



HAL
open science

Impacts des facteurs pédologiques et agricoles, et de leurs interactions sur les communautés lombriciennes en grandes-cultures à l'échelle nationale

Geoffrey Mesbahi

► **To cite this version:**

Geoffrey Mesbahi. Impacts des facteurs pédologiques et agricoles, et de leurs interactions sur les communautés lombriciennes en grandes-cultures à l'échelle nationale. Sciences du Vivant [q-bio]. 2014. hal-02801384

HAL Id: hal-02801384

<https://hal.inrae.fr/hal-02801384>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Geoffrey MESBAHI

Promotion 153

Spécialité Agriculture - ASET

Mémoire de fin d'études

Impacts des facteurs pédologiques et agricoles, et de leurs interactions sur les communautés lombriciennes en grandes-cultures à l'échelle nationale

Maitres de stage Daniel Cluzeau
Kevin Hoeffner

Tuteur David Grandgirard

Université de Rennes 1
UMR CNRS 6553 EcoBio

Station Biologique
35380 Paimpont

Institut Polytechnique
LaSalle Beauvais

Rue Pierre Wagnet
60000 Beauvais



2014

Résumé

Le CASDAR AgrInnov est un programme de recherche participatif visant à la mise en place de bioindicateurs de la qualité des sols, utilisables sur les sols agricoles du territoire français. Les vers de terres ayant été retenus, leur abondance, biomasse et diversité ont alors été analysées en fonction de paramètres pédologiques et agricoles.

La texture et de la structure du sol ont été retenues en variables pédologiques. Si la texture a un impact statistiquement observable, avec un effet positif des sols argileux limoneux sur les communautés lombriciennes, les résultats liés à la structure sont plus nuancés.

Parmi les variables agricoles, le travail et la couverture du sol ont été gardés. Le travail superficiel du sol est généralement plus favorable aux communautés lombriciennes qu'un labour, sauf pour l'abondance en l'espèce *Allolobophora chlorotica chlorotica*, plus élevée en cas de labour. Cependant, l'analyse de l'enherbement, par la présence de culture intermédiaire et de prairie, ne montre pas de résultats interprétables.

Enfin, les interactions entre les variables montrent que la texture du sol est la variable ayant l'impact le plus fort sur les communautés car elles sont systématiquement favorisées par une texture du sol argileux limoneux.

Abstract

The AgrInnov CASDAR is a participatory research program, whose purpose is to develop soil quality bioindicators, usable on French arable lands. Earthworms have been selected, so their abundance, biomass and diversity were analyzed, in interaction with pedological and agricultural parameters.

We kept soil texture and structure as natural properties. Soil texture has a statistical effect on earthworms' communities, with clayey/loamy soils having a positive impact; but results concerning soil structure have to be nuanced.

Among the agricultural properties, tillage and soil cover were selected. Superficial tillage is generally beneficial to earthworms' communities, except for the abundance in *Allolobophora Chlorotica Chlorotica*, which is higher with a deep tillage. However, plant cover analyses (with the two properties: cover crop and temporary meadow presence), do not show any interpretable results.

At least, interactions between the properties show that soil texture have the most important impact of communities. Indeed, these interactions are systematically favored by the clayey/loamy soil texture.

Mots clefs : vers de terre, bioindicateur, travail du sol, couverture du sol, grandes cultures

Key words: earthworms, bioindicators, tillage, plant cover, crops

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier **Daniel Cluzeau**, pour m'avoir accepté à la Station Biologique de Paimpont, fait confiance dès le premier contact, et enfin pour sa relecture du mémoire.

De même, merci à **Kevin Hoeffner** pour m'avoir encadré tout au long de ce stage et particulièrement lors de la rédaction du mémoire. Mais aussi pour sa bonne humeur et ses reprises musicales : je serais présent pour l'avant-première de la chorale !

Dans le désordre, je souhaite exprimer mes pensées toutes particulières pour :

- Les membres de la désormais très célèbre *Lumbricus Master Company Unlimited* (stagiaires, salariés et anciens), qui ont réussi tous ensemble à faire passer ces six mois bien trop rapidement,
- **Hoël** (H² jr) pour le partage de ses connaissances dans de multiples domaines et son accueil toujours aussi chaleureux,
- Daniel Cylly (plus connu sous le pseudonyme « **DCy** »), **Julien et Pascaline** pour leur précieuse aide en statistiques, et le temps passé à me faire découvrir R,
- Les membres de la « **petite cuisine** » pour m'avoir si régulièrement accueillie, malgré mes excuses plus ou moins valables.

Je salue bien évidemment **l'ensemble des personnes travaillant à la station**, qui partagent toutes leur métier et leurs expériences avec passion, nous faisant voyager à travers le globe et les disciplines scientifiques : certaines nous feraient presque quitter EcoBio pour EthoS !

Enfin, une dernière pensée est adressée à **toutes les personnes qui m'ont aidé**, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet : famille et amis, ainsi que les simples rencontres (agriculteurs, techniciens et chercheurs de l'INRA, « *stagiaires vers de terre* » de l'extérieur, etc...), avec qui mes rapports furent aussi divers qu'enrichissants.

*« J'ai sorti la grand-voile
Et j'ai glissé sous le vent... »*

Table des matières

1 – Introduction.....	8
1.1 – Evolution agriculture	8
1.2 – Biodiversité et agriculture	8
1.2.1 – Evolution de la biodiversité	8
1.2.2 – Service écosystémiques.....	8
1.2.3 – Biodiversité et agriculture	9
1.3 – Les vers de terre	10
1.3.1 – Ingénieurs de l'écosystème sol.....	10
1.3.2 – Biologie et Ecologie.....	10
1.4 – Présentation du CASDAR AgrInnov.....	12
1.5 – Lombriciens et agriculture.....	12
1.5.1 – Interactions entre vers de terre et sol.....	12
1.5.2 – Impact du travail du sol sur les vers de terre	14
1.5.3 – Impact de la couverture du sol sur les vers de terre	14
1.5.4 – Impact de la fertilisation sur les vers de terre.....	14
1.5.5 – Impact des produits phytosanitaires sur vers de terre	14
1.6 – Problématique	15
2 – Matériels et Méthodes	16
2.1 – Sélection des exploitations agricoles.....	16
2.2 – Prélèvement des échantillons	17
2.3 – Détermination en laboratoire	18
2.4 – Enquêtes.....	18
2.5 – Traitements de données.....	19
2.5.1 – Analyse exploratrice	19
2.5.2 – Analyse des variables explicatives.....	20
3 – Résultats	22
3.1 – Analyse exploratrice du jeu de données	22
3.1.1 – Abondance taxonomique	22
3.1.2 – Abondance taxonomique et stade	23
3.1.3 – Pratiques agricoles	23

3.2 – Analyse approfondie des résultats	23
3.2.1 – Abondance et de la richesse taxonomique	23
3.2.2 – Abondance et de la biomasse.....	24
3.2.3 – Observation des indices de diversité de Shannon et Simpson.....	25
3.3 – Influence des variables explicatives sur les communautés lombriciennes	25
3.3.1 - Paramètres mésologiques	25
3.3.2 - Paramètres liés à la gestion des cultures	26
3.3.3 – Etude des interactions entre les paramètres et les lombriciens.....	27
4 – Discussion générale	29
4.1 – Abondance moyenne par région	30
4.2. – Biomasse moyenne par région	30
4.3 –Indices de diversité.....	31
4.4 – Paramètres mésologiques	31
4.4.1 – La texture.....	31
4.4.2 – La structure.....	31
4.5 - Les paramètres agricoles.....	32
4.5.1 - Le travail du sol.....	32
4.5.2 - Présence d’une culture intermédiaire.....	32
4.5.3 – Présence d’une prairie.....	33
4.6 – Impact des interactions sur les lombriciens	34
4.6.1 - Interaction entre Texture et Structure.....	34
4.6.2 - Interaction entre Texture et Travail du sol	35
4.6.3 – Interaction entre Texture et Prairie.....	35
Conclusion	36
Bibliographie.....	38
Annexes	42
Annexe A: Triangle de texture GEPPA	42
Annexe B : Résultats de l’enquête.....	43
Annexe C : Graphique des variables de l’ACP sur le jeu de données complet.....	44
Annexe D : Graphique des variables de l’ACP des espèces sélectionnées.....	45
Annexe E : Résultat de l’ACM sur les pratiques agricoles	46
Annexe F : Indices de Shannon et Simpson, et test de Kruskal	47
Annexe G : Résultats des ANOVAs	48

Table des figures

<i>Figure 1 Carte des prélèvements AgrInnov</i>	<i>16</i>
<i>Figure 2 Résultat de l'ACP sur l'abondance de chaque groupe fonctionnel, sur la biomasse totale et la richesse taxonomique, et affichage des régions</i>	<i>22</i>
<i>Figure 3 Abondance moyenne de vers de terre par région, et richesse taxonomique moyenne.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 4 Biomasse moyenne par région et abondance/biomasse</i>	<i>25</i>

Table des tableaux

<i>Tableau 1 Groupes fonctionnels (d'après JEGOU et al. 1998 et CLUZEAU et al. 2003) _____</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 2 Distribution des prélèvements en fonction du croisement entre Texture et Structure _____</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 3 Distribution des prélèvements en fonction du croisement entre Texture et Travail du sol _____</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 4 Distribution des prélèvements en fonction du croisement entre Texture et Prairie _____</i>	<i>21</i>

Liste des abréviations, symboles et unités

ACCX : *Allolobophora chlorotica chlorotica* (espèce de lombricien endogé)

Al : Argile limoneuse

ATN : Anécique Tête Noire

ATR : Anécique Tête Rouge

CA : Champagne Ardenne

CASDAR : Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural

END: Endogés

EPI: Epigés

ind: individu

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

ISARA : Institut Supérieur d'Agriculture et d'agroalimentaire Rhône-Alpes

ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique

JASSUR : Jardins ASSociatifs URbains

OFSV : Observatoire Français des Sols Vivants

PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur

RA : Rhône-Alpes

S : Sableux

SS : Sable

TCS : Technique Culturelle Simplifiée

1 - Introduction

1.1 - Evolution agriculture

En Europe, les paysages agricoles représentent la majorité de l'espace, avec par exemple 75% du territoire de la Grande-Bretagne et 60% de la surface française (LE ROUX *et al.*, 2008). Mais, au cours de l'histoire, les paysages agricoles ont beaucoup évolués. Ainsi, lors de l'industrialisation française environ 70% haies ont disparues pour permettre la mécanisation des parcelles, entre 1850 et 1910 (POINTEREAU, 2002). Puis, lors de la seconde moitié du 20eme siècle, une très forte diminution des surfaces en prairies est notable, dû à l'intensification des productions agricoles et animales (HUYGHE, 2007).

Depuis la fin des années 1990, les rendements agricoles se stabilisent (AGREST, 2008) et les problématiques ont évoluées. L'agriculture moderne doit relever des défis environnementaux, comme la préservation des ressources naturelles, de la biodiversité, ou encore le stockage du carbone.

1.2 - Biodiversité et agriculture

1.2.1 - Evolution de la biodiversité

La transformation et la destruction des habitats naturels ont récemment concentré les inquiétudes de la communauté scientifique. Cependant, de nombreux paysages gérés par l'Homme présentent une diversité spécifique intéressante. Par exemple, en Allemagne 75% des espèces protégées sont localisées dans les zones agricoles (50% du territoire) et sylvicoles (30%) (LE ROUX *et al.*, 2008).

Les paysages agricoles étant souvent âgés de plus de 2000 ans, de nombreuses espèces s'y sont adaptées. En parallèle, l'augmentation de la population humaine a accru la pression sur les espaces naturels. Ainsi, certaines espèces ont perdu leur habitat initial et sont devenu presque indépendantes de l'habitat secondaire : le milieu agricole. (LE ROUX *et al.*, 2008)

Par exemple, il est apparu grâce à l'anthropisation, des communautés lombriciennes forestières, prairiales et céréalières (BACHELIER, 1978 ; LEE, 1985).

1.2.2 - Service écosystémiques

Les bénéfices apportés par les écosystèmes aux humains et aux autres espèces sont appelés « services écosystémiques », ou encore « services écologiques » (MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). Ils peuvent être classés en trois groupes (LE ROUX *et al.*, 2008) :

- Les services intrants, qui participent à la fourniture de ressource, au maintien des supports physico-chimiques et permettent la régulation des interactions biotiques
- Les services de production qui contribuent au revenu agricole

- Les services produits hors revenu agricole direct, tels que la qualité des eaux ou encore le stockage de carbone

Les effets de la biodiversité peuvent être positifs (ce sont donc des services), ou négatifs (ils sont alors qualifiés de dommages).

Mais comment évaluer, quantifier ses services, par une unité connue de tous? Certains scientifiques et économistes ont ainsi cherché à monétiser, à donner une valeur économique, à la biodiversité. Par exemple, la Norvège s'est déjà penchée sur l'évaluation de sa nature (RFI, 2010), et Royaume-Uni a estimé le cout de revient de ses espaces naturels sur la santé et le bien-être de ses citoyens (CARRINGTON, 2011). A l'échelle globale, le service rendu par les abeilles est évalué à 153 milliards d'euros (GALLAI *et al.*, 2009).

1.2.3 - Biodiversité et agriculture

Si la biodiversité peut agir sur l'agriculture, l'inverse est aussi vrai.

L'utilisation de produits phytosanitaires serait responsable du déclin de la biodiversité. Les insecticides et fongicides sont réputés pour occasionner d'importants dommages sur l'environnement. En effet, en plus des d'agir sur les cibles, de nombreux effets directs (toxicité, diminution de la fécondité) et indirects (réduction de la ressource trophique, intoxication, ...) sont observables sur les arthropodes, les petits mammifères et les oiseaux.

Les herbicides peuvent induire une importante sélection de la flore sur la parcelle et en bordure, et avoir une toxicité sur la pédofaune (GEIGER *et al.*, 2010)

La fertilisation a généralement un effet positif sur l'abondance et la croissance des espèces végétales, et des organismes du sol. Cependant, une exploitation intensive du couvert végétale et une fertilisation importante ont pour effet de sélectionner les graminées les plus compétitifs, et donc de conduire à un appauvrissement de la flore (DUMONT *et al.*, 2007). De plus, les fuites de phosphore et de potassium peuvent avoir un impact négatif sur les écosystèmes aquatiques, notamment en augmentant les risques d'eutrophisation. L'eutrophisation est un apport de substances nutritives en excès, qui entraîne la prolifération de végétaux aquatiques (CAPBLANCQ, DECAMPS, 2002).

Le travail du sol peut avoir un impact non négligeable sur la gestion des communautés présentes. Utilisé de manière régulière, le labour a un effet négatif sur la richesse spécifique et l'abondance de nombreux organismes. Par exemple sur la flore en sélectionnant les adventices dont les semences ont une forte capacité de survie, ou encore sur les communautés de macrofaune dont la richesse spécifique peut être réduite (LE ROUX *et al.*, 2008).

