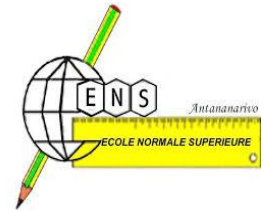




INTERNATIONAL  
FOUNDATION FOR  
SCIENCE



**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO**

**ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE**

**DEPARTEMENT DE LA FORMATION INITIALE SCIENTIFIQUE (D.F.I.S)**

***CENTRE D'ETUDE ET DE RECHERCHE EN SCIENCES NATURELLES (CER)***

MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU CERTIFICAT D'APTITUDE PEDAGOGIQUE

DE L'ÉCOLE NORMALE (C.A.P.E.N)

**EFFETS DE L'INTERACTION ENTRE VERS DE TERRE ET MATIERES  
ORGANIQUES SUR LA DISPONIBILITE DU PHOSPHORE ET LA  
PRODUCTION DE BIOMASSE DU RIZ, CAS DU SOL FERRALLITIQUE DE  
LAZAINA-ANTANANARIVO**



Présentée par :

**RAHARIJAONA Sariaka Navalona Fabienne**

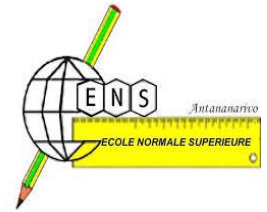
**Promotion TONIA**

**27 Septembre 2016**





INTERNATIONAL  
FOUNDATION FOR  
SCIENCE



**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO**

**ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE**

**DEPARTEMENT DE LA FORMATION INITIALE SCIENTIFIQUE (D.F.I.S)**

***CENTRE D'ETUDE ET DE RECHERCHE EN SCIENCES NATURELLES (CER)***

MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU CERTIFICAT D'APTITUDE PEDAGOGIQUE

DE L'ÉCOLE NORMALE (C.A.P.E.N)

**EFFETS DE L'INTERACTION ENTRE VERS DE TERRE ET MATIÈRES  
ORGANIQUES SUR LA DISPONIBILITÉ DU PHOSPHORE ET LA  
PRODUCTION DE BIOMASSE DU RIZ, CAS DU SOL FERRALLITIQUE DE  
LAZAINA-ANTANANARIVO**



Présentée par :

**RAHARIJAONA Sariaka Navalona Fabienne**

**Promotion TONIA**

**27 Septembre 2016**

A la mémoire de mon grand-père :

## RAKOTOARIVELO Raymond

Grand-père, ça fait 8ans que tu nous as quitté mais je me souviens toujours de ce que tu nous avais répété sans cesse : « Izay mamafy rivotra hijinja tadio ; izay mamafy vary rojo mena hijinja vary rojo mena »

**LES MEMBRES DE JURY DE MEMOIRE DE :**

M<sup>lle</sup> RAHARIJAONA Sariaka Navalona Fabienne

- Président de jury** : Professeur RAKOTONDRADONA Rémi  
Spécialiste en Microbiologie et Physiologie Végétale  
Professeur d'Enseignement Supérieur  
Enseignant Chercheur à l'Ecole Normale Supérieure  
Université d'Antananarivo
- Examineur** : Docteur ANDRIAMAMONJY Solofomampielly Alfred  
Spécialiste en Pétrologie et Métallogénie  
Maître de Conférences  
Enseignant Chercheur à la Faculté des Sciences  
Université d'Antananarivo
- Rapporteur-encadreur** : Docteur RAZAFIMAHATRATRA Dieudonné  
Spécialiste en Métallogénie et Pédologie  
Maître de Conférences  
Enseignant Chercheur à l'Ecole Normale Supérieure  
Université d'Antananarivo
- Co-encadreur** : Docteur RAZAFINDRAKOTO Malalaitiana  
Spécialiste en Ecologie du sol et Taxonomie des vers de terre  
Chercheur au Laboratoire des RadioIsotopes  
Université d'Antananarivo

## *Remerciements*

Au terme de ce mémoire, la première phrase qui me parvient, c'est que : « Je louerai l'Eternel de tout mon cœur ».

Je souhaite également adresser ici tous mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont ainsi contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Ainsi, mes plus vifs remerciements s'adressent à :

- ❖ Monsieur RAKOTONDRADONA Rémi, qui malgré ses lourdes responsabilités, a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire. Recevez ma profonde reconnaissance ;
- ❖ Monsieur ANDRIAMAMONJY Solofomampielly Alfred, qui a bien voulu faire partie des membres du jury en tant que juge malgré ses multiples obligations. Permettez-moi de vous présenter l'expression de mes profonds respects et mes sincères remerciements ;
- ❖ Monsieur RAZAFIMAHATRATRA Dieudonné qui a assuré le rôle d'encadreur pédagogique et qui a toujours trouvé du temps pour corriger ce travail auprès ses multiples obligations. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude et mes sincères remerciements ;
- ❖ Mme RAZAFINDRAKOTO Malaladiana, mon maître de stage, qui m'a proposé ce thème intéressant et qui non seulement a fait preuve d'une grande disponibilité, de patience pour m'aider, me conseiller et me soutenir tout au long de mon stage au sein du LRI, mais aussi de bien vouloir corriger ce travail. Veuillez recevoir ici le témoignage de ma profonde gratitude et mes vifs remerciements ;

Je remercie tout particulièrement :

- ❖ Tous les professeurs de l'ENS/SN qui m'ont formé durant ces cinq années d'études ;
- ❖ Madame le Professeur RAZAFIMBELO Tantely, Directeur du LRI, qui a bien voulu m'accueillir en stage au sein de son laboratoire ;
- ❖ Madame RAZAFIMANANTSOA Marie-Paule qui m'a accueilli avec gentillesse dans le laboratoire d'analyses au sein du LRI ;
- ❖ Monsieur BLANCHART Eric, Docteur H.D.R, Directeur de Recherche à l'Institut de Recherche pour le Développement dans l'UMR Eco&Sols de Montpellier et Chercheur au LRI, qui de bonne volonté nous a prodigué de conseils judicieux ;

Comment leur dire en si peu de mots mon plus grand respect, toute ma reconnaissance et mes très sincères remerciements !

Je souhaite aussi remercier :

- ❖ Tous les membres de la promotion TONIA que j'ai rencontrée durant ces années d'études à l'ENS. Ils ont été une vraie famille pour moi ;
- ❖ Tous les personnels chercheurs, personnels techniques et personnels administratifs du LRI pour leur chaleureux accueil et leur gentillesse, tout particulièrement RAKOTONIRINA Mamimbola Elysé, technicien de labo, qui m'a beaucoup aidé dans tous les travaux d'analyses que j'ai effectuées au sein du laboratoire ;
- ❖ Les étudiants du LRI, doctorants et stagiaires, plus particulièrement Mirana, Koloina, Hasina, Jemima, Patricia, Noelly et Nandrianina qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de ma démarche ;

Qu'ils trouvent dans ce travail l'expression de ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements.

A mes parents, je n'aurais pas pu réussir mes études sans eux, et je tiens ici à les remercier. Qu'ils trouvent dans ce travail l'expression de mon grand amour et ma grande gratitude, et que Dieu leur préserve bonne santé et longue vie.

A mes deux sœurs qui ont été toujours là pour moi, merci du fond du cœur.

A ma tante et mon oncle avec qui j'ai habité durant ces cinq années d'études et qui m'ont apporté leur soutien inconditionnel, les mots me manquent pour leur dire merci !

A toute ma famille, je ne sais pas comment les remercier pour leurs conseils, leurs soutiens matériels et financiers, leurs encouragements et leur confiance en moi tout au long de mes années d'études et surtout à la réalisation de ce mémoire.

A tous ceux qui se reconnaîtront pour leur contribution, merci.

*Merci à tous ! Soient bénis,*

*Sariaka.*

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau I. Tableau comparatif de la teneur en P total accumulé dans chaque type de matières organiques .....	33
Tableau II. Tableau récapitulatif de la quantité nécessaire par microcosme de chaque type de matières organiques.....	33
Tableau III. Listes des matériels, des réactifs et des solvants utilisés lors du dosage en P disponible du sol.....	36



## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Morphologie générale des vers de terre .....	5
Figure 2. Cycle biologique des vers de terre .....	6
Figure 3. Répartition écologique des vers de terre .....	8
Figure 4. Domaines de température des vers de terre .....	9
Figure 5. Cycle simplifié de la matière organique .....	13
Figure 6. Rôles des matières organiques .....	15
Figure 7. Cycle du phosphore .....	18
Figure 8. Cycle du phosphore dans les systèmes agricoles .....	19
Figure 9. Evolution de la croissance du riz .....	22
Figure 10. Localisation du site d'étude .....	24
Figure 11. Les cinq espèces de vers de terre .....	27
Figure 12. Matériels utilisés lors du broyage et tamisage du sol .....	28
Figure 13. <i>Desmodium uncinatum</i> .....	29
Figure 14. Des plants et épis d' <i>Eleusine coracana</i> .....	30
Figure 15. <i>Zea mays</i> .....	30
Figure 16. <i>Stylosanthes guianensis</i> .....	31
Figure 17. Les matières organiques de différentes qualités .....	32
Figure 18. Manipulation sur la mise en place de l'expérimentation en microcosmes .....	34
Figure 19. Les traitements en microcosmes, cas de <i>Dichogaster saliens</i> .....	35
Figure 20. Turricules de <i>Pontoscolex corethrurus</i> .....	35
Figure 21. Bandes de résine .....	36
Figure 22. Grains de riz pluvial, variété B22 .....	38
Figure 23. Démontage de l'expérimentation en microcosmes 2.....	39
Figure 24. Teneur en phosphore disponible du sol avec la présence de différentes espèces de vers de terre .....	40
Figure 25. Teneur en phosphore disponible du sol en présence de différentes espèces de vers de terre et des matières organiques de différentes qualités dans le sol (couplage vers de terre-matières organiques). .....	41
Figure 26. Evolution de la croissance en hauteur du riz suivant la présence de différentes espèces de vers de terre dans le sol .....	43
Figure 27. Evolution de la croissance en hauteur du riz selon la présence des vers de terre <i>Dichogaster saliens</i> et des matières organiques dans le sol.....	44

Figure 28. Evolution de la croissance en hauteur du riz selon la présence des vers de terre <i>Amyntas minimus</i> et des matières organiques dans le sol .....	45
Figure 29. Evolution de la croissance en hauteur du riz selon la présence des vers de terre <i>Amyntas corticis</i> et des matières organiques dans le sol .....	46
Figure 30. Evolution de la croissance en hauteur du riz selon la présence des vers de terre <i>Pontoscolex corethrururs</i> et des matières organiques dans le sol.....	47
Figure 31. Evolution de la croissance en hauteur du riz selon la présence des vers de terre <i>Eudrilus eugeniae</i> et des matières organiques dans le sol .....	48
Figure 32. Biomasses aérienne (BA) et racinaire (BR) du riz selon la présence des vers de terre.....	50
Figure 33. Biomasses aériennes du riz selon la présence des vers de terre et des matières organiques. ....	51
Figure 34. Biomasses racinaires de riz selon la présence des vers de terre et des matières organiques .....	52
Figure 35. Cercle de corrélation des variables et projections des individus (vers de terre) sur le plan factoriel 1-2 de l'Analyse en Composantes Principales.....	53

**LISTE DES ANNEXES**

ANNEXE I. Distribution des différents types de sols à Madagascar.....	a
ANNEXE II. Anatomie générale, schéma de la coupe transversale et organisation du système nerveux des vers de terre .....	b
ANNEXE III. Différentes types de prostomium, de pygidium et de clitellum et disposition des soies chez les vers de terre .....	c
ANNEXE IV. Carte de distribution des cinq espèces de vers de terre utilisées .....	d
ANNEXE V. Classification systématique des quatre plantes utilisées comme source des résidus végétaux .....	h
ANNEXE VI. Mode opératoire de la détermination de la teneur en humidité du sol (Humidité à 105°C).....	i
ANNEXE VII. Procédure de dosage du phosphore disponible (P résine).....	i
ANNEXE VIII. Quelques photos de l'évolution de la croissance du riz durant les quatre semaines d'expérimentation.....	k
ANNEXE IX. Résultats des analyses statistiques .....	k

### LISTE DES ABREVIATIONS

<b>ACP</b>	:	Analyse en Composantes Principales
<b>A.N.O.V.A</b>	:	Analyse de la variance
<b>BD FTM</b>	:	Base de données du Foiben-Tsaritanin'i Madagasikara
<b>CAH</b>	:	Complexe argilo-humique
<b>C.I.R.A.D</b>	:	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
<b>CEC</b>	:	Capacité d'échange cationique
<b>C.N.E.V</b>	:	Catalogue Nationale des Espèces et Variétés cultivées
<b>ED</b>	:	Eau distillée
<b>ENS</b>	:	Ecole Normale Supérieure
<b>FAO</b>	:	Food and Agricultural Organisation
<b>F.O.F.I.F.A</b>	:	FOibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiarina amin'ny Fampandrosoana ny eny Ambanivohitra
<b>LRI</b>	:	Laboratoire des RadioIsotopes
<b>mg P kg<sup>-1</sup></b>	:	mg de phosphore par kg
<b>MO</b>	:	Matière organique
<b>P</b>	:	Phosphore
<b>pH</b>	:	Potentiel d'Hydrogène

<b>Pi</b>	:	Phosphore inorganique
<b>Po</b>	:	Phosphore organique
<b>Rapport C\N</b>	:	Rapport carbone sur azote
<b>SCV</b>	:	Système de culture sous Couverture Végétale
<b>sd</b>	:	sans date
<b>SVT</b>	:	Sciences de la Vie et de la Terre
<b>TP</b>	:	Travaux Pratiques

## GLOSSAIRE

**Animaux poïkilothermes :** Ce sont des animaux dont la température de leur corps dépend de la température de leur biotope. Les vers de terre en sont des exemples.

**Biomasse:** Dans le domaine de l'écologie, la biomasse se définit comme la masse totale des organismes vivants présents à un moment donné dans un biotope bien défini. Souvent, elle est estimée en unité de surface ou de volume. La biomasse aérienne et racinaire des plantes se réfèrent à la masse totale sèche de la partie aérienne et racinaire des plantes.

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

**Microcosme :** Dispositif expérimental en pots, de petite taille, destiné aux études écologiques.

**Phosphore biodisponible :** Phosphore du sol assimilable par les organismes vivants.

**Phosphore disponible :** Phosphore du sol susceptible d'être absorbé par les végétaux.

**Puberculum :** Pore sexuel des vers de terre.

**Réponse allélopathique :** Compétition entre les plantes pour la germination et la croissance au moyen de toxicité par le biais de composés chimiques libérés dans l'environnement (atmosphère et sol) qui empêchent la croissance des autres plantes compétitrices.

**Turricules :** Rejets des vers de terre présents à la surface du sol, par opposition aux déjections qui sont des rejets déposés dans ou sur les parois des galeries. Leur taille varie de quelques millimètres à quelques centimètres et dépend de la taille des espèces.

## SOMMAIRE

MEMBRES DE JURY .....	i
REMERCIEMENTS .....	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES ANNEXES.....	vii
LISTE DES ABREVIATIONS.....	viii
GLOSSAIRE.....	x
SOMMAIRE .....	xi
INTRODUCTION.....	1
Partie 1 : GENERALITES .....	4
I.    LES VERS DE TERRE.....	4
1.1.  Systématique et biologie .....	4
1.1.1.  Systématique.....	4
1.1.2.  Morphologie .....	4
1.1.3.  Cycle biologique.....	5
1.2.  Catégories écologiques .....	7
1.3.  Facteurs influençant la survie des vers de terre .....	8
1.3.1.  Température et humidité du sol.....	8
1.3.2.  Matière organique.....	9
1.3.3.  Type de sols et pH .....	9
1.4.  Fonctions et services écosystémiques.....	9
1.4.1.  Création des galeries.....	10
1.4.2.  Production des déjections .....	10
II.   LES MATIERES ORGANIQUES DU SOL.....	11
2.1.  Nature des constituants organiques du sol.....	11

2.1.1.	Matières organiques vivantes (MOV) .....	11
2.1.2.	Matières organiques fraîches (MOF).....	11
2.1.3.	Composés organiques stabilisés ou matière organique stable (MOS).....	12
2.2.	Evolution des matières organiques fraîches dans le sol.....	12
2.2.1.	Humification.....	12
2.2.2.	Minéralisation.....	12
2.3.	Rôles des matières organiques du sol .....	13
2.3.1.	Complexe argilo-humique et la capacité d'échange cationique .....	14
2.3.2.	Effets des matières organiques sur la structure et les autres qualités du sol ..	14
2.3.3.	Effets des matières organiques sur les propriétés biologiques du sol.....	14
2.4.	Interaction entre vers de terre et matières organiques.....	15
III.	LE PHOSPHORE DANS LE SYSTEME SOL-PLANTE.....	16
3.1.	Phosphore dans les sols.....	16
3.2.	Cycle du phosphore à l'échelle du globe .....	16
3.3.	Cycle du phosphore dans les systèmes agricoles .....	18
3.4.	Rôles du phosphore dans l'agriculture.....	20
3.5.	Eutrophisation, conséquence d'un excès de P dans le milieu aquatique .....	20
3.6.	Bilan en P des sols ferrallitiques de « tanety » des Hautes-terres malgaches .....	21
IV.	LE RIZ.....	21
4.1.	Systématique et morphologie.....	21
4.2.	Evolution de la croissance du riz .....	22
4.3.	Système de la riziculture pluviale .....	23
4.3.1.	Place de la riziculture pluviale à Madagascar .....	23
4.3.2.	Avantages et inconvénients de la riziculture pluviale .....	23
Partie 2 :	MATERIELS ET METHODES .....	24
I.	Localisation géographique du site d'étude.....	24
II.	Matériels et méthodes d'expérimentation.....	24



2.1.	Elevages des vers de terre en conditions contrôlées .....	25
2.1.1.	Matériels biologiques : Annelides Oligochètes (vers de terre).....	25
2.1.2.	Sites d'échantillonnage.....	26
2.1.3.	Traitements des vers de terre .....	26
2.1.4.	Sols .....	27
2.1.5.	Site et mode de prélèvement.....	27
2.1.6.	Préparations .....	28
2.1.7.	Matières organiques.....	28
2.1.8.	Collecte des matières organiques .....	32
2.1.9.	Préparations des matières organiques.....	32
2.2.	Expérimentation en microcosmes 1 .....	32
2.2.1.	Calcul de la quantité des matières organiques apportées dans chaque microcosme .....	32
2.2.2.	Mise en place de l'expérimentation.....	34
2.2.3.	Démontage des microcosmes .....	35
2.3.	Travaux de laboratoire : dosage du P disponible .....	36
2.4.	Test des effets de la présence des vers de terre et des matières organiques sur la croissance du riz.....	37
2.4.1.	Matériel biologique : B22, une variété de riz pluvial .....	37
2.4.2.	Expérimentation en microcosmes 2.....	38
III.	Analyses statistiques.....	39
Partie 3 : RESULTATS .....		40
I.	Analyses en phosphore disponible ou phosphore assimilable pour les plantes du sol..	40
1.1.	Phosphore disponible en présence des vers de terre .....	40
1.2.	Phosphore disponible en présence des vers de terre et des matières organiques...	40
II.	Hauteur du riz .....	43
2.1.	Evolution de la croissance en hauteur du riz en présence des vers de terre.....	43

2.2. Evolution de la croissance en hauteur du riz en présence des vers de terre et des matières organiques .....	44
2.2.1. <i>Dichogaster saliens</i> -matières organiques .....	44
2.2.2. <i>Amyntas minimus</i> -matières organiques .....	45
2.2.3. <i>Amyntas corticis</i> -matières organiques .....	46
2.2.4. <i>Pontoscolex corethrurus</i> -matières organiques .....	47
2.2.5. <i>Eudrilus eugeniae</i> -matières organiques.....	48
III. Biomasses aérienne et racinaire.....	49
3.1. Biomasses aérienne (BA) et racinaire (BR) produites par le riz en présence des vers de terre.....	49
3.2. Biomasse aérienne produite par le riz en présence des vers de terre et des matières organiques .....	50
3.3. Biomasse racinaire produite par le riz en présence des vers et des matières organiques .....	52
IV. Corrélation entre les vers de terre, les matières organiques, le sol et le riz.....	53
Partie 4 : DISCUSSIONS, SUGGESTIONS ET INTERETS PEDAGOGIQUES DU TRAVAIL .....	55
I. DISCUSSIONS .....	55
1.1. Effets des vers de terre sur la disponibilité du phosphore .....	55
1.2. Effets de la présence des vers de terre et des matières organiques sur la disponibilité du phosphore .....	56
1.3. Effets des vers de terre sur la croissance et les productions de biomasse du riz ...	58
II. SUGGESTIONS .....	59
2.1. Dans le cadre de l'éducation et de l'enseignement .....	59
2.2. Sur la pratique agricole durable .....	60
III. INTERETS PEDAGOGIQUES DU TRAVAIL .....	61
CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	66
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	68

# **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

Avec un taux de pauvreté qui s'élève à 92%, Madagascar est aujourd'hui le quatrième pays le plus pauvre du monde (Sourisseau et al. 2016). 80% de la population pauvre du pays travaillent dans les filières agricoles (Minten et al., 2003) dont le riz est la plus importante aussi bien en termes de production avec 44% de la production des cultures vivrières d'après (Ralaifenomanana, 2009), que de consommation avec une consommation annuelle par individu estimée à 118kg en milieu urbain et à 138kg en milieu rural (Raboin et al., 2013). Par conséquent, l'accroissement de la productivité agricole, principalement rizicole, est une priorité fondamentale à Madagascar.

Les paysans de la région des Hautes-terres sont parmi les principaux producteurs de riz avec 36% de la production totale malagasy (Penot, 2012) mais cela n'est pas suffisant pour subvenir aux besoins de la population locale qui ne cesse de s'accroître de l'ordre de 3% par an (Penot et al., 2009). De la sorte, le taux de l'insécurité alimentaire est élevé : 8% sont en malnutrition chronique et 38% sont en insuffisance alimentaire. Cette stagnation de la productivité est attribuée à la faible disponibilité des terres cultivables du fait de la saturation des bas-fonds traditionnellement consacrés à la riziculture irriguée. De ce fait, l'exploitation des versants de collines appelés « tanety » pour la riziculture pluviale est devenue comme une option à explorer. En 1971, Raison écrivait déjà que : la clé du développement agricole sur les Hautes-Terres malgaches est la mise en culture des « tanety ». Cependant, ces sols de « tanety » sont principalement des sols ferrallitiques (Rabeharisoa, 2004). Ils sont caractérisés par une faible fertilité naturelle où les éléments nutritifs mobilisables par les racines des végétaux, notamment le phosphore, sont très peu disponibles.

Le phosphore (P) est présent dans les sols à la fois sous formes organiques et minérales pour former le phosphore total (P total). Les sols ferrallitiques de « tanety » des Hautes-terres de Madagascar renferment une teneur en P total élevé, pourtant, seulement 1,2 à 2% sont susceptibles d'être absorbés par les plantes (Rasoamaharo, 2008).

Toutefois, le phosphore (P) figure parmi les cinq éléments essentiels à la croissance des végétaux, soient le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote et le phosphore (Beaudin, 2006). Il est même classé comme le premier des facteurs limitants des rendements dans les sols sous climats tropicaux (Andriamaniraka et al, 2009). Le P est surtout nécessaire à la formation des graines ; en carence de P, la récolte peut diminuer jusqu'à 50% (Baeyens et al., 1967). Rabeharisoa (2007) a fait des études illustrant les gains importants de productivité en incluant

des apports de P, même modérés, dans des systèmes agricoles à Madagascar. Ainsi, la mise en valeur des « tanety » pour des pratiques culturales implique une amélioration du processus de disponibilité du P dans les sols ferrallitiques qui les recouvrent. Pour ce faire, l'apport exogène des engrais phosphatés est une des méthodes les plus adoptées par les agriculteurs. Mais en plus du problème de leur coût, les engrais phosphatés s'avèrent fréquemment peu efficaces du fait du pouvoir fixateur élevé de ces sols ferrallitiques vis-à-vis des ions phosphates. Par ailleurs, le P de source organique persistait plus longtemps dans le sol par rapport au P des engrais minéraux et est facilement mobilisable par les organismes bénéfiques du sol (Simard, 1998). Dans ce cadre, favoriser l'abondance et l'activité des organismes du sol par apport de P sous forme organique est une piste non négligeable sur la disponibilité du P dans les terres agricoles.

En effet, les sols renferment une grande diversité fonctionnelle d'organismes (décomposeurs, fragmenteurs, microrégulateurs et ingénieurs du sol). Les interactions entre ces groupes fonctionnels sont fondamentales pour assurer les principales fonctions écologiques à la base de la production végétale : maintien de la structure du sol, recyclage des nutriments, décomposition de la matière organique et contrôle des bioagresseurs (Kibblewhite et al., 2010). Les vers de terre représentent la biomasse la plus importante des sols (Lavelle & Spain, 2001 ; Edwards, 2004) et sont considérés comme des « ingénieurs » du sol (Jones et al., 1994). Plusieurs études ont notamment montré que les vers de terre sont des organismes clés pour la réalisation des fonctions écologiques du sol (Lavelle et al., 2007). En conditions de laboratoire, des études récentes ont montré que la présence de vers de terre affecte la diversité et l'activité des microorganismes (Bernard et al., 2012), augmente la décomposition (à court terme) et le stockage (à long terme) de la matière organique (Coq et al., 2007), augmente la disponibilité du phosphore (Chapuis-Lardy, 2011) et affecte la croissance et le rendement des plantes (Jana et al., 2010; Coulis et al., 2014). Ces études sont prometteuses mais méritent d'être complétées par une meilleure connaissance des processus mis en œuvre autour de la dynamique du phosphore. Cette étude a été menée pour répondre à la question : **Favoriser l'activité des vers de terre pour l'amélioration de la disponibilité du phosphore a-t-il une influence positive sur la croissance et la production de biomasses du riz ?**

Il a été démontré dans la littérature que les turricules ou déjections des vers de terre sont enrichies en P disponible mais avec des résultats parfois contradictoires.

Trois hypothèses ont été avancées : (i) l'effet des vers de terre sur la disponibilité du P dans le sol serait en fonction de leur catégorie écologique : certains vers auraient une plus grande capacité que d'autres à mobiliser le P. (ii) l'effet des vers de terre sur la disponibilité du P serait

lié à la qualité des matières organiques apportées au sol. (iii) enfin nous faisons l'hypothèse que les vers de terre auraient des influences positives sur la croissance et la production de biomasses du riz en rendant plus assimilable le P dans le sol.

L'objectif général de cette étude est de déterminer le meilleur couplage entre quelle espèce de vers de terre et quelle type de matière organique qui favorise une bonne croissance et une production importante de biomasses de plants de riz à travers l'amélioration de la disponibilité du P dans le sol. Plus spécifiquement, nous avons cherché à :

- connaître quelle espèce de vers de terre est responsable de la disponibilité assez importante du P dans le sol ;
- identifier quel type de matière organique apporte aux sols agricoles plus de P facilement mobilisable par les vers de terre pour qu'il y a plus de P disponible ;
- évaluer comment se manifestent les effets de la présence des vers de terre et des matières organiques sur la croissance et la production de biomasses du riz pluvial cultivé sur « tanety ».

Les fruits de cette étude sont présentés dans ce mémoire en quatre grandes divisions :

- La première partie présente quelques généralités ;
- La seconde se porte sur les matériels et la méthodologie de recherche ;
- Dans la troisième partie sont analysés et interprétés les résultats ;
- Le dernier volet concerne les discussions, les suggestions et les intérêts pédagogiques du travail.

# **Première partie : GENERALITES**

## **Partie 1 : GENERALITES**

A Madagascar, les sols ferrallitiques couvrent les 2/3 de la superficie du pays (annexe 1) tout en occupant la partie orientale et les Hautes-terres de l'île (Rapport sur l'état de l'environnement à Madagascar, 2012). Sur les Hautes-terres, on doit noter l'existence généralisée des sols ferrallitiques sous pseudo-steppes à *Aristida sp* (Bourgeat et Aubert, 1971). Cette pauvreté floristique acquiert à ces sols une carence en éléments nutritifs pour les plantes. Le phosphore (P) est souvent désigné comme un facteur clé de l'amélioration de leur fertilité (Andriamaniraka et al., 2009). Ces sols sont caractérisés par une teneur en P total élevée mais faiblement disponible pour les plantes. Pour y remédier l'inoculation des vers de terre et/ou la stimulation de leur activité par apport de matière organique au sol est une nouvelle approche récemment adoptée.

### **I. LES VERS DE TERRE**

Actuellement, Madagascar compte trente-trois (33) espèces de vers de terre dont 20 exotiques et 13 endémiques. Parmi les espèces endémiques, six espèces appartenant au genre *Kynotus* ont été nouvellement découvertes.

#### **1.1. Systématique et biologie**

##### **1.1.1. Systématique**

Toutes les espèces de vers de terre appartiennent à l'embranchement des Annélides, à la classe des Clitellata et à l'ordre des Haplotaxida (Rafindrakoto, 2012).

Règne	: ANIMALIA
Embranchement	: ANNELIDA
Classe	: CLITELLATA
Sous-classe	: OLIGOCHAETA
Ordre	: HAPLOTAXIDA
Sous-ordre	: LUMBRICINA

##### **1.1.2. Morphologie**

Les vers de terre ont un corps mou très extensible et segmenté sous forme d'anneau (phylum des Annélides). La longueur du corps varie de quelques millimètres à 3 mètres comme certaines espèces d'Amérique du Sud et d'Australie (Razafindrakoto, 2012). Le plus souvent, la couleur du corps varie du rose au marron mais quelques espèces sont très colorées (orange ou turquoise).



Chaque segment, sauf les deux premiers et le dernier (prostomium, péristomium et pygidium), présente quatre paires de courtes soies sur la face ventrale. Elles permettent aux vers de se déplacer. Ces trois segments dépourvus de soies ont chacun un rôle particulier : pointe sensorielle pour le prostomium, bouche pour le péristomium et anus pour le pygidium (Razafindrakoto, 2012).

Les adultes se distinguent des juvéniles par la présence d'une bague protubérante appelée « clitellum » (Vigot et Cluzeau, 2014). Sa position et le nombre de segments qu'il affecte varie suivant les genres. D'ailleurs, c'est un caractère très général des Annelides clitellates. Il est impliqué dans la reproduction avec les pores mâles et le puberculum (tubercule de puberté sur la figure 1).

#### Remarques :

- La peau des vers de terre est humidifiée par un mucus spécifique leur permettant les échanges gazeux ;
- A la place des yeux, ils ne possèdent que des cellules photosensibles qui leur permettent de ressentir les vibrations, le toucher et l'humidité grâce à une chaîne nerveuse qui parcourt leur corps (Vigot et Cluzeau, 2014).

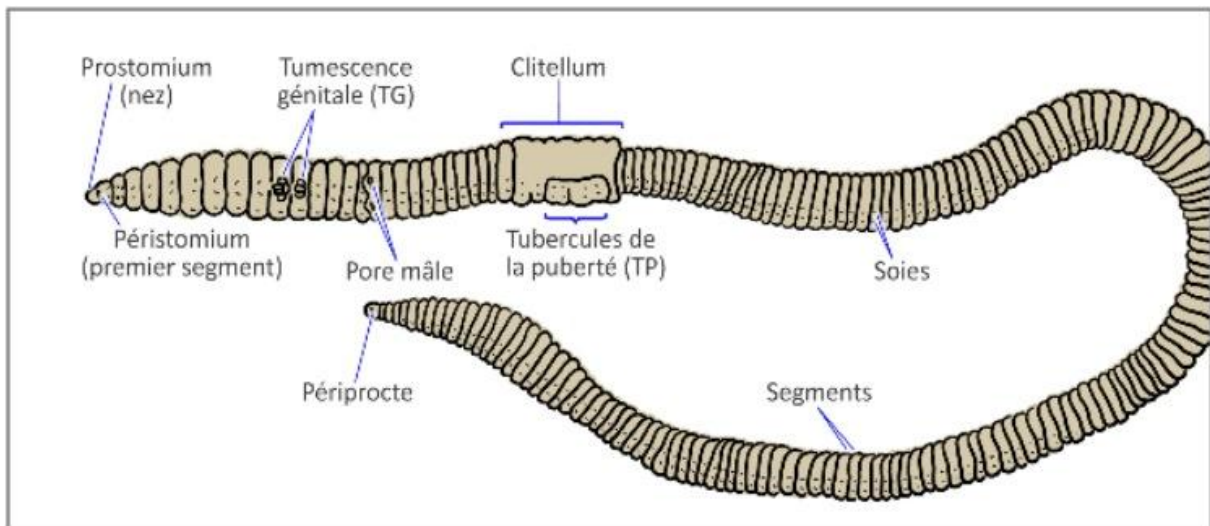


Figure 1. Morphologie générale des vers de terre

(Source : <https://www.naturewatch.ca/wormwatch/fr/comment-surveiller/anatomie/>)

### **1.1.3. Cycle biologique**

Tous les vers de terre sont hermaphrodites. La période de reproduction a principalement lieu au printemps et en automne. Ils viennent s'accoupler en surface où deux vers effectuent un échange

de spermatozoïdes. Après cet échange, un cocon muqueux se forme au niveau du clitellum des deux vers. Le cocon contient d'abord des gamètes femelles qui sont ensuite fécondés par les gamètes mâles de l'autre ver. Quelques jours plus tard, le cocon encore appelé œuf ou zygote est déposé dans le sol sous forme d'une capsule fermée aux deux extrémités. Il faut quelques semaines à plusieurs mois, selon l'espèce, pour que les jeunes vers de terre éclosent. L'éclosion dépend également des conditions climatiques du milieu. Par exemple, le dessèchement du sol provoque la déshydratation du cocon, ce qui peut retarder le développement embryonnaire (Evans et Guild, 1948 ; Gerard, 1967, in Pelosi, 2008).

Au stade juvénile jusqu'au stade sub-adulte, il se produit chez les vers l'apparition des caractères sexuels secondaires externes comme le puberculum tuberculeux ou les pores mâles. La formation du clitellum leur confère le statut de vers adultes. Le temps de maturation varie suivant les espèces et dépend des conditions du milieu (température, humidité, nourriture). La figure 2 suivante présente le cycle biologique des vers de terre.

