



HAL
open science

Impacts de facteurs pédologiques, de pratiques culturales et de leurs interactions sur les lombriciens dans les vignobles français

Jérôme Béduneau

► **To cite this version:**

Jérôme Béduneau. Impacts de facteurs pédologiques, de pratiques culturelles et de leurs interactions sur les lombriciens dans les vignobles français. Sciences agricoles. 2014. dumas-01083963

HAL Id: dumas-01083963

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01083963>

Submitted on 18 Nov 2014

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.

**AGROCAMPUS
OUEST**

CFR Angers

CFR Rennes



Année universitaire : 2013-2014.

Spécialité :

Horticulture

Spécialisation (et option éventuelle) :

Sciences et Productions végétales,
Ingénierie des Agrosystèmes

Mémoire de Fin d'Études

d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Impacts de facteurs pédologiques, de pratiques culturales et de leurs interactions sur les lombriciens dans les vignobles français

Par : Jérôme BEDUNEAU

Soutenu à Rennes **le 10/09/2014**

Devant le jury composé de :

Président : Menasseri Safia

Maître de stage : Cluzeau Daniel

Enseignant référent : Menasseri Safia

Autres membres du jury (Nom, Qualité) :

*Pérès Guénola : enseignante chercheuse
Agrocampus Ouest*

*Poulain Dominique : enseignant chercheur
Agrocampus Ouest*

Remerciements

Mon stage terminé, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont entouré pendant ces six mois, et permis de réaliser ce mémoire de fin d'études.

Je remercie particulièrement Daniel Cluzeau, directeur de recherche de l'UMR Ecobio, pour m'avoir accepté pour réaliser ce stage à la station biologique de Paimpont. Merci pour ses conseils et ses réflexions lors de l'analyse des données et de la réalisation du rapport.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble de la « Lumbricus Compagny » pour les bons moments passés en campagne de prélèvements de vers de terre aux quatre coins de la France et sur la station. Merci à eux pour leur disponibilité, leurs conseils pour la rédaction de ce rapport. Un grand merci à Maxime P, mon co-maître de stage, pour son suivi et ses connaissances sur le sujet et sur la faune. Un merci particulier à Hoel pour le partage de son « amour sur dimensionné » pour la faune Paimpontaise, et à Kévin pour son humour et sa passion pour les folles reprises phonétiques de chansons anglophones!

Merci aussi pour les soutiens précieux en analyses statistiques à Daniel C (DCy !), Pascaline G et Julien P.

Merci à l'ensemble des stagiaires pour les échanges professionnels et pour tous les moments passés au cœur de la forêt de Brocéliande. On n'a pas eu le temps de se plaindre de la pluie bretonne pourtant pas légendaire cette année!

Et enfin, je remercie l'ensemble des personnes, collègues, amis, famille, qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce stage et à la rédaction de ce rapport.

Sommaire

Remerciements

Glossaire et liste des abréviations

Liste des annexes

Liste des illustrations

Liste des tableaux

Introduction.....	1
1.1 Agriculture et biodiversité	1
1.2 AgrInnov, un programme de recherche participatif sur la qualité des sols agricoles.	3
1.3 Le ver de terre, un bio-indicateur sensible	5
1.4 Problématique	11
2 Matériels et méthodes.....	13
2.1 Recueil des données	13
2.1.1 Evaluation de la structure du sol.....	13
2.1.2 Prélèvements et analyses des vers de terre	15
2.1.3 Prélèvements à la tarière pour définir la texture	15
2.1.4 Réalisation des enquêtes	17
2.2 Analyse des données	17
3 Résultats	19
3.1 Etude approfondie des communautés lombriciennes.....	19
3.1.1 Groupe fonctionnel, richesse taxonomique, et abondance.	19
3.1.2 Biomasse globale, rapport biomasse / abondance.	19
3.1.3 Forte variabilité d'abondances et de richesse taxonomique intra-parcellaire.	19
3.2 Influence des variables sur les communautés de vers de terre.....	21
3.2.1 Influence des paramètres pédologiques sur les communautés lombriciennes.	21
3.2.2 Influence de la gestion des cultures	23
3.3 Analyses globales descriptives des données	25
3.3.1 Analyse des parcelles selon les abondances, la biomasse et la richesse taxonomique.	25
3.3.2 Analyse des parcelles selon les données pédologiques.	25
3.3.3 Analyse des données selon les pratiques culturales.....	25

3.4	Interaction des facteurs pédologiques et de la gestion des cultures	27
3.4.1	Texture: structure.....	27
3.4.2	Texture: enherbement	27
3.4.3	Enherbement : travail du sol	27
3.4.4	Enherbement : structure	29
4	Discussions	31
4.1	Le protocole AgrInnov	31
4.1.1	Protocole des prélèvements des vers de terres.....	31
4.1.2	Protocole des autres jeux de données	31
4.1.3	Analyses statistiques	33
4.2	Analyse globale des vers de terre dans les vignobles français.....	33
4.2.1	Abondance parcellaire.	33
4.2.2	Biomasse parcellaire	33
4.2.3	Structure des communautés lombriciennes.	35
4.2.4	Richesse taxonomique.	35
4.2.5	Les rapports biomasse/abondance et adulte/juvénile.....	35
4.3	Influence des paramètres pédologiques sur les communautés lombriciennes. ...	35
4.3.1	Texture de l'inter-rang.....	35
4.3.2	Structure du sol de l'inter-rang	37
4.1	Influence de la gestion des cultures	39
4.1.1	Travail du sol	39
4.1.2	Enherbement de l'inter-rang	39
4.2	Interaction des facteurs pédologiques et de la gestion des cultures.....	39
4.2.1	Texture : structure	39
4.2.2	Texture : enherbement	41
4.2.3	Enherbement : travail du sol	41
4.2.4	Enherbement : structure	41
	Conclusion	43
	Bibliographie	45

Glossaire et liste des abréviations

A : Argile

AB : Abondance

ACCX : *Allolobophora chlorotica chlorotica X*

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

AI : Argilo limoneux

AIs : Argilo limono sableux

AS : Argilo Sableux

ATN : Anécique Tête Noir, anécique strict

ATR : Anécique Tête Rouge, épi-anécique

BM : Biomasse

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

END : Endogé

EPI : Epigé

ESE : Ecole Supérieure d'Agriculture

IFV : Institut Français de la Vigne et du Vin

Ind : Individu

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

ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique

LAS : Limono Argilo Sableux

Lsa : Limono sablo argileux

OFSV : Observatoire Français des Sols Vivants

OPVT : Observatoire Participatif des Vers de Terre

PAC : Politique Agricole Commune

R_T : Richesse Taxonomique

S : Sableux

Sa : Sablo argileux

Sal : Sablo argilo limoneux

TOT : Total

Liste des annexes

<u>ANNEXE I</u> : Carte des prélèvements AgrInnov 2013 et 2014 en Viticulture.....	I
<u>ANNEXE II</u> : Clé de détermination AgrInnov de la classe de structure.....	II
<u>ANNEXE III</u> : Abondances et biomasses relatives selon les régions.	III
<u>ANNEXE IV</u> : Richesse taxonomique dans les régions viticoles	IV
<u>ANNEXE V</u> : Variabilité intra-parcellaire des abondances de vers de terre dans le Sud Ouest.	V
<u>ANNEXE VI</u> : Significativités et moyennes des parcelles selon la texture et la durée de l'enherbement.	VI
<u>ANNEXE VII</u> : Significativités des tests de Kruskal Wallis et de Mann-Whitney.....	VII
<u>ANNEXE VIII</u> : Graphique des parcelles et des modalités de l'ACM de l'enquête...	VIII

Liste des illustrations

Figure 1 : Schéma du dispositif des prélèvements dans le cas de gestion différenciée des inter-rangs.	12
Figure 2 : Trois types de mottes du référentiel AgrInnov : motte Gamma (a), motte Delta 0 (b) et motte Delta(c).....	12
Figure 3 : Anatomie externe d'un ver de terre.	14
Figure 4 : Triangle des textures GEPPA	14
Figure 5 : Variabilité de l'abondance des lombriciens selon les régions viticoles.	24
Figure 6 : Abondance totale et structure des communautés lombriciennes selon les régions viticoles.	24
Figure 7 : Biomasse et structure des communautés lombriciennes selon les régions viticoles.....	18
Figure 8 : Effet de la texture sur l'abondance totale de lombriciens (ind/m ²).....	18
Figure 9 : Effet de la texture sur l'abondance d'épi-anéciques (ind/m ²).....	18
Figure 10 : Effet de la structure du sol sur l'abondance totale de lombriciens (ind/m ²) .	20
Figure 11 : Effet de la structure du sol sur l'abondance des endogés (ind/m ²)	20
Figure 12 : Abondance relative des groupes fonctionnels selon les classes de structure..	20
Figure 13 : Abondance des ACCX selon le travail du sol.....	20
Figure 14 : Abondance totale selon la durée d'enherbement de l'inter-rang.	22
Figure 15 : Abondance totale relative selon le type d'enherbement.	22
Figure 16 : Graphique des parcelles de l'ACP du jeu de données des vers de terre (axe1 :63% ; axe 2 :17%).....	22
Figure 17 : Graphique des parcelles et des clusters [1], [2] et [3]de Hill-Smith du jeu de données pédologiques (axe 1 : 31%, axe 2 : 13%)	22
Figure 18 : Variabilité de l'abondance totale selon l'interaction entre la structure et la texture.	26
Figure 19 : Variabilité de l'abondance des épi-anéciques selon l'interaction entre la durée de l'enherbement et la texture.....	26
Figure 20 : Variation de la biomasse selon l'interaction entre la durée de l'enherbement et le travail du sol.....	28
Figure 21 : Variation de la richesse taxonomique selon l'interaction entre la durée de l'enherbement et le travail du sol.....	28
Figure 22 : Variation de l'abondance des épi-anéciques selon l'interaction entre la durée de l'enherbement et la structure.....	28

Liste des tableaux

Tableau 1 : Richesse taxonomique, diversité et équitabilité selon les régions.....	18
Tableau 2 : Moyennes et significativités des différences selon les classes de structures.	20
Tableau 3 : Abondances selon le travail du sol.	22

Introduction

1.1 Agriculture et biodiversité

Le sol

Le sol est le support de la vie terrestre. Il résulte d'une interaction entre une roche mère, un climat, un relief et des organismes (Jenny, 1941). Constitué d'éléments solides, liquides, gazeux, et d'organismes (Rimmer, 1998), il est une fine interface interactive entre la lithosphère et l'atmosphère (Coleman et al., 1992). La formation du sol résulte d'un processus de l'ordre du plurimillénaire, ce qui nous permet de le considérer comme une ressource non renouvelable à l'échelle humaine (Robert, 1996).

Le sol et ses services

A l'échelle planétaire, les sols ne représentent qu'une très faible épaisseur, mais sont les supports indispensables à toutes les productions. Ils fournissent de la nourriture, des matériaux de construction et des fibres (Blum, 2005). Les sols agricoles rendent également des services écosystémiques. Ce sont les bénéfices que la société, ainsi que l'ensemble des espèces sur Terre, tirent du fonctionnement des écosystèmes (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Les services écosytémiques sont les résultats des « fonctions écologiques » qui les produisent. Ce sont les processus naturels de fonctionnement et de maintien des écosystèmes. Les sols ont ainsi un rôle dans la préservation de la qualité de l'eau par leurs fonctions épuratrices par filtration, et dans le stockage du carbone.

La qualité des sols est définie par la capacité du sol à assurer des fonctions biogéochimiques, à fournir des services écosystémiques nécessaires aux besoins humains et à résister aux pressions anthropiques et climatiques (Dominati et al, 2010). L'activité biologique est issue de l'action combinée de l'ensemble des organismes vivants du sol (faune et flore) et est le moteur de la résilience des sols pour résister aux pressions ; grâce notamment à son action sur la matière organique, sur la structure...

La biologie des sols

Les fonctions du sol sont liées à ses propriétés physiques et chimiques qui interagissent avec les organismes qui le composent. La notion de « sol vivant » n'est cependant adoptée que depuis l'ouvrage de Gobat et al. (2003). Le sol héberge en effet une diversité faunistique microbienne et génétique considérable (Tiedje et al., 1999). La préservation de la biodiversité du sol est essentielle pour assurer durablement son bon fonctionnement et maintenir les services écosystémiques (Barrios, 2007). Mais les interactions entre les différents organismes du sol sont aujourd'hui encore difficilement quantifiables (Piron, 2008).

