les Dermatidae, les Tenebrionidae, les Gryllidae et autres groupes comme les larves de Diptères.

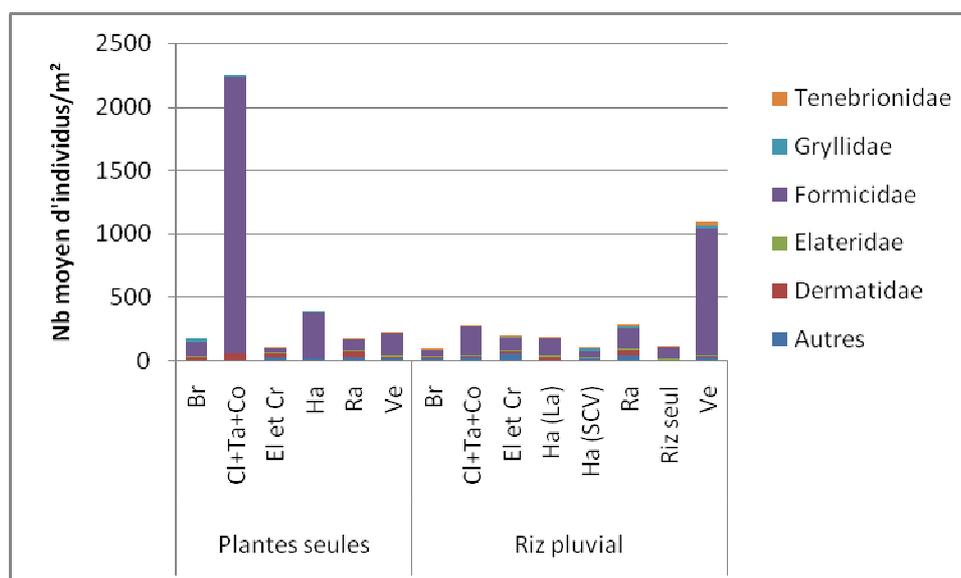


Figure 40 : Composition moyenne de la densité des détritiphages

- Saprophages

Sur les deux dispositifs, les Lumbricidae sont les plus représentées. Les vers blancs non ravageurs représentent la grande majorité des coléoptères saprophages de la faune du sol. Sur dispositif plantes de service, les saprophages sont très abondants sur brachiaria, plus abondants sur radis que sur vesce. Sur dispositif riz, la densité des saprophages ne montre pas de différence significative. Par contre contrairement à ce qui a été observé sur dispositif plantes de service, leur densité est plus élevée sur vesce que sur radis.

Sur les deux dispositifs, les larves de Sericidae (Sp1 B) sont largement représentées et se rencontrent de plus en plus sur l'haricot surtout en SCV, sur les associations des plantes et sur la vesce (figure 27 et tableau annexe 9) et sont incluses dans Autres sur cette figure 41.

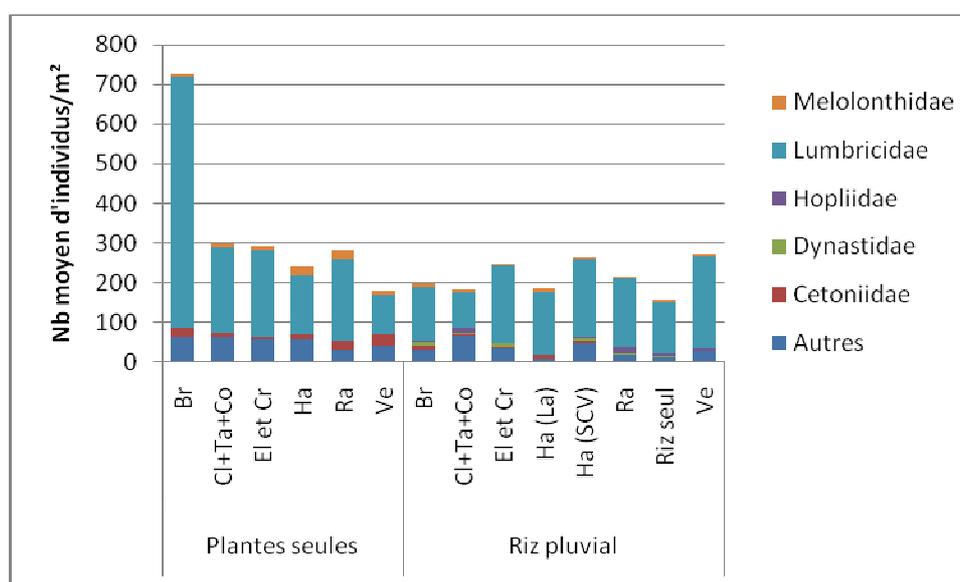


Figure 41: Composition moyenne de la densité des saprophages

- Prédateurs

Sur les deux dispositifs, les carabes sont dominants par rapport aux autres groupes de la faune (Figure 42). Les staphylins et les scolopendres sont également abondants sur dispositif riz pluvial. Sur les deux sites, la diversité des prédateurs est élevée avec de nombreuses : des Geophilidae, différentes familles d'araignées majoritairement des Salticidae, Theridiidae et Theraphosidae. Cette diversité est plus élevée sur riz avec couvertures que sur riz seul et sur dispositif riz que sur les plantes de couverture.

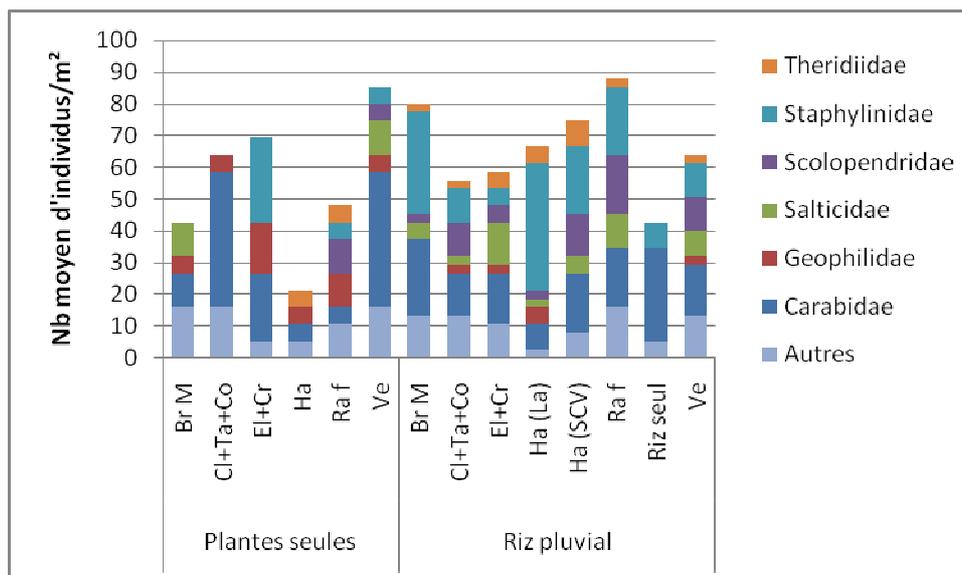


Figure 42 : Composition moyenne de la densité des prédateurs

- Phytophages

Sur les deux dispositifs, les phytophages sont dominés par les charançons (figure 43). En plus les Elatéridés, les vers blancs (Dynastidae, Melolonthidae), les vers gris et les acridiens ont été rencontrés. Il existe une grande diversité des ravageurs sur le dispositif riz pluvial que sur les plantes de service. Certaines plantes de service semblent attirer certains groupes de phytophages. C'est le cas par exemple des curculionidés qui sont abondantes sur l'éleusine-crotalaire et le radis et les Noctuidae sur radis sur les deux dispositifs.

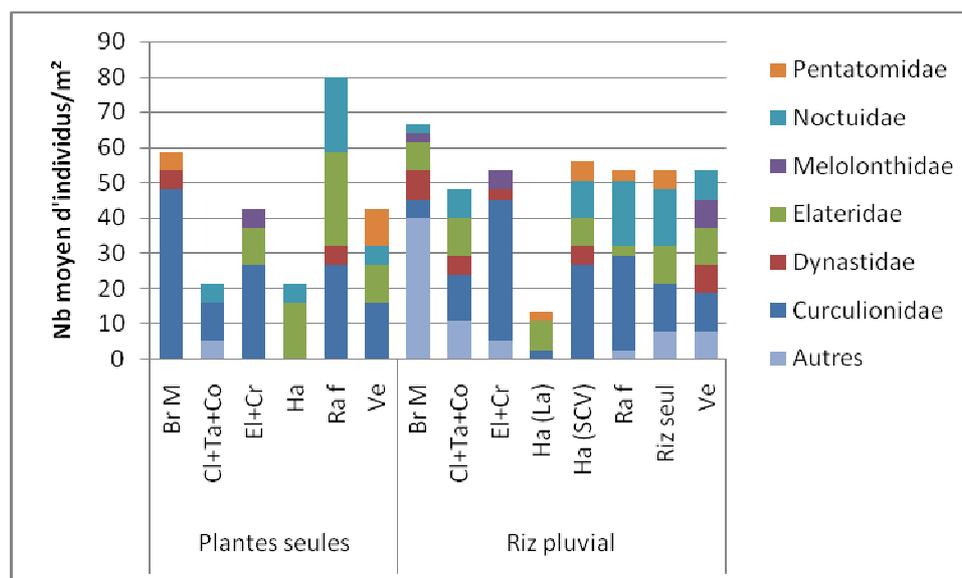


Figure 43: Composition moyenne de la densité des phytophages

2.2 – Résultats des mésocosmes :

Cette partie va montrer les différents effets étudiés en mésocosme (laboratoire) notamment les effets sols, effets vers, effets plantes et effets résidus. Il est désigné tout au long de cette partie par :

RP = radis plante (vivante)

RR= radis résidus

VP = vesce plante (vivante)

VR= vesce résidus

SP= sans plante (témoin)

2.2.1 – Effets des plantes de service vivantes ou résidus sur les vers :

2.2.1.1-Cas du ver de terre *Pontoscolex corethrurus*

- effet sur le nombre d'individus

La densité du ver de terre est faible sur tous les traitements (inférieur ou égal à 6), et les différences observées ne sont pas significatives ($P = 0,459 > 0,05$) à $P = 0,05$. La vesce vivante sur sol avec fumier présente la densité maximale (= 6) dont les écarts entre les répétitions sont nuls (figure 44). Les densités minimales sont observées sur radis vivant et vesce résidus pour le sol avec fumier et sur résidus du radis dans le cas du sol sans fumier. Les résidus de vesce montrent des densités inférieures par rapport à leur plantes vivantes et aux témoins sur les deux types de sol.

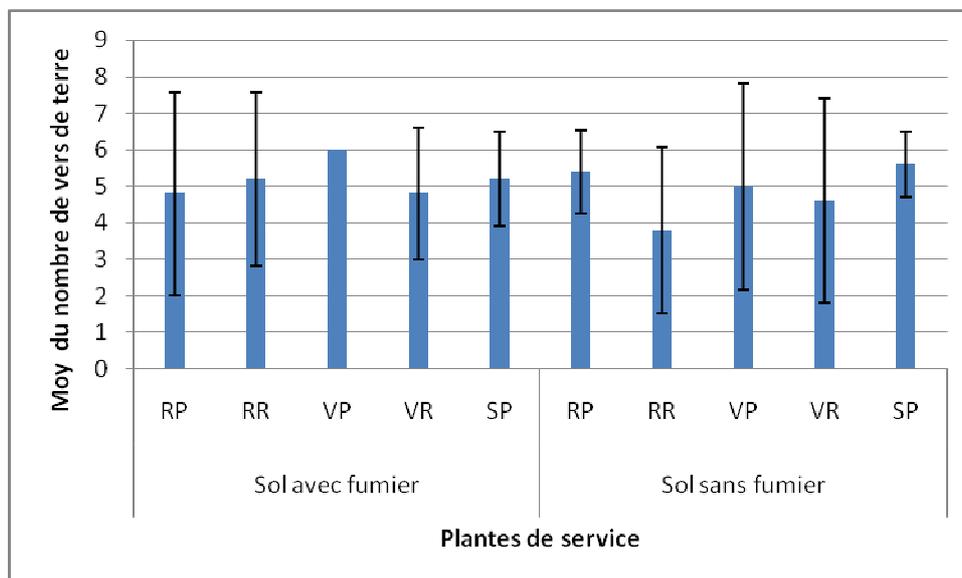


Figure 44 : Effets du radis et de la Vesce sur le nombre de *Pontoscolex corethrurus*

- effet sur la biomasse

Sur les deux sols, les masses des vers entre les traitements varient les unes des autres mais ces différences ne sont pas significatives ($P = 0,895 > 0,05$) (figure 45).