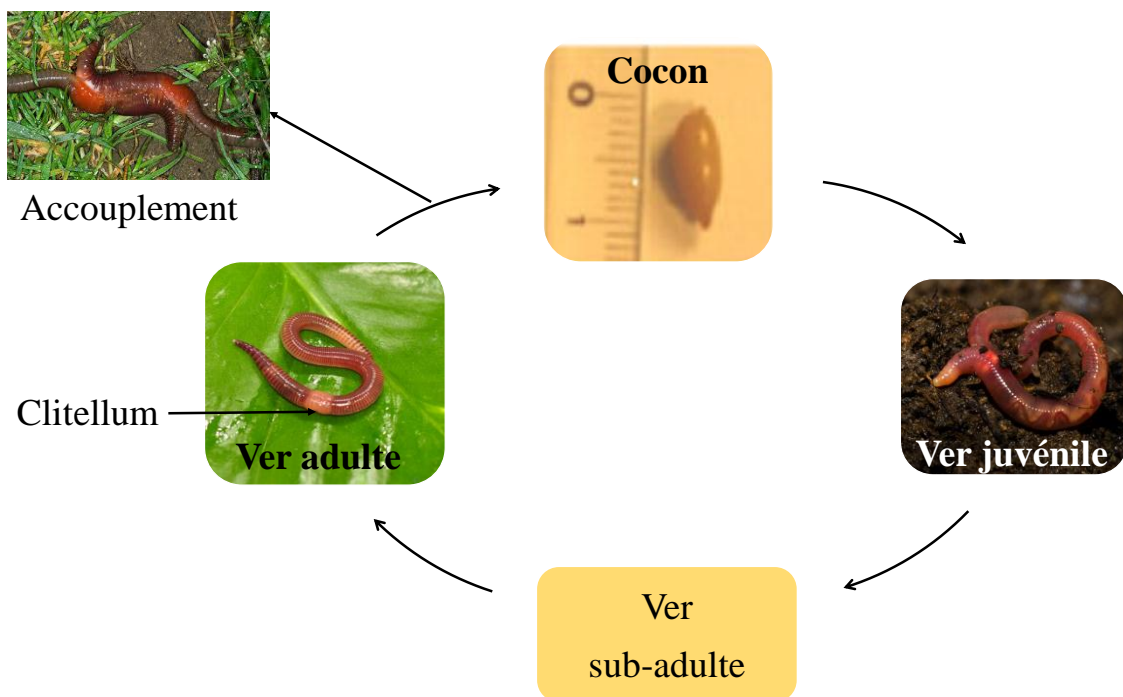


Figure 2. Cycle biologique des vers de terre (Auteur, 2016)

La longévité des vers de terre dépend d'une part, de l'espèce et d'autre part de leur biotope et les conditions dans lesquelles ils vivent.

## 1.2. Catégories écologiques

Selon Bouché (1971), les vers de terre se répartissent en trois groupes fonctionnels appelés « catégories écologiques » à savoir : les épigés, les endogés et les anéciques (figure 3).

Ces catégories se distinguent par différents critères morphologiques (taille et pigmentation), comportementaux (alimentation, construction de galeries, mobilité) et écologiques (longévité, temps de génération, prédation, survie à la sécheresse) (Bouché, 1973).

➤ Les **épigés** groupent les espèces de petite taille généralement colorées en rouge sombre (Exemples : *Amyntas minimus* et *Dichogaster saliens*). Ils vivent en surface dans la litière. Ils ne sont donc visibles que dans les sols avec une couche de matière organique déposée en surface. Ils ne creusent pas de galeries. Leur alimentation est à base de matières organiques mortes (fragments de végétaux, de champignons) ; ils sont saprophages.

Ils participent activement dans le fractionnement et le recyclage de la matière organique. Ces espèces vivant en surface sont sensibles à la prédation, aux variations climatiques et aux facteurs anthropiques tels que la disparition des horizons organiques par le labour et l'usage des traitements phytosanitaires.

➤ Les **endogés** sont des vers non pigmentés de taille moyenne (Exemple : *Pontoscolex corethrurus*). Ils vivent en permanence dans le sol où ils creusent des galeries temporaires horizontales et subhorizontales très ramifiées. Ils se nourrissent de sol plus ou moins riche en matière organique; ce sont des géophages. Suivant la richesse en matière organique du milieu où ils évoluent, on distingue trois sous-catégories d'endogés : polyhumiques, mésohumiques et oligohumiques. Plus les vers vivent profondément, moins le sol qu'ils consomment est riche en matière organique (Razafindrakoto, 2012). Les polyhumiques vivent dans des milieux riches en matière organique, les oligohumiques dans des milieux pauvres en matière organique et les mésohumiques dans des milieux intermédiaires.

Ils contribuent à la création d'une structure grumeleuse qui joue un rôle important sur la rétention et l'infiltration de l'eau dans le sol. Ils ne remontent presque jamais à la surface, ainsi ils seraient susceptibles d'être les plus impactés par la contamination du sol.

➤ Les **anéciques** sont constitués par des vers pigmentés de grande taille. Ils combinent les stratégies des deux autres catégories en vivant dans l'ensemble du profil de sol, de la surface aux horizons plus profonds en creusant des galeries permanentes ou semi-permanentes verticales à sub-verticales, ouvertes en surface. Ils se nourrissent de débris organiques prélevés en surface.

En se déplaçant verticalement dans le sol, ils sont particulièrement intéressants dans le mélange de la matière organique et la matière minérale. Les grosses galeries qu'ils creusent améliorent la porosité du sol et favorisent la circulation de l'eau et de l'air.

**Remarque** : En plus de ces trois catégories écologiques, il existe également des espèces intermédiaires : **épi-endogés, épi-anéciques et endo-anéciques**.

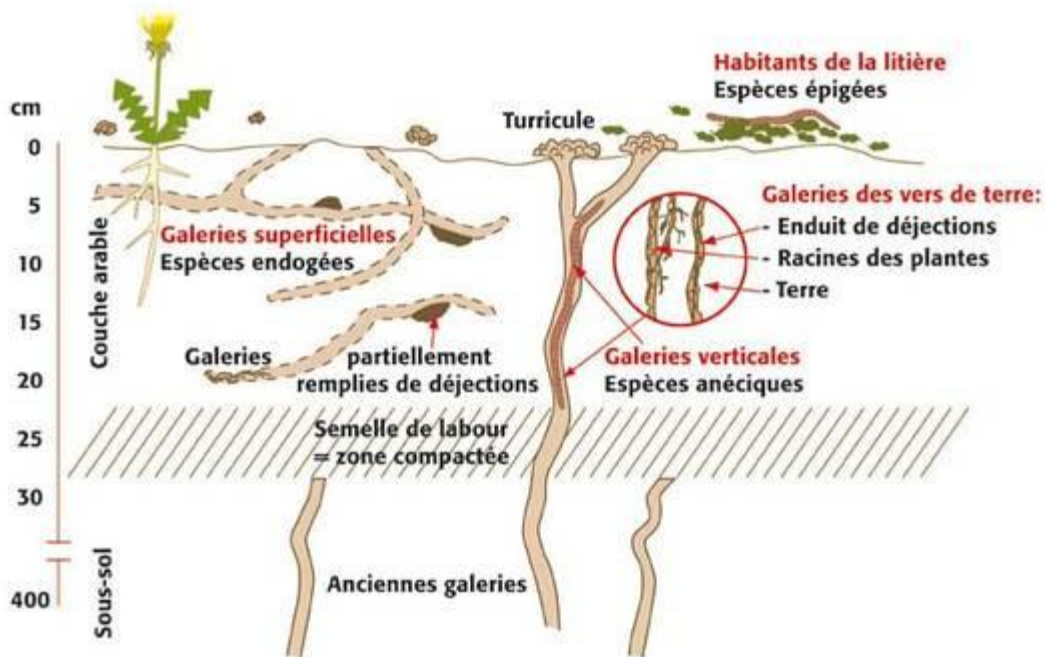


Figure 3. Répartition écologique des vers de terre

(Source : <http://www.bioactualites.ch/fr/sol-sain-plantes-saines/biodiversite/ver-de-terre.html>)

### 1.3. Facteurs influençant la survie des vers de terre

La température et la teneur en eau du sol sont les variables environnementales clés qui influencent la survie des vers de terre (Pelosi, 2005). La qualité et la quantité de la matière organique du sol (Curry, 1998) ainsi que le type de sol et le pH sont également des facteurs du milieu qui gouvernent fortement la présence des vers de terre dans un milieu.

#### 1.3.1. Température et humidité du sol

Les vers de terre sont composés à 80-90% d'eau lorsqu'ils sont pleinement hydratés (Lee, 1985). Ils peuvent tolérer la perte en eau de leur corps, cependant, ils sont très sensibles aux faibles conditions hydriques.

Ce sont des animaux poïkilothermes. Ils sont donc très sensibles aux variations de la température du sol. En général, les conditions optimales de température pour les vers de terre

varient de 15 à 25°C (figure 4). Peu d'espèces survivent à des températures inférieures à 0°C et supérieures à 28°C (Lee, 1985 ; Curry, 1998).

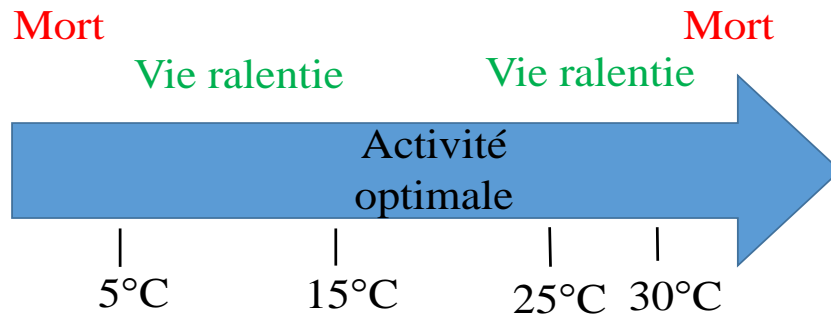


Figure 4. Domaines de température des vers de terre (Auteur, 2016)

### 1.3.2. Matière organique

La matière organique constitue la principale source d'énergie pour les vers de terre. Ils l'ingèrent surtout sous formes de matériau végétal mort en décomposition, de cadavres de microorganismes et d'animaux microscopiques et de fèces d'animaux. De nombreuses études ont montré l'existence d'une corrélation positive entre la densité et/ou la biomasse de vers de terre et la teneur en matière organique du sol (El-Duweini et Ghabbour, 1965 ; Hendrix et al., 1992 ; in Pelosi, 2005).

Les vers de terre peuvent se nourrir d'une large variété de matières organiques. Pourtant, ils ont des préférences alimentaires. Guild (1955) a fait des études illustrant que la plupart des vers de terre préfèrent le fumier. Mangold (1951) a montré qu'il existe certaines espèces végétales qui présentent dans leurs feuilles une forte teneur en substances nocives ou repoussantes vis-à-vis des vers de terre.

### 1.3.3. Type de sols et pH

Le type de sols peut influencer la distribution et l'abondance des populations de vers de terre. Selon Guild (1948), ils sont plus abondants dans les sols limoneux, argilo-limoneux et argilo-sableux que dans les sables, les graviers et les argiles.

Ils sont généralement absents dans des sols acides ( $\text{pH} < 3,5$ ) et sont peu nombreux dans les sols à  $\text{pH} < 4,5$  (Curry, 1998). La majorité des espèces de régions tempérées se trouvent dans des sols à  $\text{pH}$  variant de 5 à 7,4 (Satchell, 1967).

## 1.4. Fonctions et services écosystémiques

Les vers de terre représentent une composante majeure de la macrofaune du sol puisqu'ils constituent une proportion importante de la biomasse du sol. Ils sont classés comme « ingénieurs du sol » en référence aux nombreuses fonctions du sol qu'ils influencent, aussi

bien vis-à-vis de l'état physique, chimique que biologique. Ils agissent par deux moyens : une activité fouisseuse qui crée de galeries dans le sol et une production de déjections en surface (turricules) ou dans le sol.

#### **1.4.1. Création des galeries**

Les vers de terre ont des effets positifs sur les caractéristiques physiques du sol (Chapuis L., 1994, synthèse dans Bachelier, 1978). Ils créent des galeries qui augmentent la macroporosité du sol et, par conséquent contribuent à son aération (Lavelle, 1997). Elles permettent aussi une infiltration plus rapide de l'eau. Beaucoup d'auteurs signalent que l'infiltration de l'eau est de deux à dix fois plus rapide, et parfois plus, dans les sols avec des vers de terre que dans les sols qui en manquent (Lee, 1985). Une meilleure infiltration de l'eau peut minimiser le ruissellement, l'érosion et le transport d'éléments dissous dans l'eau de surface (Pelosi, 2008), ce qui réduit les risques de la pollution de l'eau.

Par ailleurs, la création des galeries acquiert aux vers de terre un rôle important de bioturbation. Ils colonisent tous les étages du sol tout en mélangeant les horizons de surface avec ceux de profondeur. Cette activité permet de brasser le sol, de fournir un espace de vie favorable aux microorganismes et de disperser la matière organique et les organismes vivants dans tout le profil du sol (Menard, 2005). Les galeries sont également des passages préférentiels pour les racines des plantes.

Selon Langmaak (1999), la production annuelle des galeries par un ver de terre peut atteindre jusqu'à 82,3 km à l'hectare.

#### **1.4.2. Production des déjections**

Un ver ingère chaque jour une quantité de sol pouvant dépasser 30 fois de son propre poids. En une année, cela va atteindre 1200 tonnes de terre à l'hectare. Ils se nourrissent également des matières organiques mortes (fragments de matériel végétal) ou vivantes (micro et macrofaune du sol). Au cours du transit intestinal, les matières organiques ingérées sont dégradées et mélangées à la fraction minérale du sol. C'est un processus qui fait intervenir activement les microorganismes de leur tube digestif. Ces microorganismes agissent sur les propriétés physiques et chimiques du sol en les modifiant : déstructuration puis structuration sous une forme plus stable (Barois, 1987, in Cécile, 1997). Le mélange sol-matières organiques stabilisé passe par la suite dans les déjections des vers qui sont déposées, soient à la surface et on les appelle « turricules », soient sur les parois des galeries ou dans les cavités du sol. Ces rejets ont une valeur fertilisante considérable. De nombreux travaux ont montré l'augmentation en éléments nutritifs dans les déjections de vers (Chapuis, 1994). Selon Cluzeau et *al.* (2004), les

vers de terre, par leurs déjections, permettent de concentrer les éléments minéraux, mais surtout ils les rendent plus assimilables pour les plantes. Un vieux proverbe paysan disait : « Dieu sait comment s'obtient la fertilité de la terre, Il en a confié le secret aux vers de terre ».

De plus, les activités microbiennes dans les déjections des vers de terre sont très importantes à cause de leur richesse en différents éléments nutritifs que le sol environnant.

Enfin, la présence des turricules à la surface constitue un obstacle au ruissellement et limite l'érosion hydrique.

## **II. LES MATIERES ORGANIQUES DU SOL**

Le terme « matières organiques du sol » regroupe l'ensemble des constituants organiques, morts ou vivants, d'origine animale, végétale ou microbienne, transformés ou non, présents dans le sol.

### **2.1. Nature des constituants organiques du sol**

Les matières organiques du sol se répartissent en trois groupes :

- Les matières organiques vivantes (MOV) ;
- Les matières organiques fraîches (MOF) ;
- Les composés organiques stabilisés.

#### **2.1.1. Matières organiques vivantes (MOV)**

Elles regroupent la totalité de la biomasse en activité du sol : la microflore du sol et des organismes de tailles variées dont, les vers de terre en constituent plus de la moitié (soit une masse de 500kg à 5 tonnes à l'hectare) et les racines des plantes. Suivant leur fonction, on peut les classer en 4 grandes catégories :

- Les décomposeurs : décomposition de MOF (Bactéries et Champignons)
- Les microrégulateurs : contrôle de la dynamique et de l'activité des populations de microorganismes du sol (Protozoaires, Nématodes, Acariens,...)
- Les fragmenteurs : fragmentation de la matière première végétale (Enchytréides, Isoptères/fourmis,...)
- Les ingénieurs du sol : maintien de la structure du sol par création de galeries et incorporation de matière organique dans le sol (Isopodes, Myriapodes, Oligochètes/vers de terre,...).

#### **2.1.2. Matières organiques fraîches (MOF)**

- Les débris d'origine végétale ou animale (matière organique fraîche)

Ils sont constitués par les résidus végétaux (feuilles, branches et racines mortes), les déjections et les cadavres d'animaux, les pailles enfouies, le fumier et le compost, .... Ils sont composés de substances hydrocarbonées (sucres solubles, amidon, cellulose, matières grasses, résines, ...), de matières azotées surtout sous forme de protéines et des sels minéraux libres (calcium, magnésium, sodium, potassium, ...). Ce sont des substances qui peuvent être facilement décomposées par les organismes du sol.

- Les produits transitoires

Ce sont des substances minérales simples à petites molécules : du gaz carbonique et de l'eau, des matières minérales telles que les nitrates, phosphates, carbonates, sulfates, ... ainsi que du calcium, du potassium, du magnésium, .... Ils résultent de la transformation progressive des matières organiques fraîches à très grosses molécules et sont également appelés les métabolites.

### **2.1.3. Composés organiques stabilisés ou matière organique stable (MOS)**

Ils sont constitués par les substances humiques telles que les acides fulviques, les acides humiques et l'humine. Les substances humiques sont l'ensemble des substances organiques issues de la transformation physique, chimique et biologique des résidus d'origine animal, végétal ou microbienne. Ces composés représentent 70 à 90% des matières organiques du sol.

## **2.2. Evolution des matières organiques fraîches dans le sol**

Deux mécanismes différents interviennent dans la transformation des matières organiques fraîches dans le sol : l'humification et la minéralisation (voir figure 5).

### **2.2.1. Humification**

On appelle humification la transformation par voie biologique ou physico-chimique des matières organiques fraîches (en majeure partie des Matières Végétales Fraîches, M.V.F., par exemple, en forêt, les litières) en "composés humiques" (Monrozier et Ph Duchaufour, 1986). L'humus ainsi formé est relativement stable et plus résistant à la biodégradation que les constituants des matériaux biologiques qui leur ont donné naissance. De plus, c'est un produit qui a une valeur fertilisante considérable mais sa qualité dépend des conditions physico-chimiques qui règnent dans le sol (pH, teneurs en oxygène, en bases échangeables et en cations, ...).

### **2.2.2. Minéralisation**

La minéralisation est un processus de conversion des nutriments de formes organiques en formes minérales. Ce processus se déroule en deux étapes : la minéralisation primaire (M1) ou



minéralisation des matières organiques jeunes et la minéralisation secondaire (M2) ou minéralisation des produits stables, communément appelée « minéralisation de l'humus ».

- La minéralisation M1 correspond à la décomposition des MOF par les organismes du sol qui utilisent ces MOF comme source d'énergie pour leur croissance. C'est un processus assez lent qui aboutit à la libération d'une part, des éléments minéraux assimilables par les plantes et d'autre part, des substances qui permettront la formation de l'humus (lignine, cellulose) ;
- La minéralisation M2 est au contraire un processus très lent qui affecte l'humus et libère des quantités annuelles d'éléments considérables qui sont mis à disposition pour les plantes.

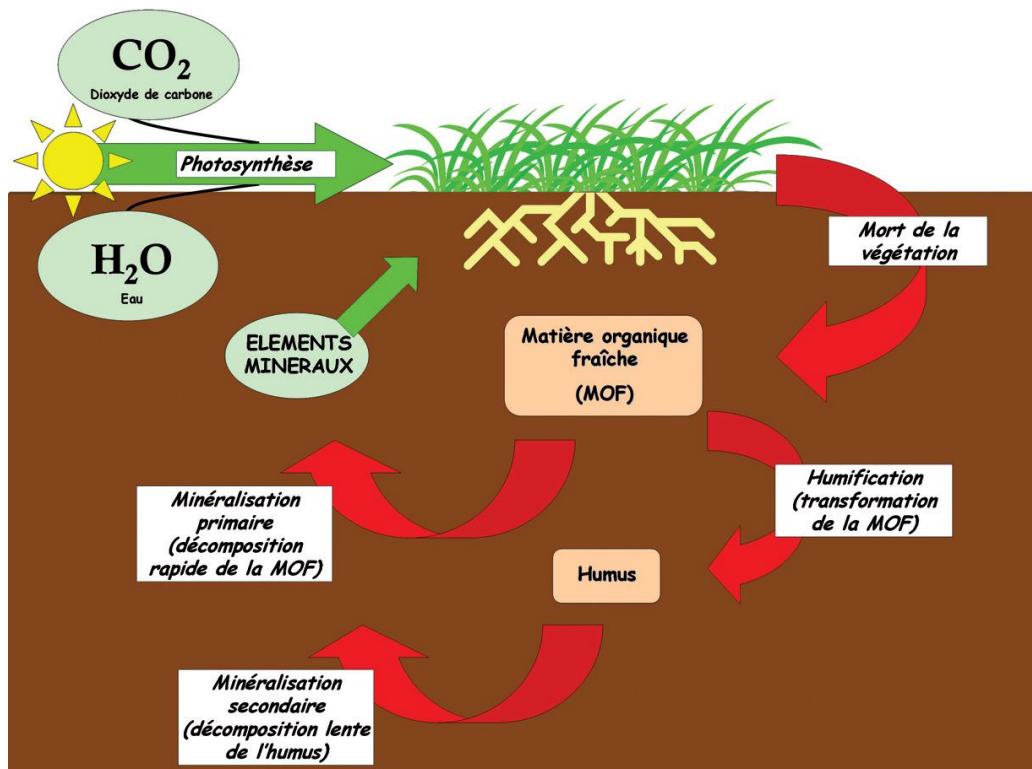


Figure 5. Cycle simplifié de la matière organique

(Source : <http://www.prosensols.eu/fr/educatie/Matieresorg-WEB01.pdf>)

### 2.3. Rôles des matières organiques du sol

Le sol ne contient qu'un faible pourcentage massique de matières organiques, généralement compris entre 1 à 10% mais cette petite quantité est très importante pour le fonctionnement du sol et de l'écosystème terrestre tout entier (résumé en figure 6).

### **2.3.1. Complexe argilo-humique (CAH) et la capacité d'échange cationique (CEC)**

L'humus (colloïde organique du sol) et l'argile (colloïde minéral du sol), s'associent pour former le complexe argilo-humique. L'humus protège l'argile en retenant l'eau, ce qui évite sa dispersion. L'argile protège l'humus de l'action de microorganismes en ralentissant le processus de sa minéralisation. Le complexe argilo-humique est également appelé « complexe adsorbant du sol » parce qu'il est doté du pouvoir de rétention des cations tels que :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,... à sa surface. Ces ions y sont retenus sous forme échangeable.

On appelle « capacité d'échange cationique » la quantité maximale de cations qu'un sol peut adsorber. La CEC joue un rôle fondamental pour l'alimentation en éléments minéraux des plantes : régulation de stockage et mise à disposition des éléments nutritifs pour les plantes. Elle est fortement dépendante du CAH : elle est élevée pour des sols argileux et/ou humifère mais très basse pour des sols sableux.

### **2.3.2. Effets des matières organiques sur la structure et les autres qualités du sol**

Les matières organiques améliorent la structure des sols en augmentant la formation des agrégats et des espaces vides. Ceci contribue à la perméabilité, à l'aération et à la capacité de rétention en eau des sols. Cette structuration des sols par la matière organique contribue aussi à la stabilité des sols vis-à-vis des agressions extérieures (pluies, tassement,...) en limitant notamment l'érosion hydrique.

Les matières organiques influencent également la qualité de l'air par le stockage ou l'émission de gaz à effet de serre. Et par leur forte capacité de rétention des polluants organiques (pesticides, hydrocarbures,...) et minéraux (éléments traces métalliques), elles participent au maintien de la qualité de l'eau.

### **2.3.3. Effets des matières organiques sur les propriétés biologiques du sol**

Les apports organiques stimulent l'activité biologique du sol. Nourriture pour les vers de terre et les arthropodes (insectes, acariens,...), les matières organiques représentent aussi un véritable substrat énergétique pour les microorganismes pour synthétiser leurs propres protéines ainsi que pour former des métabolites (Ribero et al., 1976). En améliorant la porosité et l'aération du sol, elles favorisent le développement des bactéries aérobies. Au contact du substrat minéral, elles ont une grande valeur comme amendement humique, comme « ensemencement microbien » et comme générateur d'enzymes, à ces points de vue, elles sont irremplaçables (Lasnier-Lachaise, 1973).

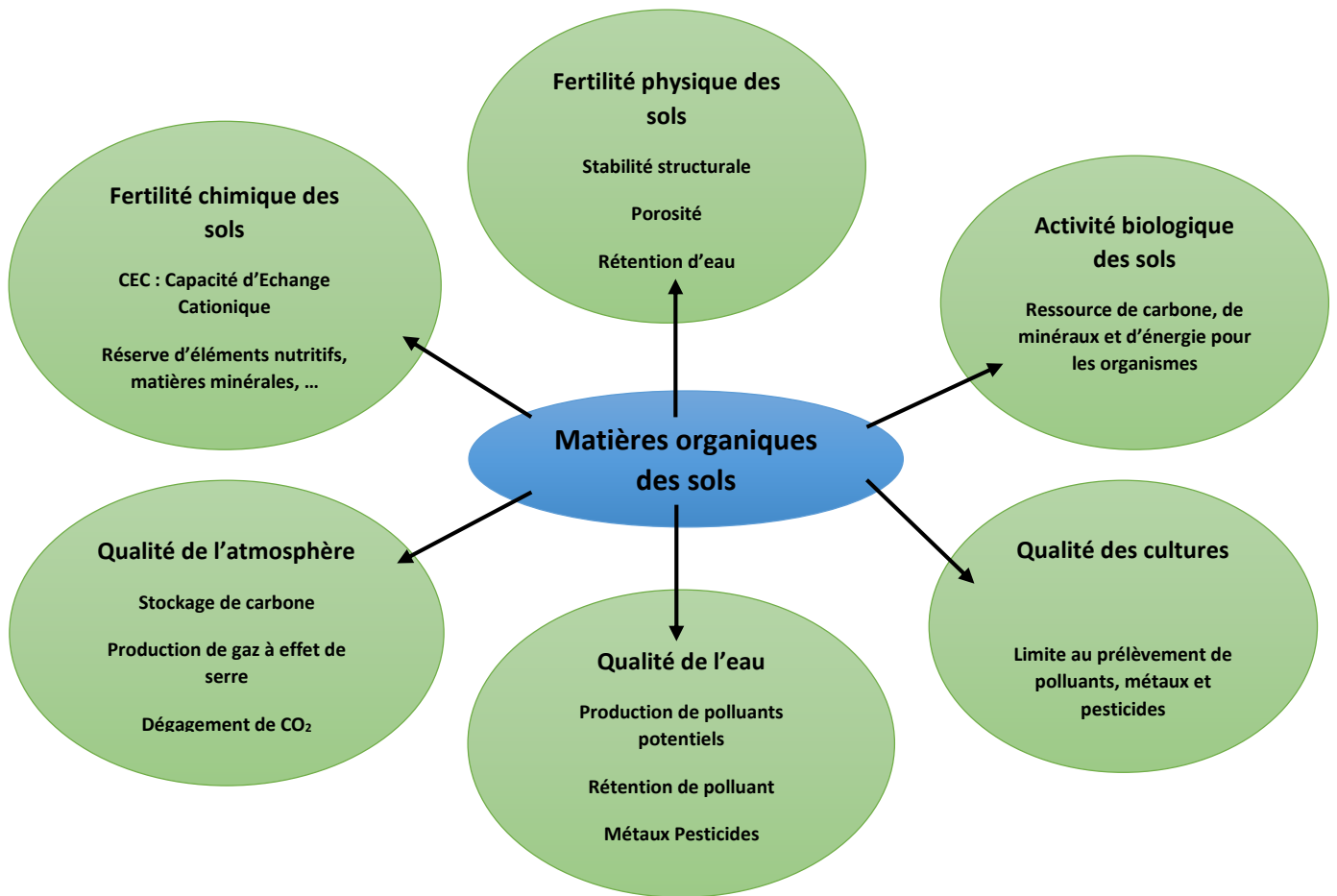


Figure 6. Rôles des matières organiques (Duparque et P. Rigall, 2006)

#### 2.4. Interaction entre vers de terre et matières organiques

Les vers de terre jouent des rôles très importants dans la dégradation et le recyclage des matières organiques. Suivant leur catégorie écologique, les vers de terre se nourrissent soit des matières organiques fraîches (cas des épigés) soit de la matière organique stable ou humus (cas des endogés) soit des matières organiques fraîches et de l'humus à la fois (cas des anéciques). Dans le tube digestif des vers, les matières organiques sont soumises à des traitements divers : mécanique, chimique et enzymatique. Lors du transit intestinal, la sécrétion de mucus ainsi que l'apport d'une certaine quantité d'eau stimulent les activités microbiennes. Grâce à ces substances, les bactéries qui ont été en dormance se réveillent et vont décomposer les matières organiques ingérées. Ce mécanisme libère des éléments nutritifs sous forme des ions minéraux solubles qui sont assimilables par les végétaux. Ces éléments passent dans le sol à travers les rejets des vers de terre.

De plus, Cluzeau et *al.* (1994), ont montré qu'une augmentation de la biomasse lombricienne dans le sol entraînait une augmentation de la biomasse microbienne. Celle-ci favorise à son tour

la minéralisation des matières organiques et la libération de plus de nutriments dans le sol (Pelosi, 2005).

### III. LE PHOSPHORE DANS LE SYSTEME SOL-PLANTE

Le phosphore (P) est un élément chimique non métallique largement répandu dans la nature. Il est le onzième constituant de la croûte terrestre (0,12%) (Bachelier et Belin, 1997 ; in Beaudin, 2006). Quelle que soit sa forme, l'atome de P est toujours associé à des atomes d'oxygène pour former le groupement phosphate  $\text{PO}_4^{3-}$  (Plassard et al, 2015). En effet, c'est sous cette forme de phosphate que le P est habituellement retrouvé dans l'environnement.

#### 3.1. Phosphore dans les sols

Dans un sol sans végétation, le P se trouve surtout sous forme minérale ou inorganique ( $\text{P}_i$ ) associé à des composés amorphes ou cristallins d'aluminium, de fer et de calcium. Dans un sol couvert de végétation, il se trouve principalement sous forme organique ( $\text{P}_o$ ) libéré par décomposition microbienne de la matière organique et se trouve surtout dans la couche arable.

Les roches mères constituent les principales sources de P des sols. La presque totalité du P terrestre est dérivée de l'altération des phosphates de calcium des roches de surface, principalement de l'apatite  $\text{Ca}_5(\text{HPO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$  (Beaudin, 2006). La vitesse de libération de P par altération des roches varie entre 0,01 et 1 kg P  $\text{ha}^{-1} \text{an}^{-1}$  (Newman, 1995), mais dans certains cas, elle pourrait atteindre 5 kg P  $\text{ha}^{-1} \text{an}^{-1}$  (OFEFP, 2004).

Les phosphates des sols se retrouvent fréquemment associés à des cations, à des oxydes ou hydroxydes métalliques (Beaudin, 2006). En général, il est estimé que les sols contiennent de une à trois tonnes de P par hectare dans les 20 premiers centimètres de leur profil. Seule une infime fraction de ce P, appelée P biodisponible est assimilable pour les organismes vivants du sol, en particulier les plantes. Ce P biodisponible pour les êtres vivants se trouve dans la solution du sol sous formes des ions orthophosphates ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  et  $\text{HPO}_4^{2-}$ ), notés  $\text{P}_i$  avec une concentration moyenne de 0,2 mg P par litre. Dans les sols cultivés, les engrais phosphatés apportés s'ajoutent aux phosphates existant initialement dans ces sols.

#### 3.2. Cycle du phosphore à l'échelle du globe

Contrairement aux autres cycles biogéochimiques importants (azote, soufre, carbone, oxygène et eau), le cycle du P (figure 7) ne comporte pas de composante gazeuse en quantité significative et n'affecte presque pas l'atmosphère (Beaudin, 2008). De plus, les transferts d'un réservoir à l'autre ne sont pas, ou moindrement, contrôlés par des réactions microbiennes, comme pour le cycle de l'azote (Bourque, 2005 ; in Beaudin, 2006). Le devenir du P est donc essentiellement

sous le contrôle de processus physico-chimiques alors que pour l'azote, il s'agit de processus biologiques (Morel et al, 2011).

Après altération des roches qui le constitue principalement tel l'apatite, le P passe dans les sols où il se trouve adsorbé par les minéraux (oxydes de fer et d'aluminium, argiles) ou immobilisé sous des formes minérales et organiques pour former ce qu'on appelle « P non-labile ». Sous ces formes, il est inexploitable par les plantes. Pour que ce soit faisable, il doit être adsorbé par la phase solide du sol (les argiles et la matière organique) pour constituer ce qu'on appelle « P labile », à partir de laquelle il se dissout dans la solution du sol sous forme d'ions phosphates tel que le  $\text{PO}_4^{3-}$ .

Les sols contiennent une grande quantité de P, pouvant excéder de 15 à 150 fois les besoins des végétaux. Toutefois, seulement une partie est accessible aux plantes et aux organismes vivants. Ce P est absorbé par les plantes dans la solution du sol via le système racinaire. Il est ensuite transféré aux animaux par leur alimentation. Une partie est retournée aux sols à partir des excréments des animaux et de la matière organique morte. Une autre partie peut être transportée vers les cours d'eau et les mers. Les engrais apportés aux sols de culture peuvent être aussi à l'origine du P présent dans le milieu marin par les processus de ruissellement et d'érosion. Une fraction de ce P présent dans les eaux marines est utilisée par les organismes vivants. Une autre fraction est retournée aux sédiments du fond des océans, sous forme d'organismes morts ou de particules. Les sédiments seront transformés progressivement en roches sédimentaires qui, à long terme seront ramenées à la surface par les mouvements tectoniques, et le cycle se recommence.