Mais l'agroécologie, qui a pour objectif d'allier performances économique et environnementale, est désormais reconnue par le gouvernement. Produire autrement est désormais l'objectif de plus en plus d'agriculteurs qui comprennent les enjeux de leur métier (MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORET, 2014).

1.3 – Les vers de terre

1.3.1 – Ingénieurs de l'écosystème sol

Les lombriciens sont des organismes clefs du fonctionnement des sols (KING, 1987 ; HUTHA 2007). Ils participent à de nombreuses activités, comme activer la minéralisation, développer une microfaune, déplacer les éléments, etc., c'est pourquoi ils sont souvent qualifiés d'« Ingénieurs de l'écosystème sol » (JONES et al., 1994).

Leur milieu de référence est la prairie, où la biomasse et l'abondance y sont plus élevées que dans les champs cultivés (LEE, 1985). Par exemple, en prairie tempérée la masse par hectare est de une à trois tonnes. Ils peuvent ingérer 1kg de sol/100g d'individus/an, soit 20t/ha/an (BACHELIER, 1978). Il est ainsi estimé que l'ensemble d'un horizon organo-minérale de prairie est passé dans le tube digestif des lombriciens au bout de 5 à 10 ans.

L'intérêt des lombrics est décrit dans des ouvrages spécialisés depuis DARWIN (1881), ou encore BOUCHE (1972).

1.3.2 – Biologie et Ecologie

Les lombrics appartiennent à l'embranchement des Annélides, et plus particulièrement à la classe des Oligochètes (du latin « oligo » quelques, et « chète » poils : ils en ont 4 paires par segments). Contrairement à la majorité des animaux vermiformes, ils sont adaptés à la vie continentale (CLUZEAU *et al.*, 2003). Ils ont longtemps été classé en trois Catégories Ecologiques (épigés, endogés et anéciques) (BOUCHE, 1972). Cependant, certaines recherches poussent à les diviser en quatre groupes fonctionnels. Par exemple, JEGOU *et al.* (1998) ou encore ZHANG et HENDRIX (1995) ont montré une différence d'activité entre les anéciques stricts, du genre *Nicodrilus* et les épianéciques constitués du genre *Lumbricus*.

Suite aux travaux de JEGOU *et al.* (1998), les groupes fonctionnels peuvent être décrits de manière plus précise :

- Epigés : taille réduite, forte pigmentation (rouge vineux). Vivent hors du substrat minéral, liés aux litières, aux bois morts, dans le compost et fumier (=nourriture)
- Épianéciques, ou Anéciques Tête-Rouge (ATR) : grande taille, caractérisés par un gradient de pigmentation rouge antéro-postérieur. Construisent des galeries sub-verticales peu ramifiées où ils vivent, et s'alimentent de résidus organiques en voie de décomposition à la surface. Ils sont en activité dès que les conditions d'humidités du sol sont favorables.
- Anéciques stricts, ou Anéciques Tête-Noire (ATN) : grande taille, caractérisés par un gradient de pigmentation noire antéro-postérieur. Construisent des galeries sub-verticales très ramifiées où ils vivent, et s'alimentent de résidus organiques en voie de décomposition à la surface. Ils sont systématiquement inactifs de Juin à Aout.
- Endogés : taille petite à moyenne, faible pigmentation. Construisent des galeries horizontales non permanentes dans le substrat organo-minéral, puisent leurs ressources à partir des matières organiques liées au substrat : géophages stricts, mais ingèrent des racines mortes

Tableau 1 Groupes fonctionnels (d'après JEGOU et al. 1998 et CLUZEAU et al. 2003)

Groupe fonctionnel	Epigés (EPI)	Epianéciques (ATR)	Anéciques stricts (ATN)	Endogés (END)
Localisation	En surface du sol, dans les accumulations organiques (litière, déjections animales, cadavres, ...)	Prospection de toute la hauteur du profil du sol. Déplacements nocturnes en surface	Prospection de toute la hauteur du profil du sol. Déplacements nocturnes en surface	Prospection permanente dans le sol sans remonter à la surface (horizon organo-minéral et minéral)
Taille	Petite : < 10 cm	Grande : 15-25 cm	Grande : 15-25 cm	Variable: 10-20
Effort de reproduction	Important (lié à une forte mortalité)	Moyen	Moyen	Faible
Qualité de la ressource trophique	Très énergétique	Moyennement énergétique	Moyennement énergétique	Faiblement énergétique
Nature des ingestats	Matière organique	Matière organique et organo-minérale	Matière organique et organo-minérale	Matière minérale essentiellement
Comportement alimentaire	Mésophages Alimentation en surface	Macrophages Prélèvements de nourriture en surface suivis d'une migration en profondeur (Espèces fouisseuses)	Macrophages Prélèvements de nourriture en surface suivis d'une migration en profondeur (Espèces fouisseuses)	Microphages Alimentation au sein des horizons minéraux plus ou moins enrichis en matière organique (espèces géophages)
Activité mécanique	Faible (pas de rôle fouisseur)	Intense: - Creusement de larges galeries subverticales profondes - Brassage organo-minéral des horizons - Rejet de fèces en surface (turrículos)	Intense: - Creusement de larges galeries subverticales profondes - Brassage organo-minéral des horizons - Rejet de fèces en surface (turrículos)	Intense: Creusement de galeries subhorizontales (diamètre moyen: environ 4 mm)
Biomasse (prairie tempérée)	Environ 5%	De 25 à 40%	De 25 à 40%	De 20 à 40%
Intérêt agronomique	Faible	Majeur	Majeur	Important
Espèces types	<i>Eisenia fetida</i> <i>Lumbricus castaneus</i>	<i>Lumbricus terrestris</i> <i>Lumbricus festivus</i>	<i>Nicodrilus giardi</i> <i>Nicodrilus longa</i>	<i>Nicodrilus caliginosus</i> , <i>Allolobophora chlorotica</i>

De par leur présence sur tous les continents à l'exception des zones désertiques, les vers de terre sont des bioindicateurs intéressants. De plus, leur abondance et diversité, ainsi que l'accumulation de molécules toxiques, varient en fonction de la qualité du milieu (FRÜND *et al.*, 2011). BROWN *et al.* (1999) ont par ailleurs montré que l'abondance et le rendement agricole sont positivement corrélés.

1.4 – Présentation du CASDAR AgrInnov

Le projet CASDAR AgrInnov comprend de multiples partenaires : le Ministère de l'Agriculture, l'OFSV, l'INRA de Dijon et Orléans, l'ITAB, la Chambre d'Agriculture du 49, la Région Pays de la Loire, l'ISARA et enfin l'Université de Rennes 1. Il est réalisé sur 4 années, de 2011 à 2014.

L'objectif est de « fournir aux secteurs économiques et aux acteurs publics de nouveaux outils de surveillance, de caractérisation et d'évaluation des risques basés sur les propriétés biologiques du sol » (ADEME, 2013). Pour cela, de nombreux potentiels indicateurs biologiques ont été étudiés dans la phase 1, et ce à l'échelle nationale et dans différents milieux (agricoles, forestier et pollués). Parmi les 80 indicateurs évalués lors de la première phase, seuls les plus pertinents ont été sélectionnés. Les mesures sur ces quelques bioindicateurs doivent être simples, peu chères et répétables dans un maximum de milieux. On compte parmi ceux-ci les vers de terre, les nématodes ou encore les microorganismes.

Lors de la seconde phase du projet les objectifs sont de (ADEME, 2013) :

- calibrer l'outil, afin d'y associer une échelle,
- connaître sa sensibilité pour comprendre d'où viennent les variations,
- ses limites pour savoir quel bioindicateur utiliser dans chaque situation,
- élaborer un premier référentiel pour faciliter l'interprétation des résultats,
- évaluer la possibilité d'utiliser ses résultats pour la modélisation

1.5 – Lombriciens et agriculture

Après avoir montré que l'agriculture et la biodiversité sont liées, puis l'intérêt du projet AgrInnov dans sa globalité, il est indispensable de se pencher plus particulièrement sur le cas des lombriciens et l'utilité de leur étude.

1.5.1 – Interactions entre vers de terre et sol

Le sol est constitué d'éléments solides (lithosphère), liquide (hydrosphère), gazeux (atmosphère) et d'organismes (biosphère) (RIMMER, 1998). D'un point de vue global, BACHELIER (1978) estime que les organismes édaphiques vivants représentent 5% de la matière organique totale, soit 2 à 5 tonnes par hectares.

Plus particulièrement il y aurait plus d'une tonne de vers de terre par hectare. BOUCHE (1972) a déterminé qu'il existe des relations entre les espèces lombriciennes et les caractéristiques mésologiques (Texture, pH, Matière Organique, azote totale...). En effet, ces animaux sont en contact permanent avec le sol, on peut donc aisément supposer qu'ils ont une forte sensibilité à la qualité du sol. FRÜND *et al.* (2011) ont montré que les vers de terre

peuvent indiquer la qualité du sol de différentes manières (abondance et diversité, accumulation de molécules chimiques dans le corps, ...). C'est pourquoi ils sont utilisés comme bioindicateurs de la qualité des sols.

Alors que l'agriculture a tendance à fragmenter les états structuraux existants, l'agrégation est souvent le résultat des activités biologiques. Ces dernières sont impliquées dans les processus globaux de formation, de stabilisation, mais aussi de dégradation des structures (OADES, 1993).

Les lombriciens modifient la porosité et l'agrégation existante en construisant des galeries et en ingérant de grands volumes de matières organiques et minérales (LEE, FOSTER, 1991) : ils bioturbent le système. Cette bioturbation lombricienne se répercute à différents niveaux dans un profil pédologique (ZHANG, HENDRIX, 1995) :

- Perturbation des limites entre les horizons
- Redistribution verticale et horizontale de volumes de sols différents, en termes de composition granulométrique et de composants organiques
- Modification des structures existantes
- Production d'agrégats et génération de macroporosité

Cependant, tous n'ont pas le même impact. Par exemple, les endogés ont une production individuelle de déjection 2 à 3 fois plus importante que celle d'un anécique. Mais ces derniers apparaissent comme des acteurs remarquables par la création d'un vaste réseau de galeries semi-verticales, la translocalisation des matières organiques de surface, la construction de middens (rassemblement de débris végétaux à l'entrée de la galerie, aussi appelés « resserre ») ou encore par le remplissage de galeries (PIRON, 2008).

Si l'effet des vers de terre sur la structure du sol est bien documenté, il n'existe que peu d'études sur l'effet de l'agrégation du sol sur les communautés lombriciennes. BOSTROM (1986) a montré que la biomasse de lombriciens était plus faible dans les zones de passage du tracteur que dans les espaces à plus faible compaction. De même, les ratios d'adultes des *Allolobophora chlorotica*, un endogé, était plus faible sous les passages de roues.

Les vers de terre se nourrissent de matière organique, qu'ils rejettent ensuite dans le sol, en surface ou sur le pourtour de leurs galeries. Les anéciques produisent des structures très concentrées en matière organique. En se focalisant sur la catégorie écologique des anéciques, JEGOU *et al.*, (1998) notent des différences de concentration en carbone total entre *Lumbricus terrestris* et *Nicodrilus giardi*, qui s'explique par une distribution diffuse en fonction de la longueur du réseau de galerie.

Ceci confirme que pour étudier les communautés lombriciennes il est intéressant de se pencher sur les groupes fonctionnels (épigés, endogés, anéciques tête-rouge et anéciques tête-noire) plutôt que sur les catégories écologiques (épigés, endogés et anéciques).

1.5.2 - Impact du travail du sol sur les vers de terre

Concernant le travail du sol, les groupes fonctionnels de vers de terre ne répondent pas de la même façon au labour conventionnel. Bien que l'abondance des anéciques soient en diminution, la richesse spécifique des endogés peut augmenter de par l'apport en matière organique en profondeur. Les impacts peuvent être direct, comme l'effet mécanique du labour, ou indirect par les changements des propriétés physico-chimique du sol (CHAN, 2001).

DEIBERT *et al* (1991) ont montré que le ratissage superficiel à 7.5-10cm présentait une abondance générale plus élevée qu'en labour de printemps à 20 cm. De même, GERARD ET HAY (1979) ont montré que l'abondance la plus faible était en labour profond (soit 30 à 35 cm), qu'elle suivait un gradient proportionnellement inverse à la profondeur du travail, pour être maximale dans un sol non travaillé.

Cependant, même si le labour coupe et retourne le sol, ce qui remonte les vers et les cocons de la profondeur et enterre ceux des épigés en surface, les outils à dents brisent le sol et risquent de blesser de nombreux vers plusieurs fois par an (GERARD, HAY, 1979). Il est ainsi aisé compréhensible que, quel que soit le type de travail de sol, il y a toujours un impact sur les communautés lombriciennes.

1.5.3 - Impact de la couverture du sol sur les vers de terre

L'impact de la mise en culture des prairies sur les lombriciens est bien documenté dans la bibliographie (par exemple EDWARDS, LOFTY, 1977). Elle entraîne la disparition de 20 à 90% de la biomasse présente, selon les itinéraires techniques.

LEE (1985) a aussi montré que la prairie tempérée est le milieu le plus favorable au développement lombricien. Cependant, il a montré qu'une prairie temporaire (semée depuis moins de 6 ans (AGRESTE, 2000) doit rester en place au moins trois ans pour retrouver des communautés lombriciennes quasi-normales. De même, HAYNES *et al.* (1991) ont observé une augmentation de l'activité lombricenne dans les quelques années qui suivent l'enherbement de la parcelle.

1.5.4 - Impact de la fertilisation sur les vers de terre

Une autre pratique agricole régulièrement étudiée est la fertilisation. Il est démontré qu'un apport azoté organique est plus favorable que l'azote minéral (LEE, 1985 ; EDWARD, BOHLEN, 1996). En effet, ce dernier provoque une acidification du sol qui est néfaste aux lombriciens, alors qu'un amendement organique leur apporte de la nourriture.

1.5.5 - Impact des produits phytosanitaires sur vers de terre

La question de l'impact des produits phytosanitaires sur les populations lombriciennes est très importante. Cependant, il est difficile d'y répondre précisément de par la très grande variabilité des molécules.

En effet, certains produits peuvent être toxiques pour certains groupes fonctionnels, mais sans effet notable sur d'autres. De plus, il est difficile d'identifier tous les impacts directs (toxicité) et indirects (disparition d'une source de nourriture ou d'un couvert végétal), à court terme (mort des individus) ou moyen terme (baisse de la fertilité) (CLUZEAU, PERES, 2004).

1.6 – Problématique

Ainsi, nous venons de voir qu'il existe de nombreuses interactions entre l'agriculture et la biodiversité, et plus particulièrement avec les communautés lombriciennes.