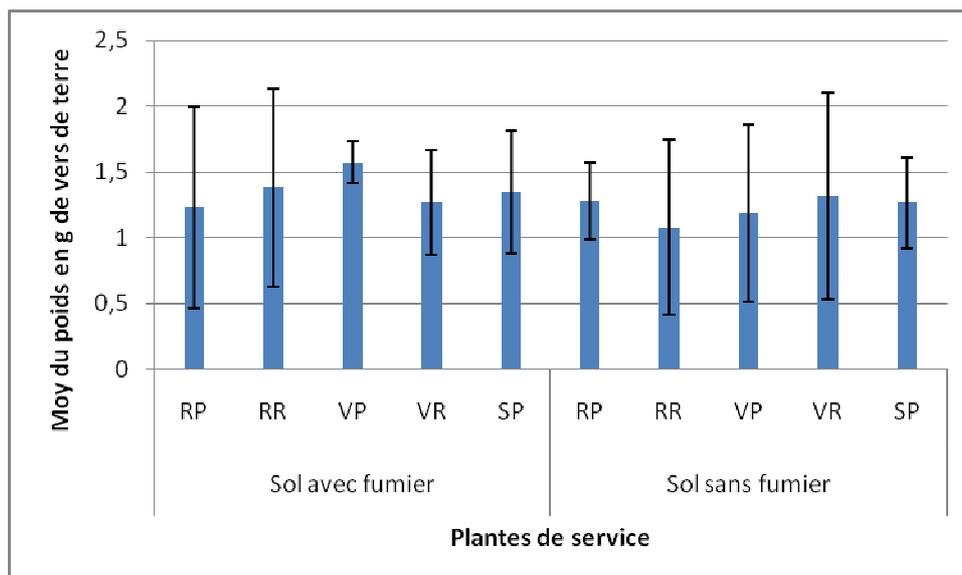


Figure 45: Effets du radis et de la Vesce sur la biomasse du *Pontoscolex Corethrurus*

-effet sur la production des turricules :

Sur sol sans apport de fumier, il n'y a pas de variations significatives des poids des turricules entre les traitements. Sur sol avec apport de fumier, une différence est constatée entre radis vivant (RP) par rapport à la vesce (VP) et aux témoins (SP).

Sur les deux types de sols, les écartypes sont élevés sur résidus par rapport aux plantes vivantes et aux témoins (figure 46).

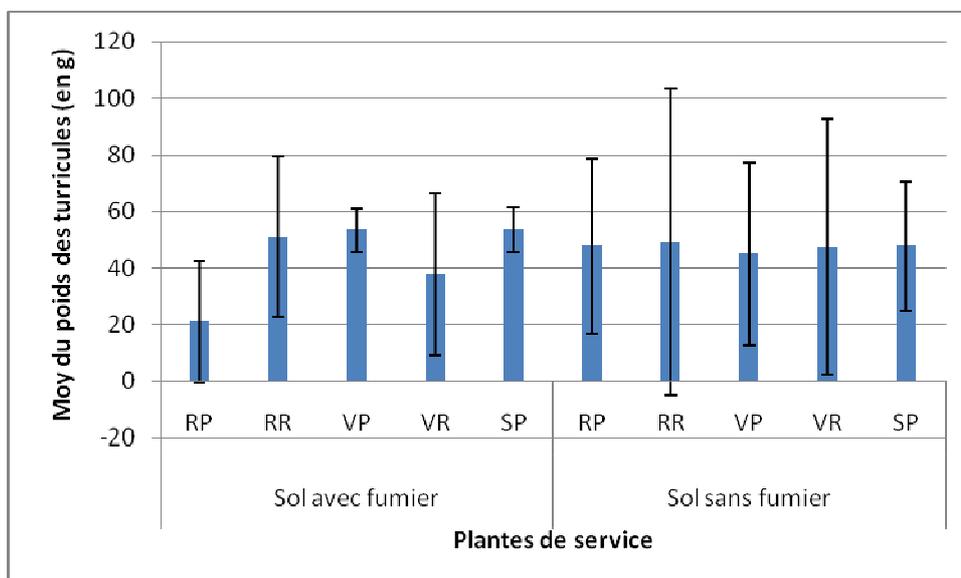


Figure 46 : Poids moyens des turricules en fonction des traitements

2.2.1.2- Effet sur le ver blanc *Heteroconus paradoxus*

- effet sur le nombre d'individus survivants

Le nombre des vers blancs varie selon les traitements. Les différences observées sont significatives ($P = 0,013 < 0,05$). Sur sol avec apport de fumier, cette différence est constatée entre les radis (RP et RR) et témoin (SP). Sur sol sans apport de fumier, elle existe entre résidus du radis et vesce (VP, VR) et témoin (figure 47).

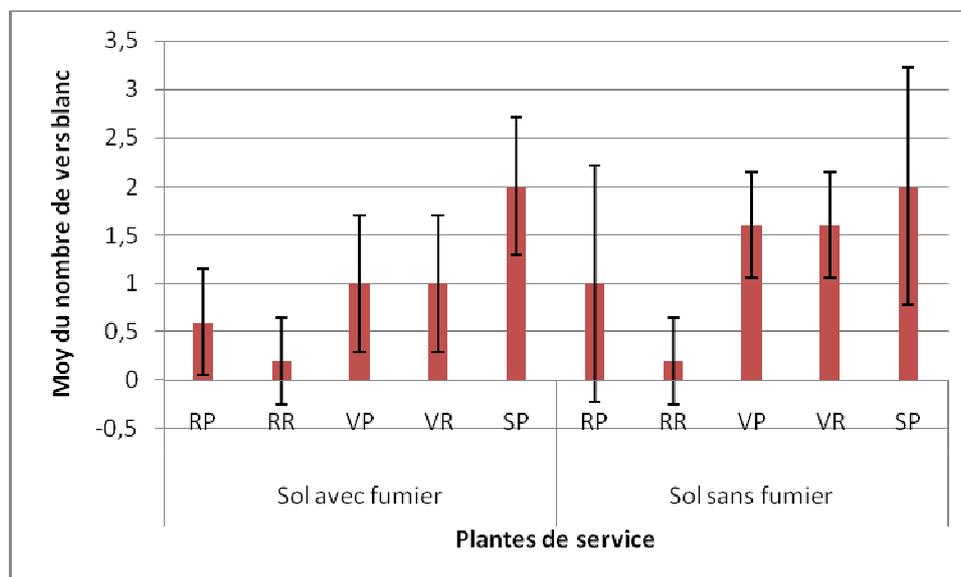


Figure 47 : Effets du radis et de la Vesce sur le nombre de *Heteroconus paradoxus*

- effet sur la biomasse

On observe une différence significative entre les traitements ($P = 0,014 < 0,05$) (figure 48). Sur sol avec apport de fumier, cette différence est constatée entre résidus du radis et résidus de vesce d'une part et résidus du radis et témoin d'autre part. La vesce vivante montre également une différence significative par rapport au témoin. Sur sol sans fumier, cette différence existe entre résidus du radis et témoin (figure 48).

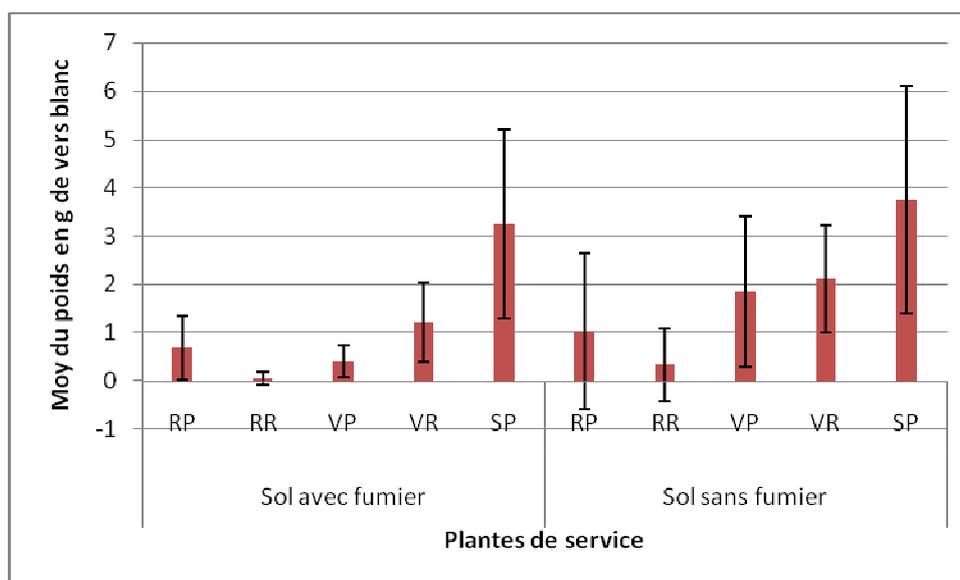


Figure 48 : Effets du radis et de la Vesce sur la biomasse de *Heteroconus paradoxus*

2.2.2 – Effets des plantes de service sur le carbone organique (C), l'azote total (N), le phosphore assimilable (P) et sur le pH

Tableau 12 : Résultat des Analyses chimiques complètes du sol total

Analyses	pH	N %	P (ppm)	C %	Ca %	Mg %	Na %	K %	CEC (még/mg)
Résultats	5,38	0,210	1,6	3,90	0,190	0,095	0,065	0,115	17,0

Tableau 13 : Résultats des Analyses physiques du sol total

Argile	Limon	Sable
24 %	34 %	42 %

Tableau 14 : Résultats des Analyses du Fumier de Bovin

Analyses	N %	P %	C %	Ca %	Mg %	K %
Résultats	1,03	0,245	8,85	2,44	0,27	0,8

Pour le carbone :

Il n'y a pas de différence significative du taux de carbone pour les différents traitements (RP, RR, VP, VR, avec ou sans vers de terre)

Pour l'azote total :

Il n'y a pas de différences significatives entre les traitements (les taux moyens d'azote varient entre 0,24 à 0,28%) (Tableau 15)

Pour l'azote minéral :

Une différence significative du taux d'azote est notée sur radis résidus RR et sur vesce résidus VR avec ou sans verre de terre sur les deux types de sol.

Pour le phosphore : Sur sol avec du fumier associé au ver de terre, le taux du phosphore assimilable est élevé sur résidus du radis. Sur sol sans fumier, il est élevé sur radis vivants et sur résidus de vesce. Cependant, ces différences entre les traitements ne sont pas significatives. Pour les sols associés au ver blanc, le phosphore est élevé sur résidus du radis alors qu'il est faible sur vesce vivante.

Ph : Dans l'ensemble des traitements, le sol est légèrement acide avec un pH qui varie de 5,3 à 5,6. Le sol avec du fumier est moins acide que le sol sans apport du fumier. Toutefois, les différences ne sont pas significatives.

Tableau 15 : analyse chimique du sol en fin de manipulation

Taux moyens des éléments chimiques des sols finaux (mésocosmes)											n = 5
traitements éléments		RP		RR		VP		VR		SP	
		VT	VB	VT	VB	VT	VB	VT	VB	VT	VB
Sol avec fumier	pH (eau)	5,61	5,54	5,45	5,52	5,45	5,46	5,42	5,42	5,40	5,42
	C organique (%)	3,72	3,75	3,69	3,61	3,72	3,73	3,67	3,68	3,70	3,80
	N total (%)	0,25	0,25	0,26	0,28	0,24	0,25	0,24	0,25	0,24	0,23
	N minéral (mg/l)	3,27	5,21	14,8	11,54	5,76	6,55	8,56	8,20	6,43	8,45
	P assimilable (ppm)	1,64	2,10	2,70	3,82	1,64	0,98	1,28	1,52	1,82	2,62
Sol sans fumier	pH (eau)	5,33	5,40	5,43	5,43	5,36	5,39	5,30	5,34	5,35	5,34
	C organique (%)	3,67	3,66	3,75	3,71	3,75	3,64	3,69	3,69	3,63	3,74
	N total (%)	0,26	0,26	0,28	0,26	0,26	0,27	0,24	0,24	0,28	0,25
	N minéral (mg/l)	7,75	5,96	12,9	12,62	6,72	6,61	9,96	9,34	6,78	9,31
	P assimilable (ppm)	3,58	1,64	1,46	2,22	1,00	1,38	2,30	1,80	1,60	1,14

n= nombre de répétition de chaque traitement au cours de l'expérimentation

2.2.3 – Effets des sols sur les vers de terre et vers blancs

La densité et la biomasse des vers semblent liées uniquement aux plantes de service et non à la qualité du sol (figures : 44, 45, 47 et 48).

2.2.4 – Effets des sols sur les attaques du ver blanc

- attaques sur les plantes de service :

Le nombre moyen d'attaque du ver blanc *Heteroconus paradoxus* est plus élevé sur sol avec apport de fumier que sur sol sans apport de fumier. Bien que le radis attire plus les insectes que la vesce, c'est cette dernière qui est plus attaquée (figure 49).

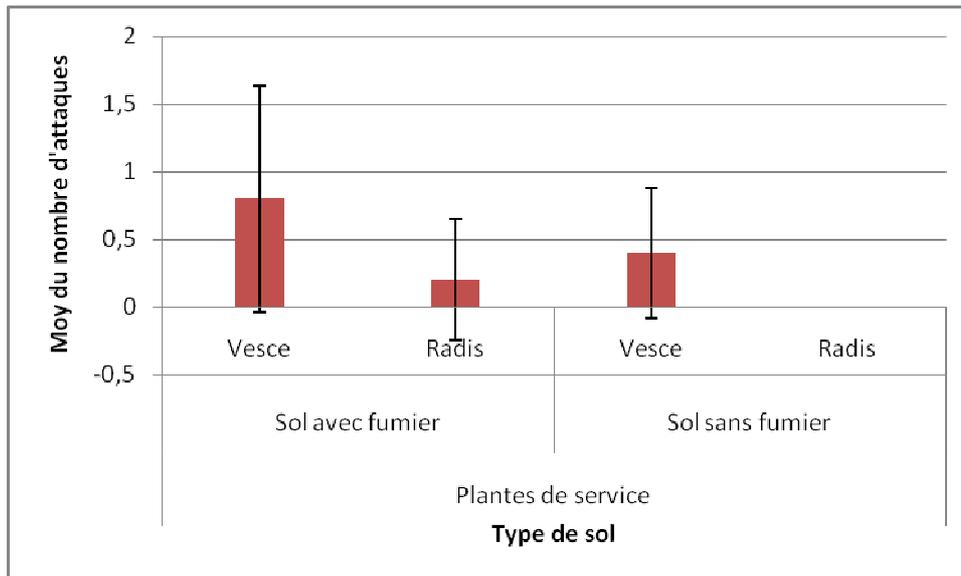


Figure 49 : Taux d'attaques moyens des plantes de services par le ver blanc en fonction du sol

- attaques sur riz pluvial

Sur le riz pluvial associé aux plantes de service, le nombre d'attaques est plus élevé sur sol avec fumier que sur sol sans fumier (Figure 50). Le nombre d'attaques est aussi élevé sur radis plantes que sur radis résidus. Le cas contraire est observé pour la vesce, avec plus d'attaques sur vesce résidus. Pour les témoins, il y a eu plus d'attaques sur sol avec apport du fumier que sur sol sans fumier.