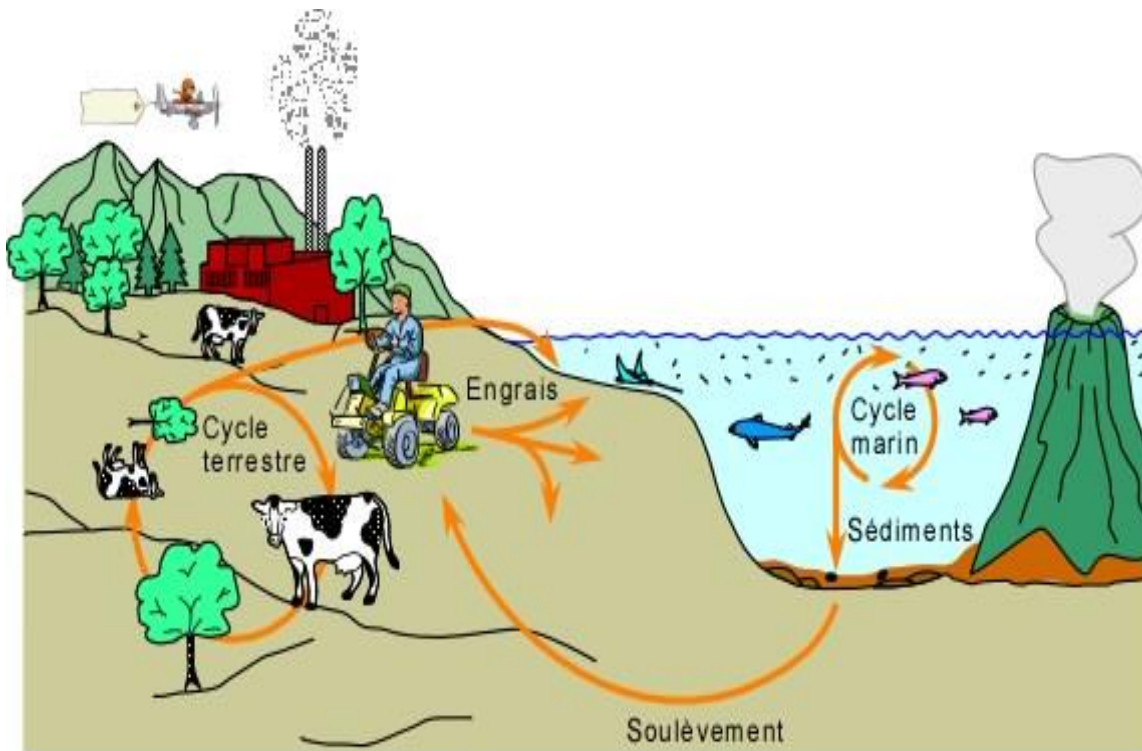


Figure 7. Cycle du phosphore (Bourque, 2005)

### 3.3. Cycle du phosphore dans les systèmes agricoles

La dynamique du P dans les systèmes agricoles est représentée par un cycle simplifié du P (figure 8) plutôt que par le cycle complet du P qui inclut, entre autres, l'influence des océans (Parent et al, s.d.).

Les plantes n'absorbent que le P dissous dans la solution du sol. Malheureusement, ce P présent dans la solution de sol ne représente qu'une faible proportion de l'ordre de 600ppm du P total. Ce qui permet de dire que le P est un élément nutritif critique des plantes.

Le prélèvement de P par une plante est régi par ses besoins, par l'activité et la morphologie de son système racinaire, par la présence des microorganismes symbiotiques, tels que les mycorhizes et par la disponibilité du P du sol (Frossard et al, 2004). Il est majoritairement absorbé sous forme d'ions orthophosphates ( $P_i$ ), soit directement par les racines soit par les hyphes mycorhiziens qui acheminent les  $P_i$  vers les racines (Beaudin, 2006). Les  $P_i$  peuvent être aussi adsorbés par les particules minérales du sol mais seront graduellement libérés dans la solution du sol où ils seront prélevés par les plantes.

Les sols contiennent également du P organique, noté  $P_o$ , qui se trouve associé à la matière organique. Ce  $P_o$  n'est pas disponible pour les plantes sauf qu'il est minéralisé par voie de

décomposition microbienne. La minéralisation du  $P_o$  est assurée assez rapidement par l'hydrolyse des liaisons phosphates grâce à diverses enzymes phosphatases produites par les bactéries et les champignons mycorhiziens (Davet, 1996). Le  $P_o$  hydrolysé par ces enzymes libère du  $P_i$  qui peut, ensuite, être assimilé par les plantes (Richardson et al, 2001 ; in Pomerleau, 2013).

Dans les terres agricoles, tout comme les autres éléments nutritifs des plantes, l'apport en  $P$  est nécessaire afin de répondre aux besoins des cultures. Les principaux intrants les plus utilisés sont les engrais minéraux (engrais phosphatés) et les engrais de ferme comme les fumiers. Par ailleurs, les animaux se nourrissent des végétaux. Ils utilisent une partie du  $P$  provenant de leurs aliments dans leur métabolisme pour croître et en rejettent une partie dans leurs déjections. Ces déjections animales sont ensuite utilisées comme fertilisants de culture. Une partie de  $P$  prélevé par les plantes retourne donc au sol. Il en est de même pour les débris végétaux qui, en se décomposant, recyclent le  $P$  qu'ils accumulent vers les sols. Les processus d'érosion du sol et de lessivage peuvent entraîner une diminution de toutes formes de  $P$  dans les sols. La lixiviation, par contre, est presque inexistante (Baeyens, 1967).

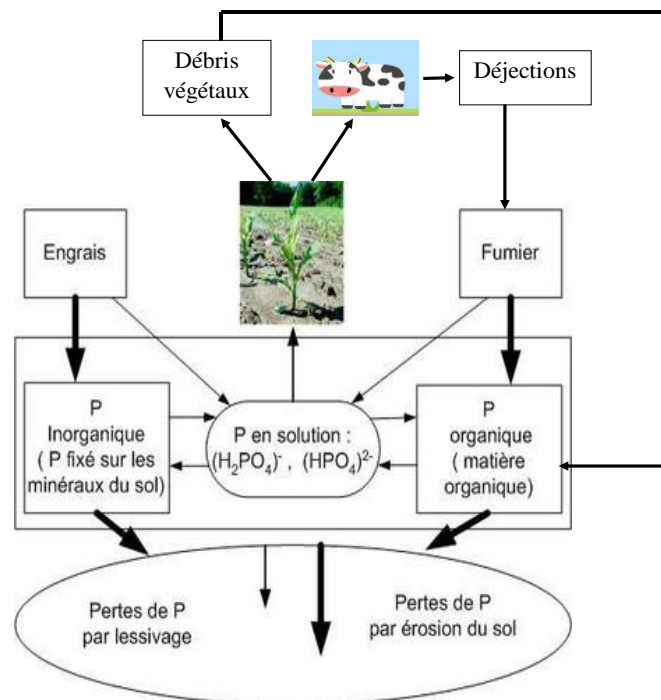


Figure 8. Cycle du phosphore dans les systèmes agricoles (modifié à partir de Karemangingo, 2004)

### 3.4. Rôles du phosphore dans l'agriculture

Le phosphore (P) est l'un des éléments nutritifs essentiels nécessaires pour la croissance et le développement des végétaux, au même titre que l'azote (N) et le potassium (K). Il s'associe avec des composés organiques pour former une combinaison très riche en énergie : ATP (Adénosine triphosphate) qui en se décomposant en ADP (Adénosine diphosphate) libère cette énergie nécessaire au métabolisme. Il joue donc un rôle central dans le stockage et le transport de l'énergie dans les cellules. Il joue aussi un rôle structurel fondamental dans la constitution des acides nucléiques (Acide désoxyribonucléique ou ADN et Acide ribonucléique ou ARN), des enzymes, des phosphoprotéines et des phospholipides.

Le phosphore est absorbé principalement par voie racinaire pendant la croissance végétative et lors du développement des organes reproductifs. Il est essentiel pour la floraison, la précocité et le grossissement des fruits ainsi que la maturation des graines. Un apport approprié de P améliore la qualité des fruits et des graines. Il est aussi nécessaire au développement racinaire, et donc à la nutrition de la plante. L'abondance de P explique la résistance des racines à certaines maladies.

Les plantes carencées en P ont une croissance ralentie ; le développement des racines et la densité des populations sont réduits ; la floraison et la maturation des fruits et des graines sont retardées. Une carence en P provoque également une diminution de la production de protéines et de vitamines par les plantes. Elle se manifeste par une coloration pourpre des feuilles ou du bord des feuilles.

### 3.5. Eutrophisation, conséquence d'un excès de P dans le milieu aquatique

Le phosphore n'est pas toxique pour les plantes. Pourtant, il peut provoquer des dommages à l'environnement, particulièrement au milieu aquatique, par l'eutrophisation. La Commission, dans sa Directive du 21/05/1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires, définissait l'eutrophisation comme « *l'enrichissement de l'eau en éléments nutritifs, notamment en composés de l'azote et / ou du phosphore, provoquant un développement accéléré des algues et des végétaux d'espèces supérieures qui perturbe l'équilibre des organismes présents dans l'eau et entraîne une dégradation de la qualité de l'eau en question* » (in Lemercier, 2003).

Les sources de P dans les eaux de surface proviennent de processus naturels comme l'érosion, le ruissellement et l'infiltration, amplifiés ou supplémentés par les activités agricoles, industrielles et municipales (Parent et al, sd). La quantité excessive de P en milieu aquatique favorise la croissance rapide de la végétation aquatique, comme les algues. A leur mort, leur



décomposition consomme l'oxygène dissous de l'eau. Il se produit ainsi une asphyxie du milieu qui peut conduire à des pertes de biodiversité et des mortalités piscicoles. L'eutrophisation constitue également une menace pour la production d'eau potable.

### **3.6. Bilan en P des sols ferrallitiques de « tanety » des Hautes-terres malagasy**

Les sols ferrallitiques de « tanety » des Hautes-terres malagasy ont une teneur en P total élevée (Rabeharisoa, 2004) qui varie de 20 à 3000mg de P kg<sup>-1</sup> alors que la teneur de P en solution est extrêmement faible, entre 0,005 et 0,05 mg de P l<sup>-1</sup> (Rabeharisoa, 2007). Ce sont des sols pauvres en P disponible pour les plantes (Pi). Leur composition chimique est caractérisée par l'abondance des minéraux secondaires tels que les oxydes de fer et d'aluminium. Ces composés sont propices à une forte rétention des ions phosphates, limitant leur disponibilité. Par ailleurs, la forte acidité de ces sols (pH allant de 3 à 5) est très favorable à cette fixation des ions phosphates par ces colloïdes électropositifs.

## **IV. LE RIZ**

### **4.1. Systématique et morphologie**

Règne	: VEGETAL
Embranchement	: SPERMATOPHYTES
Sous-embranchement	: ANGIOSPERMES
Classe	: MONOCOTYLEDONE
Sous classe	: COMMELINIDAE
Ordre	: CYPERALES
Famille	: POACEAE
Sous-famille	: Pooidae
Genre	: <i>Oryza</i>
Espèce	: <i>Oryza sativa</i>

Le riz est une plante herbacée annuelle. Les racines fasciculées sont constituées par des racines secondaires et leurs poils absorbants. La racine principale qui croît à partir de la semence au moment de la germination ne vit qu'un court moment. La tige ronde également appelée talle primaire est formée par une alternance de nœuds et d'entre-nœuds. A partir des nœuds naissent de façon alternative d'autres tiges appelées talles secondaires qui peuvent porter à leur tour des talles tertiaires. Les feuilles prennent également naissance au niveau des nœuds à raison d'une feuille à chaque nœud. Elles sont linéaires et à nervations parallèles tout en enveloppant la tige avant de s'étaler en limbe. Les organes floraux sont constitués par des panicules. La panicule est le nom donné à l'inflorescence du riz. Elle est composée par un certain nombre d'épillets. La

fleur comprend les organes reproducteurs mâles (anthères contenant le pollen) et femelles (ovaire). C'est une plante autogame. Les graines de couleurs jaunes ou orangées ou parfois teintées en noir sont formées par le caryopse oblong de 8 à 15 mm de long qui comporte trois parties : le tégument, l'albumen, l'embryon (Legendre, 1935 ; Bosser, 1969).

#### 4.2. Evolution de la croissance du riz

L'évolution de la croissance du riz (figure 9) comprend 3 phases : la phase végétative, la phase reproductive et la phase de maturation.

- La phase végétative : elle commence par la germination et se termine à l'initiation paniculaire ou apparition de la feuille paniculaire. Entre ces 2 périodes se trouvent le stade plantule et le tallage du riz. Le tallage se caractérise par l'apparition accentuée des talles ; le tallage est maximum à la fin de cette phase ;
- La phase reproductive : de l'initiation paniculaire à la floraison. Cette phase est caractérisée par l'épiaison ou sortie de la panicule de la feuille paniculaire ;
- La phase de maturation : de la floraison à la maturation. Pendant cette phase, le grain passe successivement de l'état laiteux puis pâteux et enfin vitreux correspondant au grain mur.

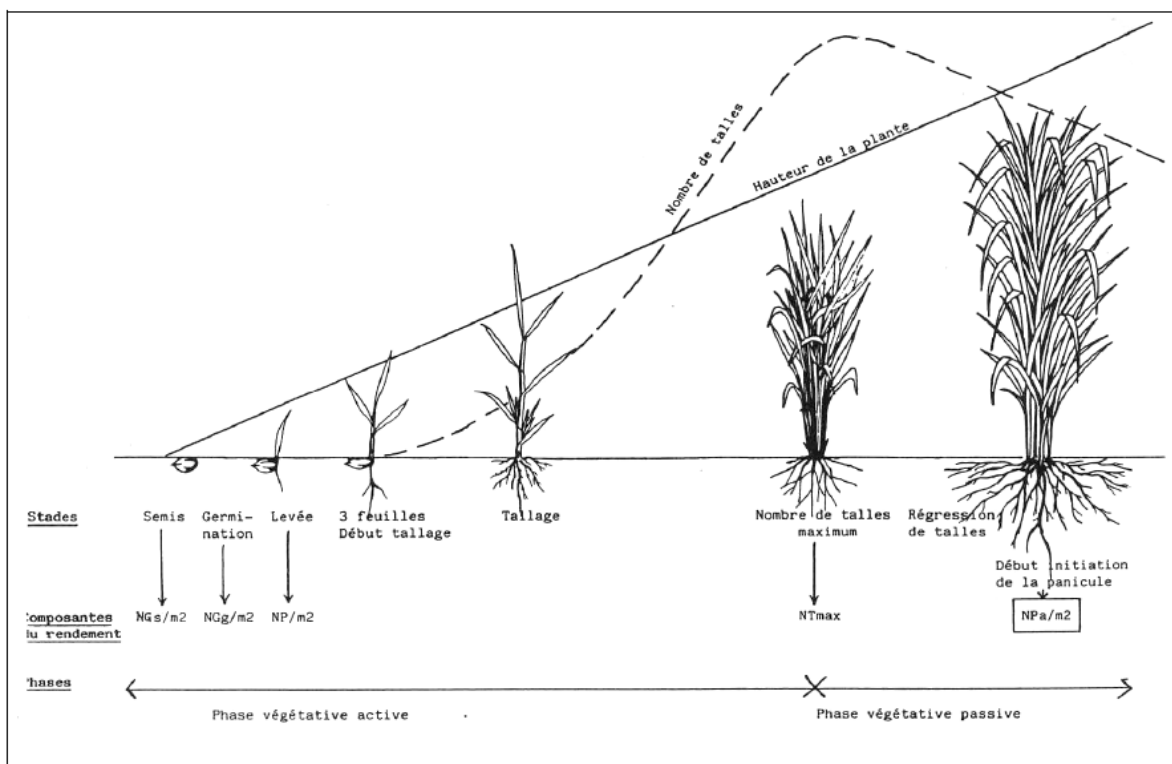


Figure 9. Evolution de la croissance du riz (Moreau, 1987)

### **4.3. Système de la riziculture pluviale**

La riziculture pluviale est une pratique rizicole sans irrigation mais tributaire de l'eau de pluie ou de la nappe phréatique. Elle est pratiquée le plus souvent, non pas sur les rizières mais sur les champs, sur des parcelles plates ou sur les versants, habituellement réservés aux cultures du maïs, du haricot, de la patate douce et du manioc ou au pâturage des zébus.

#### **4.3.1. Place de la riziculture pluviale à Madagascar**

Alimentation de base et culture principale, le riz est cultivé à Madagascar suivant deux pratiques principales : la riziculture irriguée et la riziculture pluviale.

La superficie cultivée en riz du pays est estimée en 2004-2005 à 1 245 000 hectares dont 8,4% de riz pluvial contre 78,7% de riz irrigué et 12,9% de riz « Tavy » (défriche-brulis) (MAEP, 2007). Les paysans des hauts-plateaux sont parmi les principaux producteurs avec 36% du tonnage total malgaches (Penot et al, 2016). Dans cette zone densément peuplée, l'accès à des rizières irriguées est devenu de plus en plus limité du fait de la faible disponibilité des terres. Par contre, d'immenses étendues de terre de « tanety » incultes sont abandonnées à l'*Aristida* (« bozaka »). En effet, la culture du riz pluvial a beaucoup progressé ces dernières années. Une enquête en 2007/2008 par Radanielina a montré que plus de 50 % des exploitations agricoles (sur les 1054 enquêtes dans 32 villages) cultivaient du riz pluvial (Penot et al, 2016). Egalement, des recherches sur la création des variétés de riz pluvial adaptées aux conditions d'altitude (au-dessus de 1300m) se sont beaucoup développées dont, les principaux acteurs sont le Centre national malgache de recherche appliquée au développement rural (ou FOFIFA) et le Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD).

#### **4.3.2. Avantages et inconvénients de la riziculture pluviale**

A Madagascar, plus particulièrement sur les Hautes-terres, très peu de producteurs vivent des bénéfices de la vente du riz. L'essentiel du produit rizicole est réservé à l'autoconsommation. La production du riz pluvial sert à compléter celle du riz irrigué. Dans certains cas, les exploitants ne possèdent pas ou peu de parcelles en bas fond pour la riziculture irriguée. En effet, la riziculture pluviale constitue pour eux la culture principale, leur permettant d'atteindre l'autosuffisance alimentaire. Par ailleurs, par comparaison au riz irrigué, le riz pluvial ne nécessite pas d'aménagements importants et s'adapte à des situations de ressources en eau limitée. Cependant, il est sensible à la pyriculariose, la principale maladie fongique des cultures de riz dans le monde et la productivité est encore limitée.

**Deuxième partie : MATRIELS ET  
METHODES**

## Partie 2 : MATERIELS ET METHODES

### I. Localisation géographique du site d'étude

Lazaina a été notre site d'étude (figure 10) là où nos sols d'expérimentation ont été prélevés. C'est un site d'expérimentations géré par le LRI. Il se trouve à 12 km de la capitale, dans la Région Analamanga, District Antananarivo-Avaradrano, Commune Rurale Ambohimanga-Rova, Fokontany d'Ambolotara, à une altitude de 1274 m et sur une latitude de 18°46'55 59" Sud et une longitude de 47°32'46 3" Nord.

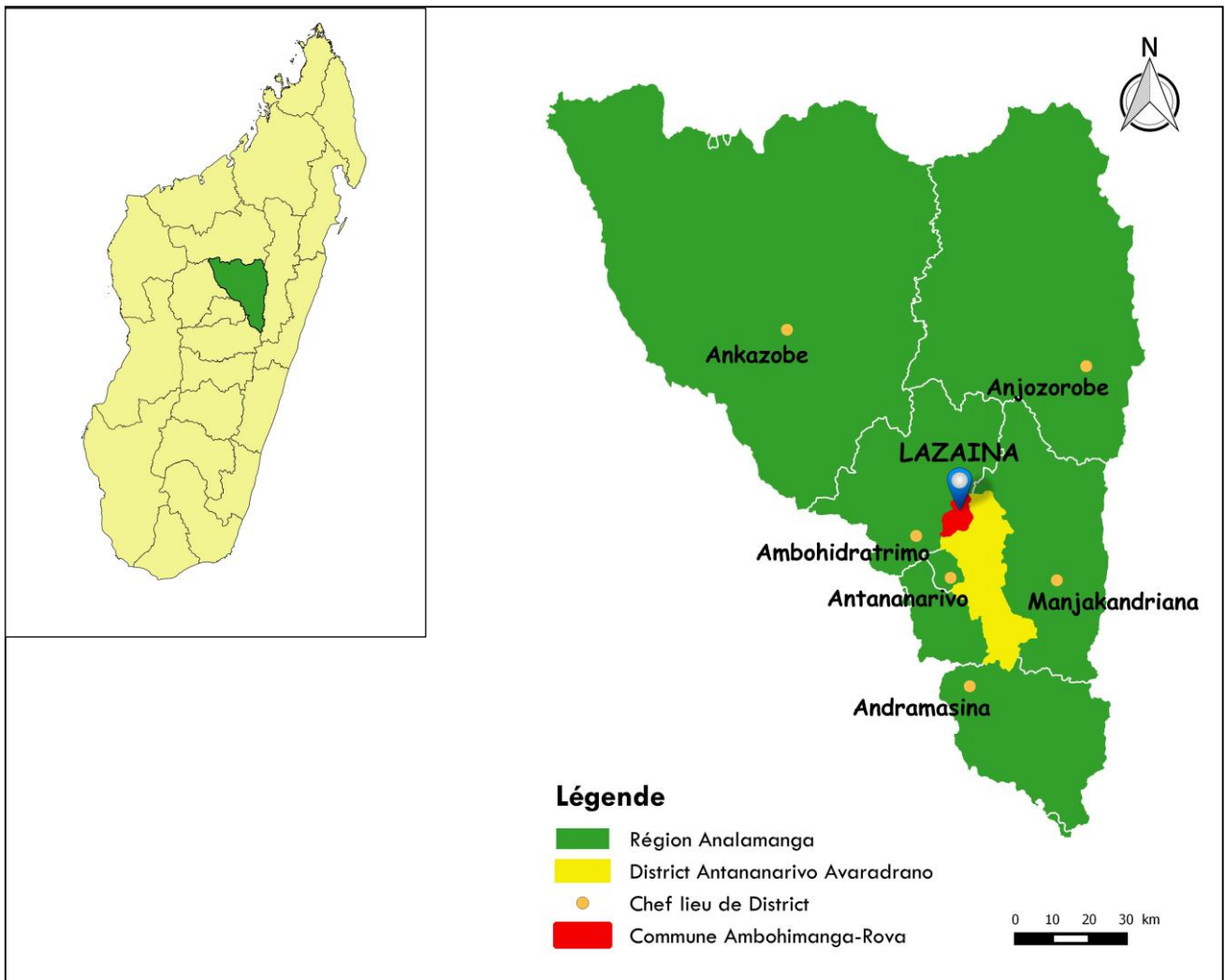


Figure 10. Localisation du site d'étude (Source : BD FTM)

### II. Matériels et méthodes d'expérimentation

Afin d'étudier les effets de l'interaction entre les vers de terre et les matières organiques sur la dynamique du phosphore (P) dans les systèmes agricoles, des élevages des vers de terre dans des sols en présence des matières organiques de différentes qualités ont été effectués. Les

expériences témoins ont été constituées par des élevages de vers dans des sols sans apport de matière organique. Après les élevages, des analyses de sols contenant de déjections de vers de terre ont été réalisées pour mesurer leur teneur en P disponible ou P assimilable (P résine). Enfin, les influences de la mise en disponibilité du P par le couplage vers de terre-matières organiques sur la croissance et la production de biomasse des plantes cultivées ont été réalisées en utilisant une variété de riz pluvial.

## 2.1. Elevages des vers de terre en conditions contrôlées

### 2.1.1. Matériels biologiques : Annelides Oligochètes (vers de terre)

Cinq (5) espèces de vers de terre ont été utilisées (figure 11). Ces espèces ont été choisies suivant leur répartition écologique et leur disponibilité dans la nature (facile à trouver et identifier par les paysans). Ces espèces peuvent être classées en deux groupes :

- Des vers se trouvant à la surface du sol ou sous les litières : classés comme décomposeurs des matières organiques mortes ou fraîches, *Dichogaster saliens* et *Amyntas minimus* ;

*Dichogaster saliens* (Michaelsen, 1990) : c'est un ver appartenant à la famille des Acanthodrilidae. Il mesure entre 30-60 mm, un diamètre égal à 1,5 mm. Le segment compte au total entre 70-120 (Beddard, 1893). Le corps est dépourvu de pigmentation mais il présente à l'intérieur de son corps une sorte de rayures sombre et claire qui s'intercalent d'où l'appellation de « petit vers de terre rayés » par Razafindrakoto et Blanchart (2009). Le clitellum est en forme de selle et a une couleur marron orangée.

*Amyntas minimus* (Horst, 1893) : il est de la famille des Megascolecidae. Sa longueur varie de 15 à 30 mm avec un diamètre de 1,5 à 2,5 mm. Le nombre de segments varie entre 74 et 100. En général, l'*Amyntas minimus* est également dépourvue de pigmentation mais la partie antérieure est colorée en rose ou sombre. De plus, le clitellum est épais et le contenu de l'intestin est visible par transparence tout en marquant une coloration plus sombre et spiralée. Il est à remarquer que cette espèce de vers de terre est très sensible au toucher, elle gigote dès qu'on la touche (Razafindrakoto et al, 2011).

- Des vers de terre se localisant entre 0 à 15 cm de profondeur : classés comme étant soit géophages, le cas de *Pontoscolex corethrurus*, soit en même temps géophages et décomposeurs de matières organiques, *Amyntas corticis* et *Eudrilus eugeniae*.

*Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857) : il se trouve dans la famille des Glossoscolecidae. Müller décrivait que cette espèce a une longueur variée de 60 mm à 80 mm, mais selon

Blakemore, (2002), elle peut atteindre jusqu'à 142 mm et même 360 mm selon Stephenson (1931). Le diamètre est de 4 – 6 mm et le nombre de segments varie entre 166 - 210 et peut présenter des annulations secondaires. Le *Pontoscolex corethrurus* est sans pigmentation tandis que le clitellum qui est en forme de selle présente une coloration jaune orangée qui s'étale à partir du segment 15 jusqu'au 22.

***Amyntas corticis*** (Kinberg, 1867) : de la famille des Megascolecidae, cette espèce a une longueur qui varie de 120-160 mm avec un diamètre égal à 3-5 mm et un nombre de segments entre 78 à 108. Elle présente une coloration marron grisâtre qui est très brillante à la lumière et dès fois avec un reflet violet ou bleu brillant sur le côté dorsal. Le clitellum, de couleur foncée (marron foncée), est cylindrique, il s'étale sur les segments 14-16. L'espèce a de nombreuses soies de l'ordre de 28 à 55 par segment.

***Eudrilus eugeniae*** (Kinberg, 1867) : c'est une espèce appartenant à la famille des Eudrilidae. Sa longueur varie entre 100 – 160 mm et son diamètre est de 4mm. Le segment compte au total 160– 207. Le corps est aplati et devient effilé sur la partie postérieure. La coloration du dos est marron rougeâtre mais reflète aussi une couleur violacé, la face ventrale est beige et le clitellum est marron sombre qui occupe les segments 14 à 18.

### 2.1.2. Sites d'échantillonnage

Les vers de terre ont été collectés dans différentes localités des Hautes-Terres (Antsirabe et Antananarivo) où ils ont pu être inventoriés auparavant (Razafindrakoto, 2012). La majeure partie a été collectée à Antsirabe sauf le *Pontoscolex corethrurus* qui est une espèce cosmopolite, disponible dans tout type d'endroits même très anthropisés :

- Lazaina-Antananarivo : site de prélèvement de *Pontoscolex corethrurus* ;
- Andranomanelatra-Antsirabe: site de prélèvement de *Dichogaster saliens*, *Amyntas corticis*, *Amynta minimus*, *Eudrilus eugeniae*.

Andranomanelatra est une commune rurale du district d'Antsirabe II, région Vakinankaratra. Elle se trouve à 1628 m d'altitude sur une latitude de 19°47' Sud et sur une longitude de 47°06' Est.

### 2.1.3. Traitements des vers de terre

Pour chacune des espèces, les individus prélevés (une centaine par espèce) ont été mis dans des seaux et des cuvettes contenant de sols humides. Ils ont été par la suite ramenés au laboratoire et placés dans un endroit (salle d'incubation) à température ambiante (entre 20 et 25°C) pour être élever et utiliser pour la suite de l'étude.

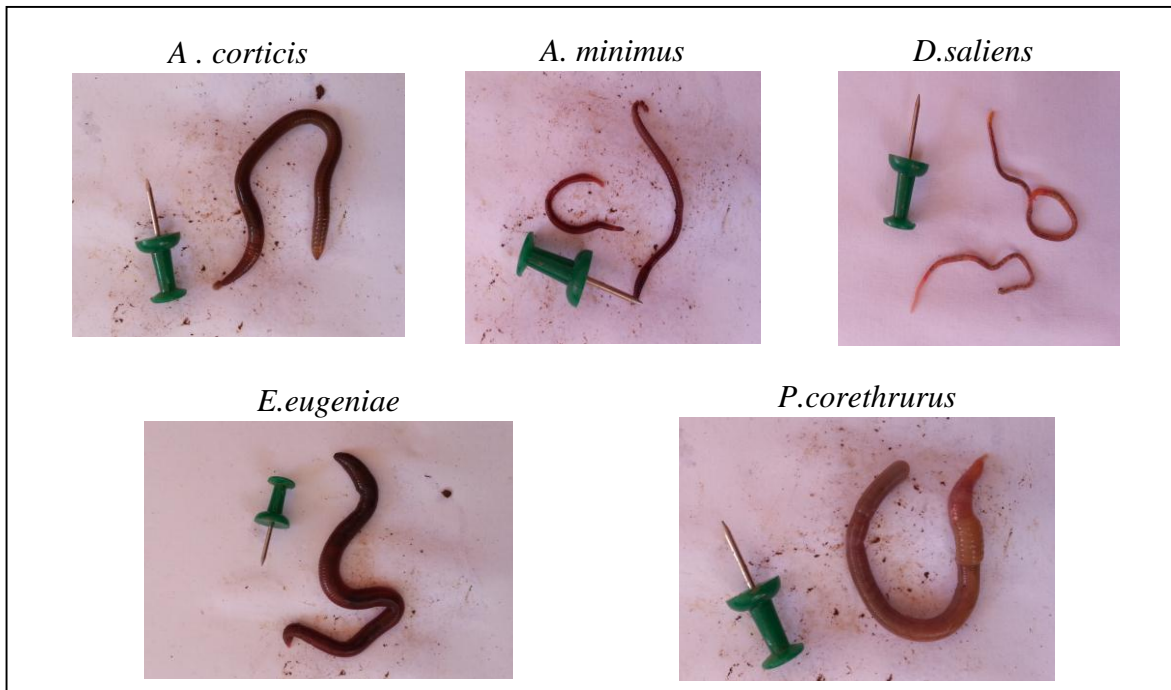


Figure 11. Les cinq espèces de vers de terre (Auteur, 2016)

#### 2.1.4. Sols

Les sols d'expérimentation proviennent également de Lazaina ; des sols ferrallitiques, ferralsols dans la classification de la FAO (FAO-UNESCO, 1990), très représentatifs de la majorité des sols des Hautes-terres de l'île. Il s'agit de sols argileux à teneur élevée en fer et en aluminium sous forme hydratée, qui se développent normalement sous forêt en climat chaud et humide, à partir de roches différentes (granite, gneiss, micaschistes, basalte, grès, alluvions anciennes,...) (Rasoamaharo, 2007). Ils sont caractérisés par une faible fertilité naturelle. Ils sont généralement acides (les pH se situent entre 4 et 5,5), pauvres en matière organique, avec une faible capacité d'échange (CEC inférieure à 5 mole kg<sup>-1</sup>) et de faibles teneurs en cations (Rabeharisoa, 2004). Selon toujours Rabeharisoa (2004), ils sont très fixateurs en phosphore avec 0,825 g.kg<sup>-1</sup> et pour lequel on cherche à comprendre les processus de mise en disponibilité pour les plantes.

#### 2.1.5. Site et mode de prélèvement

Les sols ont été prélevés sur « tanety » dans des zones sous « bozaka » (*Aristida sp*) à Lazaina. Les dix premiers centimètres de sols ont été échantillonnés à l'aide d'une pelle. Plusieurs dizaines de kg de sols ont été prélevées et ont été ramenées au laboratoire.



### 2.1.6. Préparations

Avant utilisation, les sols ont été séchés à l'air libre. Ensuite, ils ont été broyés puis tamisés à 2mm pour éliminer les grosses mottes de terre et tous débris végétaux qui proviennent de la couverture naturelle du sol (figure 12).

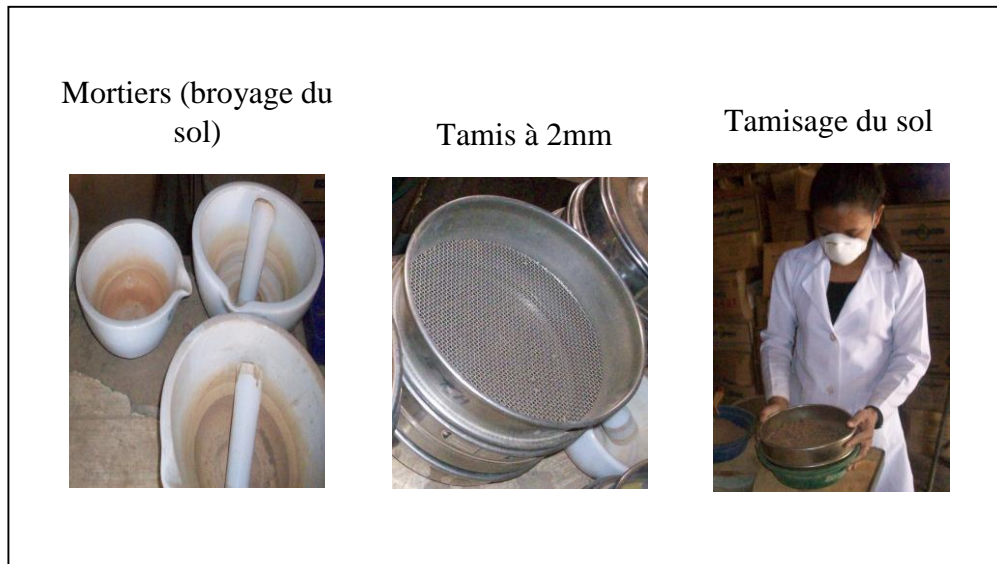


Figure 12. Matériels utilisés lors du broyage et tamisage du sol

(Auteur, 2016)

### 2.1.7. Matières organiques

Des matières organiques de qualités différentes ont été utilisées : des résidus végétaux, du fumier de ferme et du compost (figure 17).

- **Résidus végétaux**

Ils ont été constitués de biomasse aérienne, principalement de tiges et de feuilles de quatre plantes différentes qui ont été le *Desmodium* (*Desmodium uncinatum*), l'éleusine (*Eleusine coracana*), le stylo (*Stylosanthes guianensis*) et le maïs (*Zea mays*). Le choix de ces plantes a été fait selon plusieurs critères. D'abord, elles figurent parmi les principales plantes utilisées en SCV qui est un système de culture visant à conserver et restituer la fertilité du sol. De plus, les études menées par Rafaliharimanana (2015) ont montré que la composition chimique de ces plantes leur confère un pouvoir répulsif envers les vers blancs nuisibles (larves de Coléoptères), une source d'énergie pour les faunes du sol tels que les vers de terre et une activité stimulatrice de l'activité totale des microorganismes du sol. Les vers blancs sont des macrofaunes du sol qui causent d'importants dégâts pour la culture, en particulier la culture sur « tanety » comme la

riziculture pluviale (Ratnadass et al., 2013 ; in Rafaliharimanana). Elles ont été également sélectionnées en fonction de leurs intérêts agronomiques.

*Desmodium uncinatum* est une grande plante vivace de la famille des *Fabaceae* (légumineuses). C'est une excellente plante de couverture pour la culture. En plus, selon Orwa et al (2009), la teneur de l'azote du sol dans les zones où poussent cette plante peut augmenter de 90 à 150kg par hectare. La chute abondante des feuilles protège le sol contre l'érosion. Il est aussi connu pour ses rôles contre les mauvaises herbes comme le striga (Khana *et al*, 2006).