Les pressions sur les sols

Le nombre croissant d'études montrant une perte de biodiversité globale à l'échelle de la planète (Leroux et al, 2008), a provoqué une hausse de la pression sociale sur les modes de productions agricoles. Les politiques agricoles, en particulier la PAC dans l'Union Européenne, ont d'abord établi des normes, des sanctions en cas de contrôle de pollution positif. En effet, les sols agricoles sont soumis à des fortes pressions mécaniques et chimiques. Depuis le début de l'ère industrielle, et plus récemment le développement agricole d'après guerre pour répondre à la demande en denrées alimentaires, ces pressions se sont accrues. Les services écosystémiques rendus par les sols aujourd'hui sont mis à mal. Leurs fonctions épuratrices sont altérées et compromettent donc la qualité des eaux souterraines et de surfaces, comme en Bretagne (Cheverry, 1998; Neveu et al., 2001).

La qualité biologique des sols

La perte des services écosystémiques n'est actuellement pas quantifiable avec les méthodes d'analyses physico-chimiques des sols. La biologie des sols est une piste de réflexion, mais sa complexité la rend difficilement analysable. La définition d'indicateurs de la qualité biologique des sols permettrait de les caractériser. Ces bioindicateurs reflètent l'état abiotique ou biotique de l'environnement, l'impact des changements environnementaux sur l'habitat, la communauté d'espèces et l'écosystème, et renseignent directement ou non sur l'abondance de certaines espèces (Mc Geog, 1998).

C'est dans ce contexte que l'ADEME a mis en place le programme BIO : Bio-indicateur. Les objectifs généraux de ce programme sont de fournir aux secteurs économiques agricoles et agroalimentaires, ainsi qu'aux acteurs publics, des outils de surveillance, de caractérisation et d'évaluation des risques en se basant sur l'étude des propriétés biologiques des sols. La première phase du projet est destinée au développement des indicateurs permettant d'évaluer la qualité biologique des sols. De nombreux bioindicateurs en ressortent comme les macro-mammifères, les nématodes, les bactéries... Les vers de terre apparaissent alors comme l'un des principaux bioindicateurs utilisables pour évaluer la qualité biologique des sols. Et pour cause, ils sont souvent utilisés comme indicateur de la biodiversité des sols car ils sont facilement identifiables, sensibles aux perturbations du sol, qu'elles soient mécaniques ou chimiques (Paoletti et al., 1998) et ont une aptitude à modifier leur environnement et à construire des habitats pour d'autres organismes de taille inférieure (Jones et al., 1994).

1.2 AgrInnov, un programme de recherche participatif sur la qualité des sols agricoles.

Ce stage s'intègre dans un travail de recherche plus important qui est celui du projet AgrInnov. Ce projet fait suite au programme ADEME Bio-Indicateur susmentionné. AgrInnov est un programme de recherche CASDAR porté par l'OFSV, en partenariat avec de nombreux laboratoires et organismes de recherche. Il se déroule entre 2011 et 2014, et regroupe l'INRA, la plate-forme Genosol, l'ISARA de Lyon, l'ESA d'Angers, la Chambre d'Agriculture du Maine et Loire, l'ITAB et l'IFV.

L'objectif d'AgrInnov est de traduire une analyse descriptive (abondance, diversité, etc), via des indicateurs biologiques, en services intéressants pour les agriculteurs : gestion de la réserve en eau, fertilité, santé des cultures, état du patrimoine biologique, acceptabilité environnementale des productions. Ces bio-indicateurs viendront en complément des indicateurs usuellement utilisés (analyses physico-chimique notamment), qui ne suffisent plus à qualifier la qualité d'un sol.

Les indicateurs sont définis par un groupe de travail comprenant agriculteurs et chercheurs. Ils sont ensuite testés sur un réseau national de parcelles comprenant des sites expérimentaux et des exploitations agricoles en grandes cultures et en viticulture. Ce choix se justifie par l'importance de ces surfaces en France, par la diversité des pratiques, et par la nécessité de résoudre les problèmes environnementaux (perte de biodiversité et de fertilité, déstockage du carbone...). **Ce rapport traite uniquement des indicateurs de la qualité biologique des sols dans les vignobles.**

Les indicateurs retenus dans le projet AgrInnov concernent la faune du sol (mésos et macrofaune), ainsi que les microorganismes telluriques, bactéries et champignons. Ils sont retenus pour leurs impacts sur les services écosystémiques. Ces bio-indicateurs sont complétés par des indicateurs physico-chimiques, comme les structures et textures. Chacun de ces indicateurs devait être validé par différents programmes de recherche, disposé d'un référentiel d'interprétation fonctionnel et complet, et être économiquement abordable pour les opérateurs de terrain.

A long terme, le recueil et la centralisation des données et des informations mises à la disposition de la recherche doivent permettre la mise en place d'un dispositif de veille à l'innovation agricole.

Deux stratégies se dégagent :

- l'identification de pratiques agricoles performantes favorables à une agriculture écologiquement durable et intensive.
- le transfert et l'échange de connaissances et de savoirs entre l'ensemble des acteurs de la filière agricole, en particulier le lien entre chercheurs et agriculteurs.

Contexte des vignobles français

Comme dans les autres systèmes de production, il est aujourd'hui vital pour les viticulteurs de maintenir, voir d'améliorer la qualité des sols par des choix agro-viticoles durables et appropriés. Les vignobles français bénéficient d'une image de marque du point de vue de la qualité de leurs produits. La société est cependant de plus en plus demandeuse d'engagements des producteurs sur les questions de durabilité écologique de leurs pratiques. Les sols viticoles sont soumis à de fortes pressions mécaniques et chimiques, ayant un impact direct ou indirect sur les services écosystémiques. Le ruissellement peut être par exemple très important dans les régions viticoles, où le sol est nu et en pente (Blavet et al., 2009).

Certaines régions viticoles, comme la Champagne, sont depuis plusieurs années intégrées dans des programmes de recherche. Le projet AgrInnov est plus globalisant et intègre la majorité des vignobles français, pour fournir des pistes de réflexion plus exhaustives et régionalisées aux viticulteurs.

1.3 Le ver de terre, un bio-indicateur sensible

Représentant la majeure partie de la biomasse animale du sol, ils sont souvent considérés comme des organismes incontournables du fonctionnement des sols (Lavelle, 1988) et sont aussi communément appelés « Ingénieurs du sol » (Jones et al., 1994).

Les vers de terre sont classés en 3 groupes selon leurs caractéristiques écologiques, morphologiques et physiologiques : les épigés, les anéciques, et les endogés (Bouché, 1977). Ainsi ces 3 groupes ont des rôles différents dans le fonctionnement du sol. En 1994, Gillot-Villénaze a insisté sur l'importance de considérer la composition fonctionnelle des communautés lombriciennes, en plus des abondances et biomasses, usuellement utilisées.

Les épigés, sont des individus de petite taille (10 à 30 mm de long pour un diamètre variant de 1 à 2.5mm). Ils vivent à la surface du sol dans la litière dont ils se nourrissent exclusivement. Ne creusant pas ou peu de galeries, ils ne peuvent pas se nourrir de matières minérales. Peu protégées par leur mode de vie, ces espèces sont très sensibles aux aléas climatiques et à la prédation. Afin de compenser, les épigés ont développé plusieurs stratégies :

- une reproduction de type r, caractérisée par une croissance rapide et des stades de développement courts (Satchell, 1980).
- une importante mobilité
- une homochromie avec l'environnement en adoptant une pigmentation souvent rouge brune et parfois verte.

Les anéciques sont représentés par des individus de taille moyenne à géante, 10 à 110 cm pour les adultes pour un diamètre de 4 à 8 mm. Leur pigmentation est relativement foncée avec une décoloration antéro-postérieure marquée leur assurant une protection vis-à-vis des prédateurs. Les anéciques sont des vers de terre fousseurs. Ils creusent des galeries verticales à sub-verticales sur l'ensemble du profil de sol, en se nourrissant de débris végétaux de surface qu'ils ingèrent et excrètent en surface (turricules) ou dans le profil de sol (fèces) (Satchell, 1983). Ils sont responsables de part leur taille et leur activité, de la création d'une part de la macroporosité, et de l'incorporation et du transport de la matière organique dans le sol. Cependant, les réseaux de galeries sont plus ou moins ramifiés selon les espèces, ce qui implique des différences dans leur rôle dans les fonctions du sol et les services écologiques associés. Les anéciques peuvent être divisés en deux sous-groupes, formant ainsi 4 groupes fonctionnels de vers de terre (épigé, épi-anécique, anécique strict et endogé) (Jégou et al., 1998).

- les épi-anéciques : (plus communément appelés Anéciques Tête Rouge : ATR). Ils ont une activité fousseuse très importante tout au long de l'année, leurs galeries sont moins nombreuses et moins connectées, mais descendent profondément, permettant une hydratation rapide et profonde du profil de sol.

- les anéciques stricts : (plus communément appelés Anéciques Tête Noire : ATN). Ces lombriciens du genre *Aporrectodea* ont systématiquement une période d'inactivité entre juin et août, et créent des galeries bien organisées en réseau. Ce dernier est donc moins fonctionnel pour les pluies intenses d'été, mais permet une hydratation homogène du profil.

Les endogés sont des individus de petite taille, à pigmentation claire, ne remontant pas à la surface du sol. Ils creusent essentiellement des galeries horizontales à sub-horizontales, temporaires qu'ils rebouchent de fèces. Ils se nourrissent de matières organiques plus ou moins évoluées, mélangées avec de la matière minérale. De par leur mode de vie, ils sont soumis à une faible prédation et subissent peu les variations climatiques. Ils adoptent une reproduction de type k, caractérisée par une grande longévité et un faible effort de reproduction (Satchell, 1980). Leur activité est très limitée l'été, période durant laquelle la dessiccation du sol leur impose une période de quiescence.

La distribution et l'abondance des populations de vers de terre peuvent être influencées par le type de sol (Edwards et Bohlen, 1996), ainsi que par sa profondeur (Bachelier, 1978).

La texture peut agir directement sur les vers de terre, car la taille et la rugosité des éléments rendent difficile l'ingestion des éléments ; et indirectement par les propriétés physicochimiques qu'elles provoquent, comme la capacité de rétention en eau, ou le pH (Lee, 1985). Les vers de terre sont souvent absents des milieux à texture grossière, qui impliquent un dessèchement rapide et fréquent de ces sols. El-Duweini et Ghabbour, (1965) ont montré, pour l'espèce *Nicodrillus calignosa*, une diminution du nombre de vers de terre quand la teneur en sable augmente. Cependant, cet effet s'estompe quand l'humidité du sol redevient favorable aux vers de terre. Nuutinen et al. (1998) montrent aussi que l'abondance de *Lumbricus terrestris* est corrélée aux taux de limons du sol. Nordström et Rundgren (1974) trouvent une corrélation positive significative entre la teneur en argile des sols et l'abondance des endogés, ils attribuent ce résultat aux qualités physico-chimique de ces sols. Mais ces relations à la texture sont peut être secondaires, elles ne seraient que les effets d'autres facteurs comme la disponibilité et la diversité de la ressource alimentaire (Curry, 1994).

Les vers de terre se nourrissent essentiellement de matières organiques mortes, les épigés consomment la litière alors que les endogés sont plutôt géophages. Ils se nourrissent de la matière organique dispersée dans le sol (Curry, 1994). Les caractéristiques de la matière organique influencent non seulement la taille des populations mais aussi la diversité des espèces présentes sur les sites, ainsi que leur taux de croissance et leur fécondité (Edwards and Lofty, 1977). La quantité de matière organique limite moins les abondances en vers de terre que sa qualité et son rapport C/N, l'optimal se situant entre 10 et 12 pour la majorité des espèces (Bouché, 1972). Ils sont responsables de 78% de la transformation totale de la litière (Cluzeau et al., 2003). Les vers de terre sont aussi en partie acteurs de la répartition de la matière organique dans le profil de sol, et de son incorporation avec la matière minérale. Par leurs activités de bioturbation, ils transfèrent des horizons de surface vers ceux de profondeur, des éléments nutritifs indispensables à la faune et la flore du sol.

La compaction des sols agricoles est essentiellement une conséquence du passage des engins. Par action mécanique, cela entraîne une destruction des galeries de surface, et tue également les vers de terre par écrasement. Les épigés et les endogés avec leurs galeries horizontales de surface sont plus sensibles que les anéciques et leurs galeries verticales (Jégou et al., 2002). Le tassement du sol a aussi un impact sur l'abondance et la diversité des populations lombriciennes (Langmaack et al., 1999). La biomasse est, elle aussi, affectée. Elle est inférieure dans un sol compacté, et affecte aussi le ration juvénile sur adulte pour *Allolobophora caliginosa* (Paoletti et al., 1998). Les lombriciens ont aussi un impact sur la stabilité structurale du sol. Les turricules semblent dans la majorité des cas en climat tempéré, plus stable que les agrégats du sol. Dans le cas de petits turricules, les conclusions semblent cependant plus défavorables aux fèces (Shipitalo et Protz, 1988). Leur capacité à augmenter la porosité du sol par la formation et l'entretien du réseau de galerie, pour certains groupes fonctionnels, est importante. De 30 à 40%, elle peut atteindre 60-70% sous l'action des vers de terre (Bachelier, 1978). Le travail du sol permet de palier à ces tassements, mais ceci a aussi des conséquences sur les communautés lombriciennes, que ce soit au niveau de l'abondance, de la biomasse ou de la diversité (Nuutinen, 1992 ; Paoletti et al., 1998). Les conséquences diffèrent selon les catégories écologiques. Les endogés sont moins pénalisés par le labour et le travail profond du sol que les anéciques et les épigés (Chan, 2001).