La bibliographie montre les effets de la structure du sol et des caractéristiques mésologiques, mais aussi des pratiques agricoles telles que le travail et la couverture du sol. Cependant, les études ont très souvent été réalisées à petite échelle.

Alors qu'il n'existe que très peu d'analyses à l'échelle nationale, elles permettraient d'obtenir une meilleure diversité de milieux et d'usages. De même, les interactions entre variables naturelles et agricoles ne semblent pas avoir déjà été étudiées.

Nous sommes ainsi amenés à nous poser deux questions majeures :

- Quels sont les facteurs pédologiques et agricoles conditionnant les communautés lombriciennes, en système grandes-cultures et à l'échelle nationale ?
- Quels sont les effets combinés des paramètres pédologiques et des pratiques culturales sur les communautés lombriciennes, en système grandes-cultures et à l'échelle nationale ?

Suite à l'étude de la bibliographie et de la problématique, des hypothèses ont pu être avancées.

- Hypothèse 1 : Les textures de sol les plus favorables aux lombriciens sont d'une faible granulométrie et avec une bonne capacité à retenir l'eau.
- Hypothèse 2 : Le tassement important du sol, ainsi qu'un travail profond, ont un impact négatif sur les structures des communautés lombriciennes, mais n'affectent pas de la même façon les groupes fonctionnels.
- Hypothèse 3 : L'enherbement de la parcelle, par des cultures intermédiaire ou de la prairie temporaire, permet un environnement favorable à la diversification des taxons, mais aussi à l'abondance et à la biomasse.

2 – Matériels et Méthodes

2.1 – Sélection des exploitations agricoles

Les partenaires du CASDAR AgrInnov ont ouvert les inscriptions à tous les agriculteurs de France. Pour participer au projet ces derniers doivent payer une cotisation d'une centaine d'euros, mais en contrepartie chacun peut recevoir les résultats des analyses réalisées sur sa parcelle. Le coût total des observations (lombriciens, nématodes, pédologie, microbiologie du sol...) est estimé à environ mille euros. Le nombre de place était limité à un total de 120 parcelles (grandes cultures et viticulture réunies).

Et pourtant, la répartition des exploitations agricoles participantes n'est pas uniforme sur le territoire. En effet, chaque partenaire du CASDAR a communiqué sur le projet à ses contacts. L'information s'est donc déployée par le bouche à oreille, les agriculteurs inscrits au programme sont donc concentrés autour de ces contacts.

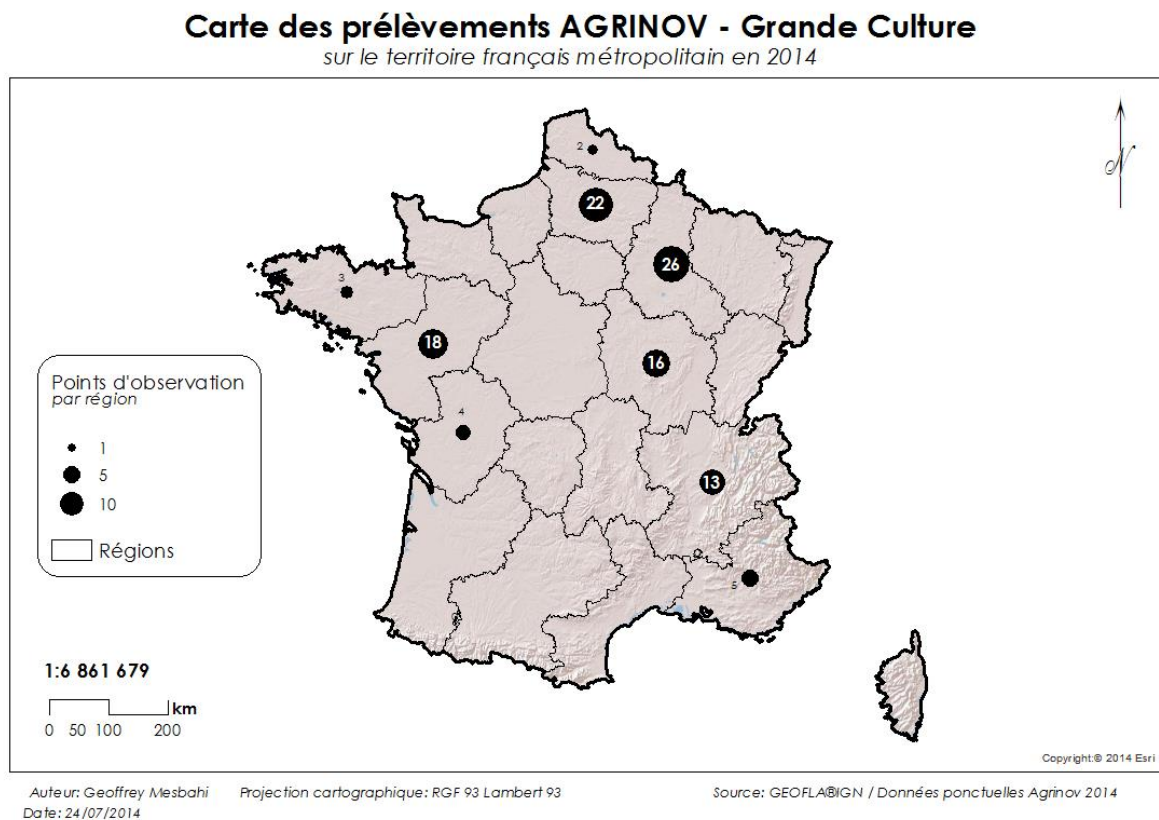


Figure 1 Carte des prélèvements AgrInnov

La carte montre l'étendue du réseau des fermes du programme AgrInnov. Ces dernières sont divisées en deux groupes géographiquement distincts :

- Un axe « Nord – Sud-Est » qui commence avec une forte concentration en Picardie (23 parcelles), et en Champagne-Ardenne (25 parcelles), traverse la Bourgogne (16 parcelles) et la région Rhône-Alpes (13 parcelles) pour enfin rejoindre la PACA (5 parcelles). Ce groupe rassemble les prélèvements de 2014.

- Un ensemble « Grand Ouest » avec la Vendée, la Bretagne, la Mayenne et quelques participants en Charentes, qui compte l'échantillonnage de l'année 2013.

La partie Grand Ouest ayant été traitée en 2013, il n'existe donc pas de données pour le projet dans toute la partie centrale de la France, ni dans le sud-ouest. Seuls les prélèvements de l'année 2014 seront pris en compte, afin d'éviter un effet de l'année.

2.2 - Prélèvement des échantillons

Suite à une formation, les agriculteurs prélèvent eux-mêmes les vers de terres. Pour cela, un protocole leur a été proposé : l'échantillonnage se fait selon la méthode dite du « Test Bêche Vers de Terre ». Au total, six prélèvements de lombriciens sont réalisés sur chaque parcelle. Des échantillonnages pédologiques, mais aussi des autres bioindicateurs (nématodes, microorganismes, etc.), sont aussi réalisées par les agriculteurs. En effet, il faut prendre en compte les différents indicateurs biologiques pour qualifier correctement un sol, tout comme lors d'une analyse physico-chimiques.

Tous les prélèvements sont réalisés dans une zone d'échantillonnage de 3 m * 15 m, sur une zone représentative de la parcelle, en dehors des traces de passages d'engins agricoles.

Le bloc de sol est extrait sur un volume de 20 cm * 20 cm * 25 cm. Le prélèvement est une étape délicate, car ce bloc sert tout d'abord pour l'étude de la structure : sa tenue sur une bêche et sur une bâche sont étudiées, ainsi que la structure et le pourcentage des mottes qui le composent sont notées selon la classification Δ (Delta), $\Delta 0$ (Delta 0) et Γ (Gamma).

Une motte Δ a ses surfaces lisses et pas de porosité visible à l'œil nu. Le $\Delta 0$ correspond à des mottes avec des surfaces lisses, mais aussi des porosités visibles à l'œil nu, comme des galeries de vers de terre par exemple. Enfin, le Γ représente les mottes avec une surface grumeleuse, rugueuse, et une forte porosité visible.

Chaque agriculteur a ainsi pu attribuer une note allant de 1 à 5 à ses tests structuraux (1 étant la structure la plus aérée, alors que 5 est compactée) selon un protocole fournit. C'est cette note qui est utilisée pour les études statistiques.

Après l'étude structurale du bloc, ce dernier est détruit afin d'y récupérer les vers. Les agriculteurs réalisent alors cinq autres « tests bêche », et doivent séparer les vers de chaque test dans des piluliers différents et identifiés (il y aura donc au final six piluliers par parcelle à déterminer). Chaque pilulier contient de l'alcool à 96% afin de permettre la conservation des individus morphologiquement et génétiquement individus.

En parallèle, des prélèvements pour les analyses physico-chimiques sont réalisés. Pour cela, dix carottes de sol sont prélevées dans deux zones différentes. La terre est ensuite séparée des végétaux, et tous les prélèvements sont mélangés dans un seau. Une partie du contenu est alors envoyé au laboratoire Infosol pour une analyse de texture. Cette dernière est définie

selon le triangle Geppa (ANNEXE A), en fonction des concentrations en argile (A), limon (L) et sable (S).

Les différentes textures utilisées sont : A (argileuse), Al (argile-limoneuse), Als (argile limono-sableuse), L (limoneuse), La (limon argileux), LAS (limono-argilo-sableuse), Lsa (limon sablo-argileux), Sal (Sable argilo-limoneux), Sa (sable-argileux), S (sableuse) et SS (sable).

2.3 - Détermination en laboratoire

La détermination des vers de terre adultes se fait grâce à une « clef simplifiée » de l'Université de Rennes 1 basée sur les descriptions de Bouché. Elle se fait par l'observation des caractères sexuels (pores mâles, puberculum et clitellum) sous une loupe binoculaire. Pour certains juvéniles, seule leur catégorie écologique, leur groupe fonctionnel ou leur ordre est renseigné avec certitude. C'est pourquoi une proportionnalité à l'échelle de la parcelle est réalisée grâce aux adultes. Ils ont ainsi presque tous une espèce d'attribuée, afin d'avoir un échantillon relativement important pour réaliser les statistiques.

Chaque vers est pesé individuellement, à une précision de 10^{-4} g. Ils sont ensuite conservés, toujours dans l'alcool, afin de pouvoir être réutilisés ultérieurement.

L'éthanol complexifie la détermination car gonfle les tissus et décolore les individus, bien que le patrimoine génétique soit ainsi conservé. Plus traditionnellement, les lombriciens sont stockés dans le formol, ce qui permet de garder une bonne pigmentation et donc de faciliter la détermination, mais détruit l'ADN et présente des risques pour la santé du manipulateur (BONNARD *et al.*, 2011).

Certains lombriciens ne peuvent pas être identifiés au maximum à cause de modifications génétiques particulières, de la décoloration due à la conservation dans l'alcool, ou simplement car les vers ont été coupés par la bêche lors du prélèvement. Ils sont alors, comme les juvéniles, distribués par proportionnalité en fonction de leur appartenance à un groupe fonctionnel.

2.4 - Enquêtes

Chaque participant au projet doit répondre à une enquête, de manière à fournir de nombreuses informations indispensables au traitement des données. Il y sera par exemple mentionné des informations sur la localisation, le sol (texture, engorgement en eau...), l'itinéraire technique (ITK) de la parcelle, etc... Les données ont dû être numérisées manuellement via le logiciel Sphinx.

Suite aux résultats de l'enquête, 14 questions ont été sélectionnées par l'ensemble des membres du projet AgrInnov. Ces questions portent sur la conduite de l'exploitation (ANNEXE B).

Au total, pour le projet Grandes Cultures de 2014, 43 agriculteurs ont répondu à l'enquête, et seulement 40 ont réalisé les tests structuraux. Ainsi, les agriculteurs ayant réalisés les tests structuraux ET les prélèvements de vers de terre ET ayant répondu à l'enquête, ne sont qu'au nombre de 36.

Certaines analyses ne pourront donc pas se faire sur la totalité des parcelles échantillonnées, mais seront limitées par les réponses à l'enquête et la réalisation des tests structuraux.

2.5 - Traitements de données

Les statistiques sont réalisées avec le logiciel R (version 3.1.0) et l'interface RStudio. Le plug-in FactoMineR est utilisé pour réaliser les Analyses en Composantes Principales (ACP) lorsqu'il y a des facteurs illustratifs à afficher, ainsi que pour les Analyses des Correspondances Multiples (ACM).

Les indices de Shannon et Simpson sont calculé par R et le package « vegan ». L'indice de Shannon permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu. Il est sensible aux variations d'importance des espèces les plus rares. L'indice de Simpson est sensible aux variations des espèces les plus importantes. La formule utilisée pour ce dernier est $S = 1 - (\sum p_i^2)$. Ainsi, plus les valeurs sont élevées, plus le résultat est écologiquement parlant bon.

Les tableaux et certains graphiques descriptifs sont réalisés avec le logiciel Excel 2010 (Microsoft Office Professionnel Plus, version 14.0.7128.5000).

Les tests de Kruskal-Wallis sont effectués grâce au package « agricolae ». La fonction « kruskal » comporte le test post-hoc, il n'est donc pas nécessaire de le faire soi-même.

2.5.1 - Analyse exploratrice

Il est important de noter que les abondances et biomasses de lombriciens exprimées dans cette étude ont été rapportées au mètre carré. De plus, le Nord Pas de Calais n'est pas pris en compte pour les comparaisons entre régions, de par son trop faible nombre de prélèvements.

Pour observer l'abondance par parcelle, de façon générale, puis une autre pour l'étude des taxons et les stades, une première ACP est réalisée. Pour cette dernière, les individus sub-adultes (SA) ont été rassemblés avec les adultes (AD) car ils sont en faible proportion. De plus, chaque variable est étudiée au niveau de la parcelle, comme étant la moyenne des 6 prélèvements rapportés au mètre carré.

L'ACP de tous les individus ne présentant qu'un faible intérêt de par son nombre très important de variable, il a été décidé de se concentrer sur les espèces les plus représentatives. Pour cela, l'abondance d'une espèce (en %) a été calculée pour chaque espèce et chaque stade. Si le résultat est supérieure au rapport $1/(\text{nombre total d'espèce}) \times 100$, alors cette espèce

est considérée comme fortement représentée. L'ACP des taxons et stade a donc été relancée avec les trois espèces les plus représentatives, sur les dimensions 1 et 3.

Une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) est réalisée sur l'ensemble des questions de l'enquête. Pour le travail du sol, la Technique Culturelle Sans Labour (TCSL) et le Semi Direct (SD) ont été rassemblés en un seul groupe dénommé « TCS », afin de lui donner plus de puissance, et sont opposés au labour « L ». De plus, les agriculteurs n'ayant pas répondu à toutes les questions ont été supprimés de l'analyse, afin de ne pas faire apparaître de données manquantes dans le traitement statistique.