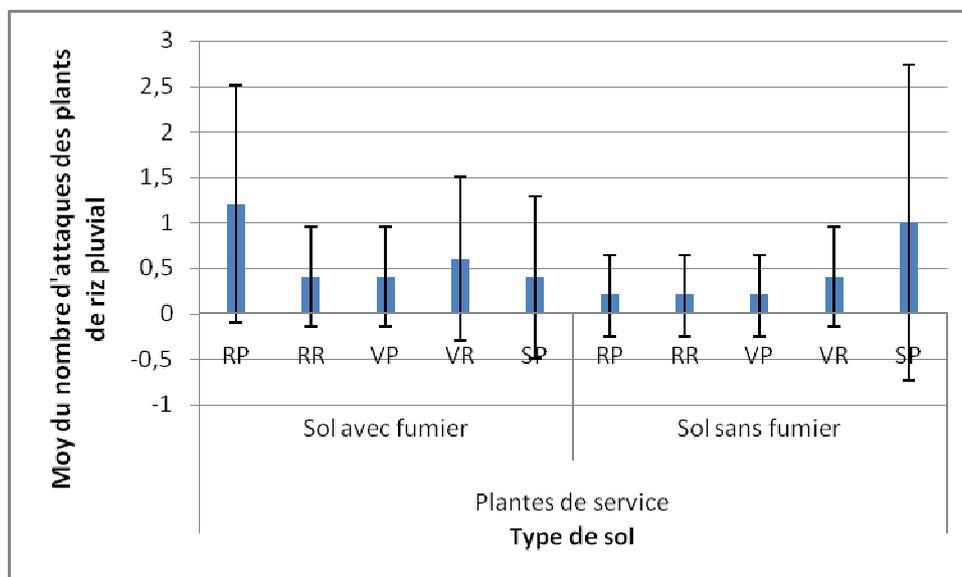


Figure 50 : Taux d'attaques moyens des plants du riz par le ver blanc en fonction du sol

2.2.5 – Effets des vers de terre sur les activités de la minéralisation

- Sur la minéralisation des turricules

Le taux de l'azote minéral des turricules varie en fonction des traitements.

Sur les deux types de sols, seuls les traitements avec résidus du radis montrent des valeurs moyennes élevées > 10mg/l (figure 51). Sur sol avec fumier, une différence significative est constatée entre radis plantes par rapport aux autres traitements.

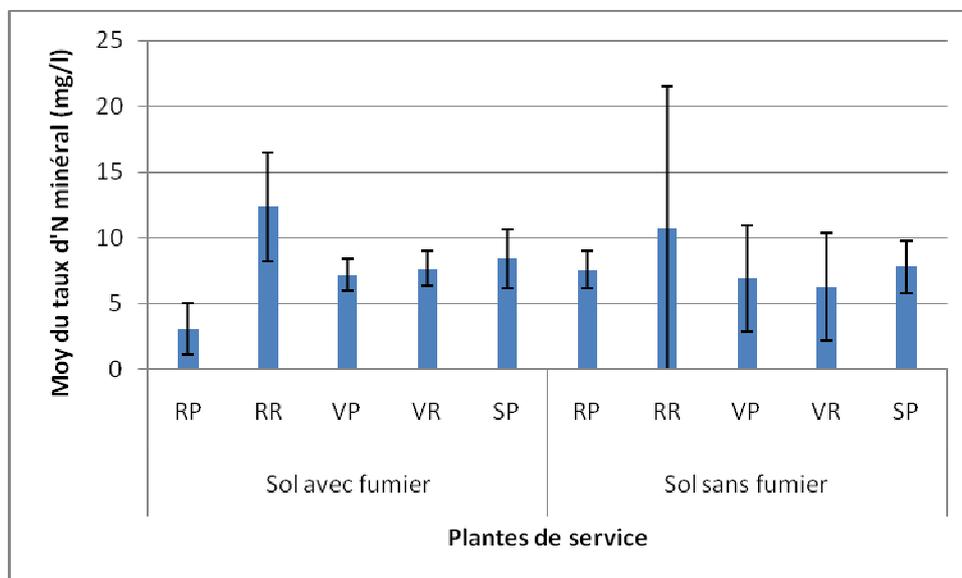


Figure 51 : Taux moyens d'azote minéral des turricules en fonction des traitements

CHAPITRE III : DISCUSSION

3.1- Densité et biomasse de la macrofaune

Les hyménoptères avec les fourmis forment le groupe le plus abondant de la macrofaune dans les pitfall traps. Ce sont des insectes sociaux qui vivent soit sur les végétaux, soit au niveau du sol et qui se déplacent beaucoup par essaim utilisant des communications chimiques pour la recherche de nourriture. Ce qui explique leur abondance dans les pitfall traps. Tous les autres groupes sont solitaires donc moins nombreux que les fourmis.

Avec les pitfall traps, la diversité de la macrofaune obtenue sur les deux dispositifs est la même. En effet, ces deux dispositifs se trouvent sur le même site de l'ONG TAFA et ont la même historique : mêmes précédentes cultures et mêmes traitements à l'exception du riz qui n'est présent que sur dispositif riz pluvial. Par contre, la densité de la macrofaune est différente sur les deux dispositifs. La faune est plus abondante sur riz seul par rapport au riz associé aux plantes de service et aux plantes de service seules. En outre, si on compare les résultats obtenus sur les deux dispositifs, il est constaté que les plantes de service ont une influence sur la composition et l'abondance de la macrofaune. En effet, elles agissent sur les propriétés du sol telles que l'humidité, la température et la teneur en matière organique. Ces conditions sont susceptibles de jouer un rôle dans le déterminisme de la macrofaune du sol (Bachelier, 1978). Ainsi, l'abondance de la faune pour l'association éleusine – crotalaire, la vesce et le haricot est due d'une part au fait que ces plantes améliorent la qualité physique et chimique du sol, le rendant favorable au développement de la faune. D'autre part, ces plantes ne sont pas très toxiques pour la faune. Selon, Quaranta (2010), l'éleusine et les crotalaires ont seulement de légères influences envers les Nématodes. Toutefois, Sivakumar *et al* (2006) montre que l'éleusine pourrait être employé afin de lutter contre le bruche chinois (*Callosobruchus chinensis*, Bruchidae), *Acaea janata* (Noctuidae), *Carcyra cephalonica* (Pyralidae), le charançon du riz (*Sitophilus oryzae*, Curculionidae) et *Tribolium castaneum* (Tenebrionidae). La vesce a une influence plus ou moins néfaste sur le développement de la mouche du chou (*Delia radicum*), la teigne des crucifères (*Plutella xylostella*), des champignons parasites responsables des maladies cryptogamiques (*Alternaria solani*, *Fusarium oxysporum*) (Quaranta, 2010). L'Haricot n'a pas d'impact sur la macrofaune. Par contre, le radis fourrager a un impact négatif sur la densité de la macrofaune. Selon Ratnadass (2009), il a un effet allélopathique sur certaines faunes. Il contient une substance appelée glucosinolate qui agit contre divers types des ravageurs selon Ahuja *et al*, (2009) d'où son effet toxique. Les résultats obtenus montrent en plus l'attractivité ou le refus de certaines faunes par certaines plantes de service. Ainsi, l'association cléome-tagète-cosmos attire les vers blancs et les Orthoptères ; la vesce attire les fourmis et les Orthoptères. Le radis attire également les fourmis notamment le genre *Carebara* et les Coléoptères. L'association éleusine-crotalaires attire les fourmis, le ver blanc *Triodontus nitidulus* mais repousse la fourmi *Aphaenogaster*.

Le riz attire les fourmis dont le genre *Hypoponera* (Ponerinae). Enfin, le haricot en SCV montre une abondance de la faune par rapport au haricot en labour. Ces résultats ne concernent pas seulement le haricot, car les systèmes de culture en SCV présentent toujours des densités plus élevées de la macrofaune qu'en labour (Blanchart *et al*, 2008). Le non-labour préserve la densité de la faune en limitant la perturbation de l'habitat et les risques d'exposer les individus aux prédateurs et au soleil (Boli, 1996, cité par Bikay en 2005). Le labour, les pesticides et certains modes de culture peuvent affecter jusqu'à 90% de la faune et la flore du sol (Blanchart, 2005). Egalement, selon Curry & Good, 1992 et Ramanantsialonina, 1998, des facteurs tels que le climat, le type d'habitat et le degré de perturbation interviennent dans la composition de la macrofaune.

La biomasse obtenue sur les deux dispositifs dépend de la taille des espèces présentes sur chaque traitement. La taille des individus capturés dépend des stades présents lors des collectes. Les larves de *Sp1* et *Sp17* (L1 et L2) sont de petite taille (< 2cm) alors que celles d'*Apicencya* (L3) sont de grande taille (> 3cm). Les fourmis ont une biomasse faible. C'est ainsi que l'association cléome- tagete- cosmos a toujours une biomasse élevée due à la présence en abondance des vers blancs. En outre, la biomasse est liée également à l'abondance de la nourriture, base de la chaîne alimentaire des organismes du système (Hendrix *et al*, 1990). Et les plantes de service peuvent soit stimuler l'appétit soit avoir l'effet contraire. Selon Rafaraso (2011), le radis a un effet appétant mais toxique d'où la faible densité de la macrofaune sur radis d'une part et la faible biomasse également d'autre part. Par contre la vesce est peu toxique. Ratnadass *et al*, 2009, cité par Quaranta en 2010, ont parlé de cet effet allélopathique hypogé du radis sur le développement de certaines espèces. Et comme les Coléoptères représentent la biomasse la plus élevée des pitfall traps et des monolithes, la biomasse obtenue sur radis est moins importante que sur la vesce.

Concernant les monolithes, la densité de la macrofaune est plus élevée dans l'horizon 0-10cm. En effet, dans cette couche superficielle, les conditions climatiques sont favorables pour la faune. C'est le cas par exemple de l'humidité relative qui variait de 15% à 25% dans cet horizon alors qu'il peut atteindre 40% dans l'horizon 20-30 cm. Cette zone généralement couverte par la litière et riche en racines, reçoit directement les nutriments issus de la dégradation des matières organiques. Elle possède ainsi, toutes les conditions favorables au développement de chaque classe trophique.

En plus des fourmis, d'autres groupes sont également bien représentés, en particulier les vers de terre et les coléoptères. Les vers de terre (endogés) sont abondants dans les horizons allant

de 0 à 50 cm (Bouché, 1972) et les monolithes ont une profondeur de 30 cm. Ce qui explique la densité élevée des vers de terre dans les monolithes par rapport aux pitfall traps. Il en est de même des Coléoptères dont les larves surtout celles des vers blancs vivent et se déplacent jusqu'à une profondeur de cm dans le sol. Une différence au niveau de la composition de la faune a été observée sur les deux dispositifs, celle-ci étant plus diversifiée sur dispositif riz par rapport au dispositif plantes de service. Ceci montre une plus grande attractivité du riz envers la macrofaune notamment pour les Orthoptères dont les grillons et les Diptères surtout les asticots. Selon Durieux et al (2010) et Lebbal (2010), les plantes secrètent des substances chimiques appelées allomones et la faune réagit différemment à ces stimuli. Certains sont attirés comme le cas des Orthoptères et des Diptères sur le riz. D'autres sont repoussés comme le cas des Hémiptères par cléome-tagète-cosmos et vesce.

Comme dans les pitfall traps, la faune a été abondante sur vesce. Par contre leur densité élevée sur l'association cléome-tagète-cosmos est difficile à expliquer. En effet, le tagète et le cosmos ont des effets biocides (Rafaraso, 2011).

Biomasse :

L'importance de la biomasse est essentiellement due aux vers blancs sur tous les traitements et secondairement aux vers de terre.

Sur dispositif plantes de service, elle a été élevée sur cléome –tagète – cosmos et sur brachiaria.

Sur association cléome-tagète-cosmos, elle est due à l'abondance en même temps des Hyménoptères (fourmis), des vers de terre et des coléoptères (vers blancs). Sur brachiaria, elle est due à l'abondance des vers de terre surtout et des vers blancs. Le brachiaria est connue par son important développement racinaire structurant ainsi la texture du sol. Ces conditions sont favorables à la vie des vers de terre et des vers blancs qui sont les groupes les plus dominants dans les monolithes.

Sur dispositif riz, la biomasse est élevée sur brachiaria et éleusine-crotalaire. Dans ces deux cas, la biomasse est due essentiellement aux vers blancs et secondairement aux vers de terre et fourmis qui constituent les groupes les plus abondants. L'association éleusine- crotalaire n'a pas d'effet négatif sur les populations de vers blancs et de vers de terre.

La biomasse obtenue sur radis est toujours moins importante que sur la vesce. Elle est due aux vers blancs bien que le radis a un effet négatif sur ces insectes du sol.

3.2- Diversité de la macrofaune

51 familles ont été identifiées sur les pitfall traps alors que les monolithes ont montré 53 familles.