Les différents systèmes de gestion mis en place par les viticulteurs ont aussi un impact sur les communautés lombriciennes. Il existe principalement trois stratégies d'entretien des rangs et inter-rangs : le désherbage chimique, le désherbage mécanique et l'enherbement permanent. L'enherbement des rangs varie d'une exploitation à l'autre. Le nombre de rang, la répartition (1 rang sur 2, 1 sur 3,...) et la durée d'enherbement des rangs varient. Sur le rang, le retournement du sol puis le désherbage chimique affectent plus l'abondance et la biomasse des lombriciens que l'enherbement maîtrisé, les conclusions sont semblables sur l'inter-rang (Cluzeau, 2013). Mais le désherbage chimique est aussi parfois moins néfastes que le désherbage mécaniques pour les communautés lombriciennes (Schreck et al., 2012).

1.4 Problématique

Quelques études ont été réalisées en viticulture sur la toxicité des différents produits phytosanitaires. Différents pesticides ont été testés sur plusieurs espèces de vers de terre à différentes concentrations (Garcia et al., 2008 ; Schreck et al., 2008). L'impact des concentrations de cuivre, élément souvent utilisé dans les fongicides notamment en agriculture biologique a aussi été étudié (Paoletti et al., 1998 ; Eijsackers et al., 2005).

Pérès et al. (1998) ont montré que des apports de matières organiques dans deux vignobles français septentrionaux provoquent une hausse de l'abondance et de la biomasse des vers de terre. Dans une autre étude, l'abondance et la biomasse d'*Allolobophora caliginosa* sont négativement corrélées aux travaux du sol (Paoletti et al., 1998). Dans le projet VitiEcoBioSol, Cluzeau et al (2013) ont montré que l'enherbement permanent est favorable au *Lumbricus terrestris*.

La toxicité des produits phytosanitaires et les pratiques d'entretien des sols ont été donc relativement bien étudiées. Il n'existe cependant pas de travaux à l'échelle de la France rendant compte des interactions entre les pratiques culturales viticoles, les caractéristiques pédologiques et la biologie du sol, en particulier les vers de terre. Les interactions entre structure du sol et communautés lombriciennes sont encore peu connues.

L'enjeu de ce travail est donc d'évaluer la qualité du bio-indicateur que sont les lombriciens en étudiant quels sont les impacts des facteurs pédologique et des pratiques agricoles sur leurs communautés dans les vignobles français.

Cette étude est axée autour de deux points majeurs :

- Quel est l'impact régional de ces pratiques viticoles sur la diversité et l'abondance lombriciennes ?
- Quels sont les effets combinés des pratiques culturales et des paramètres pédologiques sur les communautés de vers de terre ?

Quatre variables seront étudiées : la texture, la structure, le travail et l'enherbement de l'inter-rang, pour expliquer les éventuelles variations de l'abondance totale et de celle des groupes fonctionnels, de la biomasse et de la richesse taxonomique. Des analyses descriptives précéderont l'analyse une à une des variables, avant de terminer sur les interactions entre elles.

Les études référencées précédemment et d'autres travaux, en grandes cultures notamment (Gerard et al,1979 ; Chan, 2001), permettent d'émettre plusieurs hypothèses de travail :

- Hypothèse 1 : L'enherbement permanent des inter-rangs en vigne est l'environnement optimal du point de vue de l'abondance et de la structure des communautés lombriciennes.
- Hypothèse 2 : Le tassement important du sol et son travail ont un effet négatif sur les structures de communautés lombriciennes, mais n'affectent pas les groupes fonctionnels de la même manière.

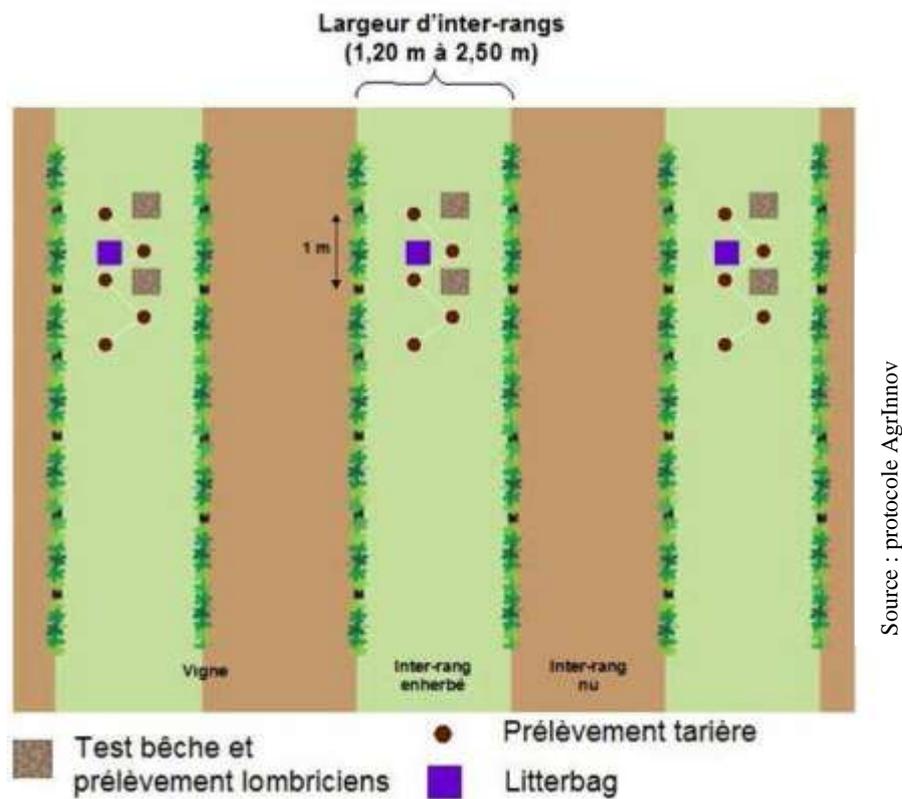


Figure 1 : Schéma du dispositif des prélèvements dans le cas de gestion différenciée des inter-rangs.



Figure 2 : Trois types de mottes du référentiel AgrInnov : motte Gamma (a), motte Delta 0 (b) et motte Delta(c).

2 Matériels et méthodes

2.1 Recueil des données

Le programme de recherche AgrInnov est un projet participatif, où les viticulteurs sont donc acteurs. Il n'y a pas eu d'échantillonnage des viticulteurs, ni de cahier des charges par rapport aux pratiques culturales, même si le but était d'avoir une grande diversité d'exploitation agricole. L'information est passée via des réseaux d'agriculteurs, comme le réseau BASE (Biodiversité, Agriculture, Sol, Environnement).

Les viticulteurs sont ensuite formés par groupe selon les régions. Ils procèdent aux prélèvements et aux observations eux-mêmes à nouveau en groupe pour diminuer la subjectivité des évaluations. Il est conseillé de faire les prélèvements dans le mois qui suit la formation afin de diminuer le risque d'erreur.

La période d'intervention est fixée entre novembre et mars, période optimale pour les lombriciens et les prélèvements de sol. Les sols doivent être ré-humectés, ressuyés et proches de la capacité au champ. Les périodes de gel et de sécheresse doivent être évitées. Il est aussi préférable de faire les prélèvements le matin et avant toutes opérations de traitements phytosanitaires, de fertilisation, d'apport organique, d'amendement et de travail du sol.

Les viticulteurs volontaires pour AgrInnov pour l'année 2014 se situent dans 7 vignobles français, dans le sens horaire : la Champagne, la Bourgogne, le Beaujolais, le Jura, la Provence, le Sud Ouest et le Bordelais (Annexe I). L'Anjou a été prélevé en 2013.

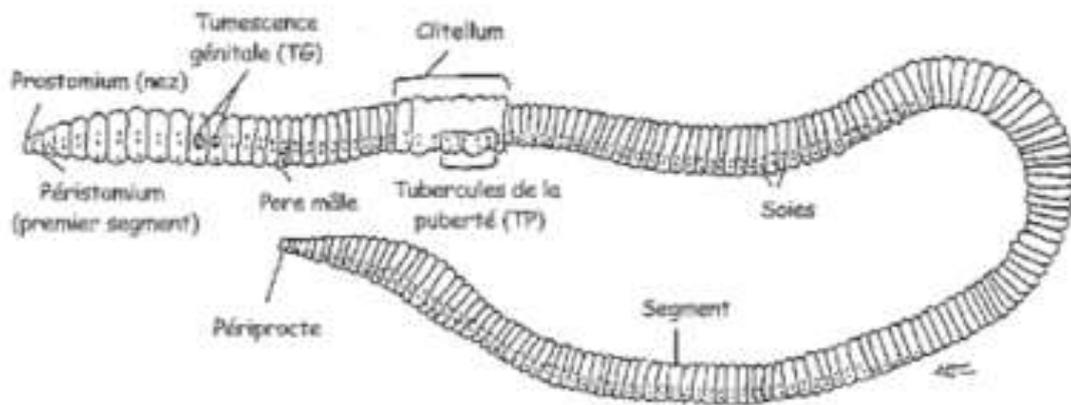
2.1.1 Evaluation de la structure du sol

L'évaluation de la structure du sol est réalisée sur les blocs de sol issus des tests bêches, protocole établi par l'ISARA de Lyon pour ce programme de recherche. Ce test consiste à prélever 6 blocs de sol de 20cm*20cm*25cm selon le plan (Figure 1), en évitant les zones de passage de roues. L'analyse des blocs de sol commence par une évaluation de la surface du sol en évaluant le taux de recouvrement du sol en % par de la végétation ou du mulch. Une pré-tranchée est réalisée pour permettre d'extraire le bloc sans affecter la structure par une éventuelle pression. Le bloc est ensuite mesuré afin de cuber le volume, indication importante pour l'analyse des lombriciens aussi réalisée sur ces mêmes blocs de sol.

L'évaluation de la structure commence par une analyse de la tenue du bloc sur la bêche, puis de la tenue sur une bâche. Lorsque le bloc tient sur la bâche, le nombre de fissures est relevé, sinon, c'est le nombre de sous-blocs qui est pris en compte (Annexe II).

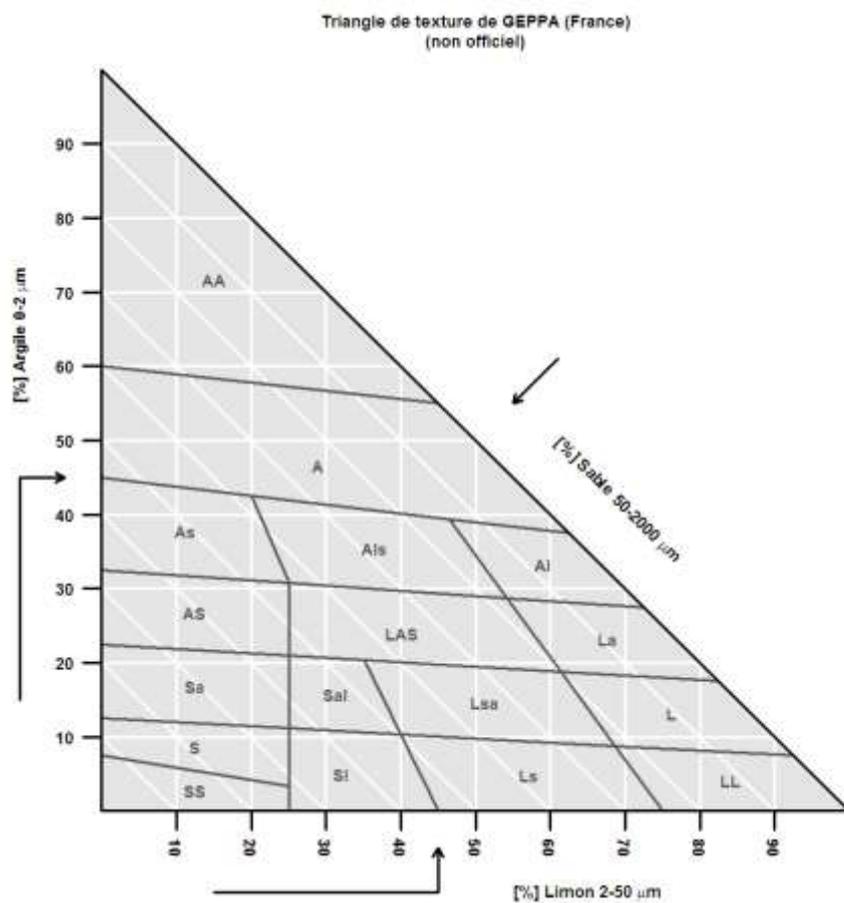
La seconde partie de l'analyse de la structure consiste en un fractionnement manuel du bloc en mottes d'environ 3 à 5cm. Le pourcentage de terre fine est ensuite déterminé en fonction du volume total du bloc. La structure de chaque motte est caractérisée selon un référentiel établi pour le programme de recherche :

- les mottes Γ (Gamma) (Figure 2a): surface rugueuse, grumeleuse avec une forte porosité visible à l'œil.
- les mottes $\Delta 0$ (Delta 0) (Figure 2b): surface lisse, mais présence de porosité visible à l'œil nu
- les mottes Δ (Delta) (Figure 2c): surface lisse et absence de porosité visible à l'œil nu



Source interne

Figure 3 : Anatomie externe d'un ver de terre.