2.5.2 - Analyse des variables explicatives

Différents modèles statistiques ont été utilisés selon la dispersion des variables à étudier. L'objectif est d'utiliser des GLM (Modèle Linéaire Généralisé) afin de pouvoir étudier les différents facteurs et certaines interactions. Plus précisément, deux types de GLM sont utilisés :

- la GLM ER (Mixed-Effects) pour les modalités comme l'abondance moyenne, la biomasse moyenne et la richesse taxonomique, n'ayant que très peu de valeurs nulles et s'approchant d'une loi de Poisson. Il faut de plus faire attention à n'avoir que des chiffres ronds pour pouvoir l'exécuter.
- la GLM NB (Negative Binomial) pour l'étude des groupes fonctionnels et des espèces

Après la réalisation d'une GLM, une ANOVA est exécutée afin de voir si certains facteurs ou interactions sont significatifs. Enfin, un test de Pairwise permet de voir les différences entre modalités.

Toutes les interactions n'ont pas pu être testées. Il a été choisi d'analyser seulement celles qui semblent être les plus proches des objectifs du projet AgrInnov : créer un outil de mesure et d'aide à la décision utilisable par des agriculteurs et des conseillers, tout en s'adaptant aux résultats actuels de l'enquête.

La texture du sol a été étudiée avec toutes les autres variables, car elle n'est pas modifiable sur une parcelle et a donc une importance toute particulière. Ensuite il a été décidé d'étudier la combinaison du travail du sol avec l'enherbement (présence de cultures intermédiaire puis d'une prairie dans la rotation), afin de voir si ce dernier pouvait annuler ou diminuer les effets néfastes du travail du sol.

Les tableaux ci-après présentent les interactions étudiées, et le nombre de prélèvements concernés par chacune.

Pour rappel, les différentes textures utilisées sont : A (argileuse), AI (argile-limoneuse), Als (argile limono-sableuse), L (limoneuse), La (limon argileux), LAS (limono-argilo-sableuse), Lsa (limon sablo-argileux), Sal (Sable argilo-limoneux), Sa (sable-argileux), S (sableuse) et SS (sable).

Tableau 2 Distribution des prélèvements en fonction du croisement entre Texture et Structure

		Texture										
		A	AI	Als	L	La	LAS	Lsa	Sal	Sa	S	SS
Structure	1	9	18	34	6	12	16	12	11	6	12	6
	2	3		2		3	15	4				
	3			6		1	10	1				
	4					1	1	1				

Tableau 3 Distribution des prélèvements en fonction du croisement entre Texture et Travail du sol

		Texture							
		A	AI	Als	L	LAS	Lsa	Sal	S
Travail du sol	TCS	12	12	24	6	24	12	6	
	L			6		6		6	6

Tableau 4 Distribution des prélèvements en fonction du croisement entre Texture et Prairie

		Texture							
		A	AI	Als	L	LAS	Lsa	Sal	S
Prairie	Oui	6				6			
	Non	6	12	30	6	24	18	12	6

3 – Résultats

3.1 – Analyse exploratrice du jeu de données

Un total de 4494 vers de terre a été échantillonné, sur 83 sites. L'abondance par parcelle s'étend de 0 à 837,5 vers/m². Ces parcelles sont respectivement situées en Rhône-Alpes et en région PACA. La moyenne par parcelle de la campagne 2014 s'élève à 225,6 ind/m².

Au total, 20 espèces ont été recensées, la richesse minimale par parcelle observée est de 0 et la maximale de 9 espèces. Ces parcelles sont toutes deux en régions Rhône-Alpes.

3.1.1 – Abondance taxonomique

Pour commencer, les données générales sur la répartition des prélèvements lombriciens sont observées. Pour cela, une ACP a été réalisée sur les variables suivantes : l'abondance par groupes fonctionnels (dont le groupe des indéterminés nommés X), la biomasse totale, et la richesse taxonomique, enfin l'abondance totale est utilisée comme variable illustrative. L'ACP est réalisée sur deux dimensions.



Figure 2 Résultat de l'ACP sur l'abondance de chaque groupe fonctionnel, sur la biomasse totale et la richesse taxonomique, et affichage des régions

Les deux axes du plan factoriel expliquent respectivement 40.44% et 17.00%.

Le graphique des variables (ANNEXE C) montre que le premier axe est principalement expliqué par la biomasse totale (BM_Tot) à près de 28%, puis par la richesse taxonomique (Richesse_Taxo_TB) et l'abondance des Anéciques Tête Noire (AB_ATN) à plus de 19% chacun. Le second axe est expliqué par l'abondance en Anéciques Tête Rouge (AB_ATR) à plus de 60%, puis par l'abondance des Anéciques Tête Noire (AB_ATN) à plus de 21%.

Il n'est ici pas possible de discerner les régions, car les parcelles se recoupent peu importe leur localisation.

3.1.2 - Abondance taxonomique et stade

Les trois espèces les plus abondantes sont *Allolobophora chlorotica chlorotica* (ACCX), *Allolobophora rosea rosea* (ARR) et *Nicodrillus caliginosus caliginosus typica* (NCCT). C'est pourquoi elles ont été sélectionnées pour l'ACP, aux stades JV (juvénile) et AD (adultes). Ces trois espèces ont été choisies car elles sont les plus présentes dans le jeu de données. Les régions ont été placées comme facteurs illustratifs, et l'abondance totale en variable illustrative.

Ces trois espèces appartiennent au Groupe Fonctionnel des endogés. Les NCCT ont par exemple été décrits comme « économiquement intéressant » (BOUCHE, 1972).

Les axes expliquent chacun 36.99% et 24.18% du total (ANNEXE D). L'abondance en ACCX AD et JV (22.26 et 19.36%) ainsi qu'en NCCT AD et JV (19.65 et 21.26%) ont une forte inertie sur le premier axe, tout en étant opposés. Le troisième axe est lui principalement expliqué par les ARR AD et JV (respectivement 35.56 et 45.47% d'inertie). L'abondance totale semble suivre les abondances en ACCX JV et AD, et est donc inversement corrélée aux abondances en NCCT JV et AD.

Il semble donc y avoir des systèmes (pédoclimatique et/ou agronomiques) qui influe sur la répartition des espèces. Pour cela, il est intéressant d'étudier l'impact de chaque facteur plus précisément.

3.1.3 - Pratiques agricoles

Une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) a pu être réalisée sur l'ensemble des questions de l'enquête. La représentation graphique de l'ACM (ANNEXE E) montre que les modalités de chaque variable sont plutôt groupées autour de l'origine, à l'exception de « O » (fertilisation organique), « Aucune » (aucune fertilisation), « Prairie_Oui » (présence de prairie) et « Desherbage_0 » (pas de désherbage) qui sont dans les valeurs positives de l'axe 1. Sur le second axe, il est principalement à noter que la modalité « Anciennete_dernier_labour_>3 » (le dernier labour a plus de trois ans) est relativement excentrée.

Statistiquement, cela se vérifie par les contributions. L'axe 1 est expliqué à 21.6% par l'absence de désherbage, à 17.9% par la présence de prairie, et à 14.1% par la fertilisation organique. Le second est expliqué à 24.35% par les labours de plus de 3ans, puis à 17.6% par la fertilisation minérale.

3.2 - Analyse approfondie des résultats

3.2.1 - Abondance et de la richesse taxonomique

La figure 3 montre l'abondance moyenne par parcelle par région pour chaque groupe fonctionnel. Les groupements du test de Kruskal-Wallis ($k= 34.22$, $p\text{-value}= 6.7e-07$),

affichés sous chaque barre de l’histogramme, montrent des différences significatives entre l’abondance moyenne des régions. Le PACA a significativement la plus importante abondance, alors que le Rhône-Alpes a la plus faible. Seule la Picardie n’est significativement pas différente de la Bourgogne et de la Champagne-Ardenne.

Sur ce même graphique, la richesse taxonomique par région est affichée en haut de chaque barre d’histogramme. D’après le test de Kruskal-Wallis ($k=19.71$, $p\text{-value}=0.00057$), la Bourgogne (a) a la richesse spécifique moyenne la plus élevée, et est significativement différente de Rhône-Alpes et Champagne-Ardenne qui sont semblables (b). Par contre, la PACA et la Picardie (ab) sont semblables et non différents des autres régions.

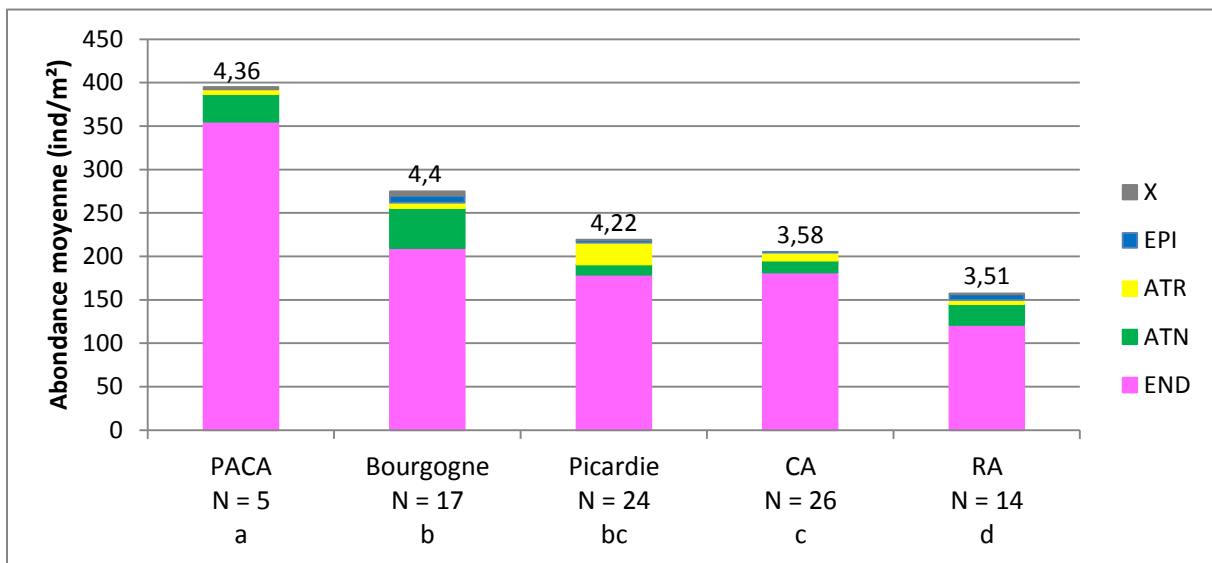


Figure 3 Abondance moyenne de vers de terre par région, et richesse taxonomique moyenne

3.2.2 – Abondance et de la biomasse

La figure 5 montre l’abondance moyenne par parcelle par région pour chaque groupe fonctionnel. Les résultats du test de Kruskal-Wallis ($k= 20.08$, $p\text{-value}= 0.0005$), affiché sous chaque barre de l’histogramme, montre des différences significatives entre la biomasse moyenne des régions. La PACA a significativement la plus forte biomasse, alors que la Picardie et le Rhône Alpe ont la plus faible. La Bourgogne n’est pas statistique différente de la PACA, et la Champagne Ardenne n’est pas différente de la Picardie et du Rhône Alpes.

Au-dessus de chaque barre a été précisé le rapport (Abondance Moyenne / Biomasse Moyenne) qui renseigne sur le poids moyen d’un individu par région. Il permet d’en savoir plus sur le poids des individus : plus le rapport est élevé, plus la masse de chaque individu est faible. Il est ainsi possible de savoir si la biomasse moyenne d’une région est due à une forte abondance ou à des vers de taille importante. Le test de Kruskal ($k= 23.30$, $p\text{-value}= 0.0001$), montre un rapport significativement plus fort en Picardie (a), et faible en Rhône Alpes (c). Bourgogne (b) et Champagne Ardenne (b) sont statistiquement semblables, et PACA (ab) n’est différent ni de ces deux dernières régions, ni de la Picardie.

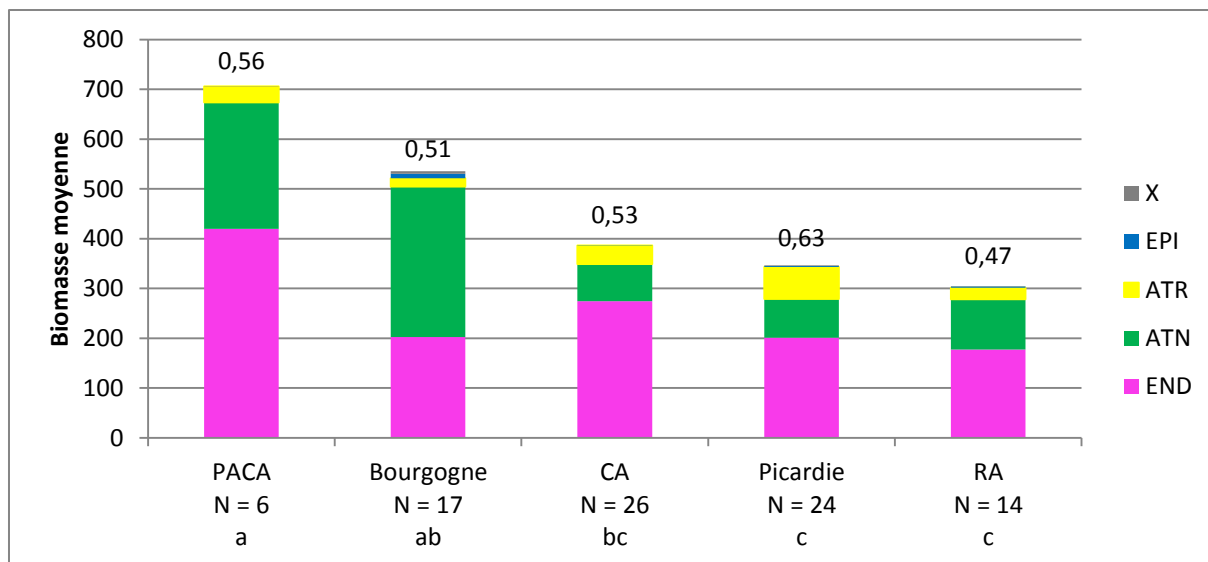


Figure 4 Biomasse moyenne par région et abondance/biomasse

3.2.3 - Observation des indices de diversité de Shannon et Simpson

Les indices de Shannon et Simpson ont été calculés, puis un test de Kruskal a été effectué (ANNEXE F).

Le test de Kruskal n'est pas significatif pour les indices de Shannon ($k=8.21$; $p\text{-value} = 0.084$), mais l'est pour les indices de Simpson ($k=11.58$; $p\text{-value} = 0.021$). Cependant la région Rhône-Alpes qui a un indice de Shannon élevé (1.04), a aussi un indice de Simpson fort (0.61). A l'inverse, la Champagne Ardenne a un indice de Shannon (0.76) et un indice de Simpson faibles (0.41). Concernant l'indice de Simpson, ces deux régions sont statistiquement différentes l'une de l'autre, et il n'apparaît pas d'écart significatif entre les autres.