Figure 13. *Desmodium uncinatum* (Auteur, 2016)

*Eleusine coracana* est une plante herbacée annuelle de la famille des *Poaceae* (graminées), tribu des *Eragrostideae*. Grâce à son système racinaire, cette plante a une capacité exceptionnelle d'une part de fixer l'azote et le carbone et d'autre part à donner au sol une très bonne macroporosité. De plus, elle est le plus souvent utilisée comme fourrage et plante de couverture. Cette plante peut être utilisée afin de lutter contre les insectes nuisibles à la culture comme le bruche chinois (*Callosobruchus chinensis*), le charançon du riz (*Sitophilus oryzae*), et *Tribolium castaneum*. A Madagascar, elle se développe bien sur les sols ferrallitiques à fertilité moyenne ou élevée, sur les sols ferrugineux et sur les « baibohos ».



Figure 14. Des plants et épis d'*Eleusine coracana*

*Zea mays* est une plante tropicale également herbacée annuelle, appartenant à la famille des *Poaceae* (graminées). Le maïs est beaucoup cultivé comme céréale pour ses grains riches en amidon. Récolté avec toute la plante, le maïs est utilisé comme fourrage frais ou ensilé et pour des usages industriels. Il est souvent cultivé en association avec les légumineuses ce qui assure un bon contrôle des adventices (dont le striga) et une amélioration du sol grâce à une très forte production en biomasse. Cette association est un très bon précédent cultural pour les cultures suivantes surtout pour le riz ou le cotonnier en favorisant une bonne structuration du sol ainsi qu'une meilleure fixation d'azote (Rafaliharimanana, 2015).



Figure 15. *Zea mays* (Source : [www.agroatlas.ru](http://www.agroatlas.ru))

*Stylosanthes guianensis* est une plante herbacée de la famille des *Fabaceae* (légumineuses). C'est une plante capable de produire une forte biomasse même sur des sols dégradés et sans engrais (5 à 10 t/ha de matière sèche, et jusqu'à 20 t/ha sur sol riche). Elle est aussi caractérisée par ses propriétés fixatrices de fortes quantités d'azote, régulatrices du recyclage des éléments nutritifs du sol, et par sa capacité d'extraction du phosphore de milieux qui en sont pauvres. C'est également une très bonne plante de couverture, morte ou vivante, et un fourrage de qualité.



Figure 16. *Stylosanthes guianensis* (Source : [www.feedipedia.org](http://www.feedipedia.org))

La classification systématique de chacune de ces plantes est donnée en annexe 5.

- **Fumier de ferme**

Le fumier provient des paysans de Lazaina. Il est composé principalement par de « bozaka » (*Aristida sp*, une plante annuelle de la famille des Poaceae) et de matières fécales des bœufs (urine et bouses). Il est utilisé depuis des siècles comme produit fertilisant dans l'agriculture. Il renferme presque tous les éléments nutritifs nécessaires pour la croissance des végétaux, notamment l'azote, le phosphore et le potassium. L'utilisation du fumier de ferme figure parmi les meilleures solutions pour apporter aux sols des fertilisants naturels et pour conditionner le rendement des sols ferrallitiques acides des Hautes-terres malgaches (Ratsivalaka et al., 2007).

- **Compost**

Le compost a été fabriqué bien avant au sein du LRI. Le compostage est un processus naturel de «dégradation» ou décomposition de la matière organique dans des conditions aérobies grâce à l'action combinée des microorganismes et des vers de terre.

La matière organique utilisée est un mélange des déchets de jardin (feuilles et branches mortes) et des déchets ménagers (épluchure de fruits et de légumes). Tous ces déchets organiques ont



été enfouis jusqu'à la phase de décomposition puis stockés dans des bacs en plastique avec couvercle avant l'utilisation pour l'expérimentation.

### 2.1.8. Collecte des matières organiques

Les résidus végétaux ont été récoltés à Lazaina dans le champ d'expérimentations du LRI. Le fumier de ferme utilisé est également prélevé chez les paysans à Lazaina et le compost a été fabriqué au laboratoire.

### 2.1.9. Préparations des matières organiques

Les résidus végétaux, après prélèvement ont été d'abord séchés au préalable à l'abri du soleil, puis découpés en petits morceaux de 1 cm environ et enfin broyé manuellement (avec des mortiers). La même procédure a été appliquée avec le fumier de ferme tandis que le compost que nous avons fabriqué a été déjà prêt pour utilisation.



Résidus de *Desmodium*



Résidus d'éleusine



Résidus de maïs



Résidus de *Stylosanthes*



Fumier



Compost

Figure 17. Les matières organiques de différentes qualités (Auteur, 2016)

## 2.2. Expérimentation en microcosmes 1

Les élevages des vers de terre ont été menés sous conditions contrôlées en microcosmes. Il s'agit de petits pots en plastiques de 260ml de contenance où 100g de sol ont été mis.

### 2.2.1. Calcul de la quantité des matières organiques apportées dans chaque microcosme

La quantité apportée pour chaque type de matières organiques dépend de leur valeur fertilisante. On a cherché à apporter au sol une teneur en P équivalente à celle que les paysans apportent dans leurs parcelles de culture : 10kg de P à l'hectare en utilisant le P accumulé dans les résidus

végétaux. Le tableau I présente la teneur en phosphore total accumulé dans chacune des matières organiques utilisées.

**N.B** : La densité apparente du sol de Lazaina est de 1,1g par 1cm<sup>3</sup>.

**Tableau I. Tableau comparatif de la teneur en P total accumulé dans chaque type de matières organiques**

Type de matière organique (MO)	P total (g.kg-1)
Résidus de <i>Desmodium</i>	1,79
Résidus d'éléusine	2,55
Résidus de Maïs	1,38
Résidus de <i>Stylosanthes</i>	2,4
Fumier	2,5
Compost	3,03

Pour le fumier et le compost, les paysans malagasy ont l'habitude d'apporter 5 tonnes à l'hectare. Pour cette expérimentation, nous avons également apporté la même quantité. Le tableau II suivant récapitule la quantité apportée pour chaque type de matières organiques.

**Tableau II. Tableau récapitulatif de la quantité nécessaire par microcosme de chaque type de matières organiques**

Types de matières organiques	Quantités apportées (en g)/microcosme
Résidus de <i>Desmodium</i>	5
Résidus d'éléusine	3,5
Résidus de maïs	6,5
Résidus de <i>Stylosanthes</i>	3,8
Fumier	4,5
Compost	4,5

### 2.2.2. Mise en place de l'expérimentation

Chacun des petits pots utilisés pour cette expérimentation ont été étiquetés pour les différencier. Une fois que les sols (100g) et les matières organiques ont été versés, le mélange a été bien homogénéisé pour que les matières organiques soient éparpillées. Puis, on a humidifié le mélange avec 35ml d'eau distillée (80% de la capacité de rétention en eau du sol) et une nouvelle homogénéisation a été effectuée. Ensuite, on procède à l'introduction des vers à raison de 2 à 5 par pot selon l'espèce. Il a fallu attendre que les vers soient enfouis dans le sol pour lisser doucement la surface du sol à l'aide d'une spatule. Pour éviter la fuite des vers, les microcosmes ont été recouverts par de fines voiles à mailles très serrées. La figure 18 résume la manipulation sur la mise en place de cette expérimentation. Jusqu'au terme de l'expérimentation, ils ont été placés dans la salle d'incubation, privée de lumière, où la température a été maintenue constante à 25°C. Un contrôle journalier de leur humidité a été effectué pour maintenir en vie les vers de terre.

**Remarque** : Parmi les espèces de vers de terre utilisées, *Dichogaster saliens* et *Amyntas minimus* ont été apportés au plus grand nombre (5 vers par pot) car elles sont de petites tailles. Par contre, *Amyntas corticis* et *Eudrilus eugeniae* sont des vers beaucoup plus grands, d'où elles ont été apportées au nombre de 2 par pot. A taille moyenne, *Pontoscolex corethrurus* a été apportée au nombre de 3 par pot.

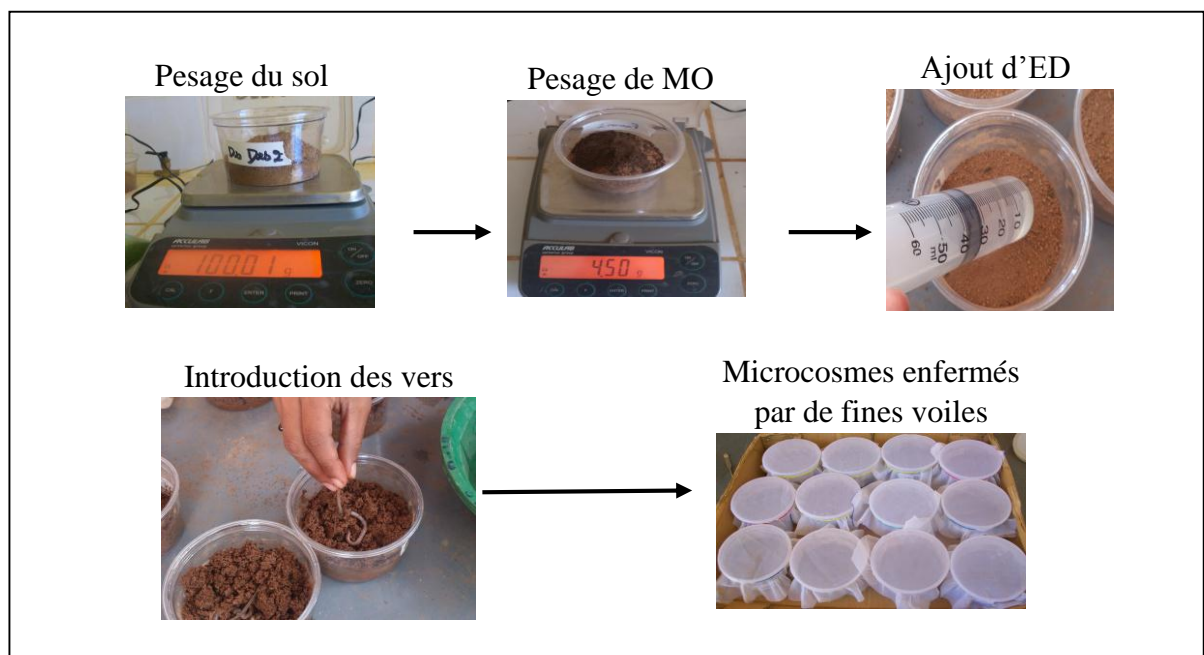


Figure 18. Manipulation sur la mise en place de l'expérimentation en microcosmes 1 (Auteur, 2016)

L'expérimentation comporte 35 traitements avec 4 répétitions chacun dont 7 traitements pour chaque espèce de vers de terre (figure 19, cas de l'espèce *Dichogaster saliens*). Au total, le nombre des expérimentations en microcosmes a été égal à 140.

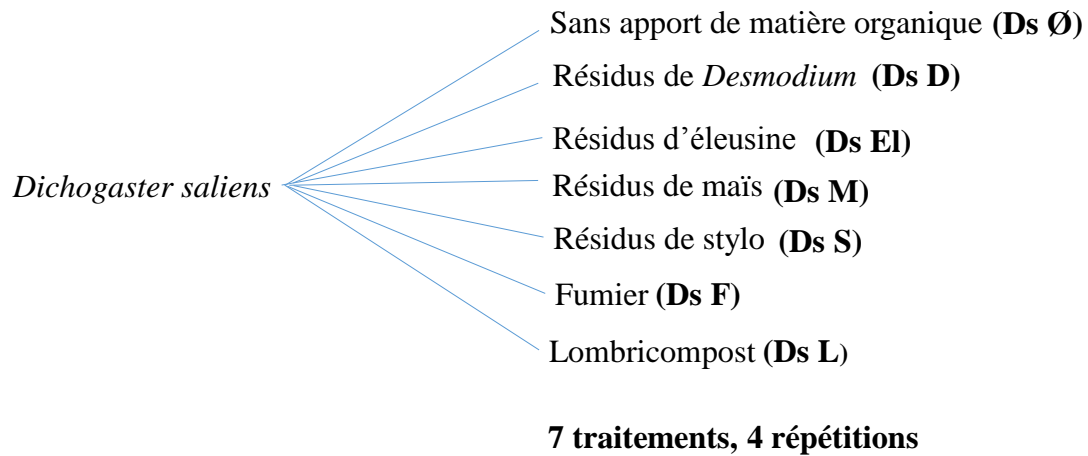


Figure 19. Les traitements en microcosmes, cas de *Dichogaster saliens*

### 2.2.3. Démontage des microcosmes

Toutes les manipulations sur les élevages des vers de terre n'ont pas été lancées en même temps mais selon la disponibilité des matériels biologiques. Pourtant, la durée de l'expérimentation reste la même (1 mois) quelle que soit sa date du lancement.

Au bout de 1 mois (4 semaines), les contenus des microcosmes, constitués principalement par des turricules des vers de terre, comme le montre la figure 20, ont été vidés. Ils ont été mis dans des petits sachets en gardant les mêmes étiquettes utilisées pour les microcosmes afin d'éviter toute confusion. Ils ont été gardés au frais dans un congélateur jusqu'au jour du dosage de leur teneur en P disponible. Les vers ont été récupérés et mis de nouveau dans les bacs de sol humide.

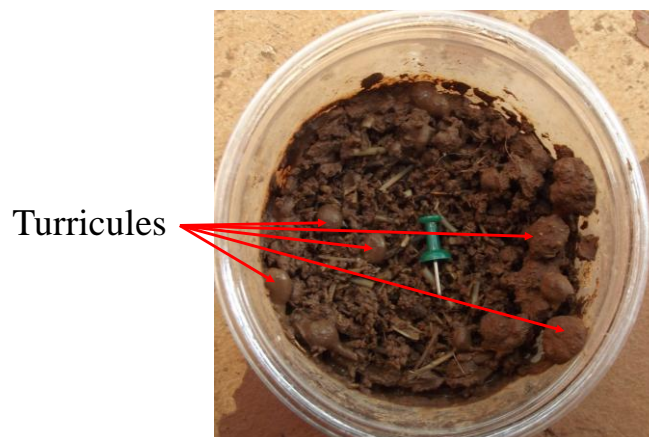


Figure 20. Turricules de *Pontoscolex corethrurus* (Auteur, 2016)



### 2.3. Travaux de laboratoire : dosage du P disponible

La méthode utilisée a été une méthode dénommée « Phosphore résine anionique ». Cette appellation provient du fait que la méthode emploie des bandes de résine échangeuses d'anions. Les bandes de résine (figure 21) simulent l'action du système racinaire des plantes en absorbant le phosphore directement assimilable par les plantes contenu dans les turricules. Le P résine a été déterminé à partir des turricules fraîches équivalent à 2g de sol sec (protocole expérimentale en annexe 7). Le processus de dosage est précédé par une détermination de la teneur en eau des échantillons dont, le mode opératoire est détaillé en annexe 6.

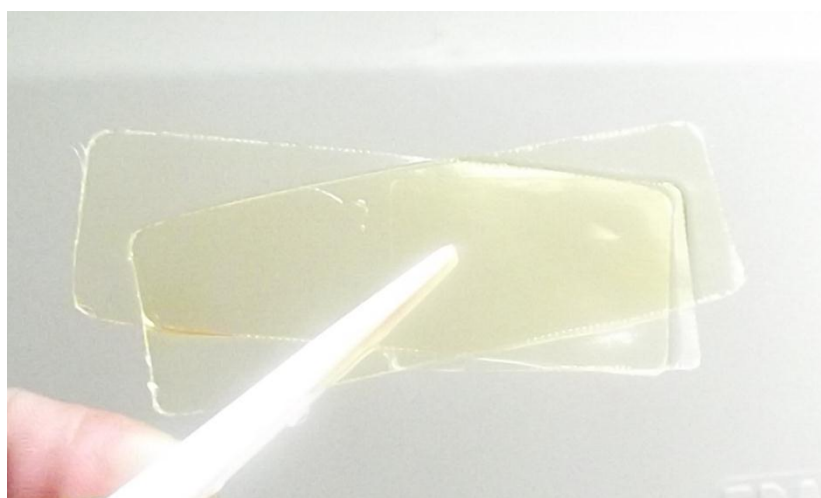


Figure 21. Bandes de résine (Auteur, 2016)

Les matériels, réactifs et solvants utilisés lors du dosage du P disponible sont listés dans le tableau III ci-après :

**Tableau III. Listes des matériels, des réactifs et des solvants utilisés lors du dosage en P disponible du sol**

Matériels	Réactifs	Solvants
Balance analytique	Bicarbonate de sodium $\text{NaHCO}_3$ 0,5M	Eau distillée
Bandes de résine 2×6cm (ref 551642S, VWR / BDH / PROLABO)	Acide chlorhydrique Hcl 0,5M Solution mixte de Nacl-Hcl 0,1M	Eau ultra-pure

Flacons plastiques jetables de 50ml	Alcool polyvinylique (R1)	
Agitateur rotatif	Vert de malachite (R2)	
Cuves spectrophotométries		
Spectrophotomètre à 610nm		
Spatules, pipettes pasteurs, pipettes automatiques		
Pissettes et dispensettes d'eau		
Béchers, fioles, ...		

#### **2.4. Test des effets de la présence des vers de terre et des matières organiques sur la croissance du riz**

##### **2.4.1. Matériel biologique : B22, une variété de riz pluvial**

B22 (figure 22) est une variété de riz pluvial appartenant au genre *Oriza sativa japonica*. Elle est originaire de Brésil. C'est une variété introduite sélectionnée, portant son numéro de collection 3762 par la F.O.F.I.F.A. Selon la description de la C.N.E.V, la panicule de cette variété de riz est longue, de type intermédiaire. Le tallage est moyen et l'angle de la feuille paniculaire est horizontal. La couleur du paddy est jaune foncée avec une longueur de 9,3mm et la longueur du grain usiné est de 7,3mm. 1000 graines donnent un poids de 35,2g. Selon toujours la C.N.E.V, B22 a une aptitude culturale pluviale, raison pour laquelle cette variété est surtout cultivée en saison de pluie. Son cycle de maturation est de 92 à 100 jours. Il peut donner un rendement moyen de 3 à 4 tonnes à l'hectare. Elle est résistante à la pyriculariose et à l'action ravageuse des insectes.

Le choix de cette variété a été fait en se référant sur les études de RAHAJAHARILAZA en 2015. Les résultats de ses études révélaient que B22 est très sensible à l'effet de la faune du sol, un effet qui peut être lié à la libération des nutriments par les organismes du sol.



Figure 22. Grains de riz pluvial, variété B22 (Auteur, 2016)

#### **2.4.2. Expérimentation en microcosmes 2**

Le test de croissance de B22 a été fait en microcosmes (des petits pots analogues à des pots d'yaourt) sous conditions de serre. En effet, 300 graines ont été tirées au hasard. Elles ont été pré-germées pendant 3 jours dans une étuve à 25°C.

Les restes des turricules non utilisés lors du dosage de leur teneur en P disponible ont été séchés, broyés, tamisés à 2mm et mis dans les petits pots. Ils ont été humidifiés avec de l'eau distillée jusqu'à la capacité maximale de rétention en eau du sol. Ensuite, 2 jeunes plantules ont été repiquées dans chaque pot. Le nombre de 4 répétitions pour chaque traitement lors des élevages de vers de terre a été gardé. L'expérimentation a duré 4 semaines, une période correspondant au stade plantule et le début du stade du tallage de la plante testée. Des mesures de la hauteur des plantes a été effectuée tous les sept jours (jour 7, jour 14, jour 21 et jour 28).

Au terme de l'expérimentation dont le démontage est présenté par la figure 23, les biomasses aériennes et racinaires ont été calculées en séchant les plantes dans une étuve à 60°C pendant 48heures puis pesées à l'aide d'une balance analytique en séparant les racines des talles.



Figure 23. Démontage de l'expérimentation en microcosmes 2 (Auteur, 2016)

### III. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel XLSTAT 2008. Des tests de normalité de toutes les données ont été faits pour vérifier si les tests paramétriques pouvaient être utilisés. Ainsi, l'ANOVA suivi du test de Tukey HSD ont été utilisés pour déterminer les effets des traitements sur les paramètres étudiés et pour voir s'il y a eu des différences significatives entre tous les traitements. Enfin, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée pour identifier les corrélations existantes entre les vers de terre et les différents paramètres étudiés.

## **Troisième partie : RESULTATS**

### Partie 3 : RESULTATS

#### I. Analyses en phosphore disponible ou phosphore assimilable pour les plantes du sol

##### 1.1. Phosphore disponible en présence des vers de terre

Les résultats des effets des vers de terre sur la disponibilité du P accumulé dans le sol sont donnés par la figure 24.

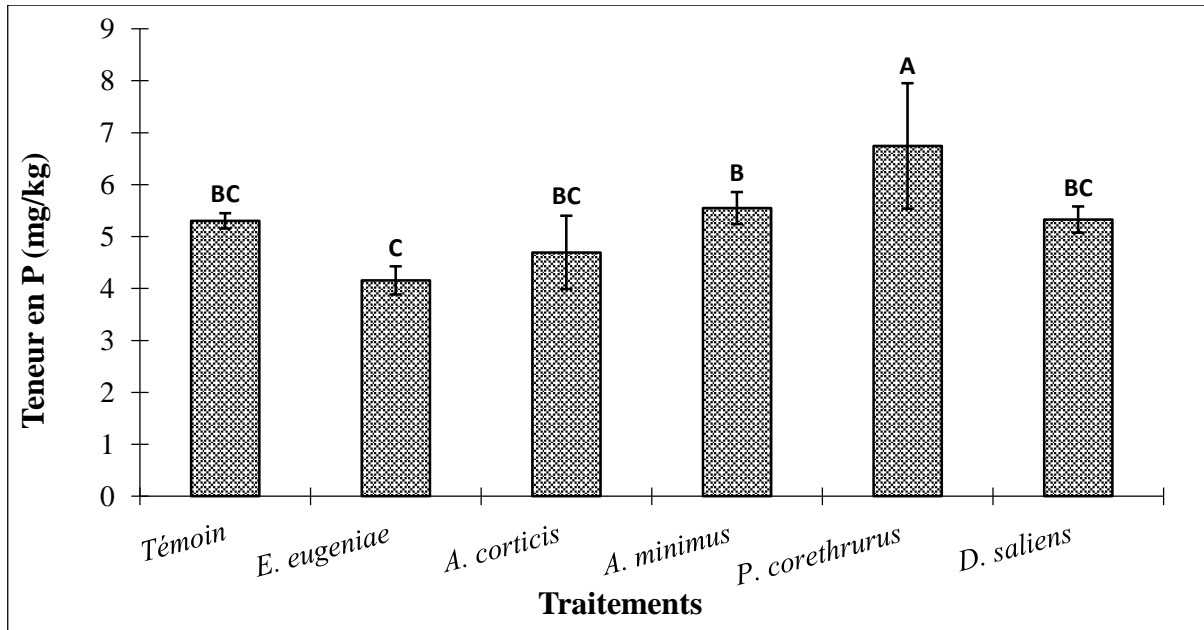


Figure 24. Teneur en phosphore disponible du sol avec la présence de différentes espèces de vers de terre. Les lettres (A, B et C) indiquent les différences significatives au seuil de 5% du test de Tukey.

L'inoculation des vers de terre a eu des effets significatifs sur la teneur en phosphore disponible pour les plantes du sol ( $p=0,000$ ). En effet, *Pontoscolex corethrurus* a donné la valeur la plus élevée avec  $6,745 \pm 1,207$  mg P  $\text{kg}^{-1}$ , suivi d'*Amyntas minimus* qui a donné  $5,549 \pm 0,310$  mg P  $\text{kg}^{-1}$ . *Dichogaster saliens* et *Amyntas corticis* ont donné des valeurs intermédiaires avec respectivement  $5,327 \pm 0,252$  et  $4,696 \pm 0,708$  mg P  $\text{kg}^{-1}$ . Ces deux valeurs ne sont pas significativement différentes entre elles ni avec le témoin (sol sans vers de terre) qui a donné  $5,304 \pm 0,147$  mg P  $\text{kg}^{-1}$ . La valeur la plus faible a été obtenue par le traitement avec *Eudrilus eugeniae* qui a donné  $4,156 \pm 0,269$  mg P  $\text{kg}^{-1}$ .

##### 1.2. Phosphore disponible en présence des vers de terre et des matières organiques

La figure 25 présente les effets du couplage vers de terre-matières organiques sur la teneur en P disponible du sol.

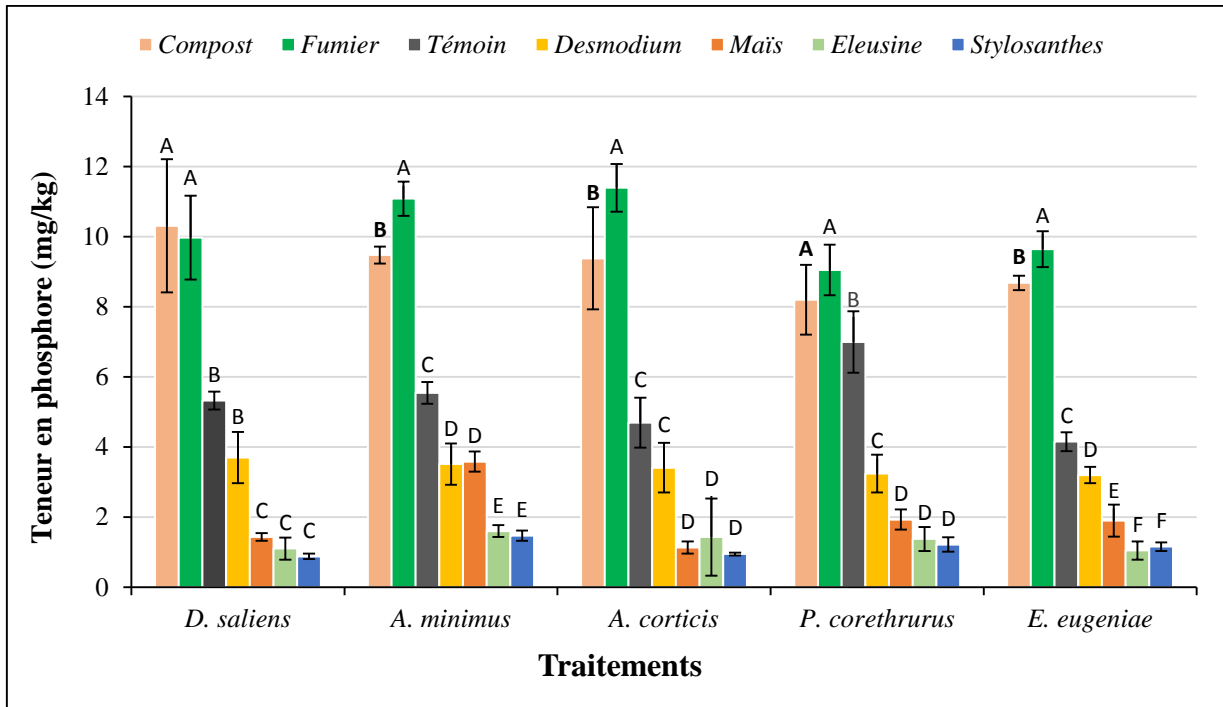


Figure 25. Teneur en phosphore disponible du sol en présence de différentes espèces de vers de terre et des matières organiques de différentes qualités dans le sol (couplage vers de terre-matières organiques). Pour chacune des espèces de vers de terre, les mêmes lettres indiquent l'absence de différences significatives au seuil de risque 5% du test de Tukey.

Les moyennes suivies de mêmes lettres par espèces de vers de terre ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil de 5% du test de Tukey.

Les analyses statistiques ont révélés que pour chacune des espèces de vers de terre, les traitements ont eu des effets significatifs sur la teneur en phosphore disponible du sol ( $p < 0,0001$  pour chaque espèce de vers de terre).

***D. saliens*** : *D. saliens*-compost et *D. saliens*-fumier ont donné des valeurs significativement élevées avec respectivement  $10,314 \pm 1,902$  et  $9,972 \pm 1,196$  mg P kg<sup>-1</sup>. Par contre, les traitements avec *D. saliens*-maïs, *D. saliens*-éleusine et *D. saliens*-*Stylosanthes* ont donné des valeurs significativement plus faibles avec respectivement  $1,437 \pm 0,109$  ;  $1,102 \pm 0,318$  et  $0,881 \pm 0,076$  mg P kg<sup>-1</sup>. *D. saliens*-*Desmodium* a donné une valeur intermédiaire ( $3,704 \pm 0,731$  mg P kg<sup>-1</sup>) qui ne présente aucune différence significative avec celle donnée par le témoin ou le traitement du sol avec *D. saliens* sans apport de matière organique ( $5,327 \pm 0,252$  mg P kg<sup>-1</sup>).

***A. minimus*** : la teneur la plus élevée a été donnée par le traitement avec *A. minimus*-fumier avec  $11,088 \pm 0,487$  mg P kg<sup>-1</sup> ; puis *A. minimus*-compost a donné  $9,479 \pm 0,245$  mg P kg<sup>-1</sup>. Ces

deux valeurs sont significativement différentes entre elles. Les traitements avec *A. minimus*-maïs et *A. minimus-Desmodium* ont donné des valeurs respectives  $3,586 \pm 0,288$  et  $3,515 \pm 0,588$  mg P kg<sup>-1</sup>. Les valeurs les plus faibles ont été obtenues par les traitements avec *A. minimus*-éleusine ( $1,604 \pm 0,173$  mg de P kg<sup>-1</sup>) et *A. minimus-Stylosanthes* ( $1,472 \pm 0,143$  mg P kg<sup>-1</sup>).

***A. corticis*** : les traitements avec *A. corticis*-fumier et *A. corticis*-compost ont obtenu les plus fortes valeurs avec respectivement  $11,399 \pm 0,680$  et  $9,385 \pm 1,457$  mg P kg<sup>-1</sup>. Ces deux valeurs sont significativement différentes entre elles. *A. corticis-Desmodium* a obtenu  $3,412 \pm 0,709$  mg P kg<sup>-1</sup>. Cette valeur n'est pas significativement différente à celle obtenue par l'expérience témoin (traitement du sol avec *A. corticis* sans apport de matière organique) qui a donné  $4,696 \pm 0,708$  mg P kg<sup>-1</sup>. Les valeurs les plus faibles ont été obtenues par les traitements avec les couples *A. corticis*-éleusine, *A. corticis*-maïs et *A. corticis-Stylosanthes* avec respectivement  $1,432 \pm 1,101$  ;  $1,132 \pm 0,171$  et  $0,950 \pm 0,042$  mg P kg<sup>-1</sup>.

***P. corethrurus*** : le couplage *P. corethrurus*-fumier a donné valeur significativement élevée de  $9,051 \pm 0,720$  mg P kg<sup>-1</sup>. Par contre, les traitements avec *P. corethrurus-Stylosanthes* et *P. corethrurus*-éleusine ont donné les valeurs les plus faibles avec respectivement  $1,380 \pm 0,203$  et  $1,220 \pm 0,342$  mg P kg<sup>-1</sup>. *P. corethrurus*-compost a donné une valeur  $8,208 \pm 0,996$  mg P kg<sup>-1</sup> alors que *P. corethrurus-Desmodium* et *P. corethrurus*-maïs ont donné des valeurs respectives  $3,243 \pm 0,538$  et  $1,930 \pm 0,289$  mg P kg<sup>-1</sup>. Par rapport au témoin (traitement avec *P. corethrurus* sans apport de matière organique)  $6,995 \pm 0,878$  mg P kg<sup>-1</sup>, le couplage des vers avec le fumier et le lombricompost a donné des valeurs plus fortes en P disponible que le couplage des vers avec les résidus végétaux.

***E. eugeniae*** : la valeur la plus élevée  $9,644 \pm 0,453$  mg P kg<sup>-1</sup> a été donnée par le traitement avec *E. eugeniae*-fumier. Après, *E. eugeniae*-compost a donné  $8,685 \pm 0,207$  mg P kg<sup>-1</sup>. Ces deux valeurs sont significativement différentes entre elles et avec celle du témoin ou traitement avec *E. eugeniae* sans apport de matière organique qui a donné  $4,156 \pm 0,269$  mg P kg<sup>-1</sup>. *E. eugeniae-Desmodium* et *E. eugeniae*-maïs ont donné respectivement  $3,202 \pm 0,231$  et  $1,901 \pm 0,453$  mg P kg<sup>-1</sup>. Et *E. eugeniae-Stylosanthes* et *E. eugeniae*-éleusine ont montré des valeurs significativement plus faible avec respectivement  $1,159 \pm 0,122$  et  $1,051 \pm 0,260$  mg P kg<sup>-1</sup>. Ces deux dernières valeurs ne sont pas significativement différentes entre elles.



## II. Hauteur du riz

### 2.1. Evolution de la croissance en hauteur du riz en présence des vers de terre

L'évolution de la hauteur moyenne du riz durant l'expérimentation selon la présence des vers de terre est présentée par la figure 26.

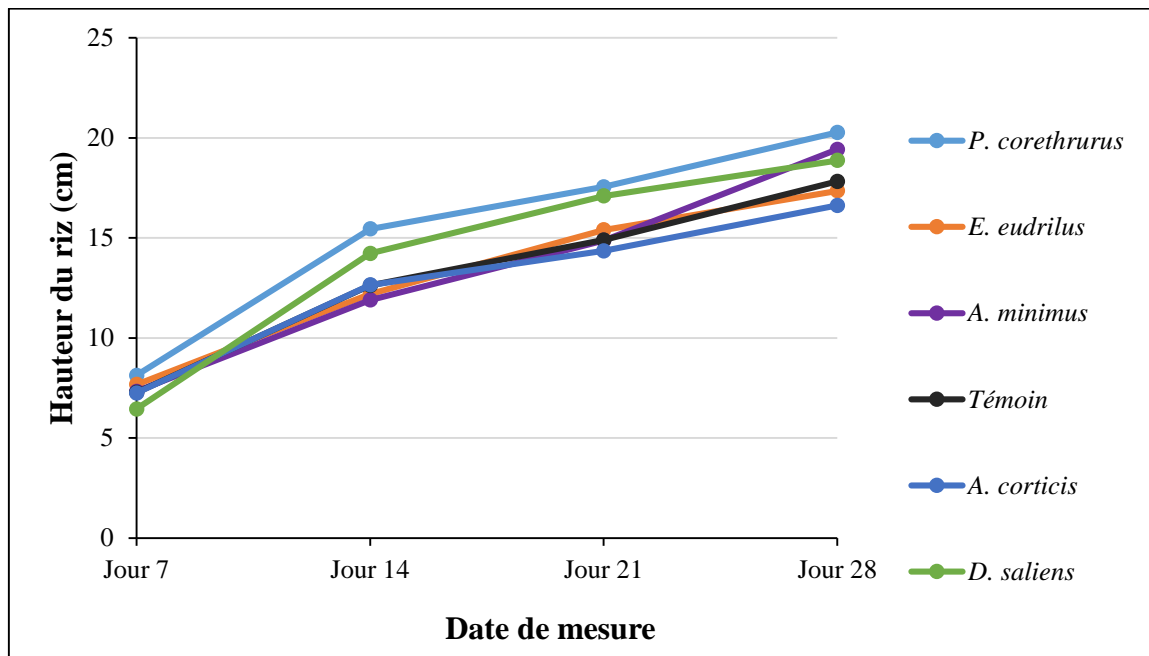


Figure 26. Evolution de la croissance en hauteur du riz suivant la présence de différentes espèces de vers de terre dans le sol

**Jour 7 :** la présence des vers de terre n'ont eu aucun effet significatif sur la hauteur moyenne du riz ( $p=0,245$ ). Pourtant, avec la présence de *P. corethrurus*, elle a été plus élevée ( $8,125 \pm 0,35$  cm) tandis qu'elle a été plus faible avec *D. saliens* ( $6,45 \pm 1,741$  cm).