Source interne

Figure 4 : Triangle des textures GEPPA

Selon la proportion de chaque type de motte et les résultats du mode d'assemblage des mottes, une classe de tassement est définie de 1 à 5, où la classe 1 est une structure ouverte très poreuse et la classe 5 est compactée et peu poreuse. Lorsque plusieurs horizons sont présents dans le même prélèvement, la moyenne est calculée selon leurs proportions et leurs classes de tassement. Le même calcul est effectué pour avoir une note moyenne à l'échelle de la parcelle.

2.1.2 Prélèvements et analyses des vers de terre

Les vers de terre sont prélevés dans les mêmes blocs de sol de l'ensemble des 6 répétitions issues du test bêche par affinage des mottes. Les viticulteurs ont la possibilité de les déterminer à l'aide d'une fiche d'identification et de les classer selon leur stade de maturité (adulte ou juvénile) et selon les 4 groupes fonctionnels (épigés, épi-anéciques, anéciques stricts et endogés). Les résultats sont reportés sur la fiche terrain.

Les vers de terre sont conservés dans des piluliers d'alcool à 96% selon les répétitions. Les piluliers ainsi que la fiche de terrain sont ensuite envoyés au laboratoire EcoBio de l'Université de Rennes 1, à Paimpont pour expertise.

Une détermination taxonomique à l'aide d'une loupe binoculaire est ensuite réalisée avec l'aide d'une clé de détermination interne basée sur le livre de Marcel Bouché (1972). Les vers de terre sont déterminés jusqu'à la variété quand leur stade de maturité le permet. Ce stade est également renseigné suivant la maturité de leurs organes de reproduction : Adulte (A), Sub-adulte (SA), Juvénile (JV).

Chez les adultes et sub-adultes, la forme et le positionnement des organes sexuels permettent de déterminer jusqu'à la variété. Pour les juvéniles, d'autres critères comme le positionnement des soies, celui des premiers pores dorsaux et la forme du prostomium permettent parfois de les distinguer (Bouché, 1972) (Figure 3).

Les juvéniles indéterminés, dont l'appartenance à un groupe fonctionnel a été établie, sont répartis dans les espèces au prorata du nombre d'adultes de ce groupe fonctionnel présent sur la répétition.

Chaque ver de terre est pesé au 100^{ème} de gramme près avec une balance connectée à une base de données.

2.1.3 Prélèvements à la tarière pour définir la texture

Des échantillons de sol sont prélevés à la tarière selon le dispositif (Figure 1), soit 3 séries de 5 prélèvements dans la même zone que les tests bêche. Les 15 carottes de 20cm sont désagrégées grossièrement et mélangées à la main afin d'avoir un mélange homogène. Les cailloux et les débris végétaux sont également enlevés pour obtenir un échantillon composite.

Ces échantillons sont ensuite envoyés au laboratoire de l'Unité INFOSOL au centre INRA d'Orléans qui gère le stockage et l'envoi à l'INRA d'Arras pour la réalisation des analyses physico-chimiques selon le triangle des textures GEPPA (Figure 4).

2.1.4 Réalisation des enquêtes

Les viticulteurs volontaires ont été sollicités pour remplir une enquête sur leurs pratiques culturales afin de permettre l'analyse croisée des résultats.

Commençant par l'identification de l'exploitant et les données générales de l'exploitation, l'enquête comprend ensuite deux parties consacrées à la parcelle choisie et à son itinéraire technique. Y sont abordés la gestion des inter-rangs (enherbement, engrais verts, déchets de taille, travail du sol), celle des rangs (enherbement, gestion mécanique ou chimique), et les intrants (protection phytosanitaire, fertilisation organique ou minérale, chaulage). La dernière partie est consacrée aux données de la zone d'échantillonnage et aux conditions de prélèvements.

Deux variables sont utilisées pour les analyses, l'enherbement de l'inter-rang et le travail de l'inter-rang.

L'enherbement de l'inter-rang se décline en trois modalités : permanent, temporaire (durée inférieure à un an) et absence d'enherbement. Le travail du sol est seulement caractérisé par une réponse négative ou positive. Il comprend les travaux d'ameublissement, de retournement des bandes enherbements, de ralentissement de la croissance de ces zones...

2.2 Analyse des données

Les jeux de données disponibles pour les analyses sont de taille différente, et tous ne concernent pas les mêmes parcelles. Les analyses sont donc tributaires du nombre encore peu conséquent de résultats issus des enquêtes, des analyses de texture et des évaluations de la structure. Les variables à expliquer sont l'abondance totale, la biomasse, l'abondance de chaque groupe fonctionnel, et la richesse taxonomique. L'espèce la plus abondante du groupe des endogés aussi analysée, ACCX (*Allolobophora chlorotica chlorotica*).

L'analyse des données, réalisée avec le logiciel R 3.1 se déroule en trois parties :

La première partie est constituée des analyses descriptives des différents jeux de données suivants : vers de terre, pédologique et gestion des cultures. Une ACP a été réalisée sur le premier jeu qui est composé de données quantitatives, un Hill-Smith sur le second jeu qui est composé de données quantitatives et qualitatives, et enfin une ACM pour les données qualitatives de l'enquête.

La seconde partie est portée sur des tests de comparaison de moyennes. Les tests de normalité s'étant révélés non significatifs pour la majorité des données, des tests non-paramétriques ont été privilégiés. Des comparaisons de 3 échantillons ou plus ont donc été effectués en utilisant le test de Kruskal-Wallis. Lorsque ces tests se sont avérés significatifs, des tests post-hoc ont été effectués avec une correction de Holm.

L'objectif de la troisième partie des résultats est d'analyser les interactions entre les données pédologiques et celles de l'enquête par rapport aux vers de terre en utilisant des modèles linéaires généralisés. Afin de conserver le maximum d'information, les analyses ont été réalisées à l'échelle de la répétition. Cependant, le jeu de données n'étant pas toujours approprié, seules l'abondance totale, la biomasse et la richesse spécifique ont été analysées via des glmer. Suite à la réalisation de ces modèles, des Anova ont été exécutées. Le test post-hoc utilisé est le *pairwise.wilcoxon.test*, avec une correction de Holm.

Les autres variables ont été analysées par des tests de Kruskal-Wallis ou de Mann Whitney, utilisant une correction de Holm.

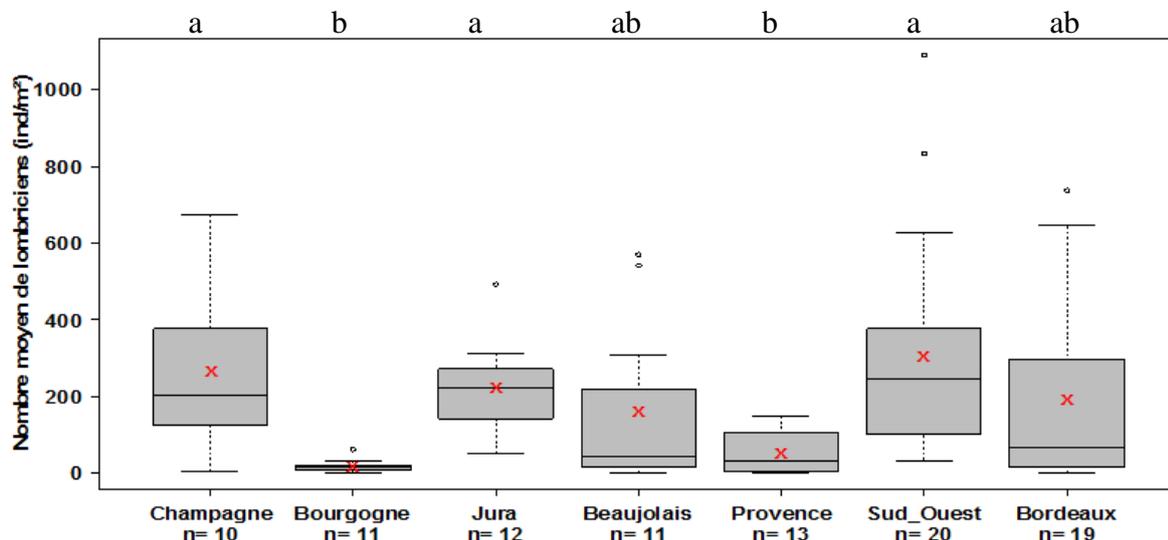


Figure 5 : Variabilité de l'abondance des lombriciens selon les régions viticoles.

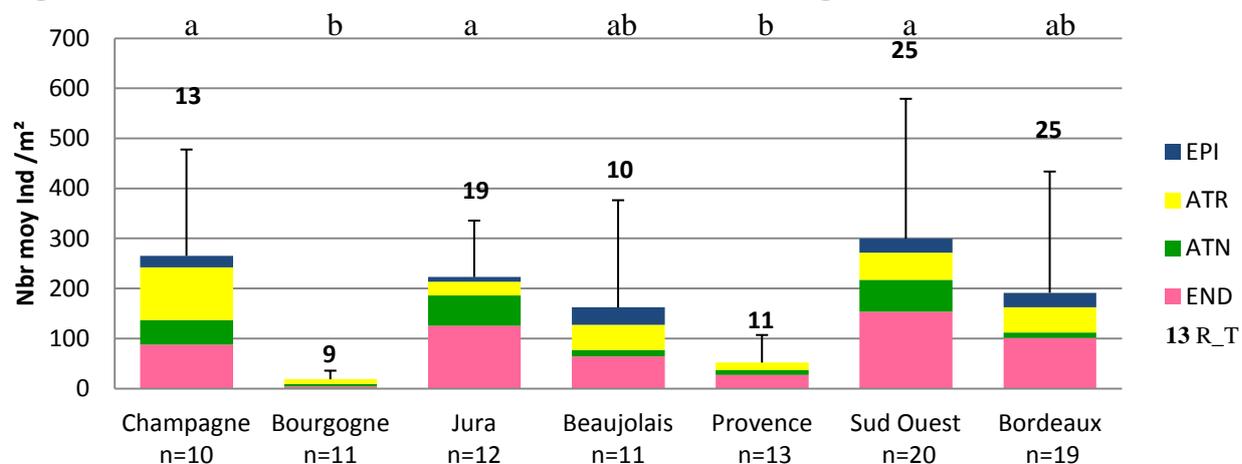


Figure 6 : Abondance totale et structure des communautés lombriciennes selon les régions viticoles.

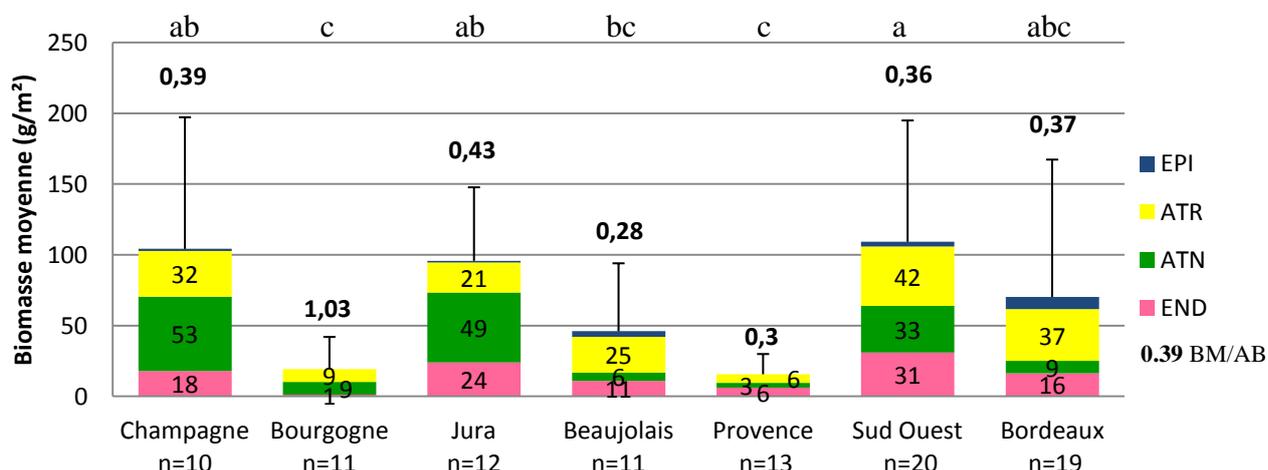


Figure 7 : Biomasse et structure des communautés lombriciennes selon les régions viticoles.