3.3 - Influence des variables explicatives sur les communautés lombriciennes

Tous les résultats d'ANOVA sont disponibles dans L'ANNEXE G.

3.3.1 - Paramètres mésologiques

3.3.1.1 - Texture

La texture a un effet significatif sur cinq facteurs (l'abondance totale, des ATN, des endogés et des ACCX, la richesse taxonomique et la biomasse totale).

Les graphiques tendent à montrer des valeurs d'abondance totale (plus de 1 000 ind/m² sur un prélèvement), de biomasse (près de 300g/m²) et de richesses taxonomique (jusqu'à 9 espèces/m²) plus élevées pour la texture argile limoneuse. De plus, le sable argilo-limoneux a un effet positif sur les ATN, cependant un très grand écart de valeurs (valeurs allant de 0 à plus de 300 ind/m²) ne lui permet pas d'être statistiquement intéressante.

Suite à l'ANOVA, des tests post-hoc ont été réalisés. Ils confirment que la structure « argile limoneuse » a une influence significativement positive sur les lombriciens, à l'inverse des sols riches en sable (S) et sable (SS) qui ont une influence négative.

3.3.1.2 - Structure

D'après l'ANOVA, l'effet structure est significatif pour quatre facteurs (l'abondance et la biomasse totale, et le nombre d'ATN et d'endogés).

Cependant, l'interprétation graphique est difficile, et après les tests post-hoc il n'apparaît pas de différences significatives entre les modalités de la variable « structure ». Le test n'est probablement pas assez puissant pour les montrer.

Graphiquement, il est possible de noter la structure 1 est favorable aux lombriciens, et que la structure 4 est moins favorable aux lombriciens.

3.3.2 - Paramètres liés à la gestion des cultures

3.3.2.1 - Travail du sol

D'après l'ANOVA, le travail du sol a un effet significatif sur quatre facteurs (l'abondance totale, des ATN et des ACCX, et la biomasse totale).

Il est visible sur les graphiques que les valeurs sont plus élevées en travail du sol sans labour, exception faite de l'abondance des ACCX. Pour cette dernière, le non-labour apporte une médiane très faible en TCS (0 ind/m²), un écart-type important (de 0 à près de 200 ind/m²), mais tout de même les valeurs les plus élevées (avec des valeurs extrêmes à plus de 800, contre à peine 300 ind/m² en labour).

Suite aux tests post-hoc, les valeurs sont significativement plus élevées pour la modalité « sans labour », sauf pour les ACCX où le test post-hoc n'est pas assez puissant.

3.3.2.2 - Présence d'une culture intermédiaire

La variable explicative « Culture intermédiaire » a un effet significatif sur les quatre facteurs suivants : la biomasse totale, l'abondance des ATN et des ACCX, et la Richesse Taxonomique.

Il est graphiquement difficile de donner des tendances globales. L'abondance des ACCX obtient les mêmes médianes avec ou sans culture intermédiaire, mais les valeurs extrêmes sont supérieures sans présence de culture intermédiaire. Par contre, à l'inverse, bien que l'abondance des ATN obtienne des boxplots identiques avec ou sans culture intermédiaire, les valeurs extrêmes sont supérieures en cas de présence.

Concernant la biomasse totale, bien que les valeurs extrêmes soient plus importantes avec la modalité « Oui », la médiane est plus haute et le boxplot plus concentré en « Non ». Enfin, pour la richesse taxonomique, la médiane et les valeurs outsiders sont plus importantes en cas de culture intermédiaire.

Cependant, les tests post-hoc ne sont pas assez puissants pour montrer une quelconque significativité entre les modalités, pour ces quatre variables à expliquer.

3.3.2.3 - Présence d'une prairie dans la rotation

La présence d'une prairie influence ces deux facteurs : l'abondance des ATN et en ACCX.

Seule la variable à expliquer « abondance des ACCX » montre une différence significative entre les modalités « Avec » et « Sans » prairie dans la rotation. L'interprétation graphique permet de conclure sur une abondance médiane plus forte en présence de prairie, mais à des valeurs extrêmes et une moyenne plus faibles.

3.3.3 – Etude des interactions entre les paramètres et les lombriciens

Certaines interactions ont pu être analysées statistiquement par les GLM. Seules les interactions entre Texture et Structure, Texture et Travail du sol, ainsi que Texture et Présence de prairie, donnent des résultats potentiellement intéressants.

3.3.3.1 – Impact de l'interaction entre texture et structure sur les lombriciens

D'après l'ANOVA, la combinaison de la Texture et de la Structure a un effet significatif sur les cinq variables explicative : Abondance Totale, des ATN, des endogés et des ACCX, ainsi que la biomasse totale.

Le test post-hoc montre pour l'abondance totale et en endogés que les sols argile limoneux de structure 1 (AL : 1) sont significativement supérieurs. Concernant l'abondance en ACCX, la texture argile limoneuse associée à la structure 1 et l'argile limono-sableuse combinée à la texture 3 sont tous deux significativement supérieurs. Cependant, le test post-hoc ne démontre aucune significativité pour l'abondance en ATN, ni pour la biomasse totale.

Ainsi, l'interaction Al : 1 a des valeurs significativement plus élevées que les autres interactions Texture : Structure. A l'inverse, les interactions riches en sable (S : 1 et SS : 1) sont souvent parmi les plus faibles.

Cependant, toutes les interactions Texture : Structure ne sont pas disponibles. Le tableau 2 donne un aperçu des combinaisons disponibles.

3.3.3.2 - Impact de l'interaction entre texture et travail du sol sur les lombriciens

Selon les résultats de l'ANOVA, le croisement de la texture et du travail du sol n'est significatif que pour l'abondance totale.

Sur ce graphique, la combinaison d'argile limoneuse et de TCS montre la plus grande abondance (médiane de 250 ind/m², avec un extrême à 825), mais son écart de valeurs semble lui aussi très important (à peu près de 100 à plus de 700 ind/m²). Ensuite, l'abondance la plus importante semble être pour l'association de sable argilo-limoneux et du TCS (médiane à près de 200 ind/m²).

Cependant, la comparaison entre les mêmes textures ayant un travail du sol différent est plus complexe. L'argile limono-sableuse associée au TCS a graphiquement une abondance plus faible que lorsqu'elle est associée au labour. A l'inverse, les sables argilo-limoneux et le TCS semble permettre une abondance plus importante que qu'en labour.

Le test post-hoc permet de vérifier que l'interaction entre l'argile limoneuse et le travail superficiel offre une abondance supérieures à toutes les autres combinaisons, à l'exception de l'association du sable argilo-limoneux et du TCS.

A l'inverse, la combinaison d'argile et de TCS est significativement défavorable à l'abondance totale.

3.3.3.2 - Impact de l'interaction entre texture et présence de prairie sur les lombriciens

L'interaction entre texture du sol et la présence de prairie dans la rotation est significative pour l'abondance totale, des ATN, des endogés et des ACCX, la biomasse totale et enfin sur la Richesse Taxonomique.

L'analyse graphique montre qu'à l'exception de l'abondance des ATN, les autres valeurs semblent être influencées vers le haut par l'interaction d'argile limoneuse et l'absence de prairie (abondance totale médiane à 750 ind/m², richesse taxonomique à 6 espèces/m², et biomasse totale à environ 180 g/m²). Les sables argilo-limoneux sans prairie apportent aussi des valeurs fortes, mais une très grande variabilité. Cette dernière interaction offre de grandes valeurs à l'abondance des ATN (jusqu'à plus de 300 ind/m²), mais elle a là aussi une très grande amplitude de valeurs (avec un minimum à 0, et une médiane de 50 ind/m²).

Le test post-hoc n'est probablement pas assez puissant pour montrer la significativité de l'abondance des ATN. Cependant, concernant les autres variables, la combinaison d'argile limoneuse et d'absence de prairie est significativement plus élevée que de nombreuses autres, sauf pour la richesse taxonomique. A l'inverse, l'argile avec une prairie, et un sol sableux sans prairie sont inférieures à de nombreuses associations, sauf pour l'abondance en ACCX.

3.3.3.2 - Autres interactions

Les autres interactions testées (Texture avec Travail du sol puis avec Culture intermédiaire, ainsi que Travail du sol et Culture intermédiaire puis avec la présence de Prairie) ne sont significatives pour aucune variable à expliquer. C'est pourquoi elles ne sont pas présentées en détail.

4 - Discussion générale

Le protocole utilisé pour le projet AgrInnov consiste à utiliser la méthode du « test bêche structure » combiné au « test bêche vers de terre ». La notation de la structure (de 1 à 5) se révèle difficile pour les agriculteurs. En effet, lors de l'informatisation des résultats d'enquête, toutes les notes de structure ont dû être vérifiées car de nombreuses erreurs apparaissaient. Il était notamment remarquable que l'arbre de décision était trop difficile à comprendre, ou que la notion du pourcentage n'était pas acquise par tous. Mais encore, le test bêche est une technique qui minimise le comptage des anéciques, car ceux-ci ont le temps de fuir en profondeur (BOUCHE, 1972).

Dans le cadre du projet AgrInnov Grandes Cultures, seules 20 espèces ont été prélevées sur toute la France. Ce chiffre est faible, car il existe une centaine d'espèce au niveau national (BOUCHE, 1972). Cette diversité taxonomique totale par région s'étend de 8 (PACA) à 20 (Rhône-Alpes).

En comparaison, le programme AgrInnov Viticulture a relevé entre 9 et 25 espèces par grande région viticole (BEDUNEAU, 2014), et le programme JASSUR a trouvé entre 11 et 27 espèces par jardin associatifs de cinq villes (SCIMIA, 2014). Ces deux programmes sont eux-aussi réalisés grâce au protocole du Test Bêche lors de la saison 2014, ce qui permet d'avoir une comparaison optimale.

L'abondance en Grandes Cultures varie de 0 à 837.5 vers/m², alors qu'en viticulture elle s'étend de 0 à plus de 1000 ind/m² (BEDUNEAU, 2014), soit environ 20% de plus.

Il est ainsi notable que les milieux agricoles de types grandes cultures semblent moins favorables à la diversité et à l'abondance que les milieux de viticulture et de jardinage. Cependant, aucune étude n'a été menée, dans le but de comparer statistiquement ces données.

L'ACP de l'abondance par groupe fonctionnel, de la biomasse et de la richesse spécifique, donne des informations sur les corrélations entre ces variables. Le graphique des variables (Annexe C) montre qu'il existe des relations entre elles. Seule l'abondance des Anéciques Stricts est indépendante des autres, et explique à elle seule plus de la moitié du second axe.

La biomasse totale et la richesse taxonomique sont assez fortement corrélées : ces deux variables expliquent l'axe 1 mais très peu le second. De même, l'abondance totale (placée comme variable illustrative), est très proche de la richesse taxonomique. Ce qui voudrait dire que si l'une de ses variables est forte, les autres le sont aussi. Ce résultat a déjà été vérifié dans la bibliographie, par exemple par SMITH *et al.* (2008).

Cependant, l'étude de l'abondance par groupe fonctionnel reste importante, car chacun de ces groupes a des caractéristiques bien précises et des impacts agronomiques et environnementaux très différents.

L'analyse du nuage de points de l'ACP, avec affichage des régions, montre que ces dernières ne sont pas facilement discernables les unes des autres. C'est pourquoi il est intéressant d'analyser les variables explicatives une par une, plutôt que toutes ensemble.

L'ACP des trois espèces principales (NCCT, ACCX et ARR) permet de renseigner sur les interactions entre elles. Puisque leurs abondances sont opposées, cela supposerait que les espèces ACCX et NCCT sont en concurrence pour une ressource, ou alors que l'environnement préférentiel de l'une ne convient que peu à l'autre. Par contre, les ARR semblent indifférents à ce phénomène : ils ont peut-être une niche écologique légèrement différente, ou s'adaptent plus facilement à leur environnement.

Or, d'après BOUCHE (1972), ces trois espèces ont les mêmes contraintes de milieu : elles sont toutes neutrophiles et acido-tolérantes, et affiliées aux milieux relativement peu organiques. Puisque les environnements de préférences sont les mêmes, il est possible d'envisager une compétition, une concurrence entre les ACCX et NCCT.

4.1 – Abondance moyenne par région

Graphiquement et statistiquement, l'abondance est la plus élevée en PACA, qui a aussi une bonne richesse taxonomique. A l'inverse, le Rhône-Alpes a la plus faible abondance, et la richesse taxonomique la plus basse. Il semble d'ailleurs possible de suivre graphiquement et statistiquement une certaine corrélation positive entre l'abondance et la richesse taxonomique, ce qui a été vérifié de manière générale par CLUZEAU *et al.* (2003).

Il est important de noter que pour chaque région, l'abondance totale est fortement dominée par les endogés. Si les épianéciques et anéciques stricts sont peu nombreux, ce sont surtout les épigés qui sont marqués par leur très faible apparition. Il semblerait alors que la conduite des grandes cultures, au niveau national, favorise amplement les endogés par rapport aux autres groupes fonctionnels (jusqu'à 355 ind/m² sur un total de 395 en PACA). Cela se confirme par l'étude de BINET (1993), qui a montré que les sols cultivés sont plus pauvres en espèces épigées que les sols prairiaux, alors que les espèces endogées sont au même nombre.

4.2. – Biomasse moyenne par région

La biomasse est maximale en région PACA, et la plus faible en Picardie et Rhône-Alpes. Il semble donc que les prélèvements avec une forte abondance aient aussi une forte biomasse.

Cependant, si les endogés dominaient très largement en terme d'abondance, il est notable que leur proportion est plus faible en terme de biomasse. Les ATN ont pris une certaine importance, et sont même supérieurs aux endogés pour la région Bourgogne (302g/m² contre 203g/m²). Ce qui est normal dans un sol naturel, car les ATN sont des espèces de grande taille.

L'étude du rapport abondance / biomasse permet de montrer que ces deux valeurs ne sont pas corrélées, à grande échelle. En effet, le test de Kruskal-Wallis sépare des régions, ce qui montre bien que ce rapport peut évoluer.

Il est intéressant de voir que la région Bourgogne, qui a la plus grande proportion d'ATR et ATN, n'a quand même pas le rapport abondance/biomasse le plus faible, qui est pour la région Rhône-Alpes. Cependant, si cette dernière a statistiquement le rapport le plus faible, il n'est statistiquement pas différent de celui de la Bourgogne.

Ceci signifierait que la Bourgogne, bien qu'ayant une forte biomasse en anéciques, a tout de même des individus moyens de faible masse. Cela pourrait s'expliquer par la fuite des plus gros lors de l'extraction du bloc de terre.