**Jour 14 :** avec *P. corethrurus* et *D. saliens*, la hauteur moyenne du riz a augmenté plus vite (respectivement  $15,45 \pm 0,635$  cm et  $14,225 \pm 1,115$  cm). Elle a été plus faible avec *E. eugeniae* ( $12,2 \pm 2,542$  cm) et *A. minimus* ( $11,9 \pm 1,857$  cm). Ces valeurs sont significatives ( $p=0,018$ ).

**Jour 21:** l'augmentation plus vite de la hauteur moyenne du riz avec la présence de *P. corethrurus* et *D. saliens* a été toujours constaté (des valeurs respectives de  $17,55 \pm 0,614$  cm et  $17,1 \pm 2,639$  cm). La hauteur la plus faible a été obtenue avec la présence d'*A. corticis* ( $14,35 \pm 0,904$  cm). Cependant, aucune différence significative n'a été observée entre tous les traitements ( $p > 0,05$ ).

**Jour 28 :** au terme de l'expérimentation, les vers de terre ont eu des effets significatifs sur la hauteur moyenne du riz ( $p=0,004$ ). En effet, *P. corethrurus* a donné la hauteur moyenne

maximale avec  $20,275 \pm 0,457$  cm alors qu'*E. eugeniae* et *A. corticis* ont donné les valeurs les plus faibles avec respectivement  $17,35 \pm 1,974$  cm et  $16,625 \pm 1,348$  cm.

## 2.2. Evolution de la croissance en hauteur du riz en présence des vers de terre et des matières organiques

### 2.2.1. *Dichogaster saliens*-matières organiques

La figure 27 montre l'évolution de la croissance en hauteur du riz durant l'expérimentation en fonction de la présence de l'espèce *D. saliens* et les différentes qualités de matières organiques.

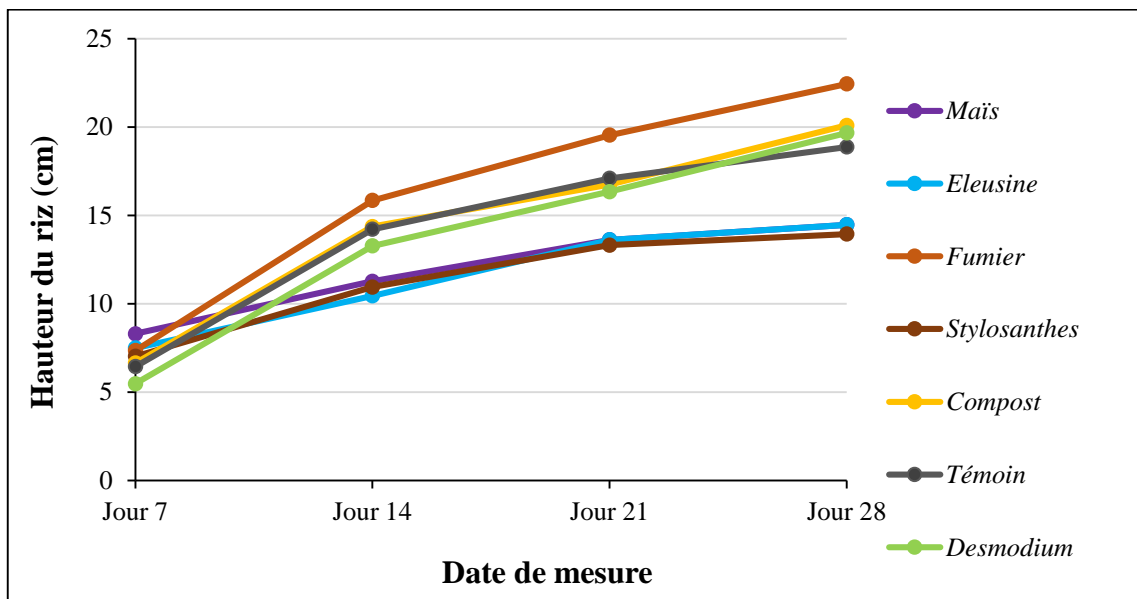


Figure 27. Evolution de la croissance en hauteur du riz selon la présence des vers de terre *Dichogaster saliens* et des matières organiques dans le sol

**Jour 7 :** les traitements ont eu des effets significatifs sur la hauteur moyenne du riz ( $p=0,017$ ). *D. saliens*-maïs a donné la hauteur moyenne la plus élevée ( $8,3 \pm 0,535$  cm) et la hauteur moyenne la plus faible a été donnée par *D. saliens*-Desmodium ( $5,475 \pm 0,954$  cm).

**Jour 14 :** avec différences significatives ( $p < 0,0001$ ), la hauteur moyenne du riz a été variée de  $10,45 \pm 0,624$  cm à  $15,85 \pm 0,858$  cm dont la valeur la plus élevée a été donnée par *D. saliens*-fumier et la celle la plus faible a été obtenue avec *D. saliens*-éleusine.

**Jour 21 :** *D. saliens*-fumier a donné la hauteur moyenne la plus élevée ( $19,55 \pm 2,217$  cm) et *D. saliens*-Stylosanthes a donné la hauteur moyenne la plus faible ( $13,325 \pm 0,793$  cm). Ces valeurs sont significativement différentes ( $p < 0,0001$ ).

**Jour 28 :** jusqu'à la fin de l'expérimentation, la croissance en hauteur du riz a augmenté plus vite avec la présence de *D. saliens*-fumier ( $22,45 \pm 2,472$  cm). Par contre, la hauteur moyenne

du riz a été plus faible avec la présence de *D. saliens-Stylosanthes* ( $13,95\pm 0,705$  cm). Les effets des traitements sur la hauteur moyenne du riz sont significatifs ( $p < 0,0001$ ).

### 2.2.2. *Amyntas minimus*-matières organiques

La figure 28 illustre l'évolution de la croissance en hauteur du riz avec la présence de l'espèce de vers de terre *A. minimus* et des différentes qualités de matières organiques dans le sol.

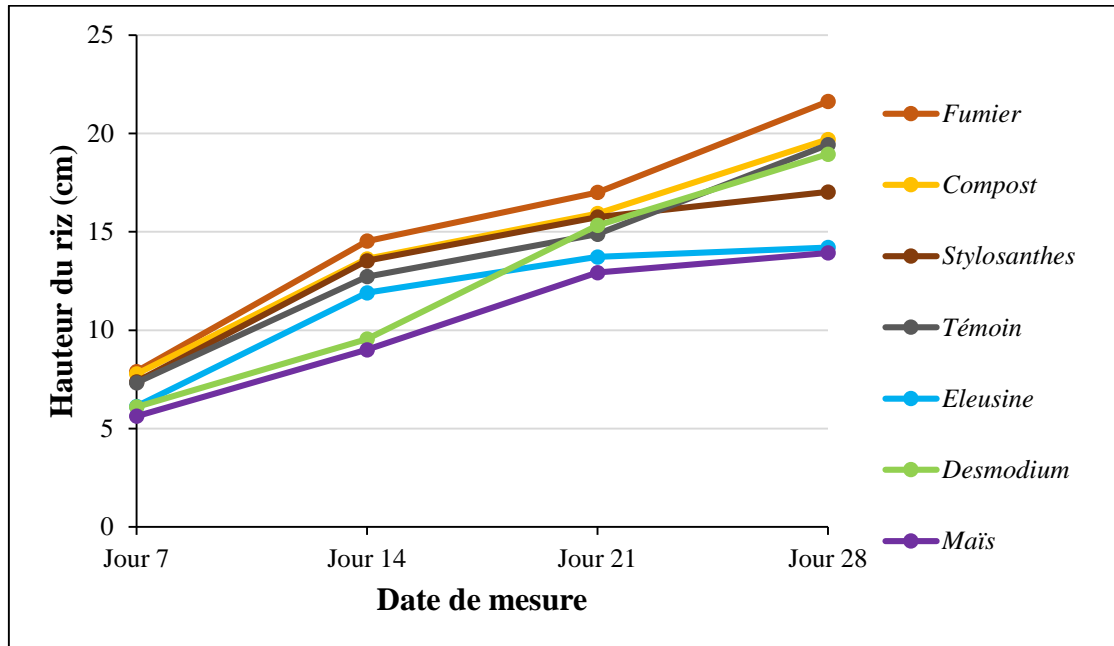


Figure 28. Evolution de la croissance en hauteur du riz selon la présence des vers de terre *Amyntas minimus* et des matières organiques dans le sol

**Jour 7 :** des effets significatifs des traitements sur le paramètre étudié ont été constatés ( $p < 0,0001$ ). Avec *A. minimus*-fumier, la hauteur moyenne du riz a été plus élevée ( $7,9\pm 0,408$  cm) et elle a été plus faible avec *A. minimus*-maïs ( $5,625\pm 0,532$  cm).

**Jour 14 :** la même observation qu'au jour 7 a été constatée ( $p < 0,0001$ ). En effet, *A. minimus*-fumier a donné la hauteur moyenne la plus élevée ( $14,525\pm 0,954$  cm) et toujours *A. minimus*-maïs a donné la hauteur moyenne la plus faible ( $9\pm 0,258$  cm).

**Jour 21 :** il y a eu des différences significatives entre les traitements ( $p < 0,0001$ ). *A. minimus*-fumier a donné  $17\pm 0,546$  cm, suivi d'*A. minimus*-compost avec  $15,925\pm 0,403$  cm. Ces deux valeurs ne sont pas significativement entre elles. Les vers couplés avec les résidus de maïs ont donné la hauteur moyenne la plus faible du riz ( $12,925\pm 0,403$  cm).

**Jour 28 :** au terme de l'expérimentation, *A. minimus*-fumier a donné la plus forte valeur avec  $21,625\pm 0,946$  cm, puis *A. minimus*- a donné  $19,7\pm 0,902$  cm. Ces valeurs sont significativement

différentes entre elles. Avec *A. minimus*-maïs (13,925±0,826 cm), la hauteur moyenne du riz a augmenté moins vite depuis la première mesure (jour 7) jusqu'à la dernière mesure (jour 28).

### 2.2.3. *Amyntas corticis*-matières organiques

Les effets des apports d'*A. corticis* et des matières organiques dans le sol sur l'évolution de la hauteur moyenne du riz tout au long de l'expérimentation sont présentés par la figure 29.

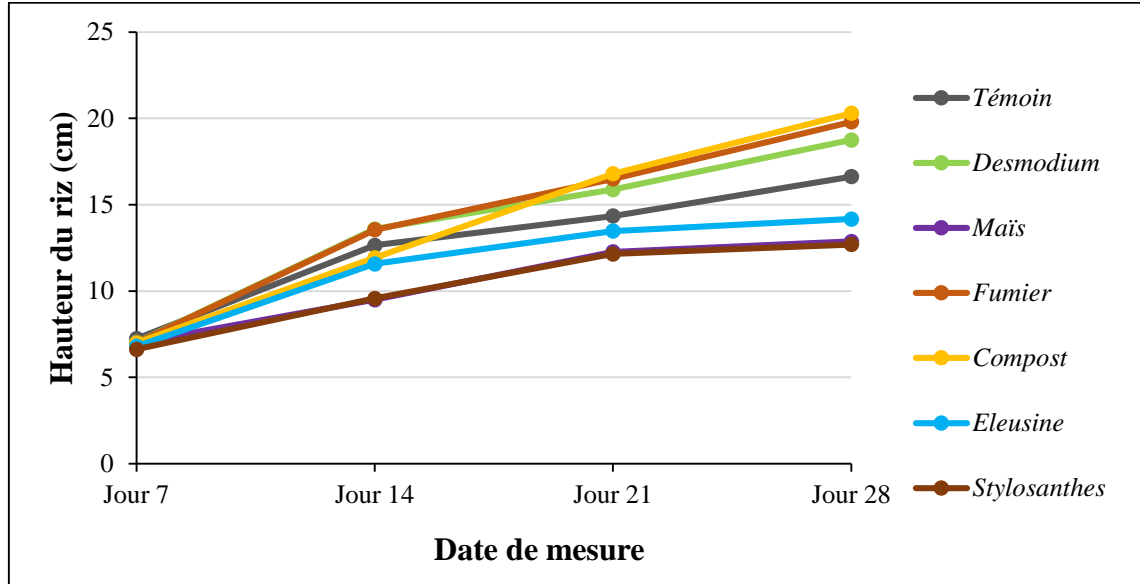


Figure 29. Evolution de la croissance en hauteur du riz selon la présence des vers de terre *Amyntas corticis* et des matières organiques dans le sol

**Jour 7 :** aucune différence significative entre tous les traitements n'a été observée ( $p=0,957$ ). Cependant, par rapport aux autres traitements, celui avec des vers sans apport de matière organique (témoin) a favorisé la hauteur moyenne la plus élevée du riz ( $7,25\pm 0,37$  cm). Par contre, le couplage des vers avec les résidus de *Stylosanthes* a donné la hauteur moyenne la plus faible ( $6,625\pm 0,492$  cm).

**Jour 14 :** des différences significatives entre tous les traitements existent ( $p<0,0001$ ). De ce fait, *A. corticis*-*Desmodium* a donné la valeur la plus élevée ( $13,6\pm 1,352$  cm), suivi d'*A. corticis*-fumier ( $13,55\pm 1,642$  cm), puis le témoin ( $12,65\pm 0,714$  cm). Ces valeurs ne sont pas significativement différentes entre elles. Les vers couplés avec les résidus de *Stylosanthes* et de maïs ont donné les valeurs les plus faibles avec respectivement  $9,575\pm 0,568$  cm et  $9,5\pm 0,572$  cm. Egalement, ces deux valeurs ne sont pas significativement différentes entre elles.

**Jour 21 :** les traitements ont eu des effets significatifs sur la hauteur moyenne du riz ( $p < 0,0001$ ). *A. corticis*-compost a donné  $18,6 \pm 1,374$  cm alors qu'*A. corticis*-maïs et *A. corticis*-*Stylosanthes* ont donné respectivement  $12,275 \pm 0,66$  cm et  $12,15 \pm 0,42$  cm.

**Jour 28 :** à la fin de l'expérimentation, les effets des traitements sur le paramètre étudié ont été significatifs ( $p < 0,0001$ ). Ainsi, les valeurs les plus élevées ont été obtenues par les couplages des vers avec le compost ( $20,3 \pm 0,469$  cm), le fumier ( $19,8 \pm 1,398$  cm) et les résidus de *Desmodium* ( $18,75 \pm 0,81$  cm). Les valeurs les plus faibles ont été obtenues par les couplages des vers avec les résidus d'éleusine ( $14,175 \pm 0,613$  cm), de maïs ( $12,875 \pm 0,35$  cm) et de *Stylosanthes* ( $12,7 \pm 0,49$  cm). Les valeurs les plus élevées ne sont pas significativement différentes entre elles ; il en est de même pour les plus faibles valeurs.

#### 2.2.4. *Pontoscolex corethrurus*-matières organiques

La figure 30 montre les effets de l'espèce *P. corethrurus* et les différents types de matières organiques sur la croissance en hauteur du riz durant les quatre semaines d'expérimentation.

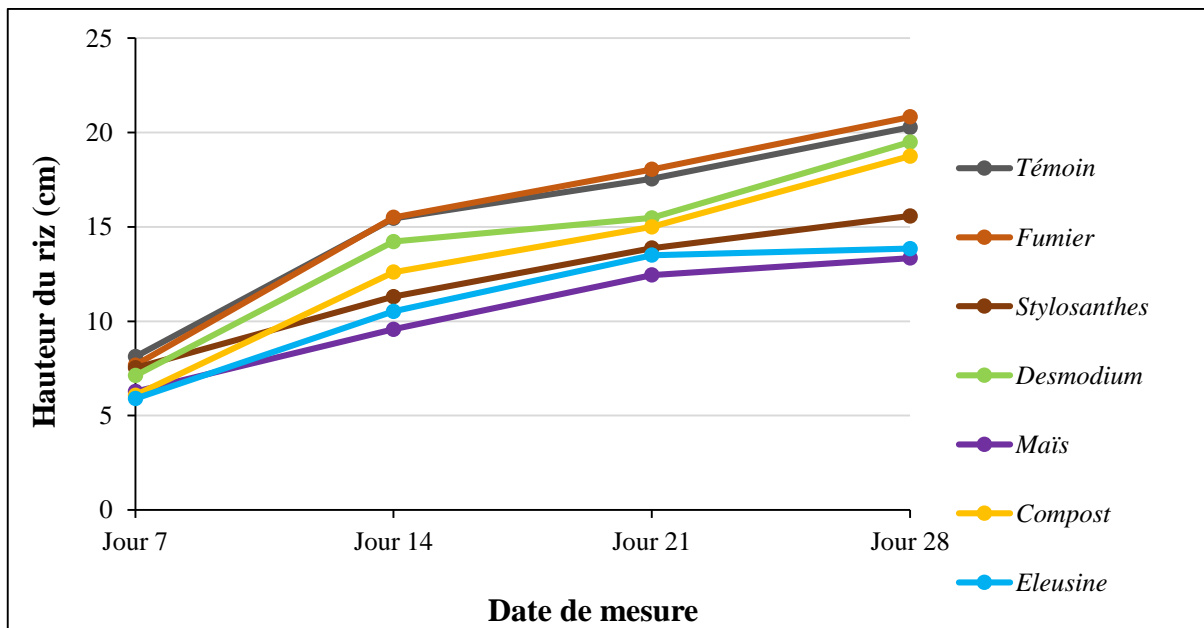


Figure 30. Evolution de la croissance en hauteur du riz selon la présence des vers de terre *Pontoscolex corethrurus* et des matières organiques dans le sol

**Jour 7 :** il y a eu des différences significatives entre tous les traitements ( $p = 0,009$ ). Le témoin qui a été du traitement avec des vers sans apport de matière organique a donné la hauteur moyenne du riz la plus élevée ( $8,125 \pm 0,35$  cm) alors que *P. corethrurus*-éleusine a donné la hauteur moyenne la plus faible ( $5,9 \pm 1,659$  cm).

**Jour 14 :** avec différences significatives ( $p < 0,0001$ ), la hauteur moyenne du riz a été la plus élevée ( $15,5 \pm 1,268$  cm) avec la présence de *P. corethrurus*-fumier et la hauteur moyenne la plus faible a été donnée par *P. corethrurus*-maïs ( $9,575 \pm 0,932$  cm).

**Jour 21 :** par rapport au témoin ( $17,55 \pm 0,614$  cm), la croissance en hauteur du riz a augmenté plus vite en présence de *P. corethrurus*-fumier ( $18,05 \pm 0,947$  cm). Par contre, elle a augmenté moins vite avec la présence de *P. corethrurus*-maïs ( $12,45 \pm 0,52$  cm). Ces effets des traitements sur l'évolution de la hauteur du riz sont significatifs ( $p < 0,0001$ ).

**Jour 28 :** au terme de l'expérimentation, des effets significatifs des traitements sur le paramètre étudié ont été remarqués ( $p < 0,0001$ ). En effet, les hauteurs du riz les plus élevées ont été données par le couplage des vers avec le fumier ( $20,825 \pm 0,69$  cm), les résidus de *Desmodium* ( $19,5 \pm 1,042$  cm) et le compost ( $18,75 \pm 0,311$  cm). Ces valeurs ne sont pas significativement différentes entre elles ni avec le témoin ( $20,275 \pm 0,457$  cm). Les hauteurs les plus faibles ont été données par les traitements avec *P. corethrurus*-Stylosanthes ( $15,575 \pm 1,97$  cm), *P. corethrurus*-éleusine ( $13,85 \pm 0,387$  cm) et *P. corethrurus*-maïs ( $13,25 \pm 0,889$  cm). Ces valeurs plus faibles ne sont également pas significativement différentes entre elles.

### 2.2.5. *Eudrilus eugeniae*-matières organiques

La figure 31 ci-après illustre l'évolution de la hauteur du riz en présence des vers *E. eugeniae* et les matières organiques.

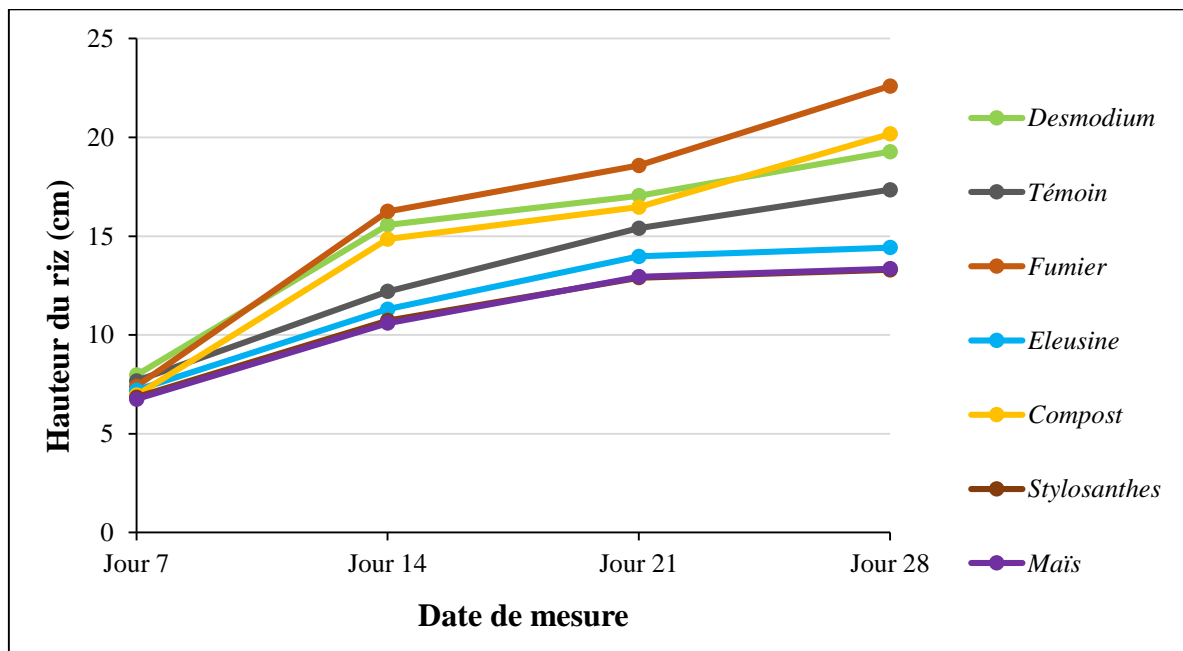


Figure 31. Evolution de la croissance en hauteur du riz selon la présence des vers de terre *Eudrilus eugeniae* et des matières organiques dans le sol

**Jour 7 :** à la première mesure, l'analyse statistique n'a pas montré des effets significatifs entre les traitements ( $p=0,5$ ). Cependant, en présence d'*E. eugeniae-Desmodium*, la hauteur moyenne du riz a été plus élevée ( $7,975\pm 1,662$  cm) tandis qu'en présence d'*E. eugeniae-maïs*, elle a été plus faible ( $6,75\pm 0,404$  cm).

**Jour 14 :** il y a eu des effets significatifs des traitements sur la hauteur du riz ( $p<0,0001$ ). La valeur la plus forte a été obtenue avec *E. eugeniae-fumier* ( $16,25\pm 1,377$  cm) et celle plus faible a été donnée par *E. eugeniae-maïs* ( $10,6\pm 1,01$  cm).

**Jour 21 :** le test de Tukey au seuil de risque 5% a montré l'existence des différences significatives entre tous les traitements ( $p<0,0001$ ). *E. eugeniae-fumier* a favorisé l'obtention de la hauteur du riz la plus haute ( $18,575\pm 1,864$  cm), par contre, *E. eugeniae-Stylosanthes* a attribué au riz la hauteur la plus faible ( $12,9\pm 0,673$  cm).

**Jour 28 :** à la dernière mesure, l'analyse statistique a montré que les effets des traitements sur l'évolution de la hauteur du riz sont significatifs ( $p<0,0001$ ). La hauteur maximale a été donnée par *E. eugeniae-fumier* ( $22,6\pm 2,289$  cm) quant à la hauteur minimale, elle a été donnée par *E. eugeniae-Stylosanthes* ( $13,3\pm 0,688$  cm).

### III. Biomasses aérienne et racinaire

#### 3.1. Biomasses aérienne et racinaire produites par le riz en présence des vers de terre

La figure 32 suivante récapitule les résultats obtenus en termes de biomasses aérienne et racinaire du riz selon la présence des vers de terre dans le sol.

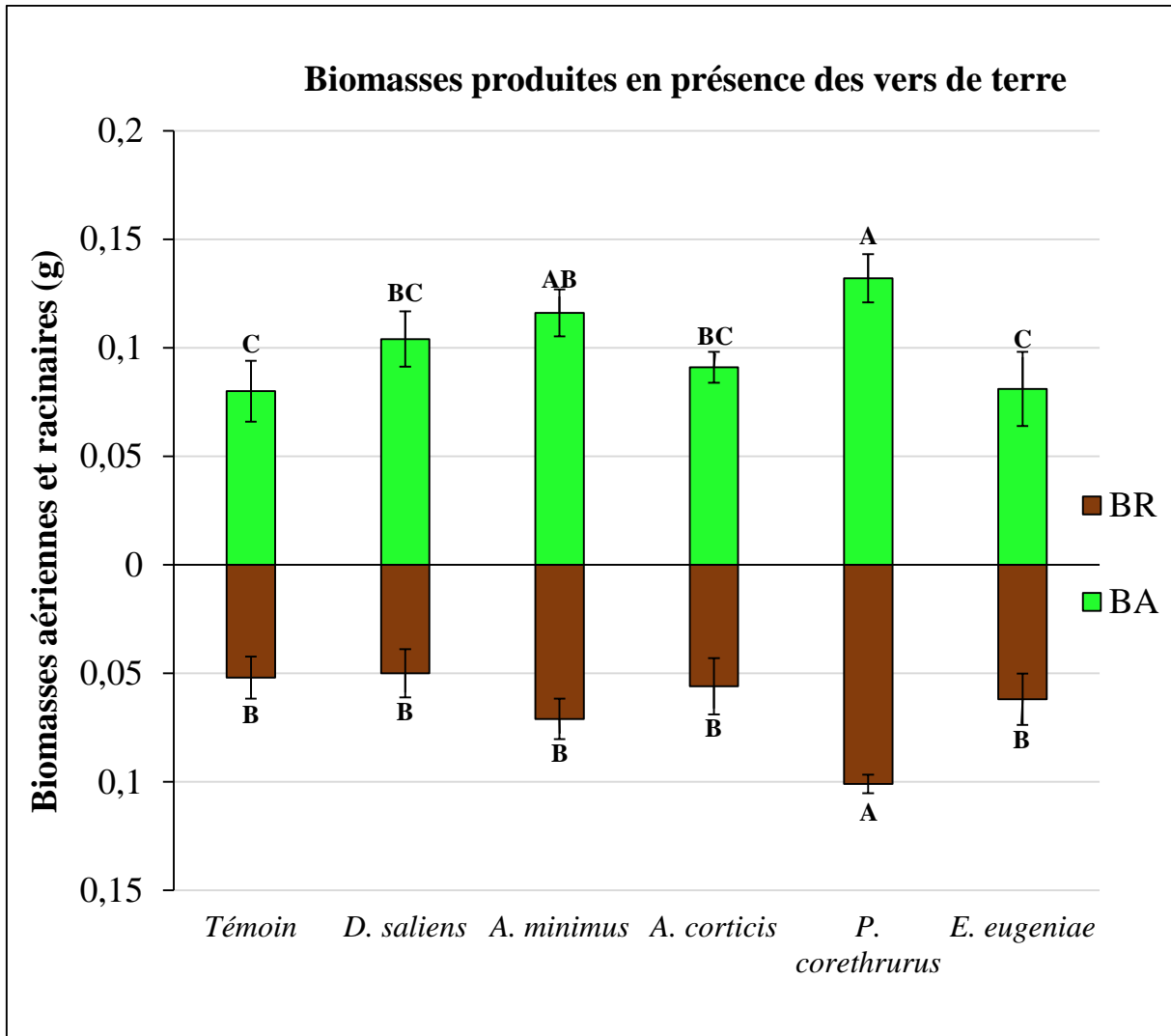


Figure 32. Biomasses aérienne (BA) et racinaire (BR) du riz selon la présence des vers de terre. Les lettres (A, B et C) indiquent les différences significatives au seuil de 5% du test de Tukey.

L'analyse statistique combinée au test de Tukey au seuil de risque 5% ont révélé que les traitements ont eu des effets significatifs tant sur la biomasse aérienne ( $p < 0,0001$ ) que sur la biomasse racinaire du riz ( $p < 0,0001$ ). En effet, la valeur la plus forte a été donnée par *Pontoscolex corethrurus* avec  $0,132 \pm 0,011$ g pour la biomasse aérienne et  $0,101 \pm 0,004$ g pour la biomasse racinaire. Par contre, la valeur la plus faible a été donnée par *Eudrilus eugeniae* pour la biomasse aérienne avec  $0,081 \pm 0,017$ g et par *Dichogaster saliens* pour la biomasse racinaire avec  $0,050 \pm 0,011$ g.

### 3.2. Biomasse aérienne produite par le riz en présence des vers de terre et des matières organiques

La quantité de biomasse aérienne totale du riz à la fin de l'expérimentation en fonction des apports combinés des vers de terre et des matières organiques est présentée par la figure 33.



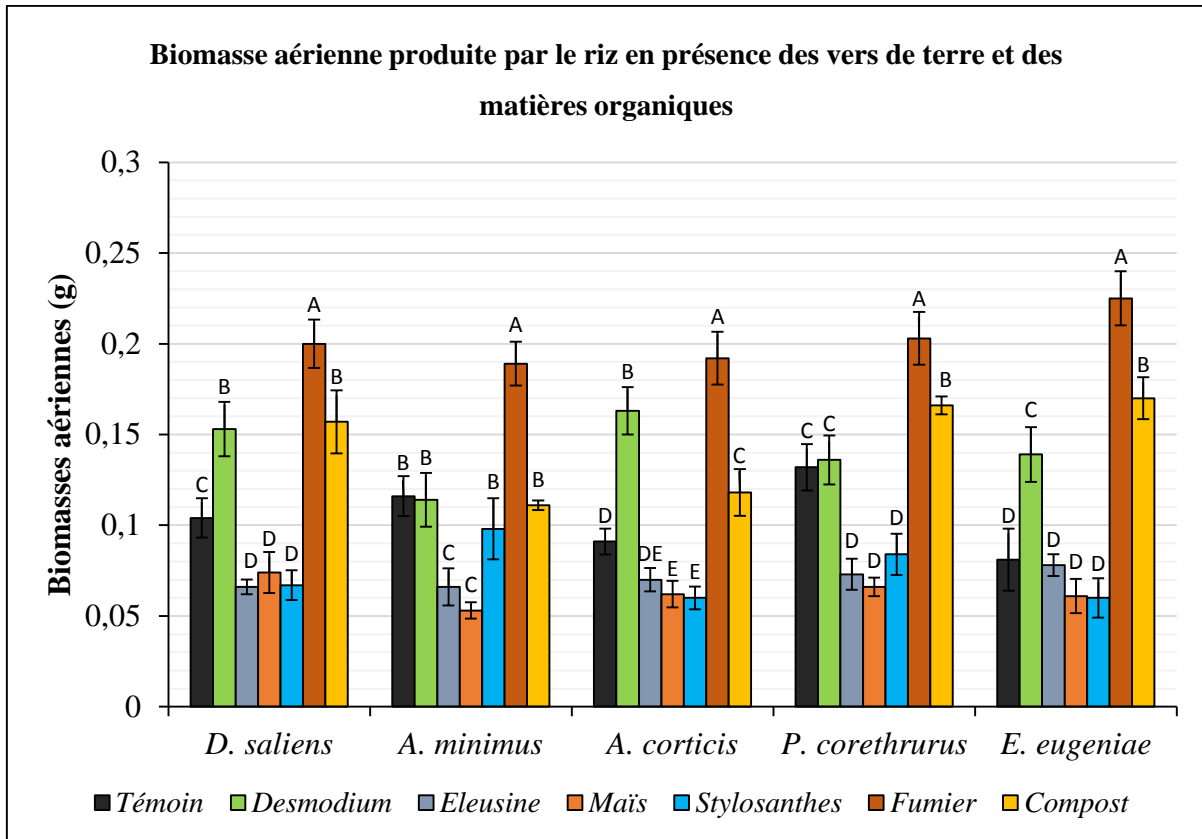


Figure 33. Biomasses aériennes du riz selon la présence des vers de terre et des matières organiques. Pour chaque espèce de vers de terre, les mêmes lettres signifient qu'il n'y a aucune différence significative au seuil de 5% du test de Tukey.

Pour chaque espèce de vers de terre couplée avec les matières organiques de différentes qualités, des différences significatives entre tous les traitements ont été constatées ( $p < 0,0001$ ). Ainsi, quelque soit l'espèce de vers de terre utilisée, le couplage vers de terre-fumier a donné la biomasse aérienne la plus forte. Cette valeur a été beaucoup plus élevée dans le traitement avec *Eudrilus eugeniae* ( $0,225 \pm 0,015$ g). Les couplages des vers de terre avec le compost et les résidus de *Desmodium* ont donné des valeurs intermédiaires. Sur ceux, avec le compost, encore *E. eugeniae* a donné la valeur la plus élevée ( $0,170 \pm 0,015$ g) alors qu'avec les résidus de *Desmodium*, le traitement avec *Amyntas corticis* a obtenu cette plus forte valeur ( $0,163 \pm 0,013$ g). En revanche, l'apport des vers de terre combiné aux apports des résidus d'éléusine, de maïs et de *Stylosanthes* ont donné des valeurs significativement plus faibles. Ces valeurs sont variées de  $0,053 \pm 0,004$ g (couplage *Amyntas minimus*-maïs) à  $0,098 \pm 0,017$ g (couplage *A. minimus*-*Stylosanthes*).