Régions	Champagne	Bourgogne	Jura	Beaujolais	Provence	SudOuest	Bordeaux
Richesse taxonomique	13	9	19	10	11	25	25
Diversité	2.42	2.65	3.26	2.28	2.60	3.51	2.81
Équitabilité	0.65	0.81	0.77	0.69	0.75	0.76	0.61

Tableau 1: Richesse taxonomique, diversité et équitabilité selon les régions.

3 Résultats

3.1 Etude approfondie des communautés lombriciennes.

3.1.1 Groupe fonctionnel, richesse taxonomique, et abondance.

L'abondance lombricienne varie statistiquement beaucoup d'une région à l'autre ($p\text{-value}=8.45e^{-6}$), de 300 ind/m² pour le Sud Ouest à 19 ind/m² pour en Bourgogne (Figure 5). Les données ombro-thermiques de ces régions ont été analysées, mais n'ont pas permis d'émettre de conclusions.

Les structures des communautés sont aussi très différentes. On observe des variations d'abondance au sein des groupes fonctionnels, et aussi des occurrences de ces groupes fonctionnels dans et entre les régions (Figure 6). Ainsi, en abondance relative, les endogés représentent plus de 50% des vers de terre dans le Bordelais, le Sud Ouest, la Provence et le Jura, contre seulement 22% pour la Bourgogne (Annexe III, Figure 1). Seule cette dernière région et la Provence ne possèdent pas tous les groupes fonctionnels, les épigés étant absents. Les écarts types sont relativement élevés, montrant une grande disparité dans les données d'abondance.

Les richesses taxonomiques entre les régions sont aussi significativement très différentes ($p\text{-value}=1.23.10^{-6}$). La richesse spécifique médiane par parcelle est 3, alors que celle par région varie entre 9 et 25, montrant une grande variabilité entre les parcelles au sein des régions (Annexe IV). L'abondance a tendance à augmenter quand les richesses taxonomiques augmentent, quelque soit le groupe fonctionnel. A l'échelle de la parcelle, les groupes fonctionnels les plus diversifiés sont les endogés, les épigés et les anéciques stricts, puis les épi-anéciques, avec respectivement au maximum, 5, 3 et 2 espèces. Les indices de diversité sont relativement élevés et stables. On observe cependant une faible équitabilité dans le Bordelais par rapport à la Bourgogne (Tableau 1). Mais une équitabilité faible ne semble pas liée à la richesse taxonomique forte. Le Sud-Ouest montre le contraire.

3.1.2 Biomasse globale, rapport biomasse / abondance.

Il y a des différences significatives de biomasse entre les régions ($p\text{-value}=3,22e^{-6}$), mais elle est corrélée à 90% avec l'abondance. La Bourgogne est la région où ce ratio est le plus élevé, confirmant ainsi la dominance d'espèces « lourdes » de vers de terre (Figure 7). On retrouve ce résultat en croisant abondance relative et biomasse relative (Annexe III). En effet les différences sont élevées, les épigés ont une biomasse moyenne de 0.15g, les épi-anéciques 0.55g, les anéciques stricts 0.76g, et les endogés 0.19g. Ce ratio semble cependant se stabiliser autour de 0.35 à l'échelle de la région. Malgré une forte domination d'épi-anéciques, le Beaujolais présente un ratio faible de 0.28.

3.1.3 Forte variabilité d'abondances et de richesse taxonomique intra-parcellaire.

En analysant les données à l'échelle des parcelles, on observe une forte variabilité de l'abondance intra-parcellaire ($p\text{-value}=1.81.e^{-11}$). Dans l'exemple du Sud Ouest, certains parcelles présentent peu de variabilité entre les répétitions (P502, P506) alors que d'autres comme les parcelles P178 et P510, ont une variabilité très importante (Annexe IV). Les écart-types respectifs sont de 279.9 et 368.8.

La richesse taxonomique peut aussi beaucoup varier entre les répétitions d'une même parcelle. Elle oscille entre 3 et 7 pour la parcelle P513, mais est relativement stable pour la parcelle P510, 7 à 9.

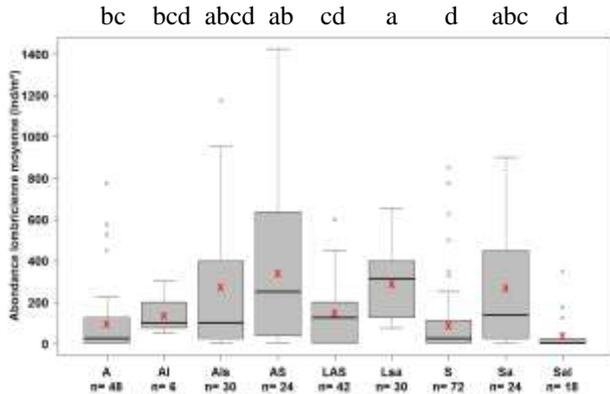


Figure 8 : Effet de la texture sur l'abondance totale de lombriciens (ind/m²).

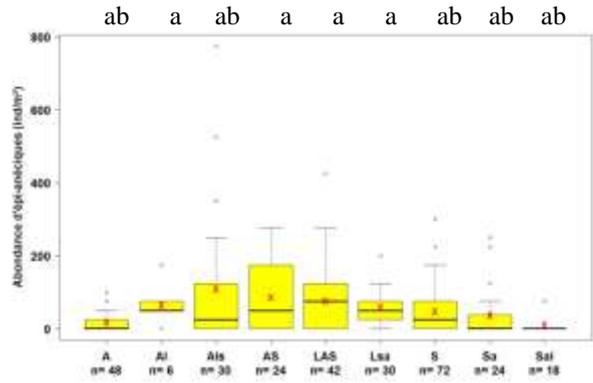


Figure 9 : Effet de la texture sur l'abondance d'épi-anéciques (ind/m²).

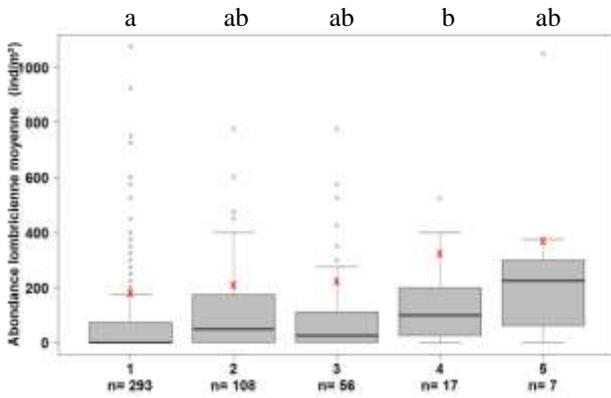


Figure 10 : Effet de la structure du sol sur l'abondance totale de lombriciens (ind/m²).

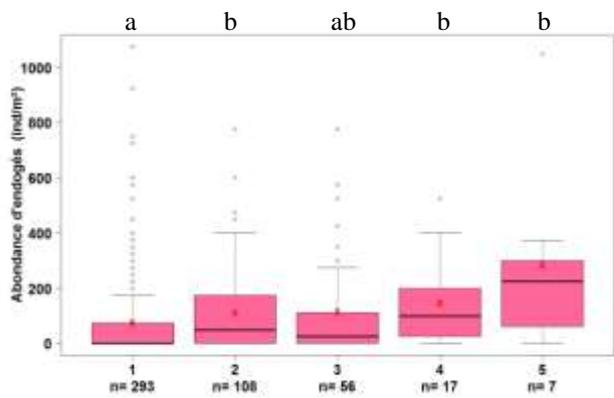


Figure 11 : Effet de la structure du sol sur l'abondance des endogés (ind/m²).

Structure du sol		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Abondance totale moyenne	Significativité	a	ab	ab	b	ab
	Moyenne (ind/m²)	181	210	225	325	371
Abondance des épigés	Significativité	a	a	ab	b	ab
	Moyenne (ind/m²)	15	15	33	111	14
Abondance des endogés	Significativité	a	b	ab	b	b
	Moyenne (ind/m²)	76	112	115	147	285
Abondance des ACCX	Significativité	a	a	ab	b	ab
	Moyenne (ind/m²)	36	36	41	86	82

Tableau 2 : Moyennes et significativités des différences selon les classes de structure.

3.2 Influence des variables sur les communautés de vers de terre.

3.2.1 Influence des paramètres pédologiques sur les communautés lombriciennes.

3.2.1.1 La texture du sol.

La texture du sol influence significativement les abondances, la biomasse et la richesse taxonomique ($P < 0.05$), sauf les anéciques stricts (Annexe VII).

Pour l'abondance totale (Figure 8), la biomasse, la richesse taxonomique et l'abondance des endogés et des ACCX, les parcelles à texture argilo-sableuse (AS) sont significativement différentes des parcelles Argileuses, Sableuse et Sablo-limono-argileuse (A, S, Sal). La texture AS est favorable à l'abondance totale de vers de terre, où la moyenne atteint 339 ind/m², contre seulement 85 ind/m² pour les autres textures (Annexe VI, Tableau 1). Les données sont cependant très hétérogènes, l'écart type atteint 443 ind/m² pour la texture Sablo-argileuse. L'abondance totale et la biomasse sont deux variables très corrélées, les différences significatives sont du même ordre. La richesse taxonomique distingue deux groupes, un avec une forte richesse, 3.3 taxons/m², avec les sols de texture Lsa, et un autre plus défavorable constitué des sols de texture A, Als, LAS, S, et Sal. Les deux derniers sont les plus négatifs, avec respectivement, une moyenne de 0.9 et 0.6 taxons/m².

Les différences sont moindres pour les épi-anéciques (Figure 9), pour lesquels les textures Al, AS, LAS, et Lsa sont les plus favorables. Les parcelles à texture LAS ont une médiane à 75 ind/m², mais une moyenne à 110 ind/m². Les données sont très hétérogènes dans ce type de texture. Malgré les différences graphiques, les abondances d'épi-anéciques ne sont pas significativement différentes selon les types de texture. Les épigés semblent plus sensibles aux différences de texture. Les sols à texture Al, les plus favorables, avec en moyenne 21 ind/m², sont statistiquement différents des sols A, LAS, et S, qui ont respectivement 6, 4 et 1 ind/m². Les sols de texture Als et AS présentent des abondances d'épigés très élevées, mais cela est dû à la forte hétérogénéité des données, deux parcelles étant très influentes.

Il y a autant de structures de communautés que de textures. Aucune tendance en fonction de la proportion ne ressort. Il en est de même pour le ratio AD/JV qui est assez stable entre 0.63 et 0.88. Seule la texture Sal a un ratio très faible de 0.3.

3.2.1.2 Structure de l'inter-rang.

La structure du sol est un facteur qui influe statistiquement uniquement 4 variables : l'abondance totale, celle des épigés, des ACCX et des endogés (Annexe VII).

Pour les trois premières variables, les parcelles où la structure est de classe 4, les différences sont significatives entre les parcelles où la structure est de classe 1 (Tableau 2). En classe 4, l'abondance totale moyenne est de 325 ind/m², alors que pour les classes 1, elle n'atteint que 181 ind/m² (Figure 10). On observe cependant une très forte variabilité des données avec un écart-type de 252 ind/m² pour la classe 1. Pour les épigés, les différences entre ces deux classes sont plus grandes, 15 ind/m² en moyenne contre 111 ind/m². Les observations sont les mêmes chez les ACCX, où les moyennes diffèrent cependant. Elles passent de 36 ind/m² pour la classe 1 et à 82 ind/m² pour la classe 4. Malgré son absence de différence significative avec la classe 1, les parcelles où la structure est de classe 5 ont une abondance moyenne de 82 ind/m². Cette absence de différence est expliquée par son écart-type élevé. Les endogés réagissent un peu différemment aux différences de structures (Figure 11). On observe une différence significative entre les structures de classe 1 et les classes 2, 4 et 5.