4.3 - Indices de diversité

L'étude des indices de Shannon et Simpson montre que la région Rhône Alpes a les plus élevés, bien que les résultats du test de Shannon ne soient pas significatifs. Ceci peut s'expliquer par la grande variabilité des milieux dans cette région, qui comporte des parties alluviales et tout un gradient d'altitude jusqu'aux zones montagneuses.

Cette variabilité de relief apporte des conditions pédoclimatiques diversifiées, qui peuvent expliquer de forts indices écologiques

4.4 - Paramètres mésologiques

4.4.1 - La texture

D'après LEE (1985), la texture agit sur les lombriciens de façon directe (les éléments grossiers sont difficilement ingérables) et indirecte (capacité de rétention de l'eau, pH, ...). GERARD, HAY (1979) ont montré que les textures les plus favorables au développement lombricien sont Al (Argile limoneuse) ou Sa (Sablo argileuse). Par contre, les sols très riches en limons n'y sont pas propices car plus facilement soumis à la dessiccation.

Ceci confirme les résultats obtenus lors de la campagne 2014 d'AgrInnov : le sol argileux-limoneux influence positivement les variables à expliquer (l'abondance totale, des ATN, des endogés et des ACCX, la richesse taxonomique et la biomasse totale), alors que les textures très riches en sable (S et SS) ou en limon (L) ont un impact plus négatif.

4.4.2 - La structure

Bien que l'ANOVA détecte un effet significatif de la variable « structure », le test post-hoc ne différencie pas les modalités.

Il semble tout de même que certaines études aient démontré un effet de la compaction du sol sur les vers. Par exemple, BOSTROM (1986) a observé une biomasse plus faible sous les traces d'engins agricoles que dans les autres zones agricoles, ou encore CHAN et BARCHIA (2007) qui ont montré que l'abondance, la biomasse, et la composition des communautés est différente entre un sol aéré et un tassé.

Cependant, les prélèvements AgrInnov ont normalement été faits en dehors des passages de tracteurs. Hormis ces espaces, les sols ne sont peut-être pas assez compactés pour que des différences soient observables. De plus, l'expérimentation de BOSTROM (1986), pour démontrer l'impact du tassement, a été réalisée en sol très riche en argile. Or, le nombre de prélèvements de texture argileuse (A) ne sont que 18 sur 222.

Les résultats AgrInnov sont peut-être à nuancer, car seul 30 prélèvements sont de structure 3, et trois sont de structure 4, sur un total de 460.

4.5 - Les paramètres agricoles

4.5.1 - Le travail du sol

Dans les résultats présentés précédemment, le travail du sol sans labour montrait une l'abondance totale et des ATN, ainsi qu'une biomasse totale élevée. Le test post-hoc n'est pas significatif pour l'abondance d'ACCX, bien que la médiane soit plus élevée en labour.

L'abondance en ACCX n'est pas particulièrement élevée par l'absence de labour. Ceci pourrait être dû à une plus forte compétition entre les espèces lombriciennes, ou avec d'autres animaux.

GERARD et HAY (1979) ont montré qu'il existe un gradient entre la profondeur du labour et l'abondance : plus il est profond et moins il y a de lombriciens, et l'abondance est maximale en non-travail du sol. Selon DEIBERT *et al.* (1991), le ratissage superficiel présente une abondance supérieure au labour. EVANS et GUILD (1948) et CURRY *et al.* (2002) sont d'accord pour dire qu'un labour entraîne la disparition de 20 à 90% de la biomasse lombricienne. Cette disparition est due aux dommages corporels, à la destruction de l'habitat, mais aussi à la diminution de la ressource trophique (CURRY, 2002). Le labour a aussi un impact en créant une semelle, qui représente alors une barrière à l'enfouissement.

Tout cela conforte les résultats obtenus : moins le sol est travaillé, plus les communautés peuvent se développer. Cependant, les ACCX ne suivent pas cette tendance. Or, CHAN (2001) a démontré que les catégories écologiques ne répondent pas de la même façon au retournement du sol. Si les anéciques sont en forte diminution, les endogées le sont moins grâce à leur petite taille, l'apport de matières organiques en profondeur et une destruction moins importante de leurs galeries (GERARD, HAY, 1978).

Ceci peut alors justifier les résultats obtenus pour l'abondance des ACCX.

4.5.2 - Présence d'une culture intermédiaire

D'après les résultats obtenus, les modalités de la variable « présence d'une culture intermédiaire » n'ont pas d'influence significative sur les différents facteurs. Cependant, graphiquement une tendance à l'augmentation de la richesse taxonomique et de l'abondance

des ATN est observée en présence de culture intermédiaire, alors que la biomasse totale et l'abondance des ACCX ont tendance à diminuer.

L'introduction d'une culture intermédiaire dans la rotation modifie plusieurs facteurs sur une parcelle. Son semis provoque un certain travail du sol, une fois en place la culture apporte un couvert végétal et des modifications physico-chimiques du sol, et sa destruction, si elle est mécanique, implique un travail du sol avec enfouissement de la matière organique.

Les résultats indiquent une augmentation des ATN et une diminution des ACCX. Or, en regardant les réponses aux enquêtes, il est possible de voir que sur les 6 agriculteurs n'ayant pas de culture intermédiaire, la moitié est en labour, alors que sur les 32 ayant des cultures intermédiaires, seul un dixième est en labour. Or, il a été montré précédemment que les anéciques sont fortement négativement impactés par le labour (CHAN, 2001). Ceci peut expliquer les tendances à l'augmentation des ATN en présence de culture intermédiaire.

D'après les résultats, s'il y a des cultures intermédiaires, l'abondance des ATN augmente mais celle en ACCX diminue. De plus, la richesse taxonomique augmente, ce qui traduit une augmentation des taxons d'ATN en même temps que leur augmentation d'abondance. La culture intermédiaire induit, en moyenne, une baisse de la biomasse en épigés et en endogés, mais une augmentation de celle des ATR et ATN, pour une biomasse médiane plus faible, mais une moyenne plus forte.

4.5.3 – Présence d'une prairie

LEE (1985) a montré que la prairie tempérée est le milieu de prédilection pour les lombriciens : c'est ici que la biomasse la plus élevée est observable. Le résultat attendu est donc une biomasse, voire une abondance, plus importante dans les parcelles ayant de la prairie temporaire dans leur rotation.

Or, d'après les analyses réalisées sur la campagne AgrInnov 2014, il n'existe que très peu d'effet de la présence de prairie. Seule l'abondance des ACCX montre une différence significative, et est plus élevée en cas de présence de prairie.

Pourtant, la catégorie écologique qui se développe le plus sous prairie est celle des anéciques, mais c'est aussi celle qui est le plus impactée par le labour (WYSS et GLASSTETTER, 1992).

En regardant les données disponibles, il est tout d'abord notable que seule 3 parcelles sur 37 ont de la prairie dans leur rotation. Et parmi ces trois parcelles une est en labour alors que la proportion est plus de deux fois plus faible dans la modalité « sans prairie ». Le jeu de données disponible a donc pu fausser certaines observations.

Cependant, EDWARDS et LOFTY (1977) ont noté que la mise en culture d'une prairie peut entraîner jusqu'à 90% de perte de la biomasse lombricienne, et donc un fort pourcentage d'abondance. De plus, LEE (1985) a montré qu'une prairie temporaire doit rester en place au moins trois ans pour retrouver des communautés quasi-normales. Mais deux années après la

mise en prairie d'un système de grandes cultures, l'abondance globale augmente (PERES *et al.*, 2012).

Or, nous n'avons ici aucune information sur la date d'implantation et de retournement de la dernière prairie, qui pourrait peut-être expliquer une part des résultats obtenus.

4.6 - Impact des interactions sur les lombriciens

4.6.1 - Interaction entre Texture et Structure

Premièrement, il est à rappeler les résultats de chaque variable individuellement. La texture apportait de meilleures valeurs pour la modalité Argile, et de très faibles valeurs pour les sols sableux et sable. Par contre, la structure n'avait pas d'effet significatif, bien qu'il soit possible d'en trouver dans la bibliographie.

Concernant l'interaction entre Texture et Structure elle est statistiquement intéressante pour l'abondance totale, en endogés et en ACCX, mais aussi pour la biomasse totale. Argile limoneuse et structure 1 est la combinaison qui apparaît le plus souvent supérieure aux autres, alors que les sables S et SS avec une structure 1 sont généralement dans les plus faibles.

Il est ainsi aisé de remarquer que l'interaction la plus favorable pour les lombriciens comporte la texture d'argile limoneuse, qui seule apportait déjà les valeurs d'abondance, de biomasse et de richesse taxonomique les plus élevées.

Dans le jeu de données disponible, il est tout d'abord à noter que sur un total de 190 structures, 142 des structures sont de classe 1, soit près de 75%. Seuls 27 sont de classe 2, 18 de classe 3, et 3 de classe 4. Toutes les combinaisons de Textures et de Structures ne sont donc pas disponibles dans le cadre de l'étude (tableau 2)

Il est aisé de comprendre que la combinaison d'argile limoneuse et de la texture 1 est la plus favorable, puisque cette texture l'est et que d'après la bibliographie une structure légère permet un meilleur développement lombricien. Mais il pourrait être surprenant de ne pas voir ressortir les structures les plus compacts de par leurs faibles abondances. Ceci peut s'expliquer par leur faible nombre (seulement trois textures 4), qui influe les tests et reflète moins de variété.

Plus de la moitié des textures n'ont qu'une seule structure (la numéro 1). Si les sables ont rarement une structure compacte, il est plus surprenant de ne pas trouver de textures compactes dans les sols plus riches en limon et argile. De plus, toutes les interactions entre Texture et Structure ne sont pas disponibles.

Il sort donc de ces résultats que la structure n'a toujours pas d'importance, même dans l'interaction avec la texture. C'est bien cette dernière qui semble ici encore fortement influencer les facteurs Abondance totale, en endogés et en ACCX.

4.6.2 - Interaction entre Texture et Travail du sol

Cette interaction n'est significative que pour l'abondance en lombricien totale. Encore une fois, la combinaison ayant la texture argile limoneuse offre les valeurs d'abondance les plus élevées, graphiquement et statistiquement.

Cependant, peu d'agriculteurs ayant participé au programme sont en système labouré (7 sur les 37 ayant répondu à l'enquête). Il n'y a donc que deux textures testées en labour et en non-labour (Argile limono-sableuse et Sable argilo-limoneux), et la texture de sable n'est disponible qu'avec un labour. Il aurait été intéressant d'étudier l'impact du travail du sol pour chaque texture, mais ce n'est donc pas possible.

Dans une vision globale, il est aisé de voir que les interactions entre l'argile limoneuse et le TCS ainsi qu'entre les sables argilo-limoneux et le TCS apportent les valeurs d'abondance en lombriciens les plus élevées. A l'inverse, le fait de labourer un sol de sable apporte parmi les plus faibles.

Comme précédemment, il semblerait que le travail du sol importe peu mais que la texture soit primordiale à l'abondance des lombriciens.

4.6.3 - Interaction entre Texture et Prairie

Cette interaction est significative pour l'abondance totale, en ATN, en endogés et en ACCX, la biomasse totale et la richesse taxonomique.

Encore une fois, les interactions ayant la texture A1 sont significativement plus élevées que les autres, à l'exception de l'abondance des ATN, et celles ayant la texture S sont défavorables.

Les résultats des interactions entre une argile et la présence/absence de prairie peuvent être surprenants. En effet, dans le cas d'un sol argileux et d'absence de prairie, les abondances totales, en endogés et en ACCX, ainsi que la biomasse totale et la richesse taxonomique sont systématiquement supérieures. D'après la bibliographie (EDWARDS, LOFTY, 1977 ; LEE, 1985 ; HAYNES *et al.*, 1991) et les résultats obtenus précédemment, la présence de prairie devrait être favorable aux lombriciens.

Une première hypothèse pour expliquer ce résultat aurait été que les parcelles argileuses avec présence de prairie ont un travail du sol plus destructeur, or ce n'est pas le cas. De plus, en regardant la totalité des données disponibles suite à l'enquête, toutes les pratiques différentes sont plus favorables aux parcelles argileuses ayant des prairies temporaires.

Il serait donc intéressant d'étudier cette interaction plus précisément, grâce à un jeu de données plus important.

Conclusion

L'analyse des variables pédologiques et agricoles à l'échelle nationale, a pour objectif final de développer l'utilisation des communautés lombriciennes comme bioindicateurs. Pour cela, les paramètres mésologiques texture et structure du sol ont été étudiés, aussi que les variables agricoles liées au travail du sol et à la couverture du sol.

Il est tout d'abord notable que les valeurs d'abondance et de richesses taxonomiques des lombriciens semblent plus faibles en système de Grandes Cultures, que sur des parcelles de viticulture ou de jardinage.

L'étude précise des variables naturelles et agricoles permet de mieux comprendre leurs influences et celle de leurs interactions, sur les communautés lombriciennes.

L'analyse de la texture montre qu'un sol argileux limoneux est le plus favorable au développement d'une communauté lombricienne. A l'inverse, un sol avec une granulométrie importante, comme les sables, sont statistiquement défavorables. L'analyse de la structure du sol est peu interprétable. Il semblerait tout de même que la structure la plus allégée soit la plus favorable, ce que la bibliographie confirme.

Concernant les variables agricoles, le travail du sol a tout d'abord été étudié. Conformément à la bibliographie, un retournement en profondeur implique de plus faibles communautés lombriciennes. Seule l'abondance des ACCX est favorisée par la pratique du labour, potentiellement grâce à l'introduction de matière organique en profondeur. La couverture du sol a été étudiée par la présence de culture intermédiaire (dont l'analyse graphique et statistique est difficile) et la présence de prairies dans une rotation (qui a peu d'impact).

Enfin, les interactions entre variables explicatives ont été analysées. Celles statistiquement intéressantes vis-à-vis des communautés lombriciennes comportaient à chaque fois la variable Texture. Or, pour les combinaisons de Texture et Structure, de Texture et Travail du sol ou encore de Texture et Prairie, à chaque fois la texture minimise l'impact de l'autre paramètre sur les lombriciens. Ce résultat est très intéressant, car par exemple une texture d'argile limoneuse avec labour aura une abondance moindre qu'en travail superficiel, mais supérieure à toutes les autres combinaisons présentes.

Ainsi, si les paramètres indépendamment pris sont bien connus, leurs interactions le sont beaucoup moins et il semblerait que la texture joue un rôle très important. Ces paramètres sont donc à étudier en détail, et avec un échantillon plus vaste. Cet actuel rapport n'est pas définitif, le projet AgrInnov étant toujours en cours d'étude. Il sera donc intéressant de parachever les analyses avec un jeu plus complet, afin de compléter ces premiers résultats.

Le projet AgrInnov intègre des notions de control biologique des sols à l'échelle de la France. Il constitue une base de données, qui permettra de créer une graduation pour se repérer et comparer les sols entre eux sur leur aspect biologique.