### 3.3. Biomasse racinaire produite par le riz en présence des vers et des matières organiques

La quantité finale de la biomasse racinaire du riz cultivé en présence des vers de terre et des matières organiques est résumée par la figure 34 ci-après.

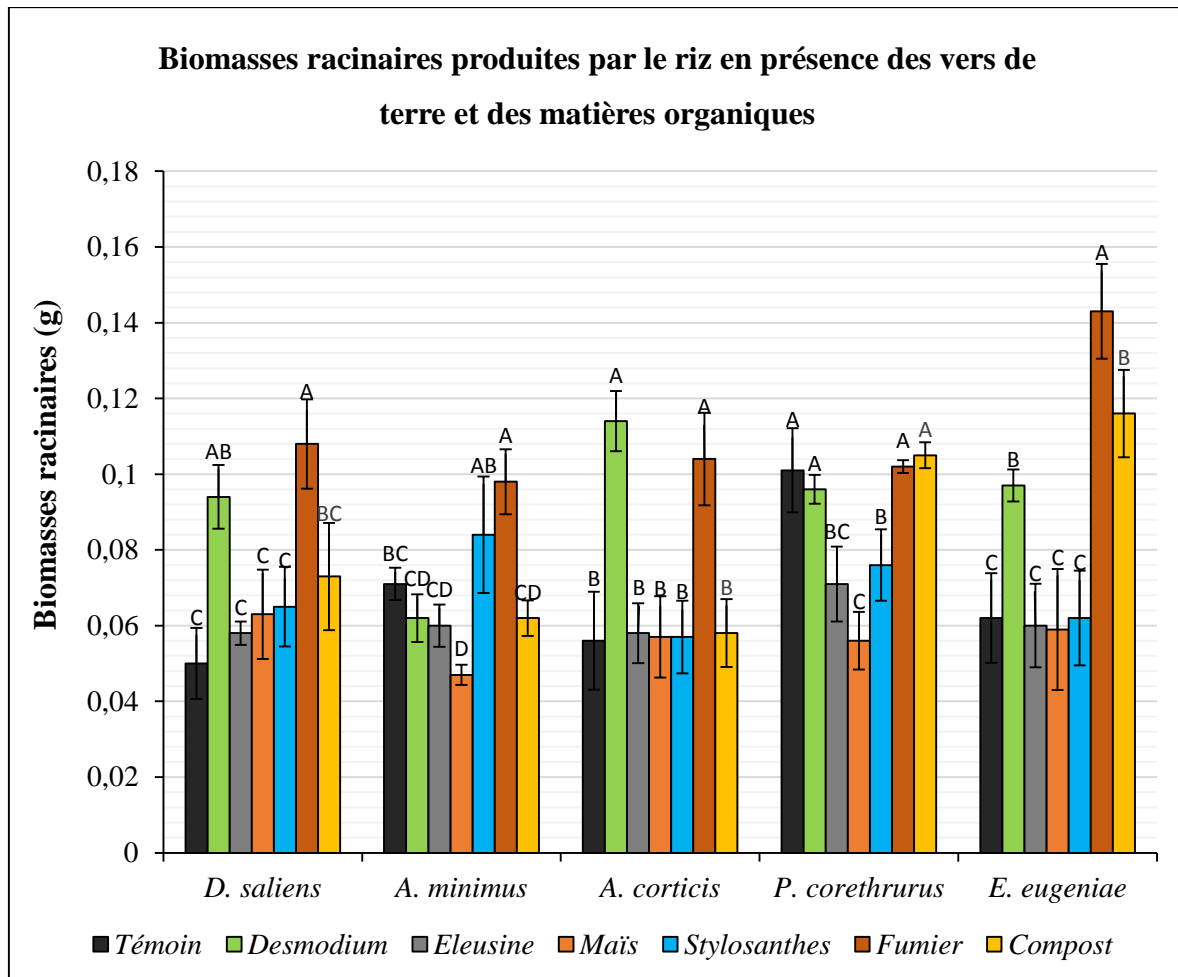


Figure 34. Biomasses racinaires de riz selon la présence des vers de terre et des matières organiques. Pour chaque espèce de vers de terre, les mêmes lettres qu'il n'y a aucune différence significative au seuil de 5% du test de Tukey.

Les différents traitements ont eu des effets significatifs sur la biomasse racinaire finale du riz ( $p < 0,0001$ ). Tout comme précédemment, le couplage vers de terre-fumier a donné la plus forte valeur en biomasse racinaire dont, le traitement avec *E. eugeniae* a obtenu la valeur la plus élevée ( $0,143 \pm 0,013$ g). Cependant, pour le traitement avec *A. corticis*, la valeur obtenue en présence du fumier ( $0,104 \pm 0,012$ g) a été inférieure à celle obtenue en présence des résidus de *Desmodium* ( $0,114 \pm 0,008$ g) mais ces deux valeurs ne sont pas significativement différentes entre elles. La quantité la plus faible a été donnée par les couplages des vers de terre avec les

résidus d'éleusine, de maïs et de *Stylosanthes*. Ces valeurs sont variées de  $0,047 \pm 0,003g$  (couplage *A. minimus*-maïs) à  $0,076 \pm 0,009g$  (couplage *P. corethrurus*-*Stylosanthes*). Pourtant, pour le traitement avec *A. minimus*, le couplage des vers avec les résidus de *Stylosanthes* a donné une valeur intermédiaire de  $0,084 \pm 0,015g$ .

#### IV. Corrélation entre les vers de terre, les matières organiques, le sol et le riz

Cette corrélation a été étudiée en faisant une analyse en composantes principales (ACP). Les variables concernées pour l'analyse de la corrélation ont été la teneur en phosphore disponible du sol après les différents traitements (traitements avec les vers de terre et traitements avec vers de terre et les matières organiques), la hauteur du riz à la fin de l'expérimentation et les biomasses aériennes et racinaires du riz.

La figure 35 présente le cercle de corrélation des variables étudiés et la projection des cinq espèces de vers de terre sur le plan factoriel 1-2 qui explique 44,27% de la variance totale (axe F1 25,70% et axe F2 18,57%). Les axes 3, 4 et 5 représentent respectivement 12,13%, 9,51% et 8,09% des informations de l'ACP.

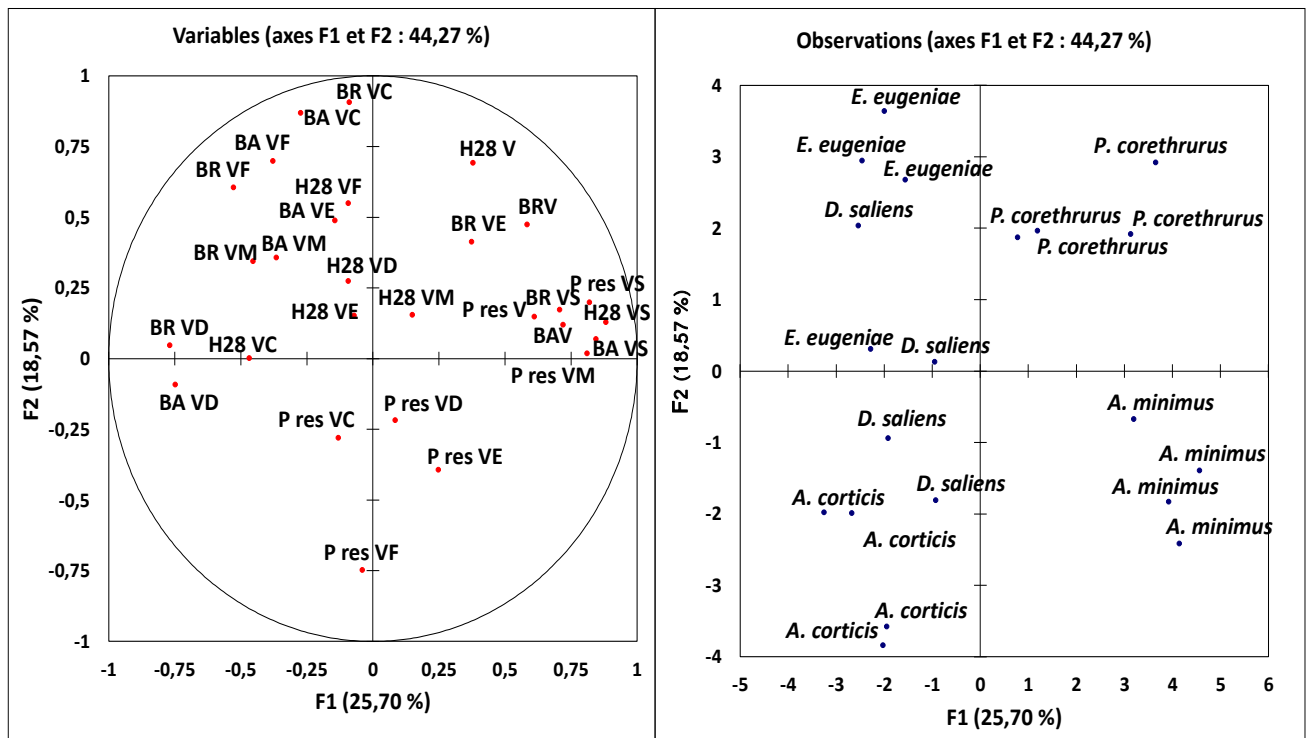


Figure 35. Cercle de corrélation des variables et projections des individus (vers de terre) sur le plan factoriel 1-2 de l'Analyse en Composantes Principales avec (P res V) P résine du sol traité avec vers de terre, (P res VD, P res VE, P res VM, P res VS, P res VF et P res VC) P résine du sol traité avec vers de terre et matières organiques résidus de *Desmodium*, d'éleusine, de maïs

et de *Stylosanthes*, du fumier et du compost, (BAV et BRV) biomasses aériennes et racinaires du riz en présence des vers de terre, (BA VD, BR VD, BA VE, BR VE, BA VM, BR VM, BA VS, BR VS, BA VF, BR VF, BA VC, BR VC) biomasses aériennes et racinaires du riz en présence des vers de terre et des matières organiques, (H28 V) hauteur du riz selon la présence des vers de terre au jour 28, (H28 VD, H28 VE, H28 VM, H28 VS, H28 VF et H28 VC) hauteur du riz en fonction de la présence des vers de terre et des matières organiques à la fin de l'expérimentation.

La projection des individus sur le plan principal 1-2 montre quatre groupes distincts :

**Groupe 1 :** constitué par les deux espèces *Amyntas minimus* et *Pontoscolex corethrurus*. Ce groupe est caractérisé par une teneur en phosphore disponible (P résine) élevée après traitement du sol avec les vers de terre, ce qui a donné une hauteur, une biomasse aérienne et une biomasse racinaire élevées du riz. Egalement par rapport aux autres espèces, ce groupe a donné avec les résidus de *Stylosanthes* des valeurs élevées en P résine du sol, en hauteur et en biomasses (aérienne et racinaire) du riz et une teneur en P résine élevée avec les résidus de maïs et une biomasse racinaire élevée avec les résidus d'éléusine.

**Groupe 2 :** formé par l'espèce *Dichogaster saliens*. C'est un groupe qui a donné une valeur relativement forte en P résine et des biomasses aérienne et racinaire élevées avec les résidus de *Desmodium*, des biomasses également élevées avec les résidus de maïs, une teneur en P résine forte et une hauteur élevée du riz avec le compost. Pourtant avec les résidus d'éléusine, il a donné une teneur en P résine du sol relativement faible.

**Groupe 3 :** l'*Eudrilus eugeniae* qui est caractérisé par une hauteur élevée du riz avec le fumier et des fortes biomasses avec le fumier et le compost. Par contre, avec les résidus d'éléusine, il a donné des valeurs faibles en hauteur et biomasse aérienne du riz. Egalement, avec les résidus de *Desmodium* et de maïs, la hauteur du riz en présence de cette espèce a été plus faible.

**Groupe 4 :** l'*Amyntas corticis*, un groupe caractérisé principalement par son effet bénéfique sur le sol en présence du fumier en donnant une forte teneur en P résine.

**Quatrième partie : DISCUSSIONS,  
SUGGESTIONS ET INTERETS  
PEDAGOGIQUES DU TRAVAIL**

## Partie 4 : DISCUSSIONS, SUGGESTIONS ET INTERETS PEDAGOGIQUES DU TRAVAIL

### I. DISCUSSIONS

#### 1.1. Effets des vers de terre sur la disponibilité du phosphore

Les études d'Ouedraogo et ses collaborateurs en 2014 ont révélé une amélioration de la teneur en phosphore assimilable du sol en présence de la macrofaune. En effet, il a été montré que les turricules de vers ont des teneurs en phosphore plus élevées que le sol environnant (Ouedraogo et al., 2005 ; Kuczak et al., 2006 ; Chapuis-Lardy et al., 2009 ; Bhadauria et Saxena, 2010). De nombreux travaux de recherche ont prouvé les effets bénéfiques de l'espèce tropicale *Pontoscolex corethrurus* sur l'augmentation de la teneur en P disponible dans les sols ferrallitiques sous climats tropicaux (Chapuis-Lardy et Brossard, 1995 ; Chapuis-Lardy, 1998, Chapuis-Lardy et al., 2009). Les résultats de notre étude ont confirmé bien aussi que *P. corethrurus* améliore la disponibilité du P dans le sol. Mais en plus, une autre espèce, *Amyntas minimus* a également montré des impacts positifs sur la mobilisation du phosphore accumulé dans le sol en les rendant plus assimilable pour les plantes. En revanche, pour *Amyntas corticis*, *Dichogaster saliens* et *Eudrilus eugeniae*, leur introduction dans le sol sans apport de matière organique n'a pas augmenté la teneur en P disponible (P résine).

*P. corethrurus* est classé dans la catégorie écologique des endogés qui se nourrissent principalement de la terre plus ou moins riche en matière organique ; leur régime alimentaire est géophage. Selon plusieurs auteurs cités par Kuczak et al. (2006), l'augmentation de la teneur en phosphore assimilable dans les turricules s'expliquerait par le pH élevé dans le tube digestif des vers de terre (Barois et Lavelle, 1986), l'augmentation de l'activité biologique (Lopez-Hernandez et al., 1993), et la sécrétion de mucus riche en composés glucidiques qui contiennent des groupes carboxyle. Ces groupes carboxyle peuvent bloquer les sites de fixation des orthophosphates dans le sol, entraînant de ce fait une augmentation de la teneur en phosphore soluble (Lopez-Hernandez et al., 1993). Ainsi, lors du brassage intestinal du sol, il se produit une transformation du P inorganique du sol en une forme plus rapidement échangeable, qui peut alimenter par la suite le pool de Pi disponible dans la solution du sol (Plassard et al., 2015). Ratsiatosika (2014) a obtenu de résultat similaire sur des essais sur terrain.

*A. minimus* et *D. saliens* sont des espèces classées comme étant des épigées ; leur régime alimentaire est surtout à la base de la matière organique morte. La présence de ce type de matière organique dans le sol joue donc un rôle capital dans l'activité de ces vers. Pourtant, *A. minimus* a donné une valeur significativement élevée en P disponible dans le sol sans apport de

matière organique. Ainsi, cette espèce considérée comme étant épigée a ingéré du sol et capable d'augmenter le P assimilable du sol. D'après les études de Razafindrakoto (2012), elle vit en surface, entre 0 à 10 cm de profondeur, souvent se mélanger avec *P. corethrurus*. Peut-être que le fait d'être sympatrique avec *P. corethrurus*, un vers endogé, prouve qu'*A. minimus* est épi-endogée mais non pas un épigé strict et peut se comporter comme un géophage quand le sol est pauvre en matière organique. Par contre, *A. corticis* et *E. eugeniae* classés dans la catégorie des espèces intermédiaires, groupe des épi-endogés ont montrés une tendance plutôt épigée et ne peuvent pas se nourrir des sols sans matière organique. En plus, *E. eugeniae* est classé parmi les vers spécialistes du lombricompostage (Blakemore, 2002), ce qui avance que c'est un ver qui mange beaucoup de déchets organiques et ce qui explique que leur introduction dans le sol sans apport de matière organique n'a pas augmenté la teneur en P disponible.

En effet, pour la meilleure disponibilité en phosphore pour les plantes, les organismes de la macrofaune du sol agissent (i) soit par une stimulation de l'échange des ions phosphates de la phase solide vers la solution du sol, (ii) soit au travers de la minéralisation du phosphore organique (Chapuis-Lardy et al., 2011). Les cas de *P. corethrurus* et *A. minimus* dans notre étude ont confirmé la première hypothèse.

### **1.2. Effets de la présence des vers de terre et des matières organiques sur la disponibilité du phosphore**

Le phosphore organique constitue une source potentielle en phosphore dans la nutrition phosphatée des plantes. Pourtant, ce P organique contenu dans la matière organique ne peut être utilisé par les plantes qu'après décomposition et minéralisation à travers les microorganismes du sol (Smith *et al.*, 2003 ; Campos, 2008).

Cette étude a montré que quelle que soit l'espèce de vers de terre utilisée, les apports du fumier et du compost ont eu un impact hautement significatif sur la disponibilité du P assimilable pour les plantes dans le sol. Par contre, les quatre résidus végétaux en couplage avec les vers de terre n'ont pas montré des meilleurs résultats.

Le fumier est composé d'*Aristida* sp préalablement utilisé comme étant une litière de zébus. De ce fait, ce dernier se mélange avec les urines et les bouses. D'une part, d'après Satchell et Martin (1984), la bouse stimule l'activité phosphatase des vers de terre et cela met bien en évidence leur participation à la mobilisation du P organique en P facilement assimilable par les plantes. D'autre part, la présence des vers de terre dans le sol accélère la décomposition de la matière organique et met rapidement le P organique en disposition pour les plantes (Lv et al., 2013 ; Tripathi et Bhardwaj, 2004 ; Garg et al., 2006). Ceci a été aussi le cas du compost.

En effet, suite à l'ingestion de sol par les vers de terre, ces derniers favorisent l'activité et l'abondance des microorganismes dans le sol ingéré : augmentation de la biomasse des bactéries (Kumari et Sinha, 2012), de la biomasse et du nombre des champignons (Marhan, 2004). Ces microorganismes interviennent activement dans la disponibilité du P à travers la minéralisation du P organique. Bref, la présence des vers de terre combinée aux apports de fumier ou compost dans le sol se traduit par une augmentation importante de la teneur en phosphore disponible.

Par contre, les apports des résidus de *Desmodium*, d'éleusine, de maïs et de *Stylosanthes* n'ont pas vraiment amélioré la disponibilité du phosphore. Ceci peut être expliqué par la composition biochimique des plantes à l'issue desquelles on a obtenu ces quatre types de résidus végétaux. En effet, à côté des métabolites primaires classiques (glucides, protides, lipides et acides nucléiques), les végétaux accumulent fréquemment des métabolites dits secondaires. Ces métabolites secondaires interviennent surtout aux réponses allélopathiques des plantes. Certains servent aussi aux plantes comme un moyen de défense contre certains animaux herbivores (Wink, 2003).

Il existe trois grandes catégories des métabolites secondaires : les composés phénoliques, les alcaloïdes et les terpénoïdes. Parmi les composés phénoliques, on peut citer comme exemple les tanins et les polyphénols.

Les études de Rafaliharimanana (2014) sur les analyses chimiques de *Desmodium*, d'éleusine, de *Stylosanthes* et de maïs ont montré qu'elles renferment des tanins et des polyphénols avec des valeurs assez significatives. Pourtant, ces composés chimiques ont des rôles antinutritionnels (Yasmin et al., 2008) et sont utilisés par les plantes pour se défendre contre des agents biotiques et abiotiques (Marry et Legrand, 2000 ; Chung et al., 1998). Pour l'éleusine, son analyse chimique a montré l'existence de l'hétéroside cyanogénétique, un dérivé de cyanure et cela lui procure une certaine toxicité. Pour le *Stylosanthes*, en plus de la présence des acides phénoliques et tanins, la valeur (supérieure à 300) du rapport C/N s'ajoute aussi aux principales raisons de la faible disponibilité du P dans le sol en présence de ses résidus car selon Davet (1996), les microorganismes entrent en concurrence avec les plantes pour l'utilisation du phosphore.

La présence de ces composantes chimiques dans nos résidus peut expliquer la raison de la faible teneur en P disponible dans le sol où ces résidus ont été ajoutés. Cette faible teneur a été également observée dans les microcosmes où ces résidus ont été couplés avec les vers de terre *Amyntas corticis* et *Eudrilus eugeniae* qui sont censés à manger les matières organiques vue



leur catégorie écologique bien réputée comme étant des espèces voraces (Blakemore, 2002) mais apparemment, leur activité et leur appétit semblent être bloqués à cause de la présence de ces produits assez toxiques pour les macrofaunes du sol. En plus, la concentration élevée en acide phénolique inhibe la biomasse microbienne et les tanins forment un complexe avec les protéines et inhibent les enzymes microbiennes extracellulaires, ainsi rendant difficile le processus de minéralisation.

Ainsi, du point de vue générale, ces composés (acide phénolique, tanins, alcaloïdes) ont des conséquences néfastes d'une part, sur les microorganismes qui sont les acteurs principaux de la minéralisation de la matière organique dans le sol et d'autre part, sur les vers de terre.

### **1.3. Effets des vers de terre sur la croissance et les productions de biomasse du riz**

Dans la présente étude, le riz a réagi différemment à l'action des différentes espèces de vers de terre quand le sol est pauvre en matière organique. La meilleure croissance a été obtenue en présence des deux espèces *Pontoscolex corethrurus* et *Amyntas minimus*. Ces espèces ont également eu des effets significativement élevés sur les productions des biomasses aérienne et racinaire du riz par rapport aux autres espèces. On pourrait expliquer ces résultats par le fait que *P. corethrurus* et *A. minimus* ont favorisé une disponibilité importante du phosphore susceptible d'être absorbé par les plantes dans le sol. Ceci a été confirmé par l'ACP par l'existence d'une corrélation positive entre la teneur en P disponible du sol, la hauteur du riz à la fin de l'expérimentation et les biomasses aérienne et racinaire du riz en présence des vers de terre mais en absence de la matière organique dans le sol. Ces observations sont conformes à celles de Brown et al., 1999 et Scheu, 2003 ; ils ont montré que les vers de terre accroissent la production de la biomasse végétale.

En revanche, quand le sol est enrichi en matière organique, le riz a réagi de façon similaire à l'action des différentes espèces de vers de terre. En effet, quelle que soit l'espèce de vers de terre utilisée, ce sont toujours les couplages des vers avec le fumier, le compost et les résidus de *Desmodium* qui ont permis d'obtenir une meilleure croissance et une production de la biomasse aérienne du riz beaucoup plus forte. Par contre, la croissance du riz et la production de la biomasse aérienne sont plus faibles en présence des vers de terre couplés avec les résidus d'éleusine, de maïs et de *Stylosanthes*. Il a été démontré précédemment que les couplages des vers de terre avec le fumier et le compost ont eu des influences positives sur la mise en disponibilité du phosphore dans le sol. Ceci s'est traduit par une amélioration de la croissance du riz et un bon développement de la culture. En effet, les vers de terre affectent de manière

significativement positive la biomasse aérienne des plantes (Scheu, 2003). Toutefois, la disponibilité du phosphore en présence du couplage vers de terre-*Desmodium* dans le sol est faible mais ce traitement a favorisé une bonne croissance et une production accrue de la biomasse aérienne du riz. Ce qui confirme que dans certaines conditions, la minéralisation accrue de la matière organique n'est pas le seul mécanisme mis en œuvre de l'effet des vers sur les plantes (Blouin, 2013). Dans la littérature sont cités, par ordre d'importance : (i) la stimulation de la minéralisation de la matière organique du sol, (ii) les modifications physiques de la structure des sols, (iii) la dispersion et la stimulation de microorganismes bénéfiques, (iv) le contrôle de parasites et de maladies et (v) la stimulation de la production de composés humiques aux effets comparables à ceux des phytohormones (Blouin, 2013).

L'effet positif des vers sur la biomasse aérienne du riz semble bien établi. En revanche, leur action sur le système racinaire paraît beaucoup plus contrastée (Blouin, 2013). Les résultats de notre expérimentation ont montré que la forte biomasse aérienne est corrélée avec la forte biomasse racinaire dans certains traitements ; mais dans d'autres cas, la forte biomasse aérienne est corrélée avec la faible production de la biomasse racinaire ou vice-versa. Scheu (2003) a remarqué une augmentation de la biomasse de l'appareil souterrain dans certains cas mais également une diminution significative dans d'autres expériences. Ceci pourrait être dû à la disponibilité plus ou moins importante des éléments nutritifs dans le sol, notamment l'azote et le phosphore (Jana, 2009). Ainsi, en réponse à une carence en phosphore, la croissance et l'architecture des racines sont modifiées (Lynch, 1995). La biomasse racinaire augmente, entraînant de ce fait un accroissement des surfaces d'absorption (Jana, 2009). Dans le cas contraire, le système racinaire des végétaux se développe beaucoup moins car l'acquisition de l'élément en question se fait plus facilement.

## **II. SUGGESTIONS**

### **2.1. Dans le cadre de l'éducation et de l'enseignement**

La pédologie est une discipline de la géologie qui étudie le sol : sa formation, ses fonctions, ses différents constituants, ses propriétés physico-chimiques, .... Le sol n'étant pas ou très peu enseigné au collège et au lycée. La plupart des gens ne le connaît que très mal. Ils n'en ont souvent qu'une vision très réductrice : le sol, c'est la couche superficielle cultivée, la base des constructions humaines, la terre des cimetières, la terre qui salit les vêtements des enfants, .... Très peu savent que le sol est l'essence de la vie en constituant une source directe ou indirecte d'aliments, de l'eau, de l'air et d'habitats pour les êtres vivants. C'est un milieu naturel qu'il faut apprendre, à découvrir et à comprendre. Il devrait être enseigné bien avant des études

universitaires. En effet, On devrait introduire la pédologie dans le programme scolaire de l'enseignement secondaire de la matière SVT. Et en plus des cours théoriques, les travaux pratiques sur terrain sont impératifs pour que les élèves puissent mieux comprendre le sol par le regard et par le toucher.

En plus, le programme de la biologie occupe une très grande place dans l'enseignement secondaire de la matière SVT. C'est pour cette raison que la plupart des élèves maîtrise beaucoup mieux la biologie que la géologie. Pourtant, la biologie du sol est très mal connue. Heureusement qu'il y a les vers de terre pour rappeler que le sol est vivant. Le quart des espèces vivant sur la planète vivent dans le sol (soit 25%) dont 80% sont des microorganismes. On ne devrait pas ignorer cette énorme diversité biologique du sol. Elle mérite d'être connue et protégée tout comme la biodiversité terrestre. De ce fait, la biodiversité du sol devrait figurer parmi les connaissances de base que les élèves devraient maîtriser à propos du sol.

## **2.2. Sur la pratique agricole durable**

En agriculture, les engrais sont administrés en vue d'augmenter le rendement de la culture afin de contribuer au développement du pays vue que le secteur agricole constitue une composante essentielle de l'économie malagasy. D'une manière générale, il existe deux grands types d'engrais : les engrais minéraux qui sont le plus souvent des produits de l'industrie chimique et les engrais organiques. En ce qui concerne les engrais minéraux, leur teneur en éléments minéraux nutritifs étant très élevé et ils peuvent donc nourrir les plantes jusqu'à leur capacité d'absorption maximum. Pourtant, ils peuvent causer des effets néfastes sur l'homme et sur l'environnement : des maladies, une intoxication de l'eau et des organismes du sol amoindrissant leur quantité. En plus, leur utilisation à long terme rend le sol dépendant de ces engrais chimiques conduisant à leur infertilité. Ainsi, si les agriculteurs ne peuvent pas se passer de l'utilisation des engrais, les engrais minéraux sont à déconseiller. Par contre, l'incorporation des fertilisants organiques tels que le fumier, le lombricompost, le guano (déjections des oiseaux), ...devrait être prioritaire. Non seulement ces fertilisants organiques améliorent la quantité et la qualité de la productivité mais également, ils ont des effets positifs sur la structure et les autres qualités du sol (stockage ou émission de gaz à effet de serre, capacité de rétention des polluants, ...).

Par ailleurs, la diversité biologique du sol occupe diverses fonctions importantes dont la décomposition des matières organiques en éléments minéraux, la fertilité du sol et la production alimentaire. Il s'avère important d'éviter les pratiques culturales qui peuvent nuire ces organismes du sol. Le travail du sol en est une méthode conventionnelle encore plus pratiquée.

Il agit de manière directe en blessant et tuant la faune du sol, en particulier les vers de terre. Il expose également celle-ci aux conditions extérieures qui leur sont souvent défavorables (lumière, prédateurs, ...). En effet, on devrait éviter le travail du sol et pratiquer la méthode de culture sans labour ou zéro labour. Cette pratique consiste à ne plus travailler le sol mais par contre, il devrait être maintenu sous la protection permanente d'une couverture végétale totale qui peut être soit morte (pailles ou résidus de culture), soit vive (un tapis végétal vivant constitué par des graminées ou des légumineuses). Les cultures que l'agriculteur veut développer sur le sol ainsi protégé sont installées par « semis direct » au travers de la couverture végétale, le plus souvent à l'aide de « l'angady ». Cette méthode culturale peut augmenter la quantité d'eau dans le sol, diminuer l'érosion, éviter les pertes en matières organiques du sol et conduire à une augmentation de la quantité de la diversité de la vie dans et sur le sol. Bref, c'est une technique culturale simplifiée tellement bénéfique à long terme pour les agriculteurs (économies d'intrants, meilleurs rendements, meilleure qualité des productions).

### **III. INTERETS PEDAGOGIQUES DU TRAVAIL**

D'abord, l'objectif global de la matière SVT est de comprendre le monde en expliquant le réel. Ainsi, en plus des cours théoriques, des observations des phénomènes perceptibles et des expérimentations, c'est-à-dire des travaux pratiques sont également de grandes nécessités. Ces travaux pratiques peuvent être réalisés soit sur terrain soit au laboratoire. Ce présent mémoire permet aux professeurs d'SVT de connaître pas mal d'outils de laboratoire et de maîtriser quelques techniques expérimentales de recherche en laboratoire qui peuvent les aider à mener un cours de TP.

De plus, des rapports entre cet ouvrage et le programme scolaire de l'enseignement de la matière SVT au collège et au lycée sont constatés. Ces rapports se portent surtout sur :

- l'enseignement du chapitre « L'origine de la matière des êtres vivants » en classe de 6ème, sous-chapitres : « La transformation de la matière par les êtres vivants » et « L'activité des êtres vivants du sol » ;
- l'enseignement de quelques notions d'écologie en classe de seconde.

En ce qui concerne les liens que présentent ce livre avec l'enseignement de l'écologie en classe de seconde, deux sous-chapitres à savoir « Les êtres vivants et leur milieu » et « Les problèmes liés à l'environnement » sont les plus concernés.

## **LES ETRES VIVANTS ET LEUR MILIEU**

**L'écosystème** : C'est un système formé par une communauté d'organismes vivants (la biocénose) et l'environnement dans lequel ils vivent (le biotope), ainsi que les interactions des organismes entre eux et leurs interactions avec leur environnement.

Ce mémoire permet aux professeurs d'SVT de mieux faire comprendre aux élèves que le sol est bel et bien un exemple d'écosystème.

**La diversité spécifique** : La diversité spécifique ou diversité des espèces est caractérisée par le nombre d'espèces d'êtres vivants qui habitent un milieu donné ou même la planète terre.

Les classifications systématiques des plantes et des vers de terre trouvées dans ce livre peuvent justifier cette notion de diversité spécifique. Les élèves peuvent en découvrir aussi des exemples de taxon en allant du « Règne » jusqu'à « l'espèce » et que, les noms scientifiques sont des mots latins avec 2 noms dont respectivement le nom du genre et le nom de l'espèce. Ce qui leur permet ainsi de comprendre la différence entre le nom scientifique et le nom vernaculaire.

## **LES PROBLEMES LIES A L'ENVIRONNEMENT**

L'action des vers de terre est essentielle à la survie de l'homme et de son environnement. Ils sont un maillon indispensable de la chaîne alimentaire et les garants de la fertilité du sol que nous exploitons pour nous nourrir. En effet, la disparition des vers de terre est catastrophique, non seulement pour l'agriculture, mais également pour l'environnement en entier. Ainsi, on devrait inclure ce problème dans ce sous-chapitre « Les problèmes liés à l'environnement ». Ce mémoire nous permet de s'enrichir à des savoirs savants sur les causes et les conséquences de ce fléau, ainsi que les solutions pour le remédier. Ceci nous a conduits à l'élaboration de la fiche pédagogique ci-après.

### **FICHE PEDAGOGIQUE**

Matière : Science de la Vie et de la Terre

Classe : Seconde

Classe : Seconde

Durée : 30 minutes

Thème : Ecologie

Sous-chapitre : Les problèmes liés à l'environnement : la disparition des vers de terre

Objectif général : L'élève doit être capable de définir la diversité des êtres vivants et de réaliser les relations qui existent entre eux et avec leur milieu.

Objectifs spécifiques : L'élève doit être capable de :

- ✓ expliquer de ses propres mots les rôles des vers de terre vis-à-vis du sol ;
- ✓ citer les causes de la disparition des vers de terre ;
- ✓ classer les solutions qu'on doit apporter face à la disparition des vers de terre en fonction de ses causes.