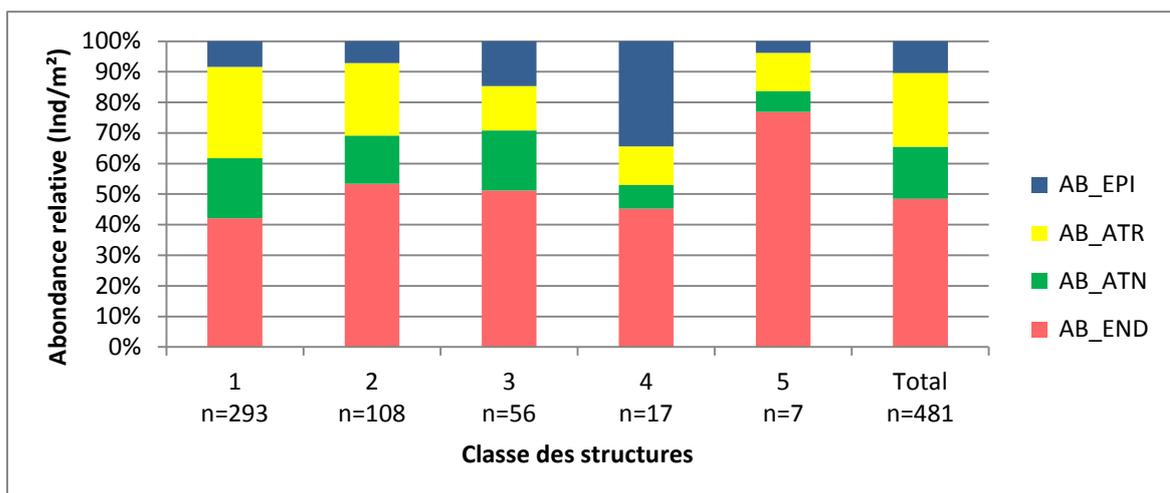
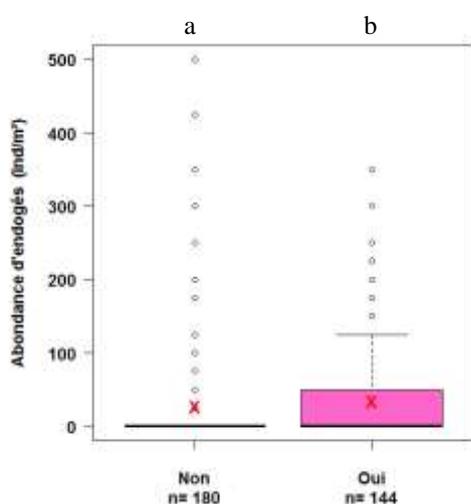


Figure 12 : Abondance relative des groupes fonctionnels selon les classes de structure.



Travail du sol	Non	Oui
Abondance d'endogés (P.value= 1.77e ⁻²)	72	82
Abondance d'anéciques stricts (P.value=5.82e ⁻³)	33	35
Abondance d'ACCX (P.value=2.02e ⁻²)	27	34

Tableau 3 : Abondances selon le travail du sol.

Figure 13 : Abondance des ACCX selon le travail du sol.

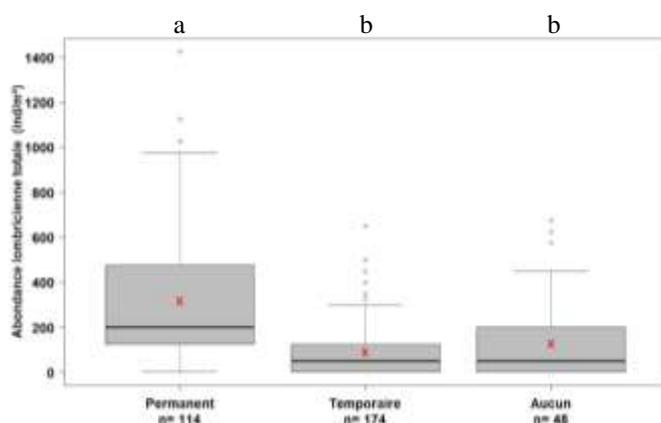


Figure 14 : Abondance totale selon la durée d'enherbement de l'inter-rang.

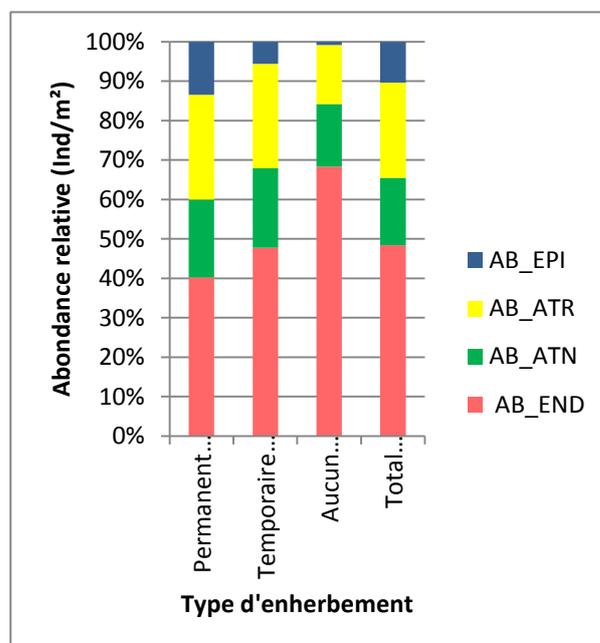


Figure 15 : Abondance totale relative selon le type d'enherbement.

La moyenne de la classe 5 est très élevée, 285 ind/m², à cause d'un individu sur les 7 présents dans la classe.

La structure des communautés semble aussi affectée par la structure du sol, mais dans une moindre mesure. On observe une diminution progressive des abondances d'épi-anéciques lorsque le tassement du sol augmente (Figure 12). On note aussi une augmentation brutale de la proportion d'épigés pour les sols de structure 4. Il y a cependant presque le double d'endogés dans les sols relativement tassés (Classe 4) par rapport aux sols aérés (Classe 1). Les moyennes sont respectivement de 142 ind/m² et de 76 ind/m². Le ratio AD/JV augmente aussi à partir de la structure de classe 2 et son pic en classe 4, à 1.75, alors que la moyenne est de 0.88.

3.2.2 Influence de la gestion des cultures

3.2.2.1 Influence du travail du sol

Le travail du sol dans les vignobles français n'a un effet significatif que sur les endogés, les anéciques stricts et les ACCX (Annexe VII).

Les endogés sont présents en plus grand nombre dans les sols travaillés, la moyenne des abondances est de 72 ind/m² contre 82 ind/m². La médiane se situe à 0 ind/m² dans les sols non travaillés et à 25 ind/m² dans les inter-rangs travaillés. Si l'on entre plus en détail dans le groupe fonctionnel des endogés avec les ACCX, les mêmes conclusions ressortent (Figure 13). Les sols travaillés sont plus propices. Les abondances moyennes varient de 27 ind/m² à 34 ind/m² (Tableau 3).

Les conclusions sont les mêmes pour les anéciques stricts. Malgré la forte significativité du test de Mann-Whitney, les différences ne sont pas très explicites si l'on se fie à la moyenne. Elle ne varie que de 33 ind/m² en non travail du sol, à 35 ind/m² en inter-rangs travaillés. Des parcelles ont des abondances très élevées qui affectent les moyennes. Les médianes sont toutes deux nulles.

Graphiquement, le travail du sol ne semble avoir aucune influence sur la structure des communautés lombriciennes. Cependant, le ratio AD/JV est très affecté. En inter-rang non travaillé, le ratio est de 0.47, alors qu'il est de 0.95 dans un inter-rang travaillé. Ce ratio est multiplié par 3.25 pour les épigés, et par 6.6 pour les épi-anéciques.

3.2.2.2 Influence de l'enherbement de l'inter-rang

La durée d'enherbement des inter-rangs a un effet significatif sur l'ensemble des variables à expliquer (Annexe VII).

Quelque soit la variable, les conclusions sont les mêmes. L'enherbement permanent est différent des deux autres types de gestion. Mais il n'y pas de différence significative entre un enherbement temporaire et une absence d'enherbement.

Les variables réagissent cependant différemment. Le nombre moyenne de vers de terre est environ divisé par trois (Annexe VI, Tableau 2), entre l'enherbement permanent et l'enherbement temporaire pour l'abondance totale (Figure 14), la biomasse, les épi-anéciques, les anéciques stricts, les endogés et les ACCX. L'abondance totale passe ainsi de 319 ind/m², à 90 ind/m². Les épigés sont les plus sensibles. Le nombre moyen d'épigés passe de 43 ind/m², 5 ind/m², puis 1 ind/m², selon la durée de l'enherbement de l'inter-rang. La richesse taxonomique moyenne est multipliée par deux, 2.9 taxons/m² en enherbement permanent contre 1.5 taxon/m² pour les deux autres gestions d'inter-rang.

Le type d'enherbement a un fort impact sur la structure des communautés lombriciennes (Figure 15). En effet, moins il y a d'enherbement, moins il y a d'épigés en abondance relative. L'abondance relative des épi-anéciques subit aussi une chute mais uniquement en absence d'enherbement. Le ratio AD/JV est plus faible en enherbement permanent (0.57) qu'en temporaire (0.82) et en absence d'enherbement (0.78).

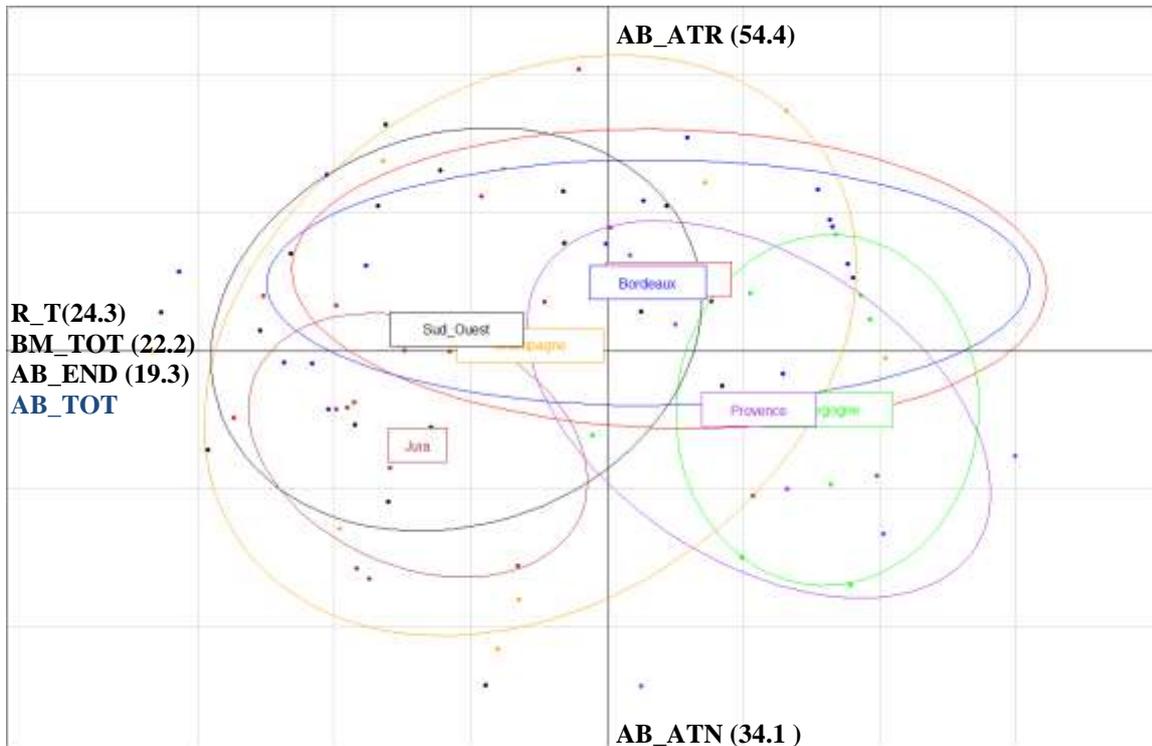


Figure 16 : Graphique des parcelles de l'ACP du jeu de données des vers de terre (axe1 :63% ; axe 2 :17%).