L'un des objectifs finaux du projet est de valider des bioindicateurs utilisables par tous. Un effort de vulgarisation doit être fait pour que les agriculteurs puissent comprendre et noter eux-mêmes leurs sols, par exemple grâce à un outil d'aide à la décision facile à utiliser.

Si la texture est un facteur non modifiable, il est possible de jouer sur les pratiques agricoles. Mais pour intéresser un maximum d'agriculteurs, il pourrait être intéressant de compléter ces analyses par l'étude des rendements et de la qualité des produits agricoles, l'utilisation de produit phytosanitaires, ou même le bilan financier de l'exploitation agricole. Il est par exemple reconnu que plus il y a de lombriciens sur une parcelle, plus la croissance des plantes est forte. Ainsi, si les résultats sont positifs, même ceux qui ne ressentent pas de « fibre environnementale » pourront finalement se sentir concernés par la protection, ou même « l'élevage » de la faune du sol.

Enfin, grâce à leurs réseaux de galeries les lombriciens facilitent l'infiltration de l'eau et son épuration, en diminuant l'érosion des sols et le ruissellement. Ceci pourrait aider à améliorer la qualité des rivières et aquifères, dans le vue de la Directive Cadre sur l'Eau.

Bibliographie

ADEME, 2013. Programme ADEME bioindicateur Phase 2 (BIO2). *In*: EcoBioSoil, Le site dédié à l'étude de la biodiversité des sols [en ligne]. Date de mise à jour : le 23 septembre 2013. Disponible sur : http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/objectif_programme.php

AGRESTE, 2000. Agreste Cahiers, n°4. Consulté le 26/08/2014. Disponible sur <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/articles00124A2.pdf>

AGRESTE, 2008. Agreste Primeur, n°210. Consulté de 25/02/2014. Disponible sur <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/primeur210.pdf>

BACHELIER G., 1978. La faune des sols, son écologie et son action. Orstom IDT, n°38, Paris.

BEDUNEAU J., 2014. Impacts de facteurs pédologiques, de pratiques culturales et de leurs interactions sur les lombriciens dans les vignobles français. Ingénierie des Agrosystèmes : Université de Rennes 1. 34p.

BINET F., 1993. Dynamique des peuplements lombriciens et fonction des lombriciens en sols cultivés tempérés. Thèse de doctorat : université de Rennes 1. 299p.

BONNARD N., FALCY M., PASQUIER E. ET PROTOIS J.C., 2011. Fiche toxicologique – Aldéhyde formique et solution aqueuse. *In* : INRS, santé et sécurité au travail [en ligne]. Date de mise à jour : 2011. Disponible sur : <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%207>

BOSTROM U., 1986: The effect of soil compaction on earthworms *lumbricidae* in a heavy clay soil. Swedish Journal Of Agricultural Research. p. 137-141.

BOUCHE M., 1972. Lombriciens de France. Ecologie systématique INRA, Annales Zoo, Ecologie Animale volume 72, n°2. 672 p.

BROWN G.G., PASHANASI B., VILLENAVE C., PTRON 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 Lavelle P., Brussaard L. and Hendrix P.F., 1999. Earthworms Management in Tropical Agroecosystems, CAB International, Wallingford, U.K. p. 87-147. ISBN : 0851992706.

CAPBLANCQ J. & DECAMPS H., 2002. L'eutrophisation des eaux continentales: questions à propos d'un processus complexe. Nature Sciences Sociétés, Volume 10, n°2. p. 6-17.

CARRINGTON C., 2011. UK green spaces worth at least £30bn a year in health and welfare, report finds. *In*: The Guardian. Consulté le : 10/07/2014. Disponible sur : <http://www.theguardian.com/environment/2011/jun/02/uk-green-spaces-value>

CHAN K.Y. & BARCHIA I., 2007. Soil Compaction controls the abundance, biomass and distribution of earthworms in a single dairy farm in south-eastern Australia. *Soil & Tillage Research*, volume 94. p. 75-82.

CHAN K.Y., 2001. An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity – implications for functioning in soils. *Soil & Tillage Research*, volume 57. p. 179-191.

CLUZEAU D. & PERES G., 2004. Vers de terre, Les acteurs de la fertilité des sols. TCS Techniques Culturelles Simplifiées, n°27. p. 10-21.

CLUZEAU D., LEMERCIER B., ABLAIN F., PERES G. & GRANDIN V., 2003. Ecologie des Lombriciens & Interactions avec les activités agricoles en zone tempérée – cas particulier du Cuivre, Les Cahiers du BIOGER, volume 2. 240p.

CURRY J.P., BYRNE D. & SCHMITT O., 2002. Intensive cultivation can drastically reduce earthworm populations in arable land. *European Journal of Soil Biology*, volume 38. p. 127-130.

DARWIN C., 1881. The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms, With Observations of their Habits. Murray, London.

DEIBERT, E.J., UTTE, R.A., SCHWERT, D.P., 1991. Tillage system influence on earthworms (Lumbricidae) in North Dakota. *North Dakota Farm Research*, volume 48. p. 10-12.

DUMONT B., FARRUGGIA A. & GAREL J.P., 2007. Pâturage et biodiversité des prairies permanents. Rencontre autour des Recherches sur les Ruminants, volume 14. p. 17-24.

EDWARDS C.A. & BOHLEN P.J., 1996. *Biology and Ecology of Earthworms*. Chapman and Hall, London, 426p.

EDWARDS C.A. & LOFTY J.R., 1977. *Biology of earthworms*, second edition. Chapman and Hall, London, 300p.

EVANS A.C. & GUILD W.J.M.C., 1948. Studies on the relationships between earthworm and soil fertility. V – Field populations. *Annals of Applied Biology*, volume 35, n°4. p.485-493.

FRÜND H.-C., GRAEFE U., & TISCHER S., 2011. Earthworms as Bioindicators of Soil Quality. *Soil Biology*, volume 24. p. 261-278.

GALLAI N., SALLES J.M., SETTELE J. & VAISSIERE B.E., 2009. Economic valuation of the vulnerability of word agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, volume 68. p. 810-821.

GEIGER F., BENGTTSSON J., BERENDSE F., WEISSER W.W., EMMERSON M., MORALES M.B., CERYNGIER P., LIIRAH J., TSCHARNTKE T., WINQVIST C., EGGERS S., BOMMARCO R., PÄRT T., BRETAGNOLLE V., PLANTEGENEST M., CLEMENT L.W., DENNIS C., PALMER C., ONATE J.J., GUERRERO I., HAWRO V., AAVIK T., THIES C., FLOHRE A., HÄNKE S., FISCHER C., GOEDHART P.W. & INCHAUSTI P., 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basis and Applied Ecology*, volume 11, n°2. p. 97-105.

GERARD B.M., HAY R.K.M., 1979. The effect on earthworms of ploughing, tined cultivation, direct drilling and nitrogen in a barley monoculture system. *Journal of Agricultural Science*, volume 93. p. 147-155.

HAYNES R.J., SWIFT R.S. & STEPHEN R.C., 1991. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soil. *Soil & Tillage Research*, volume 19. p. 77-87.

HUTHA, V., 2007. The sole of soil fauna in ecosystems: A Historical review. *Pedobiologia*, volume 50. p. 489-495.

HUYGHE C., 2007. Place des prairies dans les territoires français: regard historique. *Fourrage*, n°189. p 3-18.

JEGOU D., CLUZEAU D., BALESDENT J. & TREHEN P., 1998. Effects of four ecological categories of earthworms on carbon transfer in soil. *Applied Soil Ecology*, volume 9. p. 249-255.

JOLIVET C., ARROUAYS D., BOULONNE L., RATIE C., & SABY N., 2006. Le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols de France (RMQS), Etat d'avancement et premiers résultats. *Etude et Gestion des Sols*, volume 13, n°3. p. 149-164.

JONES C.G., LAWTON J.H. & SHACHAK M., 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, volume 69. p. 373-386.

KING, K.F.S. 1987. The history of agroforestry. In: Steppeler, H.A. and Nair, P.K.R. (eds.), Lavelle P., 1988. Earthworm activities and the soil system. *Biology and Fertility of Soils*, volume 6. p. 237-251.

LE ROUX X., BARBAULT R., BAUDRAY J., BUREL F., DOUSSAN I., GARNIER E., HERZOG F., LAVOREL S., LIFRAN R., ROGER-ESTRADE J., SARTHOU J.P., & TROMMETER M., 2008. Agriculture et biodiversité, Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA. 116p.

LEE K.E. & FOSTER R.C., 1991. Soil fauna and soil structure. *Australian Journal of Soil Research*, volume 29. p. 745-775.

LEE K.E., 1985. Earthworms – their ecology and relationships with soil and land use. Academic Press, New York.

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2005. *Ecosystems and human well-being*. Vol. 5. Island Press Washington, DC. *In*: Millenium Ecosystem Assessment [en ligne]. Date de consultation : 31/08/2014. Disponible sur : [http://www.who.int/entity/globalchange/ecosystems/ecosys .pdf](http://www.who.int/entity/globalchange/ecosystems/ecosys.pdf)

MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORET, 2014. Les 10 clés de l'agro-écologie. *In*: Agriculture.gouv.fr [en ligne]. Date de mise à jour : 20/02/2014. Disponible sur : <http://agriculture.gouv.fr/definition-agroecologie>

OADES J.M., 1993. The role of biology in the information, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* volume 56. p. 377-400.

PERES G., CLUZEAU D., HOTTE H., DELAVEAUN. & Coll, 2012. Fiche outil F2 : les vers de terre *In* : Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie [en ligne]. Date de consultation : le 04/09/2014. Disponible sur : http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=BD5A51D63BB8488158FF5FC2DA2F1675_to_mcatlocal1352211159482.pdf

PIRON D., 2008. Distribution de la drilosphère lombricienne et caractérisation bio-physique des faciès de bioturbation sous gradient de désintensification du travail mécanique des sols. Thèse doctorat Biologie : Université de Rennes 1. 164 p.

POINTEREAU P., 2002. Les haies. *Le Courrier de l'Environnement*, volume 46. p. 69-73.

RFI, 2010. Conférence de Nagoya : monétiser la nature pour la protéger ?. *In* : RFI, les voix du monde. Date de mise à jour : 22/10/2010. Disponible sur : <http://www.rfi.fr/asiе-pacifique/20101022-conference-nagoya-monetiser-nature-protеger/>

RIMMER D., 1998. Uitimate Interface. *New Scientist*, volume 160. 4p.

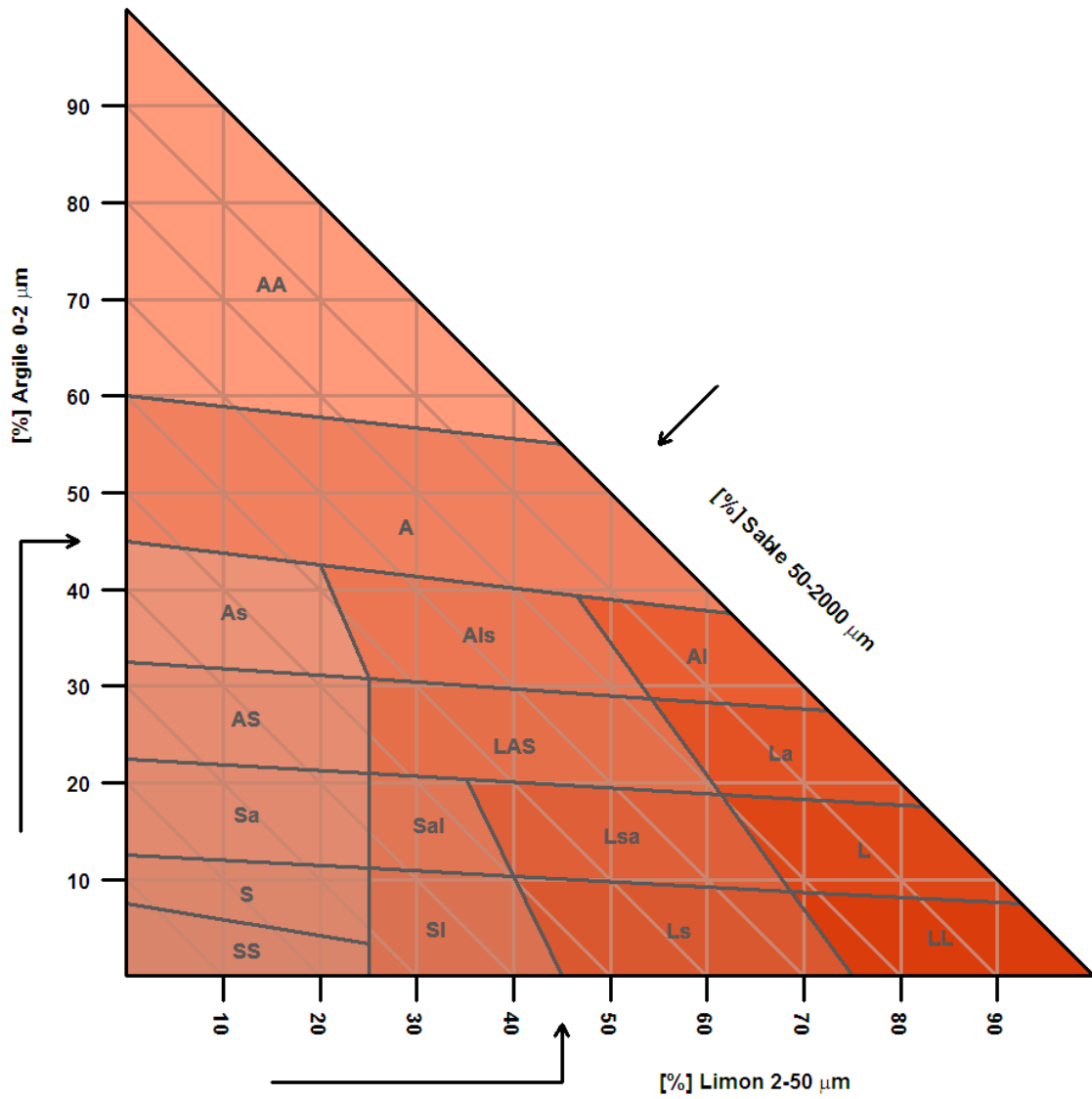
SCIMIA J., 2014. Communautés lombriciennes dans les jardins associatifs urbains : Impacts des pratiques de jardinage et des éléments traces métalliques. Master 2 : ENSAT.

SMITH R.G., McSWINEY C.P., GRANDY A.S., SUWANWAREE P., SNIDER R.M. & ROBERTSON G.P., 2008. Diversity and abundance of earthworms across an agricultural land-use intensity gradient. *Soil & Tillage Research*, volume 100. p. 83-88.