Timing	Contenu	Stratégie et observations
10 minutes	<p><b>1) <u>Rôles des vers de terre dans le sol</u> :</b></p> <p>Les vers de terre sont des organismes les plus fréquents rencontrés dans le sol. Ils sont connus par leurs précieux rôles vis-à-vis du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• structuration du sol par création des galeries, ce qui permet une très bonne circulation des eaux d'infiltration (rôle tampon contre l'érosion) et une amélioration de l'aération du sol qui est très important pour la respiration des racines des plantes et les autres organismes peuplant le sol ;</li> <li>• décomposition des matières organiques et libération des éléments minéraux nutritifs pour les végétaux et production des déjections très riches en éléments nutritifs pour les plantes (ils nourrissent nos plantes) ;</li> <li>• recyclage des déchets organiques.</li> </ul> <p>⇒ <b>Les vers de terre favorisent un bon fonctionnement du sol.</b></p>	<p>Pour introduire la leçon, poser la question : Que savez-vous des vers de terre ?</p> <p>Les réponses attendues sont leur milieu de vie, leur régime alimentaire et leurs fonctions dans le sol.</p> <p>Se servir d'un simple outil didactique qui permet de comparer les activités des vers de terre dans un sol par rapport au sol sans vers de terre (exemple : 2 flacons transparents dont l'un contient du sol avec des vers de terre à l'intérieur tandis que l'autre ne contient que du sol uniquement.</p> <p>Insister également sur la différence entre vers de terre et vers parasites.</p>
15 minutes	<p><b>2) <u>Les causes de la disparition des vers de terre</u> :</b></p> <p>La disparition des vers de terre peut être d'origine divers :</p>	<p>Expliquer pourquoi chacune des informations affirmées</p>







# **CONCLUSION**

## CONCLUSION

Les objectifs de notre étude ont été de déterminer les espèces de vers de terre et les qualités de matières organiques pouvant assurer une meilleure disponibilité du phosphore dans le sol. En effet, des élevages des vers de terre en microcosmes en présence de différentes qualités de matières organiques ont été effectués. Nos résultats ont montré que les vers de terre ont agi différemment sur la disponibilité du phosphore dans les sols pauvres en matière organique. Les trois espèces *Amyntas corticis*, *Dichogaster saliens*, et *Eudrilus eugeniae* n'ont pas augmenté la teneur en P disponible. Par contre, *Amyntas minimus* et *Pontoscolex corethrurus* ont eu des effets positifs significativement élevés. Ces observations ont été expliquées par la diversification de la catégorie écologique des vers de terre qui est fortement liée à leur régime alimentaire. *A. corticis*, *D. saliens* et *E. eugeniae* sont des espèces épigées strictes, *A. minimus* est une espèce intermédiaire épi-endogée et *P. corethrurus* est un ver endogé. Ainsi, nous pouvons en déduire que dans les sols pauvres en matières organiques, seulement les vers endogés capables d'ingérer du sol qui ont eu des influences positives sur la disponibilité du phosphore. Cette conclusion valide notre première hypothèse selon laquelle «l'effet des vers de terre sur la disponibilité du phosphore dans le sol serait en fonction de leur catégorie écologique : certains vers auraient une plus grande capacité que d'autres à mobiliser le phosphore ».

Pour les traitements des sols avec les vers de terre et les matières organiques, l'effet des vers de terre sur la disponibilité du phosphore a été en fonction de la qualité des matières organiques en question. En effet, quelle que soit l'espèce utilisée, les couplages des vers de terre avec le fumier et le compost ont donné des valeurs significativement élevées en P disponible. En revanche, l'apport de P organique sous forme des résidus végétaux (résidus d'éleusine, de *Desmodium*, de maïs et de *Stylosanthes*) a causé des influences néfastes sur l'activité des vers de terre en donnant des valeurs significativement plus faibles en P disponible. Ainsi, la deuxième hypothèse qui a affirmé que « l'effet des vers de terre sur la disponibilité du phosphore serait lié à la qualité des matières organiques apportées au sol » a été vérifiée.

Nous avons cherché également d'évaluer les effets de la présence des vers de terre dans les sols pauvres et riches en matières organiques sur la croissance et la production des biomasses par le riz. Ces paramètres ont été étudiés à travers des cultures du riz en conditions de serre dans les sols précédemment traités avec les vers de terre et les matières organiques. Dans les sols sans apport de matières organiques, les vers *P. corethrurus* et *A. minimus* ont donné la meilleure croissance et les productions des biomasses aérienne et racinaire du riz les plus élevées.

L'enrichissement des sols en matières organiques a révélé que les meilleurs résultats en termes de croissance et de production de la biomasse aérienne ont été donnés par les couplages des vers, quelle que soit l'espèce, avec le fumier et le compost mais aussi avec les résidus de *Desmodium*. Pourtant, la production de la biomasse racinaire n'a pas montré cette même tendance. Ce qui permet de dire que seulement une partie de l'hypothèse émise selon laquelle « les vers de terre auraient des influences positives sur la croissance et les productions des biomasses par le riz en rendant plus assimilable le P accumulé dans le sol et le P organique » a été vérifiée.

Cette étude nous a permis de savoir que dans les sols pauvres en matières organiques, seulement les deux espèces de vers de terre *P. corethrurus* et *A. minimus* parmi les cinq espèces utilisées ont donné les meilleurs résultats sur tous les paramètres étudiés (disponibilité du phosphore, croissance du riz et production des biomasses aérienne et racinaire). Par contre, en présence du fumier et du compost, toutes les espèces ont montré des effets bénéfiques sur tous ces paramètres outre la production de la biomasse racinaire. Mais en plus, le couplage des vers avec les résidus de *Desmodium* a également montré des résultats essentiels. Comme perspectives, afin de bien poursuivre la dynamique du phosphore dans les systèmes agricoles, une quantification du phosphore absorbé par les plantes devrait être effectuée. De plus, même si le phosphore est un élément indispensable à la croissance et au développement des végétaux, la mise en valeur des tant d'autres éléments nutritifs ne devrait pas être oubliée. A l'avenir, il serait préférable de faire les expérimentations sur terrain.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Andriamaniraka, H., Rabeharisoa L., Michellon R., Moussa N., Morel C.,** 2009- L'effet du système de culture semis direct sous couverture végétale (SCV) sur les ions phosphates dans la solution des sols cultivés de Haute Terre de Madagascar. *Étude et Gestion des Sols*. 17(2), 119-130.
2. **Baeyens, J.,** 1967. Nutrition des plantes de culture ou Physiologie appliquée aux plantes agricoles. Université de Louvain, Institut pédologique, Editions E. Nauwelaerts Louvain, Béatrice-Nauwelaerts Paris. 294pp
3. **Barois, I.,** 1987. Interactions entre les vers de terre (Oligochaeta) tropicaux géophages et la microflore pour l'exploitation de la matière organique du sol. Thèse d'Université, Paris, Publication du laboratoire de zoologie de l'ENS, pp 154-160
4. **Barois, I., Patron, C.** 1994. Selection of particles by *P. corethrurus*. In Lavelle P. (Ed.) "Conservation of soil fertility in low-input agricultural systems of the humid tropics by manipulating earthworm communities. (Macrofauna project). Report n02 Jan. 94, ORSTOM, Bondy. pp 33-36.
5. **Beaudin, I.,** 2006. Revue de la littérature, La mobilité du phosphore, Version finale. Pour le Comité ad hoc Groupe mobilité phosphore. 143pp
6. **Bernard, L.** et al. 2012. Endogeic earthworms shape bacterial functional communities and affect organic matter mineralization in a tropical soil. *The ISME journal* 6, 213-222.
7. **Bhadoria, T., Saxena, K.G.** 2010. Role of earthworms in soil fertility maintenance through the production of biogenic structures. Review Article. *Applied and Environmental Soil Science*, 2010: 1-7.
8. **Blouin, M.** 2013. Interactions entre plantes, vers de terre et microorganismes et conséquences sur le fonctionnement du sol. Habilité à diriger des recherches. Ecole Doctorale. Sciences, Ingénierie et Environnement du PRES Paris-Est. 107pp
9. **Bouché, M.B.,** 1973. L'échantillonnage des Peuplements d'Oligochètes terricoles. Problèmes d'écologie: l'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres.in: M. Lamotte et F. Bourliere: Problèmes d'écologie: l'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres; ed. *Masson et Cie, Paris*: 273-287.
10. **Bourgeat, F. and Aubert, G.,** 1972- Les sols ferrallitiques à Madagascar. Madagascar revue de géographie, Université de Madagascar, 1-23.
11. **Brown, G., Pashanasi, B., Villenave, C., Patron, J.C., Senapati, B.K., Giri, S., Barois, I., Lavelle, P., Blanchart, E., Blakemore, R.J., Spain, A.V., Boyer, J.** 1999. Effects of earthworms on plant production in the tropics. In: P Lavelle, L Brussaard, P

- Hendrix, Eds. Earthworm management in tropical agroecosystems, Wallingford, 87–137.
12. **Catalogue National des Espèces et Variétés cultivées (CNEV)**, 2010. Madagascar première édition. 239pp
  13. **Cécile, I.** 1997. Les macroinvertébrés du sol dans différents systèmes d’agriculture au Congo : cas particulier de deux systèmes traditionnels (écobuage et brûlis) dans la vallée du Niari. Thèse de Doctorat en Ecologie. 163pp
  14. **Chapuis L.** 1994. Les transformations du phosphore d’un sol ferrallitique par un ver géophage, *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta) D.E.A, Université de Nancy I, Géosciences Filière pédologie « Les sols dans les écosystèmes continentaux ».61p
  15. **Chapuis-Lardy, Brossard, M., Lavelle, P., Schouller, E.,** 1998. Phosphorus transformations in a ferralsol through ingestion by *Pontoscolex corethrurus*, a geophagous earthworm. *European Journal of Soil Biology* 34, 61–67.
  16. **Chapuis-Lardy , Ramiandrisoa RS., Randriamanantsoa L., Morel C., L. Rabeharisoa & Blanchart E.** 2009. Modification of P availability by endogeic earthworms (Glossoscolecidae) in Ferralsols of the Malagasy Highlands. *Biol Fertil Soils* 45:415–422.
  17. **Chapuis-Lardy.,** 2011. Role of soil macrofauna in P cycling. *In* “Phosphorus in Action – Biological Processes in Soil Phosphorus Cycling”, Bünemann E.K., Oberson A. and Frossard E. (Eds). Springer Soil Biology Series 26, Springer, NY, pp. 199-213. DOI 10.1007/978-3-642-15271-9\_8.
  18. **Chapuis-Lardy.,** 2016. Processus écologiques dans les systèmes cultivés à bas intrants des pays du Sud H.D.R, Université de Bourgogne, Ecole Doctorale Environnements-Santé, Discipline : Sciences de la Terre. 114p
  19. **Coq S., Barthès BG., Oliver R., Rabary B., Blanchart E.,** 2007. Earthworm activity affects soil aggregation and organic matter dynamics according to the quality and localization of crop residues-An experimental study (Madagascar). *Soil Biology & Biochemistry.* 39: 2119–2128.
  20. **Fanjaniaina, ML.,** 2009. Effet du guano et du triple superphosphate sur le rendement du riz pluvial et sur la phytodisponibilité du phosphore du sol. Mémoire de fin d’études pour l’obtention du diplôme d’Ingénieur Agronome, École Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d’Antananarivo. 82pp.

21. **Frossard, E., Julien, P., Neyroud, J-A et Sinaj, S.,** 2004 : Le phosphore dans les sols. État de la situation en Suisse. Cahier de l'environnement no 368. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 180 p.
22. **Henintsoa, M.,** 2011. Disponibilité du phosphore et productivité agricole sous système de culture à rotation biennale voandzou-riz pluvial et système de culture pluviale continue de riz. Cas d'un sol ferrallitique de « tanety » sis à Laniera. Mémoire de fin d'études en vue d'obtenir le Diplôme d'Ingénieur Agronome de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques Spécialisation Agriculture. Université d'Antananarivo. 87pp.
23. **Hesinger, P.,** 2015. Les enjeux liés au phosphore dans les sols tropicaux. UMR Eco&Sols (Montpellier SupAgro-CIRAD-INRA-IRD) Place Viala 34060 Montpellier cedex (France). 279pp
24. **James, S.W.** 1991. Soil, nitrogen, phosphorus, and organic matter processing by earthworms in tallgrass prairie. *Ecology* 72-6: 2101-2109.
25. **Jana, U.** 2009. Etude des interactions entre la plante *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh et le ver de terre *Aporrectodea caliginosa* (Savigny) : Application à la phytoremédiation de l'arsenic et de l'antimoine. Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'Université Paris-Est, spécialité : Sciences de l'Univers et de l'Environnement. 277pp
26. **Kuczak, C.N., Fernandes ECM, Lehmann J, Rondon MA, Luizão FJ.** 2006. Inorganic and organic phosphorus pools in earthworm casts (Glossoscolecidae) and a Brazilian rainforest Oxisol. *Soil Biol. Biochem.*, **38**: 553–560.
27. **Lavelle P., Bignell, D., Lepage M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O. W., Dhillon, S.,** 1997. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineer. *Eur. J. Soil. Biol.* 33, 159-193.
28. **Lavelle, P. et Spain, A.V.,** 2001. Soil Ecology. Kluwer Scientific Publications, Amsterdam 654 pp.
29. **Lee, K.E.,** 1985. Earthworms - Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use". *Academic Press, Sydney*: 411p.
30. **Lemercier B.,** 2003. La pollution par les matières phosphorées en Bretagne. Sources, transferts et moyens de luttés. Etude bibliographique. 83pp
31. **Menard, O.,** 2005. Les ouvriers du sol et les pratique agricoles de conservation. Colloque en environnement : « Des outils d'intervention à notre échelle »

32. **Morel C.**, 2011. Gestion à long terme de la dynamique du phosphore dans les sols cultivés. 10<sup>èmes</sup> rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse, COMIFER-GEMAS, Reims, 23-24 Novembre 2011. 12pp
33. **Ouedraogo, J., Hassan Bismarck Nacro, H.B., OUEDRAOGO, E., Youl, S., et Sedogo, M.P.** 2014. Amélioration de la disponibilité du phosphore par la gestion de la macrofaune du sol: cas d'un lixisol en zone semi-aride du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 8(4): 1838-1846, 2014. 10pp
34. **Parent, L.E.** et al. sd. Le flux et la dynamique du phosphore dans les sols agricoles québécois. Colloque sur le phosphore-Une gestion éclairée ! Ordre des agronomes du Québec. 27pp
35. **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 de systèmes de culture sur les communautés lombriciennes. Thèse de Doctorat à l'université Agro PariTech. 141pp.
36. **Penot, E.** 2009. Rôle et place du riz pluvial dans les exploitations du Vakinankaratra (Hauts Plateaux et Moyen Ouest). Atelier nationale sur la recherche et le développement du riz pluvial à Madagascar. 41pp
37. **Plassard, C.** et al. 2015. Améliorer la biodisponibilité du phosphore : comment valoriser les compétences des plantes et les mécanismes biologiques du sol ? *Innovations Agronomiques* 43, 115-138.
38. **Pomerleau, S.** 2013. La gestion du phosphore dans les terres saturées. Université de Sherebrooke, Maîtrise en environnement. 85pp
39. **Rabeharisoa, L.**, 2004. Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar. Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences Naturelles. Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Département de Biologie et Ecologie Végétales. 199 p.
40. **Rabeharisoa, L., Morel C. et Vives A.**, 2007 - Phosphore en solution et gestion de la fertilité des ferralsols de « tanety » de Madagascar. *Bulletin de l'Académie Malgache*, Tome 84/2 Juillet-Décembre 2005, and ISSN 1728-4317.
41. **Rabeharisoa, L.** 2007 - Libérons le phosphore. Communication personnelle. AcNALS (Académie Nationale des Arts, des Lettre et des Sciences).
42. **Raboin, L.M., Ramanantsoanirina A, Dzido JL, Frouin J, Radanielina T, Tharreau D, Dusserre J, Ahmadi N**, 2013. Création variétale pour la riziculture

- pluviale d'altitude à Madagascar : bilan de 25 années de sélection. Cah Agric 22 : 450-8. doi : 10.1684/agr.2013.0624. 9pp
43. **Rafaliharimanana, F.** 2015. Effets des composés polyphénoliques contenus dans les plantes de service sur le ver blanc (*Heteroconus paradoxus*) et le ver de terre (*Pontoscolex corethrurus*) : cas de Système de Culture sous couverture Végétale (SCV). D.E.A., Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, département de Biologie et Ecologie végétales, Option : Physiologie végétale. 89pp
  44. **Raison, J.P.** 1971. Conditions et conséquences de l'intensification de l'agriculture sur les Hautes Terres malgaches. Communication présentée au Colloque d'ACCRA sur la Croissance Démographique en Afrique et à Madagascar, décembre 1971. 68pp
  45. **Rasoamaharo, L.A.,** 2008. Effet du guano et du triple superphosphate sur la culture de maïs. Cas d'un ferralsol de Lazaina - Antananarivo. Mémoire d'Ingénieur. Spécialisation Agriculture. École Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA), Université d'Antananarivo. 54 p.
  46. **Ratsitosika, O.** 2014. Effets de l'introduction de vers de terre sur la croissance et le rendement du riz et du maïs associé à la dolique sur les Hautes-terres de Madagascar (cas de Lazaina). Mémoire de Fin d'Études en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome, Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département Agriculture. 101pp
  47. **Raunet, M.** 1997- Les Ensembles Morpho-pédologiques de Madagascar, Projet Conservation des sols, Cirad, Madagascar, p 76.
  48. **Razafindrakoto, M.** 2012. Etude des Oligochètes de Madagascar : Taxonomies, écologies et distributions Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, spécialité : Biologie Animale, 151pp
  49. **Richardson, A.E., Hocking P.J., Simpson R.J., George T.S.,** 2009. Plant mechanisms to optimise access to soil phosphorus. CSIRO Publishing. *Crop and Pasture Science*, 60: 124-143.
  50. **Satchell, J.E., Martin K. and Krisharnoorty R.V.** 1984. Stimulation of microbial phosphatase production by earthworm activity. *Soil Biol. & Biochem.* 16: p 195.
  51. **Scheu, S.** 2003. Effects of earthworms on plant growth: patterns and perspectives: The 7th international symposium on earthworm ecology ·Cardiff ·Wales ·2002. *Pedobiologia* 47: 846-856.
  52. **Sharpley, A.N., Syers JK.** 1976. Potential role of earthworm casts for the phosphorus enrichment of run-off waters. *Soil Biol. & Biochem.* 8: 341-346.



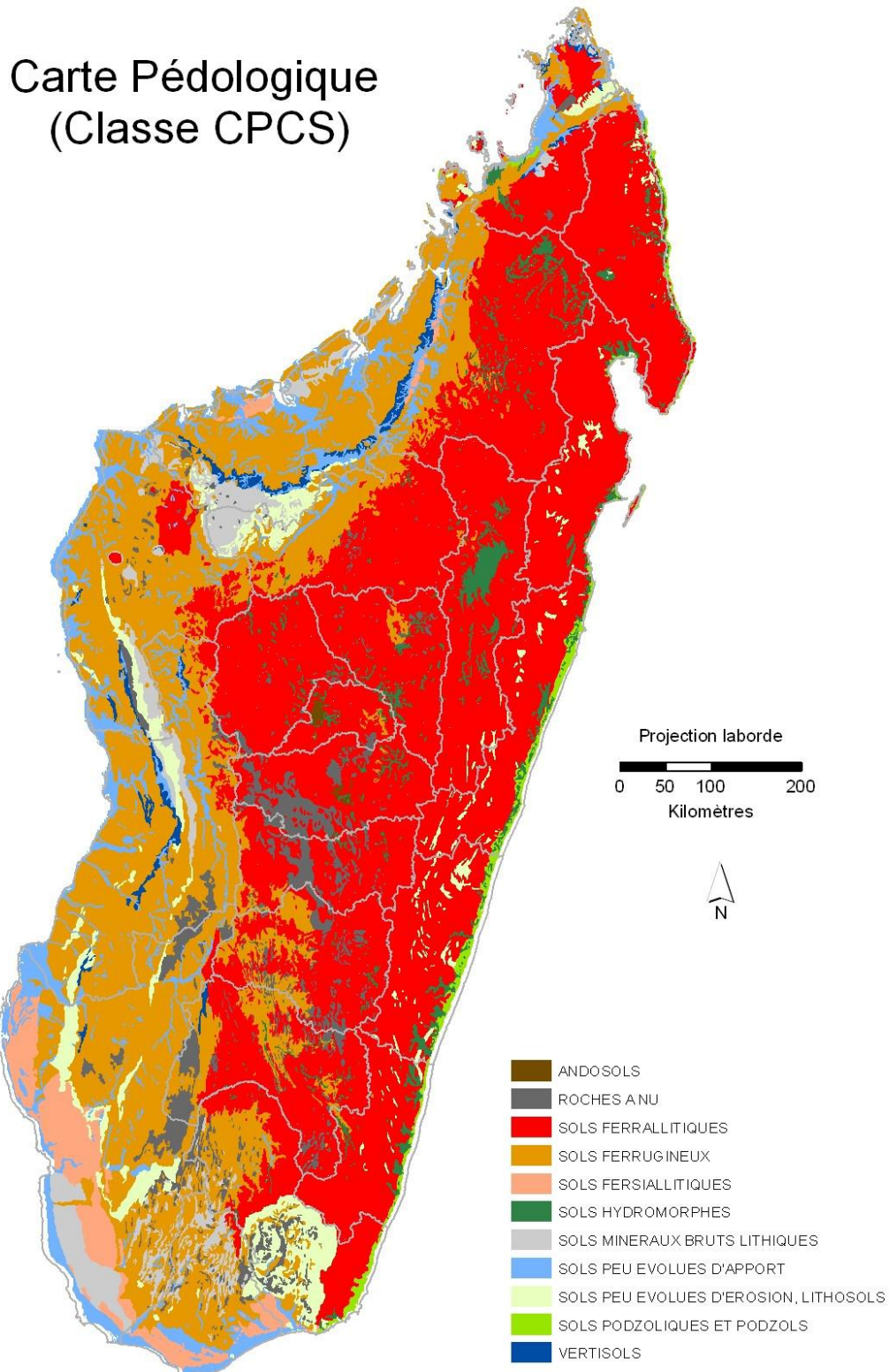
53. **Simard, R.** 1998. Journée du Salon de l'Agriculteur, Bien nourrir le sol c'est mieux gérer le phosphore, Saint-Hyacinthe, Association des fabricants d'engrais du Québec, 13 janvier 1998 p. 4-1 à 4-8
54. **Wenz, M.** 2008. L'extraordinaire pouvoir des vers de terre. BIOFIL. n° 56. 36pp

## WEBOGRAPHIES

- <http://agro-planet.e-monsite.com/medias/files/fiche-de-la-culture-du-riz.pdf> (28/07/16)
- <http://africanrice.org/publications/PLAR/techmanual-fr/reference8.pdf> (28/07/16)
- [http://madagascar.cirad.fr/actualites/nouvelle\\_variete\\_de\\_riz\\_pluvial\\_pour\\_les\\_hautes\\_terres\\_de\\_madagascar](http://madagascar.cirad.fr/actualites/nouvelle_variete_de_riz_pluvial_pour_les_hautes_terres_de_madagascar) (28/08/16)
- [https://agritrop.cirad.fr/553799/1/document\\_553799.pdf](https://agritrop.cirad.fr/553799/1/document_553799.pdf) (28/07/16)
- [http://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture-plantes\\_alimentaires/FICHES\\_PLANTES/riz/Riz%20pluvial%20madagascar.pdf](http://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture-plantes_alimentaires/FICHES_PLANTES/riz/Riz%20pluvial%20madagascar.pdf) (10/08/16)
- <http://www.beep.ird.fr/collect/upb/index/assoc/IDR-2011-KAB-RIZ/IDR-2011-KAB-RIZ.pd> (10/08/16)
- [http://www.academia.edu/11779730/Cr%C3%A9ation\\_vari%C3%A9t%C3%A9\\_tale\\_pour\\_la\\_riziculture\\_pluviale\\_daltitude\\_%C3%A0\\_Madagascar\\_bilan\\_de\\_25\\_ann%C3%A9es\\_de\\_s%C3%A9lection](http://www.academia.edu/11779730/Cr%C3%A9ation_vari%C3%A9t%C3%A9_tale_pour_la_riziculture_pluviale_daltitude_%C3%A0_Madagascar_bilan_de_25_ann%C3%A9es_de_s%C3%A9lection) (10/08/16)

# **ANNEXES**

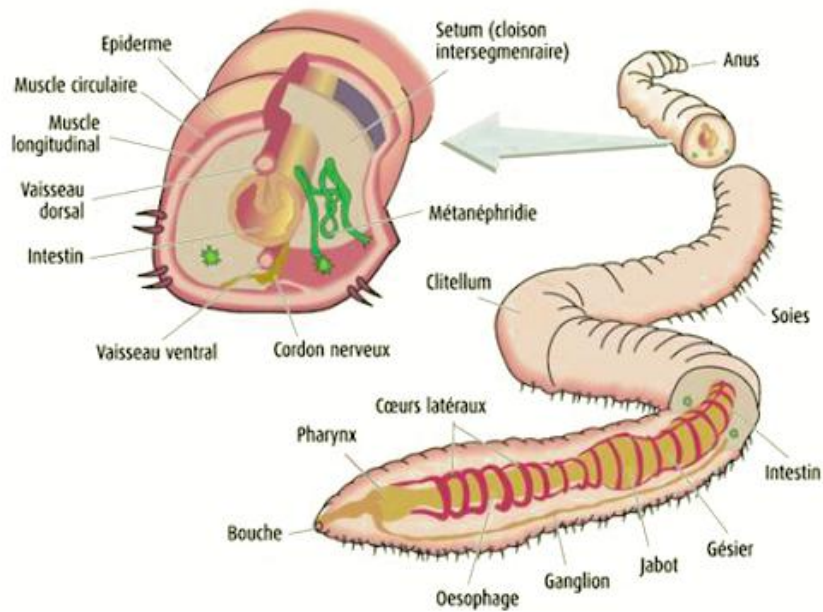
## ANNEXE I. Distribution des différents types de sols à Madagascar



source : Unité Géomorphologique de Madagascar, Delenne et al. ORSTOM, 1981

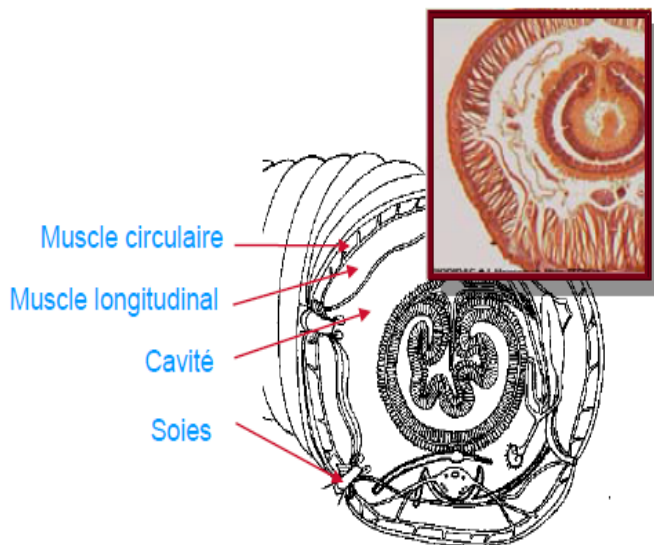
**ANNEXE II. Anatomie générale, schéma de la coupe transversale et organisation du système nerveux des vers de terre**

**Anatomie d'un ver de terre**

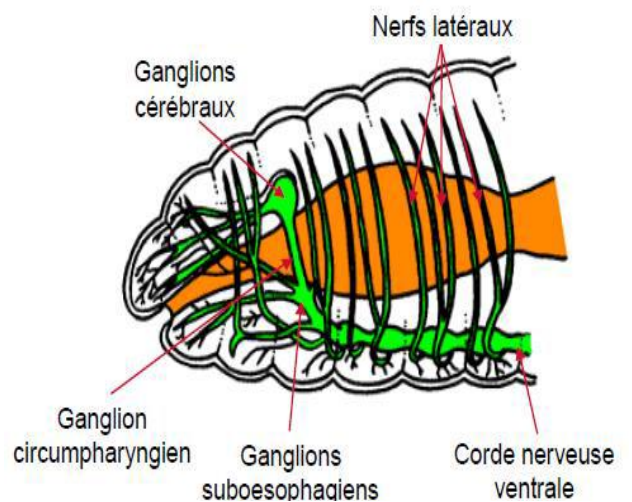


Source : Jean-François Buisson

**Schéma de la coupe transversale d'un ver de terre**

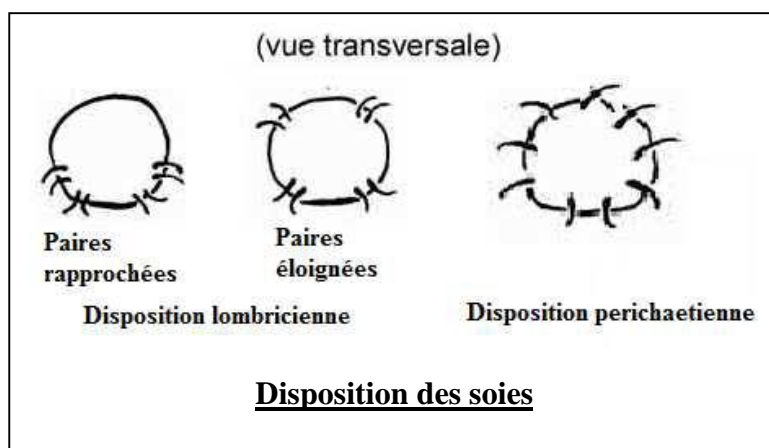
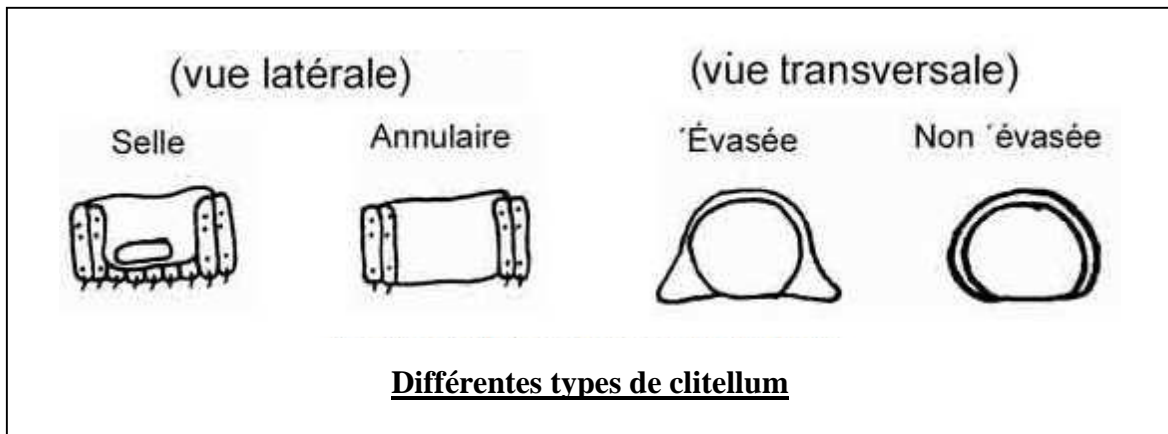
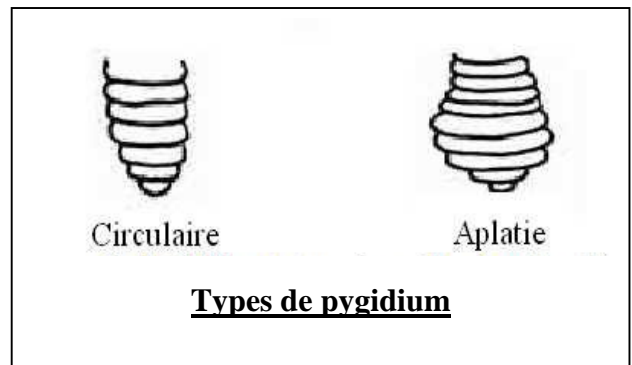
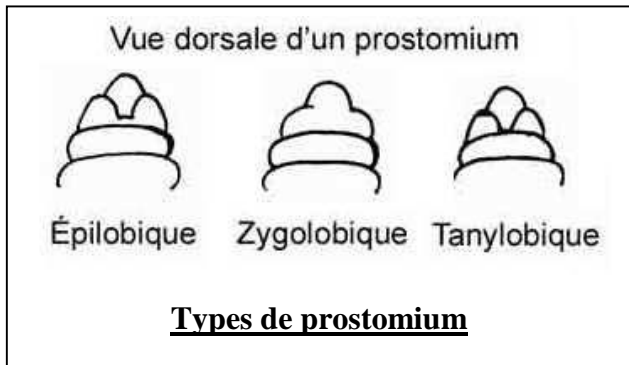


**Système nerveux des vers de terre**



Source : MORIN et HOUSEMAN, 2002

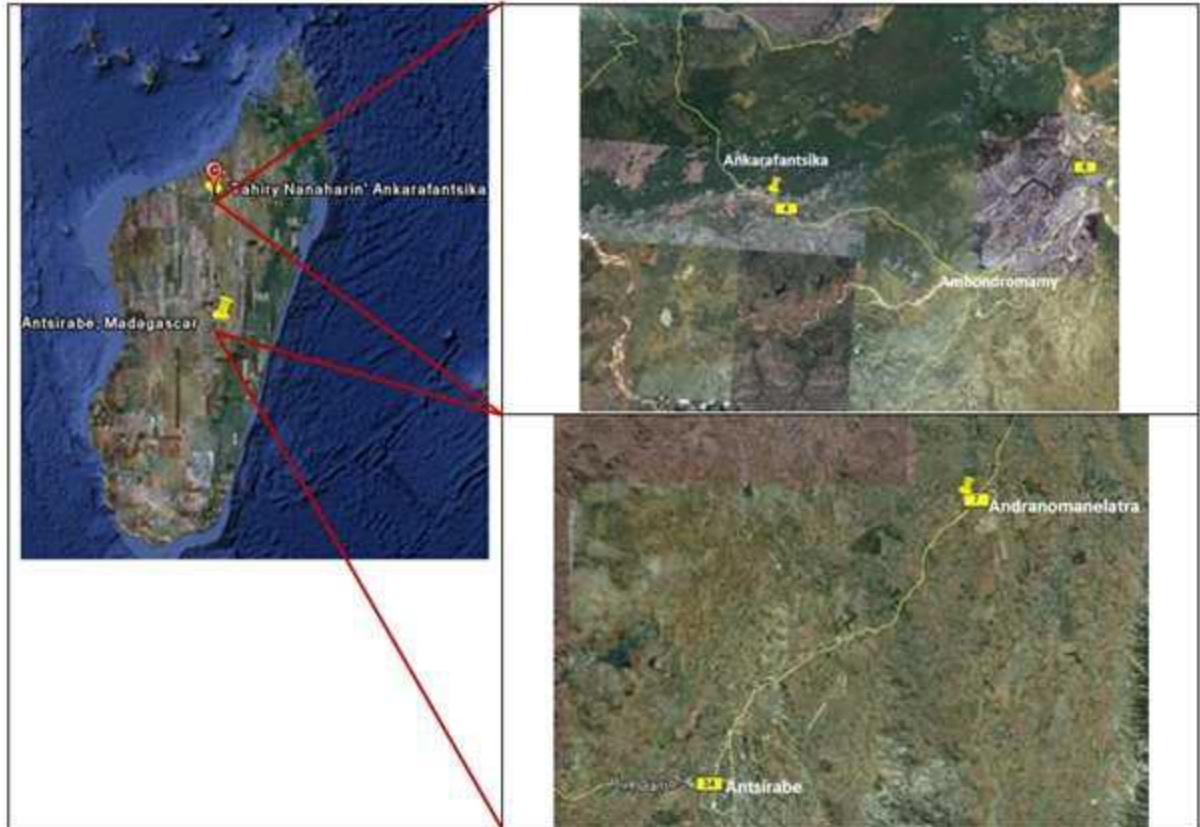
**ANNEXE III. Différents types de prostomium, de pygidium et de clitellum et disposition des soies chez les vers de terre**