Cette différence peut être expliquée par la taille des monolithes qui est largement supérieure à celle des pitfall traps. De plus, les pitfall traps ne capturent que les espèces qui se déplacent au niveau des horizons supérieurs du sol.

La richesse taxonomique est plus élevée sur le dispositif riz pluvial par rapport au dispositif plantes seules. En effet, à part la dimension qui est différente pour les deux dispositifs, le riz attire des espèces en plus de celles attirées par les plantes de service. La richesse taxonomique H et l'indice de Shannon-Weaver H' sont également plus élevés sur le riz associé à des plantes de couverture que sur la céréale seule. Il en est de même sur l'haricot en SCV par rapport à l'haricot sur labour pour le monolithe.

Les indices de diversité varient légèrement en fonction des dispositifs et du niveau du groupe retenu.

Ces indices nous montrent que la biodiversité de la faune est plus élevée sur les traitements avec plantes de couverture et sur le non labour. Les parcelles avec couverture montrent également des indices de régularité (E et NGE 95) élevées par rapport aux parcelles avec céréale seule. Et le SCV montre une répartition plus équitable des taxons que le labour. Decaens *et al* (2008) ont mis en évidence l'existence d'un impact significatif du type d'utilisation du sol sur la richesse et l'abondance de vers de terre. Cette théorie est également valable pour les autres faunes, le labour perturbe leur développement et les expose aux conditions défavorables de surface et à la merci des prédateurs. Les effets positifs des plantes de couverture sur la diversité de la faune du sol ont été relevés à plusieurs reprises par nombreux auteurs. Le travail de Minette (2000) au Brésil cité par Bikay (2005), a révélé une augmentation intense de la biodiversité (quantité et qualité) après 1, 4, 8 et 10 ans d'applications de SCV. Cette étude comparait le labour à deux modes de SCV en culture de soja. Brown (2002) dans ces mêmes conditions culturales, a obtenu une meilleure biodiversité en SCV après treize années de pratique. Goias (2003) cité par Sarda (2004), a mis en évidence l'influence positive de la couverture et du zéro labour sur l'abondance et la biodiversité de la macrofaune dans les parcelles après trois années de cultures SCV. A Rio Verde au Brésil, Sarda (2004) a eu les mêmes résultats après 2, 4 et 9 années de SCV. Au Nord Cameroun, Bikay (2005) et Nadama (2006) sur des cultures cotonnières après trois et quatre années de SCV, ont obtenu les mêmes résultats. L'influence positive des SCV sur la densité et la biodiversité de la macrofaune du sol est favorisée par les conditions écologiques favorables engendrées par les systèmes. Ainsi, les couvertures protègent le sol de l'assèchement, de l'érosion, des changements brusques de température et d'humidité et augmentent la quantité de matière organique dans le sol créant des microhabitats favorables au développement de la faune. Cette méthode de gestion des sols adaptée au climat tropical humide semble être particulièrement appropriée aux cultures pluviales du sol malgache (Rabearisoa, 2006).

Concernant les plantes de service, la diversité est très remarquable sur le radis. Par ailleurs, le radis semble influencer beaucoup plus la régularité que les autres plantes de service utilisées dans le semis direct. Bien que toxique, le radis a donc des effets attractifs sur la macrofaune. Pour les associations de plantes, on connaît mal si les effets positifs des associations des plantes de service sur la diversité sont dus par l'effet associatif ou par l'une des plantes appartenant à l'association. Des tests sur ces plantes utilisées seules pourront donner des informations sur leur efficacité. Le travail d'Ambar

(2010), effectué sur notre site d'étude a montré des effets significatifs des différents traitements sur la diversité de la macrofaune notamment le traitement avec du radis, des associations cléome-tagète-cosmos et éléusine-crotalaire.

Les deux méthodes utilisées pour le prélèvement de la macrofaune ont donné des résultats exploitables. Elles convergent à la même conclusion à savoir une meilleure biodiversité sur les traitements avec couverture que sur les sols nus, sur le SCV que sur le labour, sur le radis et/ou sur les associations des plantes de service. Parmi toute cette diversité taxonomique de la macrofaune, les termites n'étaient pas obtenues dans l'ensemble des traitements. Ces résultats sont similaires avec ceux obtenus par d'autres études effectuées dans différentes conditions agro-écologiques. Ainsi au Brésil, Blanchart (2007) a signalé la disparition des termites au bout de quelques années de SCV. Ce qui est le cas dans notre site après une décennie de SCV.

L'influence entre les différentes plantes de service sur la densité, la biodiversité et la régularité de la macrofaune du sol peut s'expliquer par la présence de substances actives, par leur vitesse de dégradation dans le sol et par leur mode d'action sur les espèces. Ces substances peuvent être attractives, répulsives, toxiques ou non.

3.3- Fonctions trophiques (changement de la structure des groupes fonctionnels du sol induit par la DVSS et les influences sur leurs interrelations)

La classe des détritiphages est la plus abondante aussi bien dans les pitfall traps que dans les monolithes. Dans cette classe, les fourmis sont largement dominantes. Les autres familles de détritiphages sont Gryllidae, Tenebrionidae, Dermatidae, Milichiidae, Heleomyzidae. Cette abondance des fourmis est due à la présence des nids de fourmis sociaux dans les parcelles. Les fourmis construisent leurs nids dans les endroits où elles peuvent trouver des sources alimentaires convenables constituées de débris végétaux en décomposition. L'abondance des fourmis sur riz, radis et vesce montrent que ces plantes n'ont pas d'impact sur ces insectes. Par contre leur faible abondance sur radis sous entend un effet négatif de cette plante sur ces insectes du sol. Les fourmis sont aussi abondantes en SCV qu'en labour. Cette situation a été également observée par Bikay (2005) sur culture cotonnière avec ou sans plante de couverture.

La classe des saprophages est abondante dans les monolithes et peu abondante dans les pitfall traps. Cette différence peut être expliquée par la dimension des deux types de pièges les monolithes étant plus profonds que les pitfall traps et par l'abondance des nourritures dans les différents horizons du sol. Les saprophages se nourrissent des matières organiques d'origines animales et végétales en décomposition. Ces matières après décomposition passent de la litière vers les horizons profonds du sol contribuant à la nutrition des plantes (Seguy *et al*, 2009). La classe des saprophages est essentiellement représentée par les Heleomyzidae (Diptères) et les Dynastidae (Coléoptères) dans les pitfall traps alors que les Lumbricidae dominent dans les monolithes. Ces différences sont dues à

l'écologie et la biologie de ces différentes familles. Les larves des Diptères (asticots), à tégument peu chitinisé ne peuvent vivre qu'à la surface du sol contrairement aux vers blancs et au vers de terre qui sont des espèces endogées à tégument plus épais et plus chitinisé. Les vers de terre secrètent en plus du mucus pour se protéger des particules abrasives du sol.

La diversité des saprophages est plus élevée sur dispositif riz pluvial que sur dispositif plantes de service. Ce qui montre que les associations de culture favorisent beaucoup plus la diversité de la faune du sol. Le riz attire d'autre faune saprophage notamment les Heleomyzidae, les Milichiidae et les Drosophilidae.

Sur les deux pièges, les Lumbricidae sont abondantes sur éléusine – crotalaire, radis et Brachiaria. Ces plantes n'ont pas d'effet négatif sur les vers de terre.

La classe des prédateurs est essentiellement composée par les Araignées (Therididae et Salticidae), les Coléoptères (Carabidae, Staphylinidae et Geophilidae (dans les monolithes), des Myriapodes (Scolopendridae). Ces résultats sont confirmés par ceux obtenus par (Bikay, 2005) qui montrent que la classe des prédateurs est composée essentiellement des araignées, des carabes, des staphylins et des scolopendres.

La classe des prédateurs est particulièrement plus abondante dans les monolithes que dans les pitfall traps. Leur diversité est aussi plus élevée dans les monolithes que dans les pitfall traps et sur dispositif riz que sur dispositif plantes de service. Ces résultats montrent encore l'importance des captures sur les monolithes et des associations cultures sur la diversité biologique.

La classe des phytophages est fortement plus abondante dans les pitfall traps que dans les monolithes. Les phytophages se nourrissent des différentes parties des plantes. Ils sont plus abondants sur la litière que dans le sol. Sur la litière, ils se nourrissent des feuilles, des rameaux de tige fraîchement tombées sur sol, alors que dans le sol ils s'attaquent surtout aux racines. Si bien que la composition des phytophages est très différente dans les pitfall traps (litière seulement) et dans les monolithes (litière + faune endogée). Les Orthoptères Acrididae et Tettigonidae, les Coléoptères Alticinae et Curculionidae dominent dans les pitfall traps alors que ce sont les Coléoptères Curculionidae, Elatéridae et Dynastidae, les Lépidoptères Noctuidae et les Hémiptères Pentatomidae qui dominent dans les monolithes. Les travaux de Nadama en 2006, ont montré que les phytophages occupent le deuxième rang des groupes trophiques par leur effectifs dans les pièges et sont composés essentiellement des Coléoptères.

La classe des nectarifères n'a été obtenue que dans les pitfall traps et seulement sur le dispositif riz. En fait, ces insectes nectarifères ne font pas réellement partie de la faune du sol c'est pourquoi leur densité est très faible. Ils ont été capturés par accident dans les pitfall traps.

Les vers de terre et les fourmis figurent parmi la faune classée ingénieurs du sol par Bachelier (1978) et jouent un rôle clé dans le fonctionnement des sols. Ils aèrent, stabilisent et permettent la bonne circulation de l'eau dans les sols (Rovillé, 2008). Ils fonctionnent dans le cadre d'interactions multiples et complexes avec les autres composantes biologiques du sol (microorganismes, microflore, racines (Blanchart, 2010). Ils constituent des indicateurs de la qualité des sols (Masse, 2007). Les détritiphages et les saprophages jouent un rôle important dans la restitution de la matière organique et le recyclage des nutriments dans le sol. Situés au premier rang de la chaîne de décomposition, les détritiphages constituent la classe qui a le plus grand impact dans ce processus. Les saprophages continuent ces processus de dégradations et jouent ainsi le rôle de biocatalyseurs. Les prédateurs jouent à leur tour un rôle important dans la régulation biologique des populations et sont essentiels en lutte biologique.

3.4- Impacts sur le ver de terre et le ver blanc

Effet plantes

Le radis, la vesce, la qualité du sol (présence ou non de fumier) n'ont pas d'impact sur le nombre et la biomasse du ver de terre *Pontoscolex corethrurus*. Les plantes de services en particulier le radis et la vesce sont non toxiques pour le ver de terre *Pontoscolex corethrurus*. En effet, les vers de terre par la présence de flore microbienne dans leur tube digestif, sont susceptibles de détoxifier les produits dangereux et toxiques de leur alimentation.

Sur un sol avec apport de fumier, le radis et ses résidus ont montré des effets négatifs sur les activités des vers notamment sur la diminution de la production des turricules. Il y a interaction entre la richesse en matière organique des sols, les substances contenues dans le radis et la production de turricules. En effet, selon Lavelle *et al*, (1997), les vers de terre ont d'importants impacts sur la dynamique de la matière organique du sol et les cycles des nutriments sont largement déterminés par leur densité et leur classe écologique. Par le processus d'ingestion, la formation des galeries et la production de turricules, ils contribuent à l'incorporation des résidus des plantes dans le sol promouvant leur décomposition ainsi que libération des éléments assimilables par les plantes (Ramiandrisoa, 2008).

Avec ou sans apport de fumier, le radis (RP et RR) montre toujours un impact négatif sur le nombre de vers blancs *Heteroconus paradoxus*. Sur la biomasse, le résidu de radis et la vesce vivante diminuent fortement la biomasse du ver blanc. Le résidu de radis a plus d'impact que le résidu de vesce.

Le fait que le résidu de radis est plus toxique que le radis plante pour le ver blanc pourrait s'expliquer par le fait que les résidus se dégradent rapidement dans le sol et libèrent des produits toxiques qui agissent directement sur le ver. Les effets toxiques du radis sur les vers blancs ont été montré dans d'autres études notamment celles de Rafaraso (2011) mais également par d'autres études sur d'autres

espèces. Plusieurs publications ont montré que *Raphanus sativus* est néfaste pour le développement de certaines espèces: - influence du radis sur *Meloidogyne incognita* et *Meloidogyne arenaria* (Nématodes) (Crow *et al*, 1996 ; Luc *et al*, 2005 Cités par Quaranta (2010),) ; un effet allélopathique hypogé du radis sur une population d'*Heterodera scactii* est cité par Ratnadass *et al* (2009) sur une culture de betterave à sucre ; Ahuja *et al*, (2009) explique qu'il s'agit d'un métabolite secondaire, le **glucosinolate**, produit par la plante qui agit sur ces divers types de ravageurs (Fahey *et al*, 2001 ; Bonnes & Rossiter, 2006 ; Tripathi & Mishra, 2007). Ces molécules sont stockées dans les vacuoles de la plante à l'état non actif. Lorsqu'un ravageur sectionne les tissus de la plante, la molécule rentre en contact avec la **myrosinase** (enzyme également présente dans les tissus de la plante) ce qui provoque son hydrolyse. Cette réaction provoque un certain nombre de composés toxiques pour le bio-agresseur tels que l'**isothiocyanate**, le **nitrile** et le **thiocyanate** (Quaranta, 2010).