ZHANG Q.L. & HENDRIX P.F., 1995. Earthworms (*Lumbricus rebellus* and *Aporrectodea caliginosa*) effects on carbon flux in soil. *Soil Science Society of America*, volume 59. p. 816-823.

Annexes

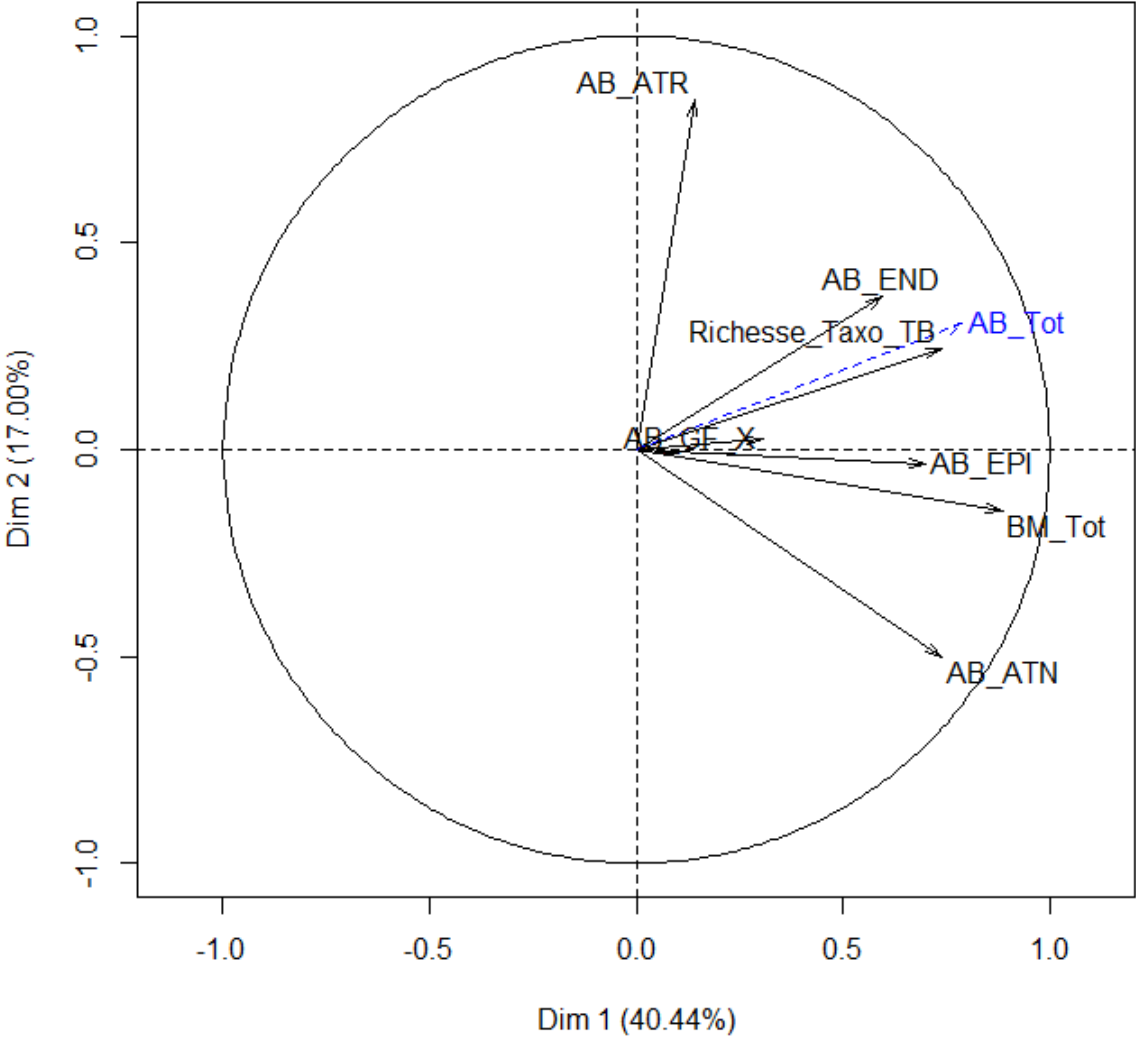
Annexe A: Triangle de texture GEPPA



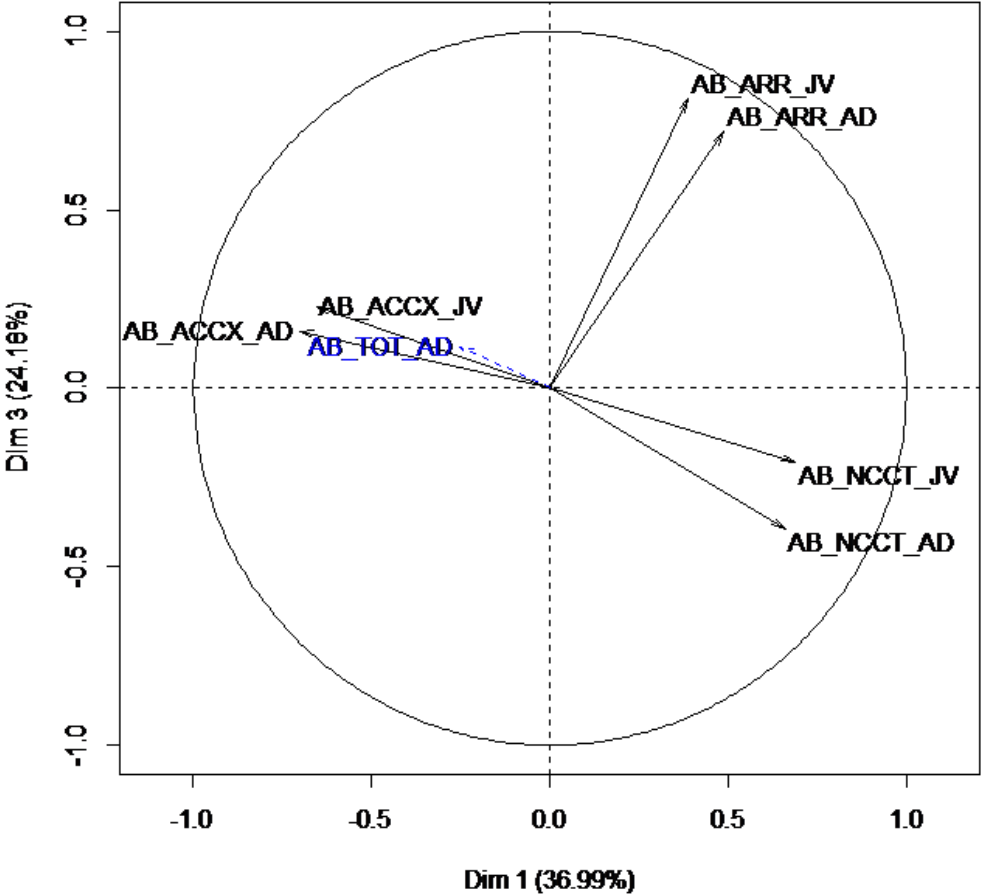
Annexe B : Résultats de l'enquête

Variables	Modalités (N =)			
Mode de production	Biologique (2)	Intégrée (10)	Conventionnel (26)	
Culture intermédiaire	Oui (32)	Non (6)		
Prairie	Oui (3)	Non (35)		
Fertilisation	Organique (1)	Organo- minérale (22)	Minérale (14)	Aucune (1)
Travail du sol	Semis Direct (10)	TCSL (23)	Labour (5)	
Date du dernier labour	> 3 ans (9)	2 à 3 ans (2)	Dans l'année (27)	
Désherbage	0 (4)	1 à 2 (25)	> 2 (9)	
Insecticide	Non (30)	Oui (8)		
Anti limace	Non (29)	Oui (9)		
Fongicide	Aucun (11)	1 à 2 (15)	> 2 (12)	
Chaulage	Oui (3)	Non (35)		

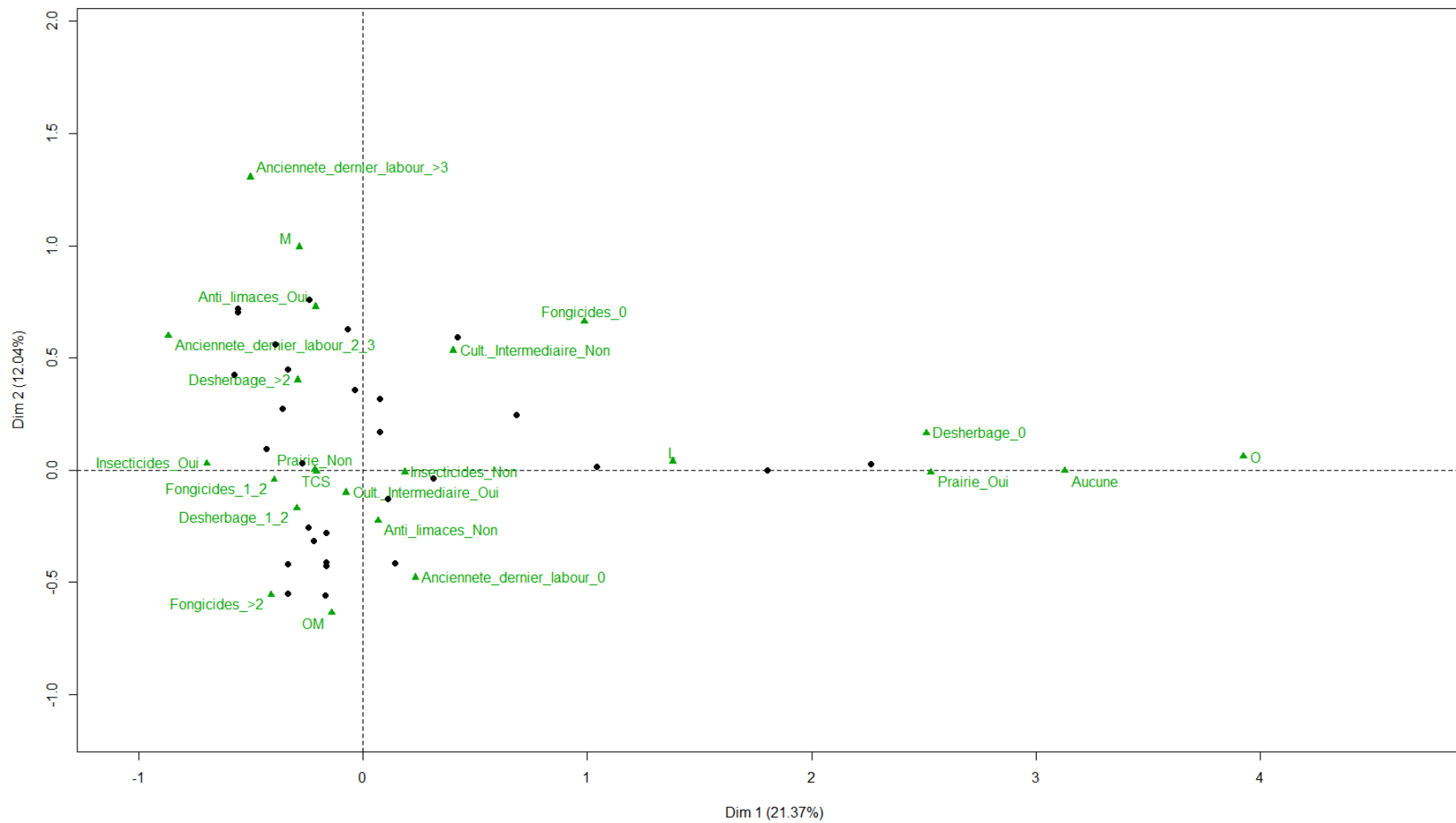
Annexe C : Graphique des variables de l'ACP sur le jeu de données complet



Annexe D : Graphique des variables de l'ACP des espèces sélectionnées



Annexe E : Résultat de l'ACM sur les pratiques agricoles



Annexe F : Indices de Shannon et Simpson, et test de Kruskal

Région	Shannon (non significatif)	Simpson (significatif)
Rhône Alpes	1,04 a	0,61 a
Bourgogne	0,92 ab	0,49 ab
Picardie	1,01 ab	0,55 ab
PACA	0,84 b	0,48 ab
Champagne Ardenne	0,76 b	0,41 b

Annexe G : Résultats des ANOVAs

	Facteurs	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
AB_Tot	Texture	105.3991	7	<2.2e-16***
	Structure	99.2112	3	<2.2e-16***
	Travail_sol_simpli	7.7237	1	0.00545**
	Cult_Inter	1.1261	1	0.28860
	Prairie	0.1382	1	0.71011
	Texture:Structure	718.4184	6	<2.2e-16***
	Texture:Prairie	30.9971	1	2.584e-08***
AB_EPI	Texture	20.5423	7	0.00451**
	Structure	0.0000	3	1.00000
	Travail_sol_simpli	0.0351	1	0.85140
	Cult_Inter	0.0001	1	0.99302
	Prairie	0.0000	1	0.99997
	Texture:Structure	0.0003	6	1.00000
	Texture:Prairie	0.0000	1	0.99999
AB_ATR	Texture	7.8884	8	0.4444
	Structure	86.9362	4	<2e-16***
	Travail_sol_simpli	0.0305	1	0.8614
	Cult_Inter	0.0000	1	0.9955
	Prairie	0.0000	1	0.9966
	Texture:Structure	0.1966	6	0.9999
	Texture:Prairie	0.0000	1	0.9979
AB_ATN	Texture	2628.84	7	<2.2e-16***
	Structure	622.99	3	<2.2e-16***
	Travail_sol_simpli	502.51	1	<2.2e-16***
	Cult_Inter	28.97	1	7.348e-08***
	Prairie	483.61	1	<2.2e-16***
	Texture:Structure	202.40	5	<2.2e-16***
	Texture:Prairie	79.75	1	<2.2e-16***
AB_END	Texture	70.913	7	9.661e-13***
	Structure	8.869	3	0.03108*
	Travail_sol_simpli	0.180	1	0.67174
	Cult_Inter	0.887	1	0.34623
	Prairie	3.233	1	0.07215.
	Texture:Structure	44.662	5	1.699e-08***
	Texture:Prairie	25.863	1	3.666e-07***

	Facteurs	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
Richesse Taxonomique	Texture	26.9723	7	0.0003371***
	Structure	0.2317	1	0.6303013
	Travail_sol_simpli	1.5894	1	0.2074174
	Cult_Inter	4.1012	1	0.0428538*
	Prairie	0.6931	1	0.4051255
	Texture:Structure	5.7299	3	0.1255168
	Texture:Prairie	7.6490	1	0.0056803**
BM_Tot	Texture	57.4915	7	4.773e-10***
	Structure	15.9154	3	0.001180**
	Travail_sol_simpli	8.4537	1	0.003643**
	Cult_Inter	6.0652	1	0.013787*
	Prairie	2.4084	1	0.120687
	Texture:Structure	137.2906	6	<2.2e-16***
	Texture:Prairie	39.4916	1	3.295e-10***