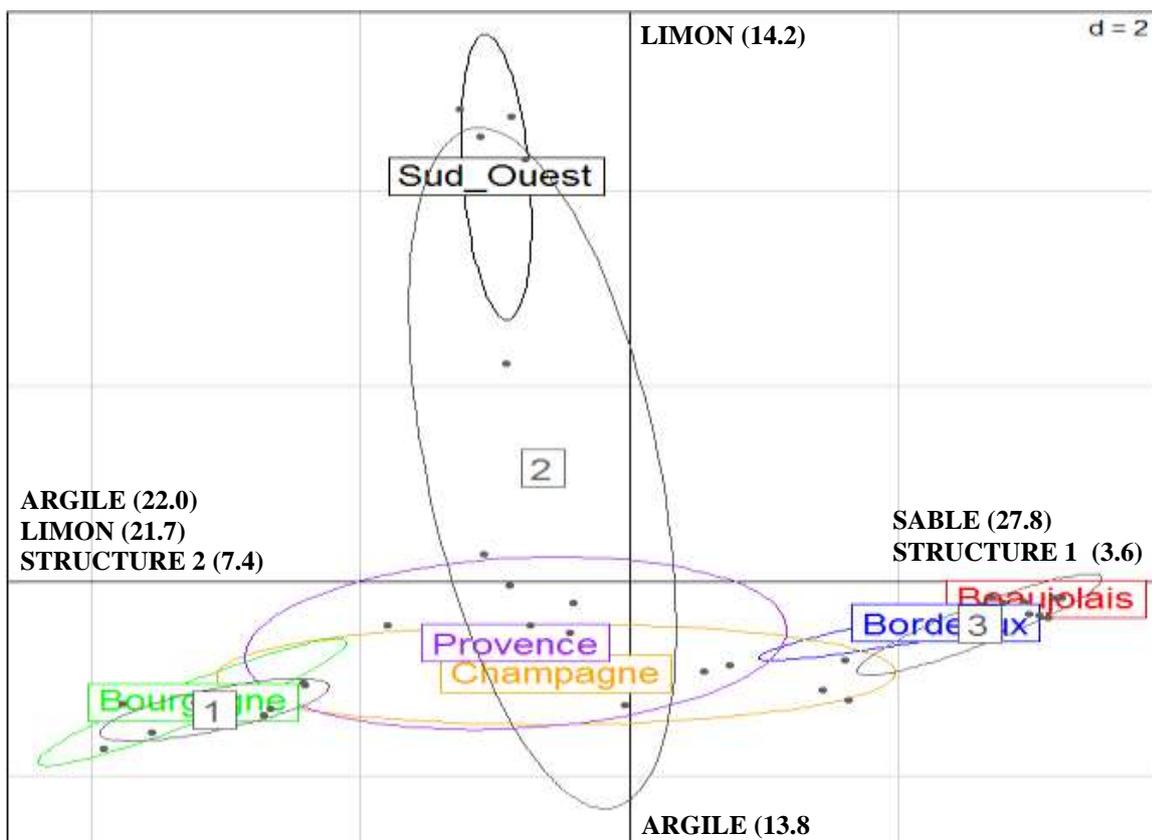


Figure 17 : Graphique des parcelles et des clusters [1], [2] et [3] de Hill-Smith du jeu de données pédologiques (axe 1 : 31%, axe 2 : 13%).

3.3 Analyses descriptives des données

3.3.1 Analyse des parcelles selon les abondances, la biomasse et la richesse taxonomique.

Le jeu de données des vers de terre regroupent 96 parcelles réparties dans les 7 régions viticoles. Cette Analyse des Correspondances Principales (Figure 16) prend en compte les abondances de différents groupes fonctionnels, la richesse spécifique et la biomasse totale. L'abondance totale a été rajoutée en tant que variable illustrative. La richesse spécifique est corrélée avec la biomasse totale à 79% et avec l'abondance des endogés à 74%. L'abondance des endogés est aussi corrélée à 74% avec la biomasse totale. Les endogés représentent la majeure partie des populations lombriciennes en terme d'abondance et en terme de biomasse.

La projection des régions sur le plan factoriel permet de les distinguer entre elles. La Bourgogne et la Provence sont caractérisées par des faibles richesses spécifiques, abondances et biomasse, confirmant l'analyse de données. Le Sud Ouest a une abondance et une biomasse forte ainsi qu'une richesse spécifique élevée. L'abondance des épigés et des épi-anéciques est plus élevée dans les vignobles de Champagne, du Beaujolais et du Bordelais.

La projection permet aussi de présenter l'hétérogénéité parcellaire au sein des régions. Les parcelles de Provence, de Bourgogne et du Jura sont en effet les plus homogènes. La Champagne et le Beaujolais présentent quant à eux de grandes disparités, en termes d'abondance totale.

3.3.2 Analyse des parcelles selon les données pédologiques.

L'analyse a été réalisée sur le jeu de données pédologiques. Les variables prises en compte sont les données des différents éléments en % et la notation de la structure. Seules 49 parcelles sont disponibles. Les individus dont les structures avaient été notées 3, 4 et 5 ont été supprimés de la base de données. Les effectifs étaient trop faibles pour être intégrés dans une analyse multivariée d'Hill-Smith. L'analyse descriptive (Figure 17) a permis de créer 3 classes dans les individus selon deux axes. La Bourgogne est caractérisée par des sols argileux, et par une structure relativement tassée de classe 2. Les régions du Beaujolais et du Bordelais sont plutôt des sols sableux, avec une structure légère. Du Sud Ouest, à la Provence puis en Champagne, le taux de limon diminue, mais les structures sont réparties entre les classes 1 et 2. D'autres facteurs expliqueraient donc le tassement du sol. Le Jura n'apparaît pas dans cette analyse à cause du manque de données sur les textures dans cette région.

3.3.3 Analyse des données selon les pratiques culturales

Le jeu de données de l'enquête est réduit, de par le faible nombre de viticulteurs y ayant répondu et par le nombre des questions réponses valides. De plus, certaines variables ne sont pas exploitables pour l'analyse des vers de terre. La question de la fertilisation par exemple manque de détails pour permettre d'émettre des conclusions sur d'éventuels résultats.

Seules deux variables sont donc utilisées dans l'ACM, l'enherbement du rang du rang et le travail du sol (Annexe VIII). L'axe vertical est caractérisé par la durée de l'enherbement et l'axe horizontal par le travail du sol. Un enherbement temporaire et un travail de l'inter-rang semblent liés alors que l'absence d'enherbement et l'enherbement permanent semblent plutôt liés à une absence de travail de l'inter-rang.

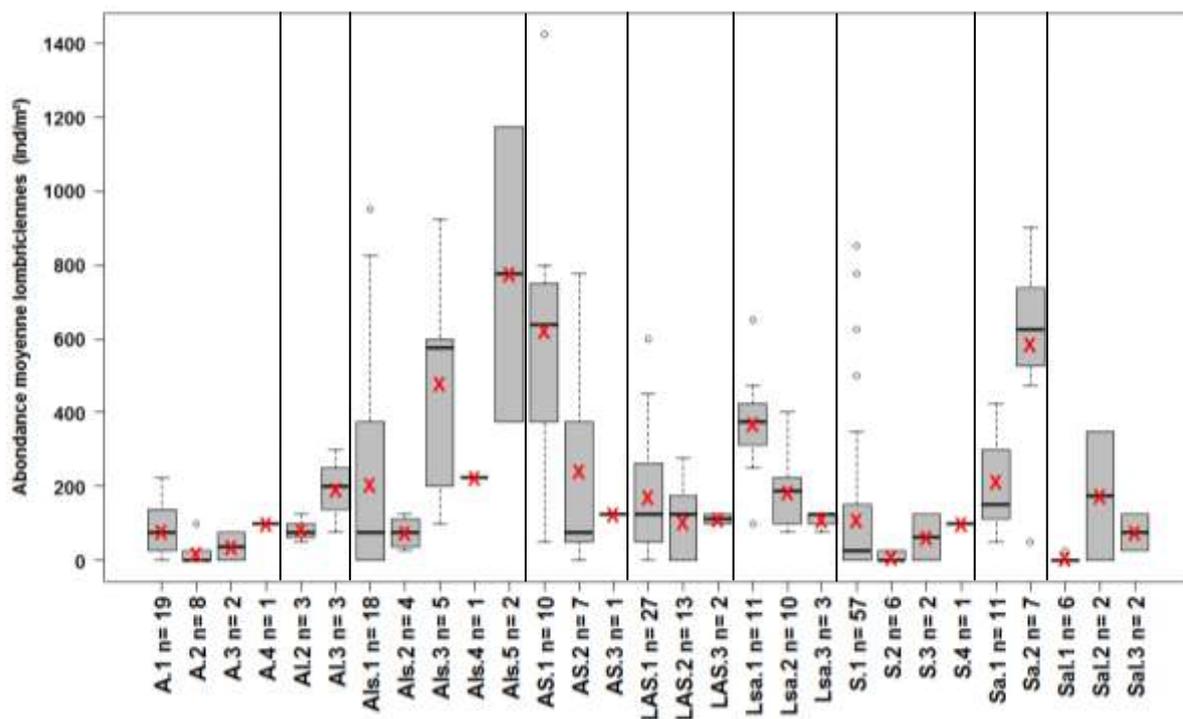


Figure 18 : Variabilité de l'abondance totale selon l'interaction entre la structure et la texture.

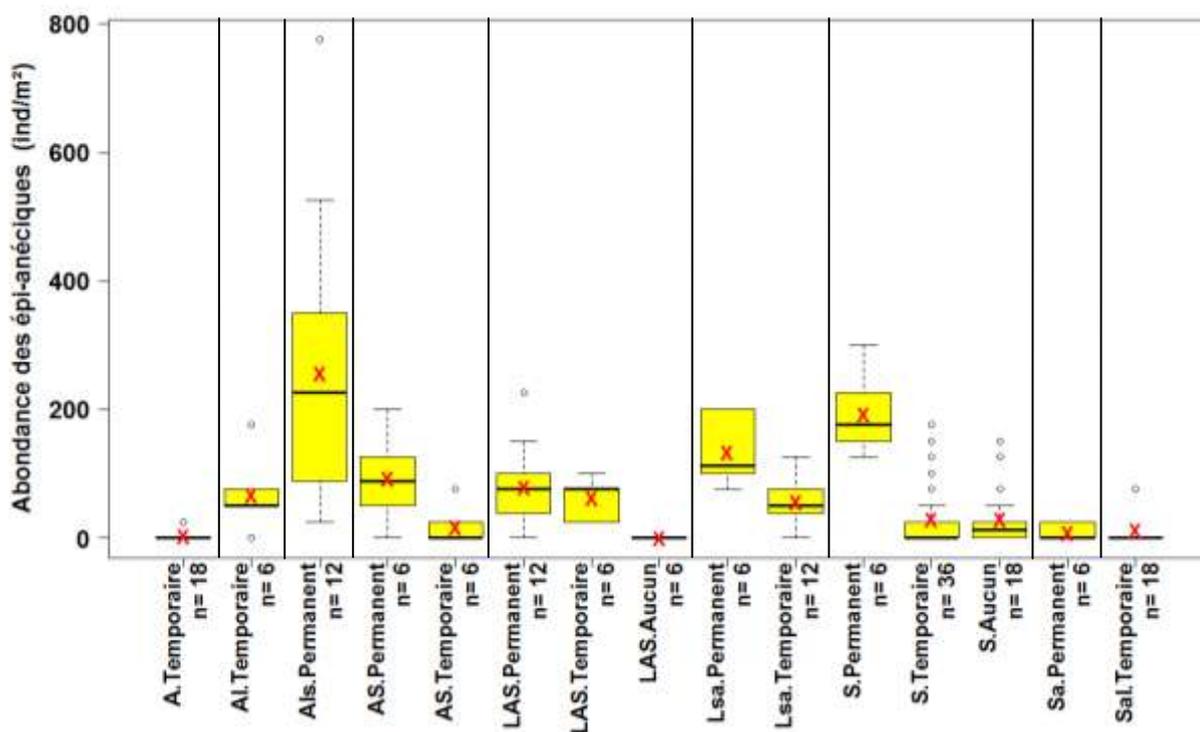


Figure 19 : Variabilité de l'abondance des épi-anéciques selon l'interaction entre la durée de l'enherbement et la texture.

3.4 Interaction des facteurs pédologiques et de la gestion des cultures

3.4.1 Texture: structure.

L'interaction entre la texture et la structure n'est significative que pour l'abondance totale (p-value=2.2e-16).

Pour l'abondance totale, les sols de structure de classe 1 et de texture A (1.A) sont significativement différents de sols 1 : Lsa (Figure 18). Les sols de structure 1 et de texture AS sont aussi statistiquement différents des sols sableux à structure légère (1.S). Les abondances totales sont de 622 ind/m² et 109 ind/m². En comparant ces résultats avec ceux de la partie 3.2.1.1., on constate que la structure de classe 1 n'a pas d'effet, seule la texture compte. Mais dans les autres classes de structure, ces différences disparaissent.

Aucune différence significative n'existe entre sol de même texture et de classe différente. Lorsque que la structure du sol est de classe 1, les différences de texture sont donc toujours présentes. Quand la structure se rapproche de la classe 5, la texture n'a plus d'importance et d'effet sur l'abondance totale.

Dans les parcelles où la structure est de classe 1, les sols à texture sableuse sont statistiquement différents des sols à texture Argilo-Sableuse. C'est l'unique différence significative au sein d'une même classe de structure. Comme pour l'abondance, les différences de texture sont uniquement significatives dans les sols de structure 1.

Graphiquement, l'abondance totale augmente pour la texture Als lors l'indice de tassement du sol augmente, mais diminue pour la texture AS.

3.4.2 Texture: enherbement

L'interaction entre la texture et l'enherbement n'est pas significative.