Le résidu vesce est moins toxique que le résidu radis. Cela pourrait être due par le fait que ces deux plantes appartenant à des familles différentes (Vesce= légumineuses, radis= crucifères), n'ont pas ni les mêmes substances chimiques, ni le même degré de toxicité pour de la faune. En plus, les résidus du radis se dégradent rapidement dans le sol et par conséquent agissent rapidement sur la faune du sol. Le radis et la vesce n'ont pas d'influence marquée sur le taux de carbone, le taux d'azote total et le Ph. Les plantes n'ont pas d'effets marqués sur la composition chimique des sols finaux. En effet, il n'a été observé que de légères variations des taux de carbone, de l'azote total et du phosphore assimilable quelque soit le type de sol. Les quantités de carbone stockées dans les sols, même en SCV peuvent être faibles. L'augmentation des stocks de carbone du sol sous semis direct se doit essentiellement à l'introduction d'une deuxième culture dite de couverture qui permet une plus grande production primaire nette du système amenant à une augmentation des restitutions organiques au sol. Cela signifie que les bilans nets d'autres éléments liés à la productivité globale du système jouent un rôle crucial sur le stockage du carbone (Corbeels *et al*, 2008).

Pour le pH du sol, il y a eu des effets des plantes notamment avec les résidus par augmentation du pH du sol. En effet, les matières organiques diminuent l'acidité du sol et augmentent son pH. La vitesse de minéralisation dépend fortement de la qualité de la matière organique fraîche. Les résidus riches en sucres, amidons et protéines interstratifiées se décomposent beaucoup plus rapidement que ceux riches en hémicellulose (Seguy *et al*, 2009). Elle dépend également de l'activité de la microflore et donc des conditions du milieu (aération, humidité, température), du type de sol et des surfaces d'attaque (taille des fragments).

Par contre, le taux d'azote minéral est plus élevé sur résidus de radis et de vesce, et le taux de phosphore assimilable sur radis (vivant ou résidu seulement les traitements) et sur résidus de vesce. Selon Scopel *et al* (2008), les mulchs végétaux peuvent modifier la dynamique de l'azote, à long et à court terme. Ce qui explique l'augmentation de taux d'azote sur résidus que sur les autres traitements.

La vesce est plus attaquée que le radis. Les résultats antérieurs ont montré que la vesce est non toxique pour le ver blanc et que selon Rafarsoa le radis secrète des substances toxiques au ver. Ce qui fait que le ver blanc attaque plus la vesce que le radis.

Le riz est également plus attaqué sur sol avec fumier que sur sol sans fumier. Les attaques sont plus fortes sur riz associé au radis plante qu'avec radis résidus et sur riz associé avec vesce résidus qu'avec vesce plante.

Selon Rafaraso (2011), le radis a une substance appétant qui incite les vers à consommer d'avantage de nourriture. Cela est aussi visible à travers les attaques des plantes par ce ver blanc en présence du radis. Le travail de Randriamanantsoa (2010) a montré que certaines espèces de vers blancs sont plastiques et ne causent des dégâts que sur les sols moins riches en matière organique. Cependant, sur riz en association avec radis, *Heteroconus paradoxus* a consommé plus de riz sur sol avec apport du fumier, donc riche en matière organique. Il existe ainsi un effet phagostimulant de la matière organique sur ce ver blanc. Cet effet est augmenté par les substances contenues par le radis, ce qui augmente en plus l'appétit du ver, d'où les attaques.

Les plantes de couvertures qui sont des engrais verts stimulent l'activité microbienne des sols par l'apport de nourriture appropriée. Elles apportent des éléments nutritifs à la culture suivante qui peut être de l'azote s'il s'agit d'une légumineuse. C'est le cas de la vesce velue notamment qui fait partie de ses espèces de prédilection pour sa production importante d'azote (Badiou, 2009). Les crucifères (radis fourrager) poussent rapidement et apporte rapidement de la matière carbonée organique (www.terroirselect.info). Ils possèdent en générale des racines pivot qui pénètrent profondément, aèrent le sol et remontent les éléments nutritifs. En plus, dans un écosystème à forte production végétale, la phytomasse produite permet d'entretenir la litière dont la décomposition par les organismes vivants contribue au stockage de carbone dans le sol (Seguy *et al*, 2009).

Effet fumier

L'attaque de *Heteroconus paradoxus* est plus élevée sur sol avec apport de fumier de bovin que sur sol sans fumier. Le même résultat a été obtenu par Randriamantsoa *et al* (2007).

Le fumier est un engrais organique riche en azote et en oligoéléments issus d'excréments d'animaux additionnés de pailles utilisée comme produit fertilisant dans l'agriculture. Le fumier contribue à enrichir la terre en y ajoutant des matières organiques et des nutriments, comme l'azote (FAO, sd). A part le fumier, ils existent d'autres types d'engrais organiques notamment le compost, qui est le reste de la décomposition de matière organique (il peut cependant contenir du fumier) et les engrais verts, qui sont des plantes dites améliorantes à cycle court rendant leurs matières organiques au sol. C'est le cas de certaines plantes comme

les légumineuses dont le trèfle, la vesce ou des Cruciféracées comme le navet et la moutarde ainsi que des graminées. Ces engrais naturels stimulent la vie microbologique du sol et y exercent une fertilisation de longue durée suite à leur lente décomposition. Ils sont surtout issus des déchets de plantes de cultures mélangés ou non à du fumier et autres déjections animales. Les produits animaux comme les sabots, les cornes et les guanos sont aussi très prisés.

On distingue également :

- Les engrais minéraux qui sont des substances d'origines minérales, produits soit par l'industrie chimique, soit par l'exploitation de gisement naturels (phosphate, potasse). Ce sont des engrais chimiques contenant en association ou séparément des éléments comme l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium. Des oligo-éléments tel le soufre, le fer et le bore entre autres peuvent aussi s'y trouver ajoutés. Ces engrais sont parfois des formes granulées, en bâtonnets, en comprimés ou en billes ; ce qui leur confère une action à libération lente prolongée. On trouve aussi ces engrais sous une forme liquide à action rapide sur la physiologie de la plante, en la mélangeant avec l'eau d'arrosage.
- les engrais naturels : ce sont des sous-produits végétaux de l'agro industrie comme les tourteaux et des algues comme le goémon. Ils sont aussi d'origines minérales et sont surtout constituées de cendre, des différents pulvérulents de roche ainsi que de la bouillie bordelaise.

Effet sur les activités des vers

Le taux d'azote minéral est élevé en présence de résidus de radis. Par contre sur sol avec fumier, le radis plantes diminue le taux de minéralisation de l'azote dans les turricules.

Les vers de terre endogés ingèrent et excrètent le sol. L'espèce *Pontoscolex corethrurus* peut ingérer jusqu'à 400 t de sol par ha/an en zone tropicale humide (Barois et Lavelle, 1986). Les turricules correspondent au sol excrété à la surface du sol et le long des parois des galeries ou dans les galeries. La production et l'abondance des turricules sont variables en fonction des conditions climatiques et du type de sol, du peuplement lombricien et du couvert végétal (Ramiandrisoa, 2008). Les turricules présentent des caractéristiques biologiques, physiques et chimiques différentes du sol environnant. Ces caractéristiques dépendent des espèces lombriciennes étudiées ainsi que des conditions environnementales (texture du sol, disponibilité et qualité de la matière organique).

Les vers de terre préfèrent les sols argileux et limoneux riches en matières organiques, fumier ou feuilles de feuillis en décomposition dont ils se nourrissent. Ils peuvent consommer quotidiennement jusqu'à un tiers de leur poids (<http://www.futura-science.com/fr/>)

Les effets des vers sur la quantité d'azote minéral des turricules montrent une augmentation d'azote sur les résidus du radis par rapport aux autres traitements notamment et le radis plant. Selon Spain *et al*, (1992), en présence de vers de terre, les teneurs en azote et phosphore minéraux (disponible pour les plantes) sont plus élevées. Lavelle *et al*, (1992) ont montré que cette augmentation résulte d'une plus forte minéralisation d'azote et de phosphore et d'une plus grande disponibilité de ces nutriments dans les turricules et les galeries des vers. Ainsi, on peut dire que l'augmentation de l'azote ou du phosphore minéral des turricules est due au vers de terre et à la grande biodisponibilité de la matière organique contenue sur les résidus du radis.

L'ensemble des traitements montrent que l'azote minéral est élevé dans les turricules que dans les sols non ingérés. En effet, les vers de terre interviennent sur les activités de la minéralisation de l'azote du sol. Les vers de terre jouent un rôle dans la fragmentation, le brassage et la minéralisation de la matière organique par leur contenu microbienne intestinale. Ces microbes attaquent les diverses matières organiques et accélèrent les processus de la minéralisation (Lavelle, 1997). Ce qui fait que les turricules produits ont des caractéristiques physico-chimiques différentes du sol initial non ingéré. Cependant, les vers de terre n'occupaient que l' horizon profonde des mésocosmes entre 0 à 10,5 cm, créant des faibles galeries. Par conséquent, ils se nourrissaient peu de matière organique, d'où la libération faible d'éléments minéraux dans les turricules. Cependant, les taux élevés d'éléments minéraux sur les turricules dans les traitements avec résidus des plantes, s'expliquent par la grande quantité des matières organique contenues sur ces résidus, par leur vitesse de dégradation dans le sol et par la présence des vers de terre.

Ainsi, la matière organique du sol joue un rôle fondamental dans la structure du sol et sa stabilité, dans le stockage et la mise à disposition des éléments nutritifs (forte contribution à la CEC, produits de la minéralisation), dans la régulation du pH du sol (effet tampon), dans la stimulation de l'activité biologique et à la rétention des micropolluants et à leur dégradation (Seguy *et al*, 2009).

CONCLUSION

Cette étude réalisée dans un site après une décennie de pratique SCV a permis de comparer les effets des plantes de service utilisées dans ce système sur la biodiversité et les activités de la macrofaune du sol. Une manipulation au laboratoire sur des mésocosmes a révélé les impacts de ces plantes de service sur les bio-agresseurs et sur les activités des ingénieurs de l'écosystème.

Les études en champ expérimental ont révélé que la densité de la macrofaune du sol est dominée par les Insectes Hyménoptères notamment les fourmis. Cette densité est moins élevée sur radis fourrager (*Raphanus sativus*) que sur vesce velue (*Vicia villosa*). Sur les deux dispositifs étudiés, une augmentation de la densité des vers blancs sur le traitement associant cléome-tagète-cosmos a été observée et que la biomasse de la macrofaune diminue sur radis par rapport à la vesce. Contrairement au SCV, le système conventionnel avec labour montre aussi moins de densité et de biomasse de la macrofaune du sol.

La macrofaune du sol présente une grande diversité taxonomique et fonctionnelle. Elle est composée des Insectes (Alticinae, Carabidae, Cetoniidae, Dynastidae, Melolonthidae, Tenebrionidae, Coccinellidae, Curculionidae, Dermatidae, Drosophilidae, Milichidae, Reduviidae, Formicidae, Acridiidae...), des Arachnides (Salticidae, Thomisidae, Theridiidae...), des Crustacés Isopodes (Oniscoidae), des Myriapodes Diplopedes (Iulidae) et Chilopodes (Scolopendridae), des Oligochètes Lumbricidae, des Nématodes et des Gastéropodes Planorbidae.

Cette diversité faunique joue diverses fonctions et se divise en plusieurs classes trophiques dont les prédateurs (Coccinellidae, Salticidae, Scolopendridae, Carabidae...), des Saprophages (Lumbricidae, Cetoniidae, ...), des Détritiphages (Formicidae, Tenebrionidae, Dermatidae...), des Phytophages (Melolonthidae, Dynastidae, Curculionidae...) et en fin des Nectarifères (Sphingidae et Culicidae). Ces différentes classes trophiques sont abondantes sur SCV que sur système conventionnel avec labour.

Parmi les plantes de service, certaines tel que le radis contient des substances actives qui ont divers impacts sur la faune. Le radis stimule l'appétence des vers blancs et vers de terre, provoque la mortalité des vers blancs et augmente la diversité taxonomique de la faune. Les associations des plantes telles éleusine-crotalaire et cléome-tagète-cosmos, favorisent également la diversité taxonomique. Le radis fourrager agit aussi sur les activités des vers de terre et stimule la minéralisation de l'azote des turricules.

Les plantes de service ont également une influence sur la teneur des éléments minéraux du sol. Ainsi, les résidus du radis augmentent légèrement le taux d'azote total, le taux de phosphore assimilable, le pH du sol. L'apport de matière organique tel que le fumier de bovin, augmente le taux de carbone du sol et diminue son acidité.

Cette étude a également permis de montrer que sur sol avec apport de fumier, les plantes de service sont plus attaquées par les vers blancs. Et que la vesce est plus attaquée par les vers blancs que le radis.

Cette étude mérite d'être reconduite en milieu paysan pour pouvoir comparer les résultats réels obtenus sur terrain où les conditions climatiques, édaphiques et techniques sont souvent difficiles à contrôler avec ceux obtenus sur un site expérimental et en laboratoire avec une bonne maîtrise technique. Il serait également pertinent de conduire les tests en mésocosmes sur terrain afin d'obtenir des résultats sur les réalités du terrain. En outre, les résidus des plantes devraient être divisés en différentes parties (racines, tiges, feuilles) afin de voir dans quelles parties de la plante sont localisés les principes actifs. Enfin, des tests de chaque plante séparée pour les associations de plantes de service telles que l'éleusine-crotalaire ou le cléome-tagète-cosmos, permettront de voir si les effets de ces traitements sont dus à l'effet associatif ou à l'une de ces plantes.