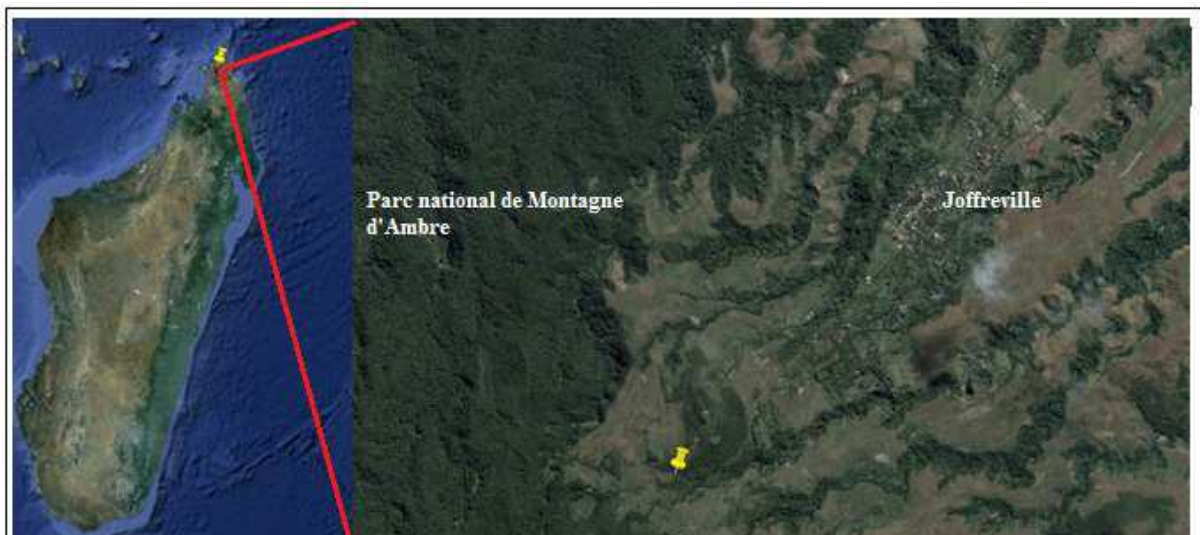


## **ANNEXE IV. Carte de distribution des cinq espèces de vers de terre utilisées**

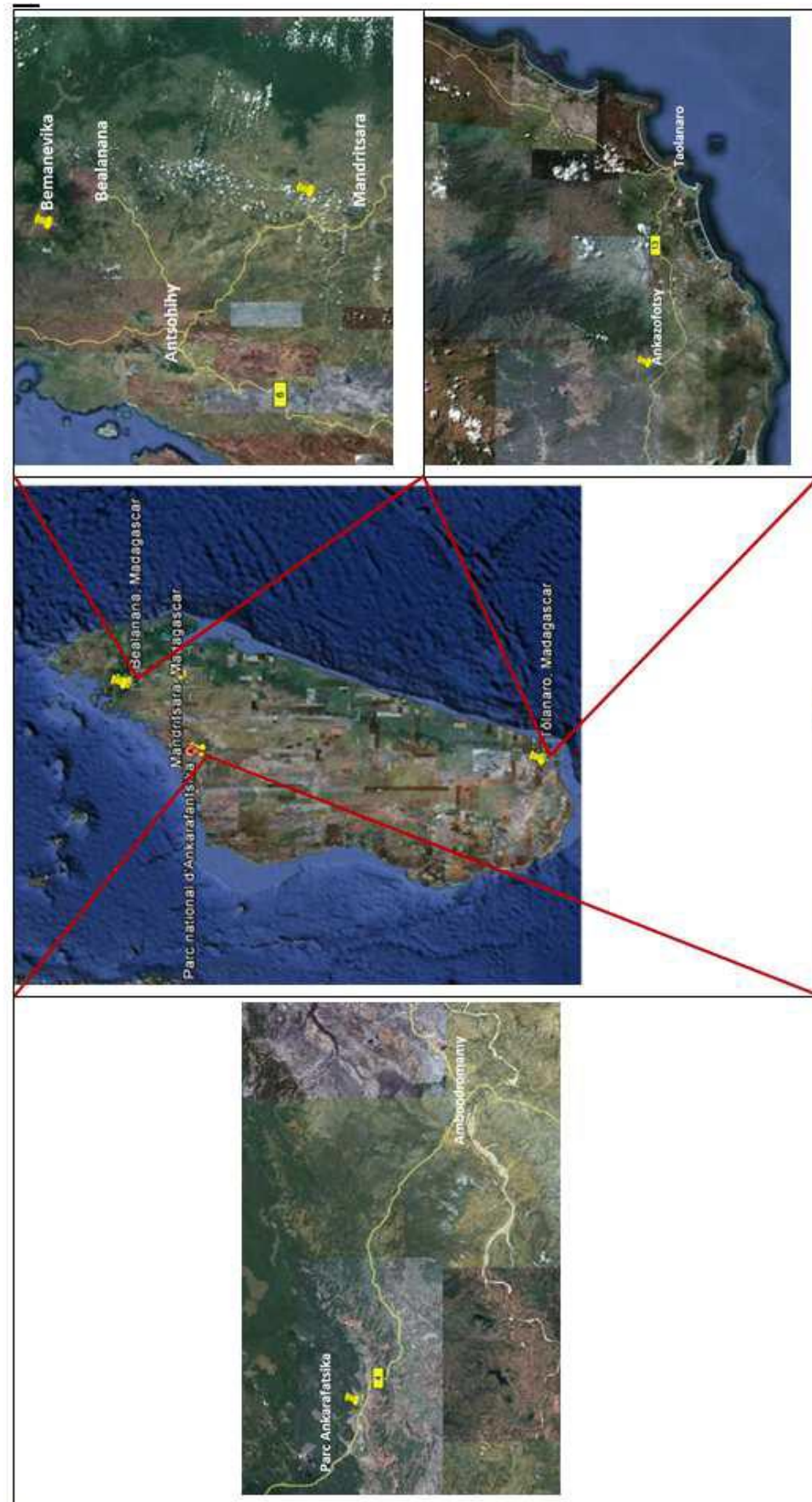
**Annexe 4.1.** Carte de distribution de *D. saliens*



**Annexe 4.2.** Carte de distribution de l'*A. minimus*

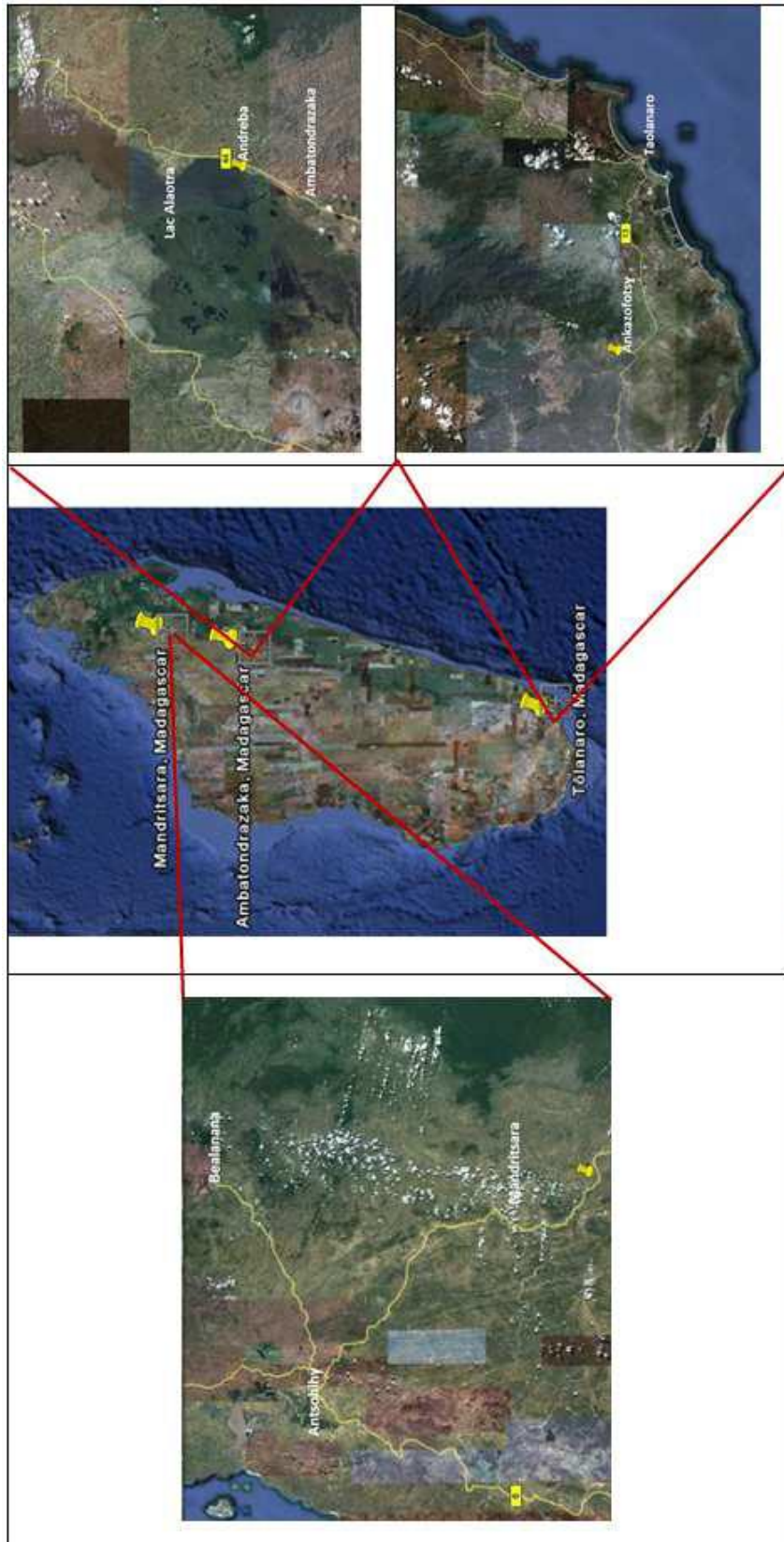


Annexe 4.3. Carte de distribution d'*A. corticis*



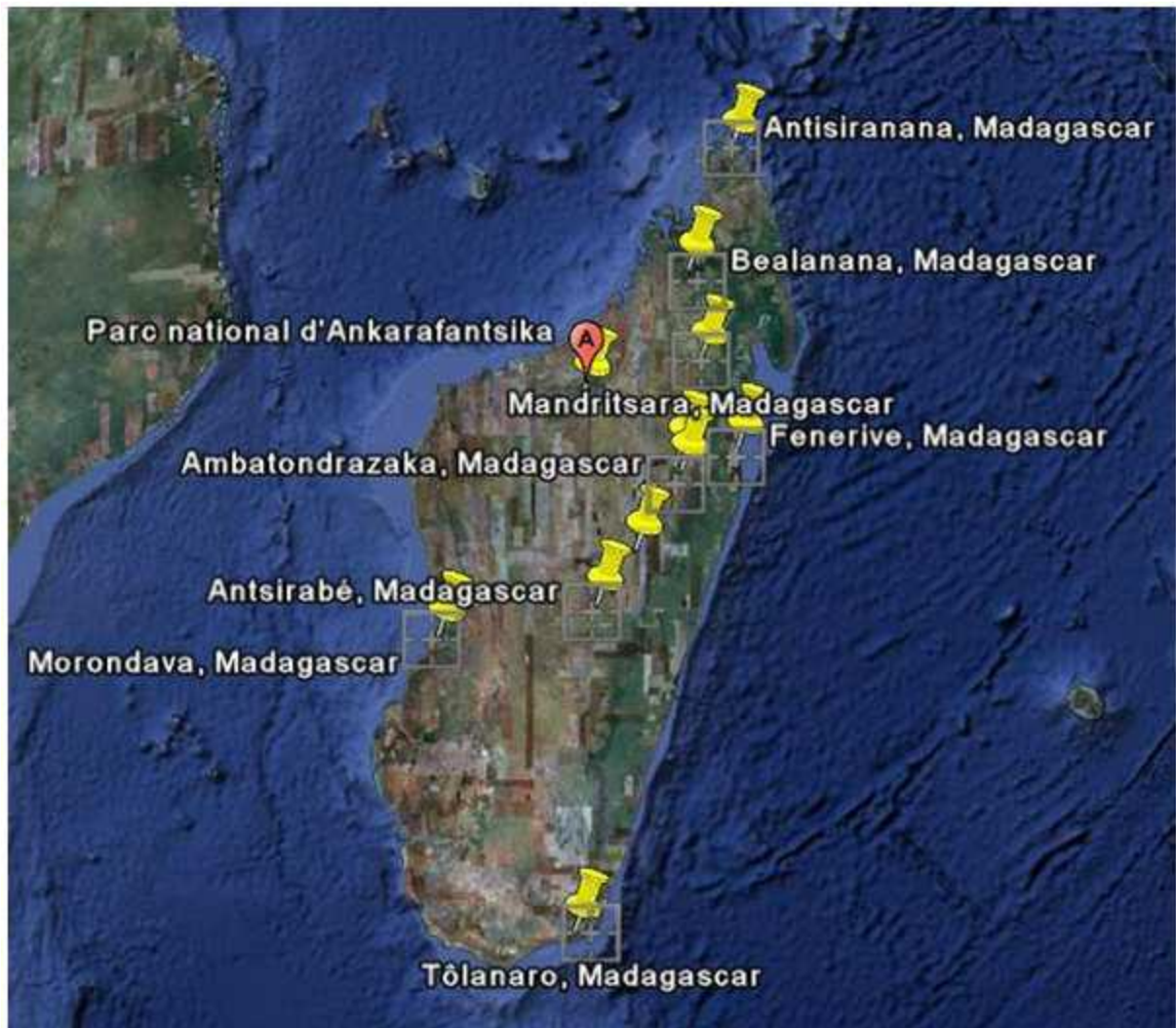


Annexe 4.4. Carte de distribution d'*E. eugeniae*





**Annexe 4.5.** Carte de distribution de *P. corethrurus*



Source : RAZAFINDRAKOTO, 2012

**ANNEXE V. Classification systématique des quatre plantes utilisées comme source des résidus végétaux**

Règne : PLANTE	Règne : PLANTE
Division : MAGNOLIOPHYTA	Division : MAGNOLIOPHYTA
Classe : DICOTYLEDONES	Classe : LILIOPSIDAE
Ordre : FABALES	Ordre : CYPERALES
Famille : FABACEAE	Famille : POACEAE
Genre : <i>Desmodium</i>	Genre : <i>Eleusine</i>
Espèce : <i>Desmodium uncinatum</i>	Espèce : <i>Eleusine coracana</i>
Nom vernaculaire : <i>Desmodium, mandalo dia miraikitra</i>	Nom vernaculaire : éléusine, petit mil, finger millet
Règne : PLANTE	Règne : PLANTE
Division : MAGNOLIOPHYTA	Division : MAGNOLIOPHYTA
Classe : LILIOPSIDAE	Classe : DICOTYLEDONES
Ordre : PORALES	Ordre : FABALES
Famille : POACEAE	Famille : FABACEAE
Genre : <i>Zea</i>	Genre : <i>Stylosanthes</i>
Espèce : <i>Zea mays</i>	Espèce : <i>Stylosanthes guianensis</i>
Nom vernaculaire : maïs, <i>katsaka</i>	Nom vernaculaire : <i>Stylosanthes</i> , stylo

## **ANNEXE VI. Mode opératoire de la détermination de la teneur en humidité du sol (Humidité à 105°C)**

Des capsules en aluminium supportant une température de 105°C ont été utilisées. Elles ont été pesées à l'aide d'une balance analytique (masse vide noté « Tare »). Les échantillons de sol ont été bien homogénéisés avant d'en peser 10g dans les capsules (Tare + masse sèche à l'air : T+MH). Ensuite, les capsules ont été mises en étuve à 105±5°C pendant 48heures pour que les échantillons de sol qu'ils contiennent se déshydratent complètement. A la sortie de l'étuve, elles ont été laissées se refroidir dans un dessiccateur pendant quelques minutes puis pesées (Tare + masse sèche à 105°C : T+MS). La teneur en humidité des échantillons est donnée par la formule suivante :

$$\text{Hum (\%)} = \frac{(T+MH-T+MS)}{(T+MH-Tare)} \times 100$$



Photo d'une étuve (Auteur, 2016)



Mise en dessiccateur des échantillons  
(Auteur, 2016)

## **ANNEXE VII. Procédure de dosage du phosphore disponible (P résine)**

### **1) Régénération de résine**

Avant utilisation, les bandes de résine usagées ont subi 4 bains successifs d'une heure chacun sous agitation (sur l'agitateur rotatif) avec différentes solutions : un premier bain avec une solution d'HCl à 0,5M et 3 bains successifs avec une solution de NaHCO<sub>3</sub> à 0,5M. Chacun des

3 premiers bains ont été suivi par un rinçage des bandes de résine avec de l'eau distillée tandis qu'après le dernier bain, il a fallu un rinçage trois fois : la résine est régénérée.

## 2) Extraction du P disponible

### ➤ Jour 1 :

- Des échantillons de sols frais équivalents à 2g de sol sec ont été pesés dans des flacons en plastiques jetables étiquetés;
- Après pesage, 30ml d'eau ultra-pure ont été ajoutées dans chaque flacon ;
- Une bande de résine par flacon a été introduite ;
- Les flacons ont été bien enfermés et agités sur l'agitateur rotatif pendant 16 heures.

### ➤ Jour 2 :

- De nouveaux flacons plastiques jetables étiquetés (au même nombre que ceux utilisés au jour 1) contenant chacun 30ml de solution mixte de HCl/NaCl à 0,1M ont été préparés ;
- Les bandes de résine ont été ôtées des flacons du jour 1 avec une pince en plastique, rincées en utilisant une pissette d'eau, mises dans les flacons avec HCl/NaCl à 0,1M et laissées dégazées pendant quelques minutes avant d'enfermer les flacons ;
- Les flacons ont été agités sur l'agitateur rotatif pendant 2 heures ;

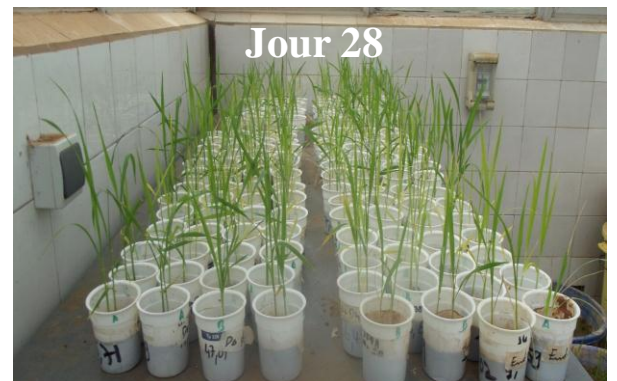
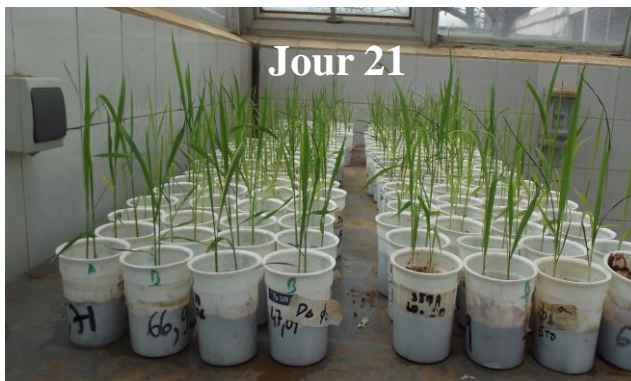
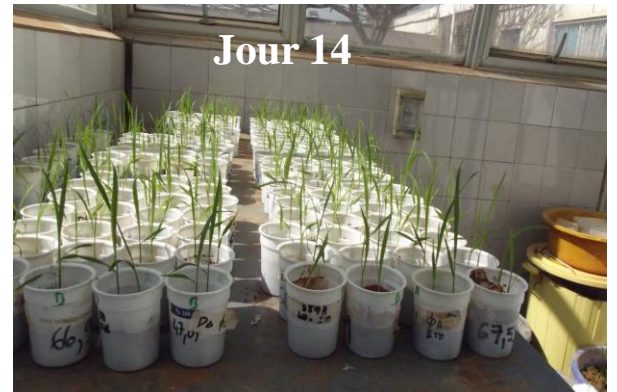
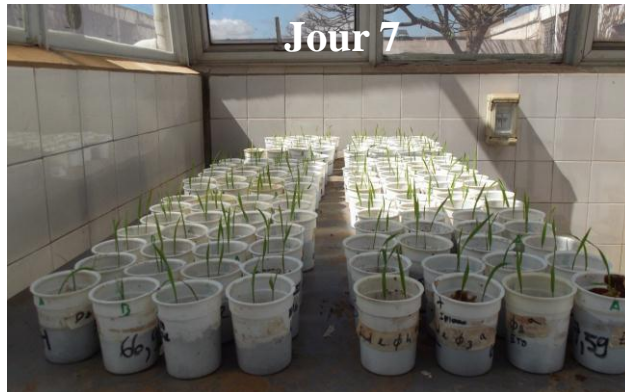
## 3) Dosage du P disponible

La solution mixte de HCl/NaCl à 0,1M a pour rôle de résorber le P disponible adsorbé par les résines. Ce P contenu dans HCl/NaCl à 0,1M a été dosé par colorimétrie au vert de malachite :

- 1ml de HCl/NaCl à 0,1M a été mis dans des cuves spectrophotométriques ;
- 0,2ml d'alcool polyvinilique a été versé, attendre 10 minutes pour verser par la suite 0,2ml de vert de malachite ;
- Les cuves ont été bien enfermées par du parafilm et agitées manuellement ;
- Au bout de 2 heures, la lecture de la densité optique (DO) de chaque solution contenue dans les cuves a été faite par spectrophotométrie à 610 nm.



**ANNEXE VIII. Quelques photos de l'évolution de la croissance du riz  
durant les quatre semaines d'expérimentation**



(Source : Auteur, 2016)

**ANNEXE IX. Résultats des analyses statistiques**

**Annexe 9-1 :** ANOVA de la teneur en phosphore disponible du sol en présence des vers de terre

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	15,303	3,061	8,301	0,000
Erreur	18	6,637	0,369		
Total corrigé	23	21,940			

**Annexe 9-2 :** ANOVA de la teneur en phosphore disponible du sol en présence des vers de terre et des matières organiques

✓ *Dichogaster saliens*-matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
					<
Modèle	6	395,438	65,906	80,003	0,0001
Erreur	21	17,300	0,824		
Total corrigé	27	412,738			

✓ *Amyntas minimus*-matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
					<
Modèle	6	341,529	56,921	456,495	0,0001
Erreur	21	2,619	0,125		
Total corrigé	27	344,147			

✓ *Amyntas corticis*-matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
					<
Modèle	6	423,680	70,613	102,311	0,0001
Erreur	21	14,494	0,690		
Total corrigé	27	438,173			

✓ *Pontoscolex corethrurus*-matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	277,273	46,212	115,048	< 0,0001
Erreur	21	8,435	0,402		
Total corrigé	27	285,709			

✓ *Eudrilus eugeniae*-matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	300,681	50,113	487,693	< 0,0001
Erreur	21	2,158	0,103		
Total corrigé	27	302,839			

**Annexe 9-3 : ANOVA de la hauteur du riz en présence des vers de terre**

✓ Jour 7

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	6,130	1,226	1,480	0,245
Erreur	18	14,910	0,828		
Total corrigé	23	21,040			

✓ Jour 14

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	37,730	7,546	3,664	0,018
Erreur	18	37,075	2,060		
Total corrigé	23	74,805			

✓ Jour 21

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	34,462	6,892	3,089	0,035
Erreur	18	40,168	2,232		
Total corrigé	23	74,630			

## ✓ Jour 28

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	37,502	7,500	5,167	0,004
Erreur	18	26,128	1,452		
Total corrigé	23	63,630			

**Annexe 9-4 :** ANOVA de la hauteur du riz en présence de *Dichogaster saliens* et des matières organiques

## ✓ Jour 7

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	19,219	3,203	3,376	0,017
Erreur	21	19,925	0,949		
Total corrigé	27	39,144			

## ✓ Jour 14

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	100,874	16,812	17,958	< 0,0001
Erreur	21	19,660	0,936		
Total corrigé	27	120,534			

## ✓ Jour 21

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	130,134	21,689	11,355	< 0,0001
Erreur	21	40,112	1,910		
Total corrigé	27	170,247			

## ✓ Jour 28



Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	273,864	45,644	27,808	< 0,0001
Erreur	21	34,470	1,641		
Total corrigé	27	308,334			

**Annexe 9-5** : ANOVA de la hauteur du riz en présence d'*Amyntas minimus* et des matières organiques

✓ Jour 7

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	20,149	3,358	8,885	< 0,0001
Erreur	21	7,938	0,378		
Total corrigé	27	28,087			

✓ Jour 14

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	107,107	17,851	19,525	< 0,0001
Erreur	21	19,200	0,914		
Total corrigé	27	126,307			

✓ Jour 21

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	45,725	7,621	8,629	< 0,0001
Erreur	21	18,548	0,883		
Total corrigé	27	64,273			

✓ Jour 28

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	203,084	33,847	29,227	< 0,0001
Erreur	21	24,320	1,158		
Total corrigé	27	227,404			

**Annexe 9-6 :** ANOVA de la hauteur du riz en présence d'*Amyntas corticis* et des matières organiques

✓ Jour 7

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,924	0,154	0,242	0,957
Erreur	21	13,345	0,635		
Total corrigé	27	14,269			

✓ Jour 14

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	69,299	11,550	9,451	< 0,0001
Erreur	21	25,662	1,222		
Total corrigé	27	94,961			

✓ Jour 21

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	90,904	15,151	13,868	< 0,0001
Erreur	21	22,943	1,093		
Total corrigé	27	113,847			

✓ Jour 28

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	253,534	42,256	54,937	< 0,0001
Erreur	21	16,153	0,769		
Total corrigé	27	269,687			

**Annexe 9-8 :** ANOVA de la hauteur du riz en présence de *Pontoscolex corethrurus* et des matières organiques

✓ Jour 7

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	18,364	3,061	3,932	0,009
Erreur	21	16,345	0,778		
Total corrigé	27	34,709			

✓ Jour 14

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	136,734	22,789	24,627	< 0,0001
Erreur	21	19,433	0,925		
Total corrigé	27	156,167			

✓ Jour 21

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	103,732	17,289	27,453	< 0,0001
Erreur	21	13,225	0,630		
Total corrigé	27	116,957			

✓ Jour 28

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	234,197	39,033	40,836	< 0,0001
Erreur	21	20,073	0,956		
Total corrigé	27	254,270			

**Annexe 9-10 :** ANOVA de la hauteur du riz en présence d'*Eudrilus euganiae* et des matières organiques

✓ Jour 7

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	4,924	0,821	0,921	0,500
Erreur	21	18,705	0,891		
Total corrigé	27	23,629			

✓ Jour 14

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	140,182	23,364	9,925	< 0,0001
Erreur	21	49,435	2,354		
Total corrigé	27	189,617			

✓ Jour 21

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	112,839	18,806	8,803	< 0,0001
Erreur	21	44,863	2,136		
Total corrigé	27	157,701			

✓ Jour 28

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	320,284	53,381	29,313	< 0,0001
Erreur	21	38,243	1,821		
Total corrigé	27	358,527			

**Annexe 9-11 :** ANOVA de la biomasse aérienne du riz en présence des vers de terre

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0,009	0,002	10,948	< 0,0001
Erreur	18	0,003	0,000		
Total corrigé	23	0,011			

**Annexe 9-12 :** ANOVA de la biomasse aérienne du riz en présence de *Dichogaster saliens* et des matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,068	0,011	76,746	< 0,0001
Erreur	21	0,003	0,000		
Total corrigé	27	0,071			

**Annexe 9-13 :** ANOVA de la biomasse aérienne du riz en présence d'*Amyntas minimus* et des matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,046	0,008	59,825	< 0,0001
Erreur	21	0,003	0,000		
Total corrigé	27	0,049			

**Annexe 9-14 :** ANOVA de la biomasse aérienne du riz en présence d'*Amyntas corticis* et des matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,066	0,011	104,966	< 0,0001
Erreur	21	0,002	0,000		
Total corrigé	27	0,068			

**Annexe 9-15 :** ANOVA de la biomasse aérienne du riz en présence de *Pontoscolex corethrurus* et des matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,063	0,011	91,340	< 0,0001
Erreur	21	0,002	0,000		
Total corrigé	27	0,066			

**Annexe 9-16 :** ANOVA de la biomasse aérienne d'*Eudrilus eugeniae* et des matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,096	0,016	107,399	< 0,0001
Erreur	21	0,003	0,000		
Total corrigé	27	0,099			

**Annexe 9-17 :** ANOVA de la biomasse racinaire du riz en présence des vers de terre

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	0,007	0,001	13,511	< 0,0001
Erreur	18	0,002	0,000		
Total corrigé	23	0,009			

**Annexe 9-18 :** ANOVA de la biomasse racinaire du riz en présence de *Dichogaster saliens* et des matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,010	0,002	15,865	< 0,0001
Erreur	21	0,002	0,000		
Total corrigé	27	0,013			

**Annexe 9-19 :** ANOVA de la biomasse racinaire du riz en présence d'*Amyntas minimus* et des matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,007	0,001	18,605	< 0,0001
Erreur	21	0,001	0,000		
Total corrigé	27	0,008			

**Annexe 9-20 :** ANOVA de la biomasse racinaire du riz en présence d'*Amyntas corticis* et des matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,016	0,003	24,772	< 0,0001
Erreur	21	0,002	0,000		
Total corrigé	27	0,018			

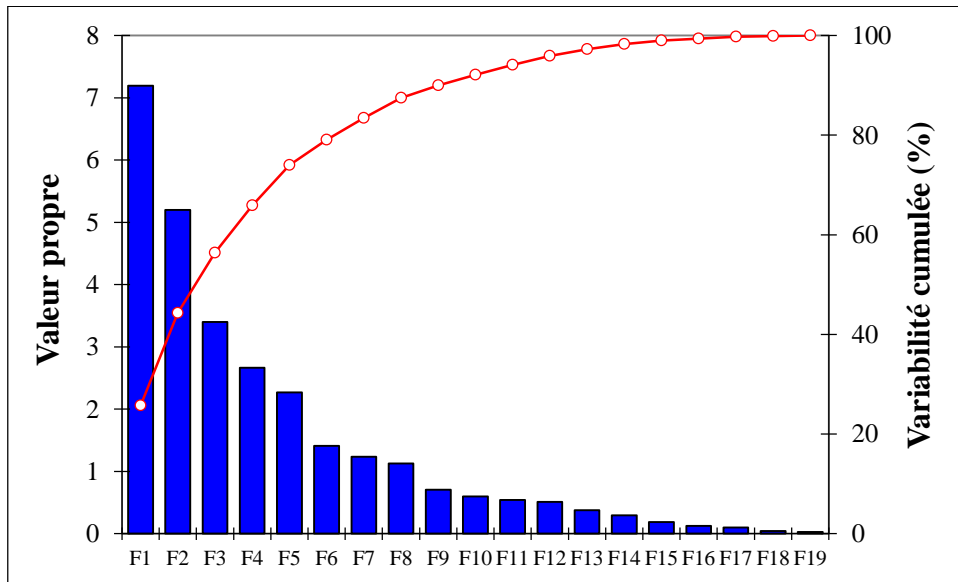
**Annexe 9-21 :** ANOVA de la biomasse racinaire du riz en présence de *Pontoscolex corethrurus* et des matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,009	0,001	25,350	< 0,0001
Erreur	21	0,001	0,000		
Total corrigé	27	0,010			

**Annexe 9-22 :** ANOVA de la biomasse racinaire du riz en présence d'*Eudrilus eugeniae* et des matières organiques

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,028	0,005	38,124	< 0,0001
Erreur	21	0,003	0,000		
Total corrigé	27	0,030			

**Annexe 9-23 :** Analyse en Composantes Principales : contributions des axes (valeurs propres) en % des espèces de vers de terre





Auteur : RAHARIJAONA Sariaka Navalona Fabienne

Adresse : Lot III H4 Antohomadinika-Sud

Contact : 033 83 325 93/ 032 56 355 84

E-mails : [sasaharinaival@yahoo.fr](mailto:sasaharinaival@yahoo.fr) / [raharinaivalona.sariaka@gmail.com](mailto:raharinaivalona.sariaka@gmail.com)



**EFFETS DE L'INTERACTION ENTRE VERS DE TERRE ET MATIERES  
ORGANIQUES SUR LA DISPONIBILITE DU PHOSPHORE ET LA  
PRODUCTION DE BIOMASSE DU RIZ, CAS DU SOL FERRALLITIQUE DE  
LAZAINA-ANTANANARIVO**

Directeur de mémoire : Docteur RAZAFIMAHATRATRA Dieudonné

Nombre de pages : 73

Nombre de figures : 35

Nombre de tableaux : 03

**RESUME**

La faible productivité rizicole des Hautes-terres malagasy nécessite la mise en valeur des sols ferrallitiques des versants de collines ou *tanety*. Ces sols sont pauvres en éléments nutritifs, notamment en phosphore. La disponibilité du P pour les plantes est fortement liée à la richesse du sol en matière organique et en vers de terre. Cette étude a pour objectif de déterminer le meilleur couplage entre quelle espèce de vers de terre et quelle type de matière organique favorisant une croissance élevée et des productions importantes des biomasses des plantes à travers l'amélioration de la disponibilité du P du sol. Des élevages de cinq espèces de vers de terre (*Dichogaster saliens*, *Amyntas minimus*, *Amyntas corticis*, *Pontoscolex corethrurus* et *Eudrilus eugeniae*) en présence de différentes qualités de matière organique (fumier, compost, résidus d'éleusine, de maïs, de *Stylosanthes* et de *Desmodium*) dans des sols prélevés sur *tanety* à Lazaina-Antananarivo ont été réalisés. Au terme de l'expérimentation, la teneur en P disponible des sols a été mesurée. Ensuite, les effets des couplages ont été testés sur la croissance du riz (variété pluviale B22). Au bout de 28 jours, leurs biomasses aérienne et racinaire ont été mesurées. En présence du compost, les vers ont augmenté de 54,68 à 94,46% la teneur en P disponible du sol contre 70,64 à 114,91% en présence du fumier. Ces traitements ont élevé de 5,19 à 16,83% la hauteur finale du riz et de 96,25 à 153,75% la production de la biomasse aérienne. Les apports des résidus végétaux n'ont pas montré des meilleurs résultats. Cependant, pour tous les variables étudiés, des valeurs intermédiaires non négligeables ont été obtenues avec la présence des résidus de *Desmodium*. Ainsi, quelle que soit l'espèce de vers de terre, leurs couplages avec le compost, le fumier et les résidus de *Desmodium* sont très bénéfiques pour la culture.

**Mots clés** : vers de terre, *Pontoscolex corethrurus*, matière organique, phosphore, riz, Madagascar.