BIBLIOGRAPHIE

- Ambard J, 2010. Influence des plantes associées à la culture de riz sur la biodiversité de la macrofaune. Effets particuliers sur les vers blancs.
- Anderson J.M. and Ingram J., 1993: Tropical Soil Biology and Fertility (T.S.B.F.): a handbook of methods. 2nd edition. CAB, Oxford. 221p.
- Bachelier G, 1978. La faune des sols, son écologie et son action. ORSTOM, Paris. 658p
- Barois I & Lavelle P, 1986. Changes in respiration rate and some physiochemical properties of a tropical soil during transit through *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolocidae, Oligochaeta). Soil biology and Biochemistry, n° 18: pp 539-541.
- Barois I, Lavelle P, Brossard M, Tondoh J, Martinez M.A, Rossi J.P, Senapati B.K, Angeles A, Fragoso C, Jimenez J.J, Decaens T, Lattaud C, Kanyonyo J, Blanchart E, Chapuis L, Brown G, Moreno A, 1999. Ecology of earthworm species with large environmental tolerance and/or extended distributions. In: Lavelle P, Brussaard L, Hendrix P. (Eds), Earthworm Management in Tropical Agroecosystems. CABI Publishing, Wallingford, UK. 57-86
- Barros M.E, 1999. Effet de la macrofaune sur la structure et les processus physique du sol de pâturages dégradés de l'Amazonie. Thèse université Paris VI.
- Beaumont A, Cassier P, 1981. Biologie animale des Protozoaires aux Métazoaires épithélioneuriens. Tome1, troisième édition. © BORDAS, Paris, 1981.
- Bikay B I, 2005. Inventaire de la macrofaune en culture cotonnière sous quatre modes de gestion des sols : cas de Windé Pintchoumba (Nord) et Zouana (Extrême-Nord). Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, F.A.S.A. Université de DSCHANG. République du Cameroun. <http://agroécologie.cirad.fr>
- Blanchart E (UR 179 Seq-Bio), 2005. Rapport de mission à Madagascar. Mission longue durée du 5 novembre 2004 au 26 février 2005.
- Blanchart E, 2009. La diversité des sols. Parus dans les dossiers thématiques de l'IRD.
- Blanchart E, Alary K *et al*, 2009. Le sol, épiderme vivant de la terre. Dossiers d'Agropolis International, numéro 8. Edition : Isabelle Amsallem (Agropolis productions).
- Blanchart E, 2010. Processus écologique liés aux lombriciens dans les sols cultivés. Conséquence sur la séquestration du carbone et l'alimentation minérale des plantes.

Projet de thèse EB 2010. Directeur : Dr Eric Blanchart- Directeur de Recherche-HDR Montpellier 2 (UMR Eco & sols).

- Bodiou D, 2009. STEVE GROFF, une stratégie de couverture permanente des sols. TCS n° 52 avril/mai 2009.
- Boli B.Z, 1996. Fonctionnement des sols sableux et optimisation des pratiques culturales en zone soudanienne humide du Nord-Cameroun. Thèse de doctorat en sciences de la terre. ORSTOM, Montpellier. 264p
- Bouché M, 1972. Lombriciens de France. Ecologie, systématique. INRA, Paris. 362 p
- Brown G, Pasini A, Benito N.P, de Aquino and Correia M, 2002. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems: A preliminary analysis. Paper based on an oral presentation at the “international symposium on managing biodiversity in agricultural ecosystem”. Montréal, Canada 8-10 Novembre 2001.8p
- Chapius-lardy L, Brossard M, Lavelle P, Schouller E, 1998. Phosphorus transformation in feral soil through ingestion by *Pontoscolex corethrurus*, a geophagous earthworm. *European Journal of Soil Biology* 32, 107-111.
- Chauvel A., Grimaldi M., Barros M.E., Blanchart E., Desajardin T., Sarrazin M., Lavelle P., 1999. « An earthworm Compacts Amazonian Soils». *Nature*, 3 mars 1999.
- Chotte J.-L, Duponnois R, Cadet P, Adiko A, Villenave C, Agbogba C, Brauman A, 2001. *La jachère en Afrique tropicale* - Ch. Floret, R. Pontanier John Libbey Eurotext, Paris © 2001, pp. 85-121
- Coq S, Barthes B.G, Olivier R, Rabary B, Blanchart E, 2007. Earthworm activity affects soil aggregation and organic matter dynamics according to the quality and localization of crop residues - An experimental study (Madagascar). *Soil Biology and Biochemistry* 39 (8), pp. 2119-2128.
- Corbeels M, Scopel E, Macena Da Silva F.A, Bernous M. and Cardoso A.N, 2008. Stockage potentiel de carbone dans les sols avec de systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) dans les Cerrados brésiliens. *Terre malgache. Special semis direct*. Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques.
- Curry, J.P and Good, J.A. 1992. Soil Fauna Degradation and Restoration. *Advances in Soil Science*. 17: 171-215.

- Decaëns, T., Margerie, P., Aubert, M., Hedde, M., et Bureau, F. 2008. Assembly rules within earthworm communities in North-Western France – A regional analysis. *Applied Soil Ecology* 39: 321-335.
- Durieux D, Verheggen J F, Vandereycken A, Joie E et Haubruge E, 2010. Synthèse bibliographique : l'écologie chimique des Coccinelles. Volume 14 (2010) numéro 2 : 351-357. article : <http://popups.ulg.ac.be/Base/document.php?id=5323>
- Duval J, 1993. Les Plantes Nématicides. AGRO-BIO-360-04. Ecological Agriculture Projects, Mc Gill University (Macdonald Campus). Ste-Anne-de-Bellevue, Canada.
- Fatima M.S. Moreira, E. jeroen Huising and David E. Bignell, 2008. A Hand Book of Tropical Soil Biology Sampling & characterization of Below-ground Biodiversity. Publishing for a Sustainable Future.
London. Sterling, VA. 218 pages. First published in the UK and USA in 2008.
- Gamfeldt L, Hillebrand H, Jonsson P.R, 2008. Multiple functions increase the importance of biodiversity for overall ecosystem functioning. *ESA, Journals Ecological Society of America*. Volume 89, Issue 5(May 2008).
- Hendrix P.F, Crossley J.D.A, Blair J.M and Coleman D.C, 1990. Soil biota as components of sustainable agroecosystems. In:sustainable agricultural systems, C.A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R.H. Miller and G. House (Eds). SWCS, Ankeny, USA. PP.637-654.
- Husson O, Charpentier H, Chabaud F.X, Naudin K, Rakotondramanana, Seguy L, 2010. Les principales plantes de jachères et adventices des cultures à Madagascar. Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Annexe 1. <http://agroécologie.cirad.fr>
- Lacassin J.C, et Christian S, 2004. Les sols, base de la biodiversité. Groupement d'Intérêt scientifiques sur les Sols (gissol.orleans.inra.fr).
- Lavelle P, Bignell D, Lepage M, Wolters V, Roger P, Ineson P, Heal O.W, (1997). Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology*, 33:159-193.
- Lavelle P, Martin A, Martin S, Blanchart E, Gilot C, 1991. Conservation de la fertilité des sols de savane par la gestion de l'activité de la faune du sol, in Cirad (éd, 1990): pp 370-398.
- Lebbal S, 2010. Contribution à l'étude de la résistance naturelle de la fève au puceron noir de la luzerne *Aphis craccivora* (Homoptera : Aphididae). Mémoire Pour l'Obtention du Diplôme de Magister en Sciences Agronomiques. Option : Entomologie Agricole et Forêtère. Université El-Hadj Lakhdar-Batna Algerie.

- 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.
- Minette S, 2000. Etude de l'impact des techniques de semis direct sur les caractéristiques physiques et biologiques des sols des Cerrados brésiliens. Mémoire d'ingénieur, ENSA, Renne, 52p
- Muller B, Razakamiarimanana, 2003. Evaluer la transformation du milieu biophysique selon différents modes de gestion des sols. Rapport d'activités 2001-2003.
- Nadama, 2006. Influence de trois modes de gestion des sols sur le profil de la macrofaune du sol en parcelles cotonnières paysannes au Nord Cameroun. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome. FASA, Université de DSCHANG, République du Cameroun.
- Pansu M, Gautheyrou J, Loyer J.Y, 1998. L'Analyse du sol. Echantillonnage, Instrumentation et contrôle. Préface de Maurice Pinta et Adrien Herbillon. MASSON, Paris, 1998. 497 pages.
- Pelosi C, 2008. Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre *Lumbricus terrestris* au champ. Contribution à l'étude de l'impact des systèmes de culture sur les communautés lombriciennes. *SpectroSciences*, article 102.
- Professeur Coineau Y, 1995. Repères pour l'éducation à l'environnement. Fondation NICOLAS HULOT pour la nature et l'homme. N° 2 d'avril 1995.
- Quaranta B, 2009. Effet des plantes de service sur les bio-agresseurs des cultures. Etude bibliographique sur les plantes utilisées dans les systèmes de culture sur couverture végétale(SCV) à Madagascar. Unité de Recherche SCRID ; Département PERSYST.
- Rabearisoa M.Y, 2006. Effet du mode de gestion des sols et des systèmes de culture sur les vers blancs en culture pluviale. Diplôme d'Ingénieur en Sciences Agronomiques. Option : Agronomie de l'Athénée Saint Joseph Antsirabe. 88p
- Ragasa C.Y, Nacpil Z.D, Penalosa B.A, Coll J.C, Rideout J.A, 1997. Antimutagen and antifungal compounds from *Cosmos caudatus*. De La Salle Univ, 2401 Taft Ave, Manila 1004 (Philippines). Chemistry Dept. Philippine Journal of Science (Jul-Sep 1997). <http://agris.fao.org>

- Ramanantsialonina. H.M. ,1998. Evolution de la macrofaune et des dégâts aux cultures en fonction du mode de gestion des sols. Mémoire d'ingénieur en agronomie. ESSA Antananarivo 101.
- Ramiandrisoa R. S, 2008. Effet du ver de terre *Pontoscolex corethrurus* sur la fertilité phosphatée de deux sols ferrallitiques malgaches. Mémoire d'ingénieur en agronomie. ESSA Antananarivo 101.
- Randriamanantsoa R, Aberlenc H.-P, Ralisoa B.O, Ratnadass A, Vercambre B, 2010. Les larves des Scarabaeoidea (Insecta, Coleoptera) en riziculture pluviale des régions de haute et moyenne altitudes du Centre de Madagascar. *Zoosystema* 32(1) :19-72.
© Publications Scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.
www.zoosystema.com
- Randriamanantsoa R, Ratnadass A, Aberlenc H-P, Rabearisoa M Y, Rajaonera T E, Rafamatanantsoa E, Vercambre B, 2007. Les vers blancs du riz pluvial d'altitude (Col. Scarabaeoidea) à Madagascar : effets de la plante-hôte et de la matière organique du sol sur le comportement larvaire. Conférence débat, 2007.
- Ratnadass A, Rafaraso L, Razafindrakoto C, Randriamanantsoa R, 2003. Développement de techniques de protection du riz pluvial contre les insectes terricoles, respectueuses de l'environnement. Campagnes 2001-2003.
- Rovillé M, chargé de mission à la FRB, 2001. Les ingénieurs du sol. Source de l'article « soil ecology » ouvrage de P. Lavelle et Alister v. Spain, 2001. Editions KLOWER Academic Publishers.
- Ruellan A, Blanchart E, Brauman A, Grimaldi M, Grunberger O, Barbiero L, Chaplot V, Monga O, Bernoux M, 2009. Les sols, des milieux vivants très fragiles. SUDS en ligne. Les dossiers thématiques de l'IRD.
- Sarda X, 2004. Effet du semis direct sur la macrofaune des sols tropicaux des Cerrados brésiliens. Mémoire d'ingénieur, ISTOM, Montpellier. 176p
- Scopel E, Maltas A, Corbeels M, Macena da silva F.A, Affholder F, Douzet J-M, Olivier R, Schaller N, Cardoso A, 2008. Dynamique et valorisation de l'azote dans les systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) des Cerrados Brésiliens. TERRE MALGACHE. Spécial semis direct du 26 avril 2008.
- Seguy L, Husson O, Charpentier H, Bouzinac S, Michellon R, Chabanne A, Boulakia S, Tivet F, Naudin K, Enjalric F, Ramaroson I, Rakotondramanana, 2009. Principes et fonctionnement des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente. Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Volume I. Chapitre 1.

- Sivakumar S, Mohan M, Franco O.L, Thayumanavan B, 2006. Inhibition of insect pest α -amylase by little and finger millet inhibitors. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 85, 155-160.
- Tissaux J.C, 1996 « une revue bibliographique des principaux mécanismes pédogénétiques pour caractériser le rôle du bois raméal fragmenté (BRF) dans le processus d'humifications ». Groupe de coordination sur les bois raméaux-université Laval-Québec-Département des Sciences du bois et de la forêt-publication n° 60 disponible en pdf.
- Tremblay M.E, 2008. Estimation par FT-NIR de la stabilité biologique et de la valeur fertilisante azotée de fumiers. Mémoire présenté en 2008 à la faculté des études supérieures de l'université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en sol et environnement pour l'obtention du grade de Maitre ès sciences (M.SC.).
- Viketoft M, Bengtsson J, Sohlenius B, Berg MP, Pethey O, Palmborg C, Huss-Danell K, 2009. Evolution végétale et diversité des Nématodes. *Ecologie* 90 : 90-99.
- Zirbes L, Collin C, Dufey J, Khanh T.P, Nguyen D, Francis F, Lebailly P, Haubruge E, Brostaux Y, 2009. Mise en relation de la diversité des vers de terre et des caractéristiques du sol de Thien Hue (centre Vietnam). *Mongabay.com Open Access Journal- tropical conservation science*. Vol.2(3) :282-298, 2009.

ANNEXES

Annexe 1 : Les plantes de services :

- L'Haricot (*Phaseolus vulgaris*) :

Haricot en SCV avec du riz (Source : auteur)



L' haricot est une plante de la famille des légumineuses (Papilionacées) à tige herbacée, volubile, dont ses graines et ses gousses sont comestibles. Il en existe plusieurs variétés groupées en trois catégories : les haricots à filets, les haricots mangetout (à cosse verte) ou beurre (à cosse jaune) et les haricots à écosser. C'est une plante annuelle qui se sème après les dernières pluies dans un sol soigneusement bêché et riche en matières organiques. Du point de vue cultural, on distingue deux

grandes catégories qui sont les haricots à rames et les haricots nains à port érigé et plus ramifié.

Les racines peuvent atteindre jusqu'à un mètre de profondeur dans un sol meuble et sont riches en nodules. Ces dernières sont les sièges des relations symbiotiques entre les légumineuses et les bactéries du genre *Rhizobium*.

Les tiges grimpantes ont peu de ramifications et s'enroulent autour de leur support tandis que les feuilles adultes, de couleur pourpre ou verte, sont pétiolées, alternes et composées trifoliées.

- La Vesce velue (*Vicia villosa*) :

Vesce velue (Source : auteur)



La vesce est une légumineuse annuelle d'origine tempérée, recommandée sur les hautes terres et en moyenne altitude pendant la saison fraîche. Ses feuilles pennées portent de nombreux folioles et souvent terminées par une vrille qui lui permet de grimper en s'accrochant aux plantes voisines. Ses fleurs violettes en grappe produisent de nombreuses gousses. Deux espèces de vesce sont utilisées à Madagascar, La vesce commune (*Vicia sativa*) à port dressé

et la vesce velue (*Vicia villosa*) à port rampant. Elles exigent un sol fertile et permettent de fixer une grande quantité d'azote. Elles produisent une forte biomasse en contre-saison dans les terres volcaniques, dans les rizières et sur baibofo. La vesce peut être cultivée en saison intermédiaire ou en contre saison et dont son rendement en matière sèche varie entre 40 à 60 kg/are.

En SCV, la vesce constitue une intéressante couverture végétale et agit comme plante étouffante en empêchant le développement des adventices.

Elle a une influence plus ou moins néfaste sur le développement de certains ravageurs tels : la mouche du chou (*Delia radicum*), la teigne des crucifères (*Plutella xylostella*), des champignons parasitaires responsables des maladies cryptogamiques (*Alternaria solani*, *Fusarium oxysporum*),..., (Quaranta, 2010).

- Le Radis fourrager (*Raphanus sativus*) :

Raphanus sativus est un crucifère tempéré, annuel à port dressé. Les feuilles sont larges et découpées avec des fleurs blanches ou violettes. Ces racines sont charnues et leur production est importante en



saison intermédiaire. Rustique et peu exigeant, le radis s'adapte au froid et se développe partout sauf sur les terrains très humides. Il est mis en place de mi-janvier à mi-mars et exploité de mi-mars à fin Août. Sa production entière varie de 80 à 120 kg/are de matière sèche (Michellon *et al*, sd). Il possède la faculté de nuire au développement de quelques nématodes et de champignons pathogènes.

Radis fourrager (Source : auteur)

- Les Brachiarias (*Brachiaria ruziziensis*, *Brachiarias brizantha*, *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria mutica* et *Brachiaria hybride Mulato*)

Les brachiarias sont des graminées pérennes supportant les sols acides et dégradés. Ils ont la capacité de se développés même sur les sols compactés et d'en améliorer rapidement la structure grâce a leur système racinaire très puissant. Ce sont des bonnes plantes de couverture qui restaurent la fertilité des sols et éliminent les mauvaises herbes par leur forte production de biomasse.

Brachiaria ruziziensis a la meilleure qualité fourragère mais son système racinaire est moins puissant. Sa durée de vie est limitée de 3 à 4 ans et sa reproduction par graine est facile.

Brachiarias brizantha (variété Marandu) a système racinaire très puissant, se développe dans tous les milieux, couvre bien le sol et produit une forte biomasse. Il se multiplie facilement par graine, par bouturage et par éclats de souches.

Brachiaria humidicola possède le système racinaire le plus puissant avec rhizomes et stolons. Ainsi, il protège bien le sol contre l'érosion. Il peut être cultivé dans tous les types de climats, supporte l'engorgement et les longues sécheresses. Il est implanté par éclats de souches ou par boutures.

Brachiaria decumbens a une meilleure répartition de la production en hiver. Il a la capacité de pousser dans les climats plus frais et dans les zones d'altitudes élevée.



Brachiaria mutica, en cours d'expérimentation, il supporte les milieux très humides et engorgés.

Brachiaria hybride Mulato associe qualité fourragère et productivité. Il est stérile et n'envahit pas les cultures.

Les Brachiarias ont des influences négatives envers les nématodes, les fourmis nuisibles et les champignons pathogènes.

Brachiaraiia (source auteur)

- L'éleusine (*Eleusine coracana*) :

L'éleusine est une plante annuelle de la famille des graminées. Cette plante pousse en touffes denses et sa hauteur peut varier de 40 cm à 1m. On distingue deux groupes d'éleusine, l'un à épis longs et à caryopses enveloppés dans de grandes glumes, originaire d'Afrique ; l'autre afro-asiatique à épis court et épais, et à caryopses nus à maturité (glumes courtes).



L'éleusine à des légères influences envers les ravageurs des cultures notamment les Nématodes.

Eleusine corocana (source auteur)

- Les crotalaires (*Crotalaria grahamania*, *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria juncea*)



Crotalaria grahamania, *Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria juncea*, sont des espèces de légumineuse.

La taille de leur tige peut atteindre jusqu'à un mètre de hauteur et porte des fleurs jaunâtres. Elles ont des caractères similaires pour leur influence sur certains ravageurs dont le même caractère répulsif contre les nématodes.

Crotalaire (Source auteur)

- Le cléome (*Cleome hirta*) :

Le cléome est une plante herbacée annuelle de la famille des Capparidacées. C'est une plante bien ramifiée, glanduleuse à poils jaunâtres, visqueux et glutineux, malodorante, qui peut atteindre 1m de hauteur. Ses feuilles sont alternes, palmatiséquées, de 3 à 5 segments obovales, les segments latéraux



sont légèrement arqués. Elles sont disposées en coin à la base et aiguës à obtuses au sommet. L'inflorescence est en grappes corymbiformes. Les fleurs, très éphémères, solitaires, se situent aux aisselles de feuilles ; elles sont actinomorphes, s'épanouissant le matin et se fermant l'après midi. Non apprécié par les animaux, Il possède une huile essentielle répulsive d'insectes tels que les tiques et les charançons... (Husson *et al*, 2010).

Cleome hirta (Source auteur)

- Le tagète (*Tagetes minuta*) :

Le tagète appelé aussi « œillet d'Inde » est une plante herbacée vivace de la famille des Composées à



forte odeur poivrée. C'est une plante à port compact, a feuillage persistant, aromatique et verdâtre. Ses feuilles sont opposées sessiles oblongues, divisées en petits segments lobés et dentés. Ses fleurs sont des capitules cylindriques simples ou doubles à coloration jaune voir orange à rouge brique. *Tagetes minuta* constitue un engrais vert très intéressant. Il secrète des substances toxiques pour les Insectes nuisibles, les Nématodes et les maladies fongiques (Duval, 1993).

Tagète (Source auteur)

- Le cosmos (*Cosmos caudatus*)

Le cosmos est une plante herbacée vivace ou annuelle de la famille des composées, originaire



d'Amérique tropicale. C'est une plante entièrement glabre, à tige dressée et à feuilles opposées, entières ou lobées. Ses capitules sont grands, ou médiocres, longuement pédonculés, solitaires, terminaux et axillaires, ou en corymbes paniculiformes lâches. Ses fleurs décoratives sont de couleurs blanches, roses ou rouges. Non apprécié par les animaux (Husson *et al*, 2010), *Cosmos caudatus* est antibactérienne et antifongique (Ragasa *et al*, 1997).

Cosmos (Source auteur)

Annexe 2 : Les plantes cultivées

- Le riz pluvial (variété FOFIFA 161)

Obtenu en 2003, la variété FOFIFA 161 est issue du croisement entre Irat 114 et FOFIFA 133. Elle est caractérisée par une panicule compacte, de gros grains poilus et une forte homogénéité des grains. Son cycle cultural varie d'intermédiaire à semi-tardif. Elle atteint la maturité en 160 jours après semis d'une culture d'altitude de 1500m. Elle possède plusieurs qualités notamment une bonne résistance à la pyriculariose et une forte tolérance au froid. En revanche, elle présente un tallage assez moyen et une sensibilité à l'égrenage (CIRAD, 2005).

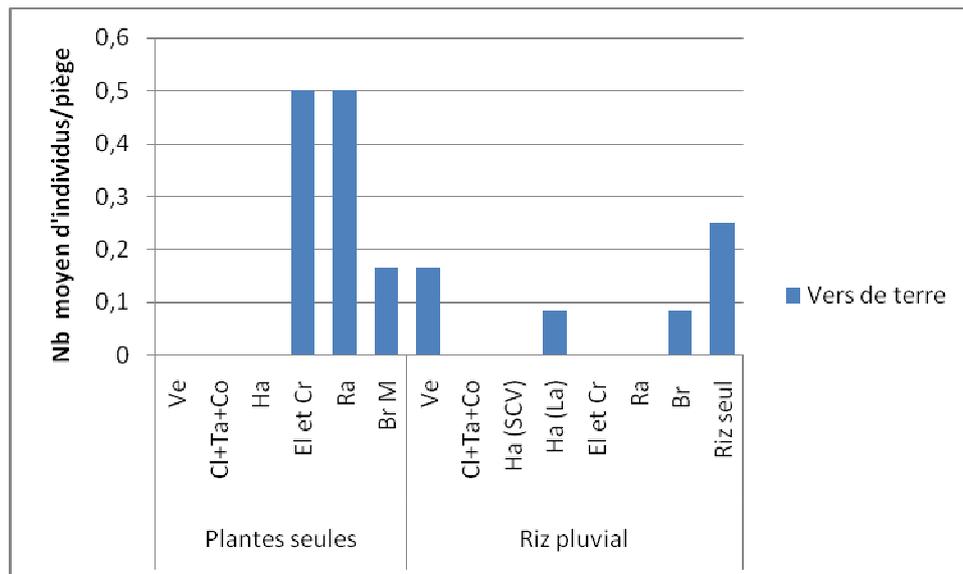
Variété FOFIFA 161 (Source : auteur)



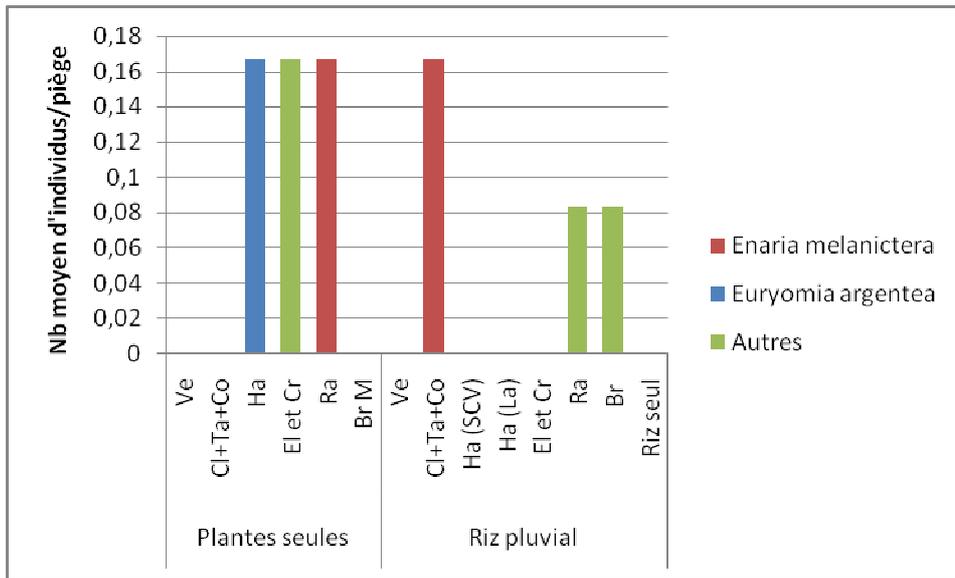
a) Riz pluvial dans le site expérimentale

b) Riz pluvial au laboratoire

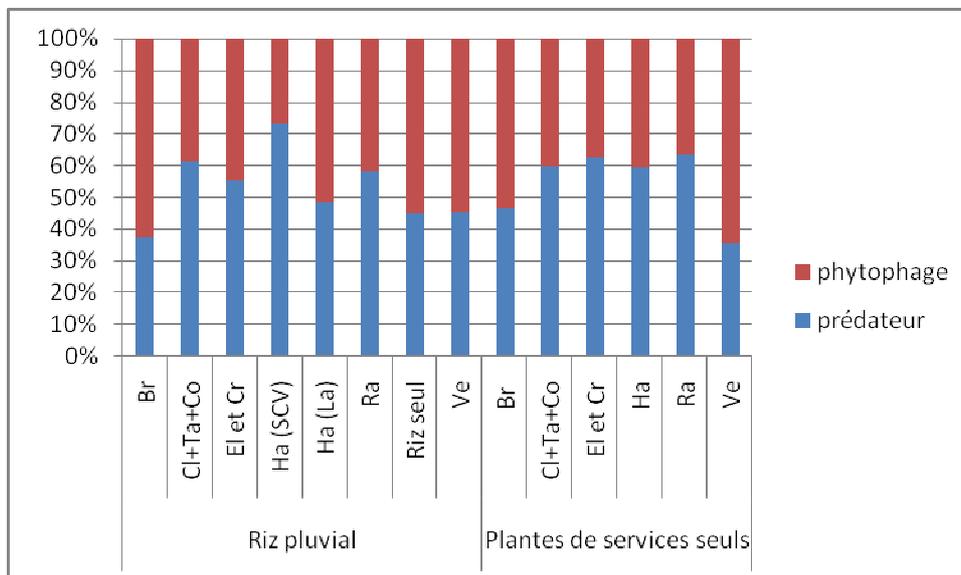
Annexe 3 : Nombre moyen de vers de terre capturé selon les traitements



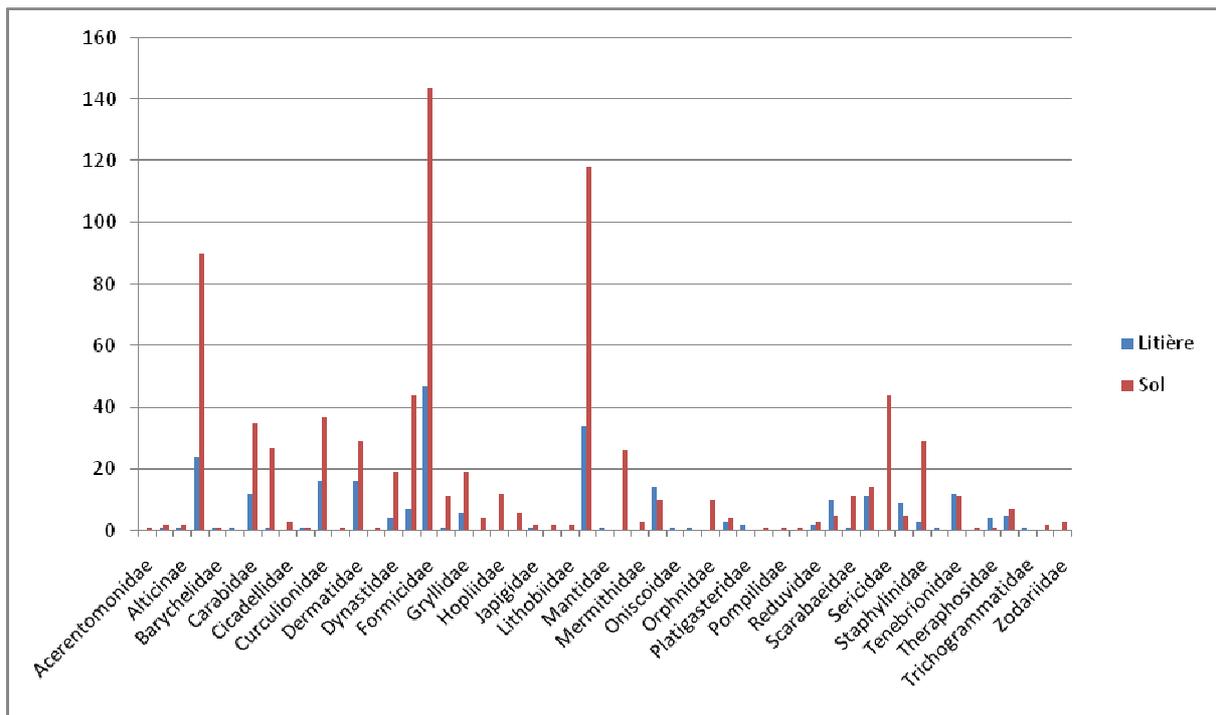
Annexe 4 : Nombre de vers blanc capturés selon les traitements



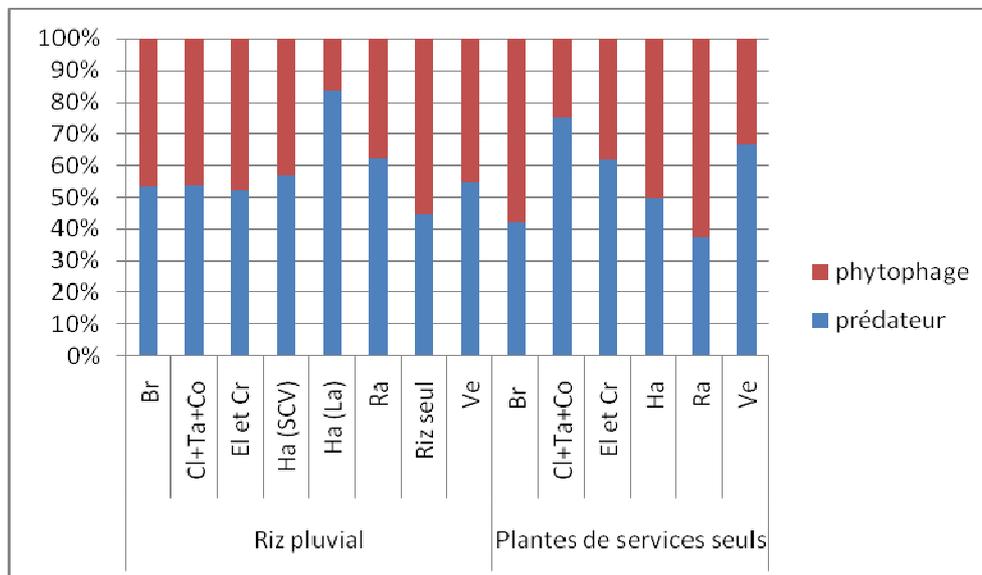
Annexe 5 : Répartition des proportions prédateurs/phytophages piégés selon les traitements



Annexe 6: Localisation sol/litière des différentes familles extraites du monolithe



Annexe 7 : Répartition des proportions prédateurs/phytophages issus du monolithe



Annexe 8 : Composition taxonomique de la macrofaune des pitfall traps en mars 2010 à Andranomanelatra

Embranchements	Classes	Ordres	Familles	Dispositifs		Total	
				Riz pluvial	Plantes seules		
Arthropodes	Insectes	Coléoptères	Alticinae	39	10	49	
			Cantharidae	1	1	2	
			Carabidae	21	7	28	
			Cetoniidae	0	4	4	
			Coccinellidae	2	2	4	
			Curculionidae	32	3	35	
			Dynastidae	98	29	127	
			Lagriidae	1	0	1	
			Melolonthidae	4	1	5	
			Staphylinidae	66	5	71	
			Tenebrionidae	9	1	10	
			Dermaptères	Dermatidae	7	3	10
				Blattidae	0	1	1
		Dictyoptères	Asilidae	2	0	2	
			Diptères	Culicidae	1	0	1
		Drosophilidae		5	4	9	
		Heleomyzidae		95	17	112	
		Milichiidae		46	32	78	
		Muscidae		1	0	1	
		Phoridae		5	0	5	
		Tachinidae		2	0	2	
		Hémiptères		Cicadellidae	18	1	19
				Cydnidae	0	2	2
				Lygaeidae	3	1	4
				Pentatomidae	4	5	9
				pyrrhocoridae	2	0	2
		Hyménoptères		Reduvidae	2	3	5
			Ammophilidae	1	0	1	
			Formicidae	4213	1455	5668	
			Platigasteridae	23	7	30	
			Pompilidae	3	1	4	
			Scoliidae	1	0	1	
			Trichogrammatidae	3	5	8	
			Lépidoptères	Sphingidae	6	0	6
				Orthoptères	Acridiidae	133	58
			Gryllidae		173	34	207
			Gryllotalpidae		1	0	1
			Tettigonidae		5	6	11
		Acerentomonidae	0		1	1	
		Arachnides	Aranéides	Barychelidae	2	0	2
				Salticidae	168	64	232
				Theraphosidae	1	1	2
				Theridiidae	12	2	14
Thomisidae	8			3	11		
Zodariidae	4			1	5		
Oniscoidea	0			3	3		
Crustacés	Isopodes	Diplopodes	2	1	3		
		Chilopodes	Lithobiidae	2	0	2	
			Scolopendridae	7	1	8	
Annélides	Oligochètes	Haplotaxida	7	7	14		
		Mollusques	Gastéropodes	Basommatophora	0	7	7
Total général				5241	1789	7030	

Annexe 9 : Composition taxonomique de la macrofaune extraite du monolithe en mars 2010 à Andranomanelatra

Embranchement	Classes	Ordres	Familles	Dispositifs			
				Riz pluvial	Plantes seules	Total (Nb/m ²)	
Arthropodes	Insectes	Coléoptères	Alticinae	48		48	
			Cantharidae	16		16	
			Carabidae	864	240	1104	
			Cetoniidae	224	240	464	
			Coccinellidae		32	32	
			Curculionidae	832	288	1120	
			Dynastidae	368	32	400	
			Elateridae	720	240	960	
			Hopliidae	240		240	
			Melolonthidae	464	224	688	
			Orphnidae	176	48	224	
			Scarabaeidae	272	48	320	
			Sericidae	1232	464	1696	
			Staphylinidae	896	80	976	
			Tenebrionidae	512	48	560	
			Collemboles	Onychiuridae	32		32
				Sminthuridae	224	48	272
			Dermaptères	Dermatidae	736	288	1024
			Dictyoptères	Mantidae	16		16
			Diploures	Japigidae	32	16	48
			Diptères	Drosophilidae	16		16
		Thysanoures	Lepismatidae		16	16	
		Hémiptères	Cicadellidae	48		48	
		Hémiptères	Cydnidae	32		32	
			Pentatomidae	96	32	128	
		Hyménoptères	Reduvidae	48	48	96	
			Formicidae	10816	768	11584	
		Hyménoptères	Platigasteridae	32		32	
			Pompilidae		16	16	
		Lépidoptères	Trichogrammatidae	16		16	
			Noctuidae	384	80	464	
		Orthoptères	Acridiidae	256		256	
			Gryllidae	432	80	512	
		Orthoptères	Gryllotalpidae	64		64	
			Tettigonidae		16	16	
		Protoures	Acerentomonidae	16		16	
		Thysanoures	Lepismatidae	16		16	
		Myriapodes	Chilopodes	Geophilidae	80	112	192
				Lithobiidae	32		32
		Myriapodes	Diplopodes	Scolopendridae	384	48	432
				Iulidae	64	48	112
Myriapodes	Diplopodes	Polydesmidae	16		16		
		Raspedosmidae		16	16		
Symphyles	Symphylidae		48		48		
				32	32		
Arachnides	Aranéides	Barychelidae		32	32		
		Salticidae	288	32	320		
Arachnides	Aranéides	Theraphosidae	32	48	80		
		Theridiidae	176	32	208		
Arachnides	Aranéides	Zodariidae	16	32	48		
		Trombidiidae	32		32		
Acariens	Isopodes	Oniscoidea	16		16		
Annélides	Oligochètes	Haplotaxida	Lumbricidae	7872	768	8640	
Némathelminthes	Nématodes		Mermithidae	64		64	
Total				29296	4560	33856	

Annexe 10 : ANOVA des effets des plantes de service sur le nombre et la biomasse du *Pontoscolex corethrurus* et *Heteroconus paradoxus* :

- ANOVA nombre du *Pontoscolex corethrurus*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,504	4	0,376	1,068	0,459
Within Groups	1,760	5	0,352		
Total	3,264	9			

- ANOVA biomasse du *Pontoscolex corethrurus*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2,626E-02	4	6,565E-03	0,255	0,895
Within Groups	0,129	5	2,578E-02		
Total	0,155	9			

- ANOVA nombre de *Heteroconus paradoxus*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3,576	4	0,894	10,159	0,013
Within Groups	0,440	5	8,800E-02		
Total	4,016	9			

- ANOVA biomasse de *Heteroconus paradoxus*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12,592	4	3,148	9,640	0,014
Within Groups	1,633	5	0,327		
Total	14,225	9			

Annexe 11 : Larves de Scarabaeoidea présentes en riziculture pluviale

Familles
Espèces (ou sous-espèces)
Cetoniidae
<p><i>Bricoptis variolosa</i> (Gory et Percheron, 1833) <i>Celidota parvula</i> (Janson, 1881) <i>Anochilia bifida</i> (Olivier, 1789) <i>Euryomia argentea</i> (Olivier, 1789) <i>Sp C1</i></p>
Dynastidae
<p><i>Heteronychus arator rugifrons</i> (Fairmaire, 1871) <i>Heteronychus bituberculatus</i> (Kolbe, 1900) <i>Heteronychus plebeius</i> (Klug, 1833) <i>Heteronychus minutus</i> (Burmeister, 1847) <i>Hexodon unicolor</i> (Olivier, 1789) <i>Heteroconus paradoxus</i> (Endrodi, 1968) <i>Paranodon coquerelii</i> (Fairmaire, 1871) <i>sp. D1</i> <i>sp. D2</i></p>
Hopliidae
<i>Paramorphochelus cornutus</i> (Nonfried, 1892)
Melolonthidae
<p><i>Encya sikorai</i> (Brenske, 1891) <i>Enaria melanictera</i> (Klug, 1833) <i>Apicencya waterloti</i> (Dewailly, 1950) <i>Empecta scutata</i> (Fairmaire, 1901) <i>Hoplochelus betanimena</i> (Kunckel, 1887) <i>sp. M1</i> <i>sp. M2</i> <i>sp. M3</i></p>
Orphnidae
<i>Triodontus nitidulus</i> (Guérin, 1844)
Sericidae
<p><i>sp. S1</i> <i>sp. S2</i></p>

(Randriamanantsoa et al, 2010 légèrement modifié par l'auteur)