Cependant, pour l'abondance totale, graphiquement, les parcelles où l'enherbement est permanent, semblent différentes de deux autres types d'enherbement, quelque soit la texture associée, excepté la texture LAS. Les parcelles à texture Sableuse, statistiquement défavorables aux vers de terre semblent graphiquement très affectées par le type et la durée de l'enherbement de l'inter-rang. L'abondance totale moyenne passe ainsi de 341 in/m² à 47ind/m². Mais les différences sont aussi visibles pour les parcelles à texture favorable.

Pour les épi-anéciques, vers notamment responsables de la répartition de la matière organique dans le profil, les parcelles Permanent.ALS et Permanent.S semblent différentes des autres parcelles en enherbement permanent. Comme avec l'abondance totale, elles sont les plus abondantes en épi-anéciques. L'abondance moyenne en épi-anécique atteint respectivement et 191 ind/m² et 256 ind/m² (Figure 19). Quand l'enherbement n'est plus permanent, les abondances d'épi-anéciques diminuent quelque soit la texture, même si la texture favorable (Lsa) diminue moins.

3.4.3 Enherbement : travail du sol

L'interaction enherbement et travail du sol est significative pour l'abondance totale (p-value =1.05e⁻²), la biomasse totale (p-value =3.58e⁻⁰⁵) et la richesse taxonomique (p-value =3.9e⁻²). Les parcelles dont les inter-rangs sont enherbés en permanence sont significativement différentes des deux autres types d'enherbement, quelque soit le travail du sol.

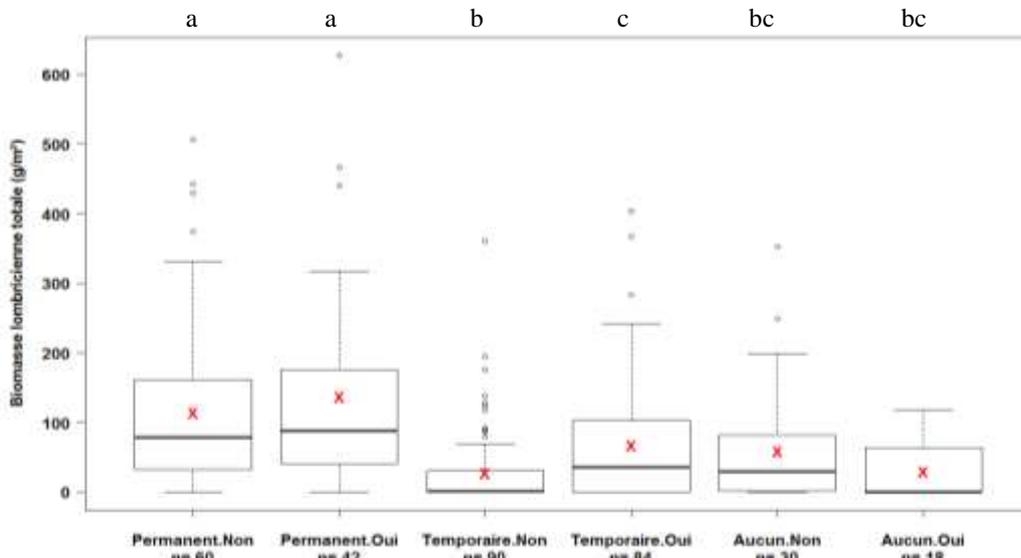


Figure 20 : Variation de la biomasse selon l'interaction entre la durée de l'enherbement et le travail du sol.

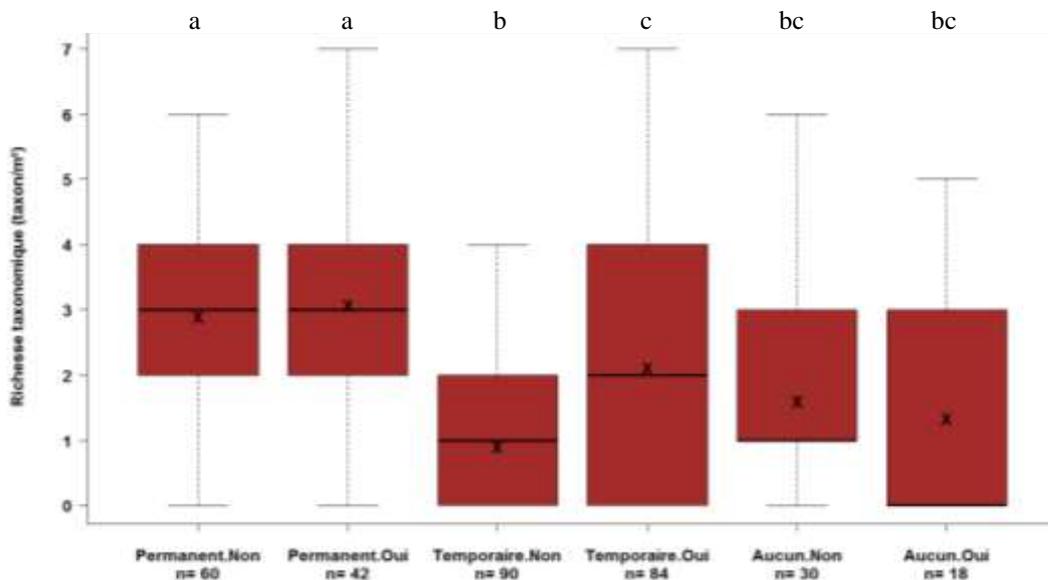


Figure 21 : Variation de la richesse taxonomique selon l'interaction entre la durée de l'enherbement et le travail du sol.

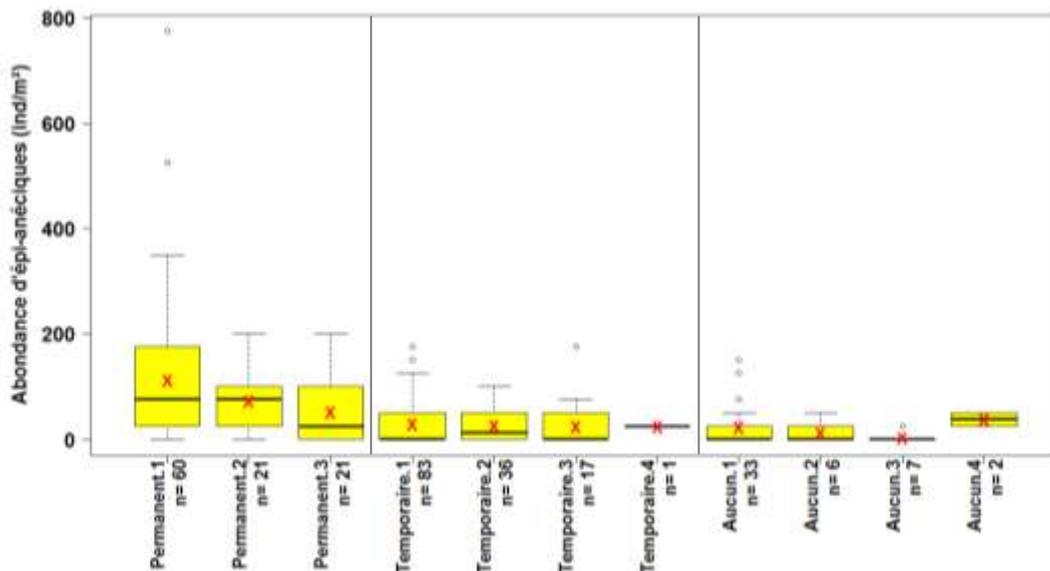


Figure 22 : Variation de l'abondance des épi-anéciques selon l'interaction entre la durée de l'enherbement et la structure.

Lorsque l'enherbement est permanent, il n'y a pas de différence significative entre les inter-rangs travaillés ou non travaillés malgré un fort écart entre les moyennes. Elles passent de 368 ind/m² en non travail à 285 ind/m² en inter-rangs travaillés.

Il y a une différence statistique entre les parcelles en enherbement temporaire avec des inter-rangs travaillés et non travaillés. L'abondance totale moyenne augmente de 48 ind/m² dans les inter-rangs non travaillés à 135 ind/m² en travaillant le sol.

On observe aussi une différence significative entre les parcelles en enherbement temporaire sans travail du sol et les parcelles sans enherbement, ni travail du sol. La seconde interaction est plus bénéfique pour les vers de terre, 48 ind/m² contre 92 ind/m². Il n'y pas de différence entre les inter-rangs travaillés sans enherbement et les inter-rangs non travaillés avec un enherbement temporaire.

Les différences sont les mêmes pour la biomasse totale. Lorsque l'enherbement est permanent, le travail du sol n'a, statistiquement pas d'influence sur la biomasse de vers de terre. On observe cependant des moyennes différentes, favorables au travail du sol, 114g/m² contre 137g/m². La variabilité au sein de ces parcelles est cependant très élevée. Les médianes sont respectivement à 78g/m² et 87g/m² (Figure 20). A nouveau, le travail du sol est bénéfique pour les communautés lombriciennes dans le cas d'un enherbement temporaire. La biomasse totale passe de 27g/m² à 68g/m². Sans enherbement, les différences ne sont pas significatives.

Pour la richesse taxonomique, les inter-rangs à enherbement permanent sont statistiquement différents des autres types d'inter-rangs, quelque soit leur gestion. Il y a en moyenne 2.9 et 3 taxons/m² en inter-rangs non travaillés ou travaillés. Il y a aussi une différence à l'avantage du travail du sol dans les inter-rangs en enherbement temporaire. Il n'y a cependant aucune différence entre un inter-rang en enherbement temporaire non travaillé et un inter-rang sans enherbement quelque soit sa gestion. Les moyennes sont stables autour de 1.5 taxons/m² (Figure 21).

D'un point de vue graphique, les épigés, présents presque uniquement dans les inter-rangs en enherbement permanent sont défavorisés par le travail du sol. On en compte 36 ind/m² en moyenne contre 53 ind/m² quand le sol n'est pas travaillé. Les ACCX par contre sont systématiquement plus nombreux dans les inter-rangs travaillées.

3.4.4 Enherbement : structure

L'interaction entre la structure du sol et l'enherbement n'est jamais significative. L'échantillon de la classe 4 est trop faible pour le prendre en compte (n=3). Mais des tendances graphiques ressortent pour les autres classes. Il semble que le type d'enherbement de l'inter-rang exerce une forte pression cette interaction.

Les vers de terre, en terme d'abondance totale, sont beaucoup présents dans le sol de structure de classe 1 et inter-rang à enherbement permanent, 417 ind/m².

Les épi-anéciques semblent très dépendants de l'enherbement de l'inter-rang et de la structure. Pour chaque classe de structure, il y a plus d'épi-anéciques en enherbement permanent qu'en enherbement temporaire et qu'en absence d'enherbement (Figure 22).

Les conclusions sont les mêmes pour l'abondance en ACCX, pour les parcelles de structure 1 et 2. C'est relativement homogène et faible pour la classe 3.

Si on l'étudie, les épigés dans les sols de structure 3, ils semblent présents uniquement dans les inter-rangs enherbés en permanence. On observe la même tendance dans les sols de structure 1.

4 Discussions

4.1 Le protocole AgrInnov

4.1.1 Protocole des prélèvements des vers de terres

Le programme de recherche AgrInnov est un projet participatif de la conception du protocole de mesure aux prélèvements des données.

Le protocole initialement et usuellement mis en place lors de prélèvements participatifs de vers de terre est le protocole « moutarde » de l'OPVT. Il consiste en trois arrosages consécutifs, espacés de 15 minutes, d'une solution d'eau mélangée à de la moutarde sur 1m². Les vers de terre irrités, remontent à la surface et sont alors prélevés. Ce test est ensuite complété par un tri manuel d'1/16 de m² sur 20 cm de profondeur. Le protocole global d'AgrInnov, prévoit aussi l'analyse de la structure par le test bêche. En concertation avec les agriculteurs volontaires pour la première année de prélèvement, il a été décidé de « réunir » les deux protocoles pour diminuer la charge de travail des agriculteurs. Cependant, il existe peu d'analyses sur la réelle efficacité de ce protocole de prélèvement de vers de terre. Il peut être comparé au tri manuel, effectué en correctif des autres modes de prélèvements. Ce protocole aurait tendance notamment à sous estimer les abondances d'épigés, notamment à cause de la difficulté de les extraire de mas racinaire. Les vibrations occasionnées pendant le prélèvement du bloc de terre sont aussi un biais pour quantifier les populations des anéciques (Bouché, 1969).

Les prélèvements ont été donc réalisés par les agriculteurs eux-mêmes, connaissant bien les intérêts d'avoir de fortes abondances dans ses parcelles. La réalisation de prélèvements en groupe a certainement réduit la subjectivité des résultats, mais il existe peut-être encore une erreur liée à ce caractère participatif. Comme il n'existe pas de publications qui permettent des comparaisons, il aurait été intéressant de mettre en place en parallèle une étude objective. Des prélèvements de lombriciens avec un protocole formol réalisé sur les mêmes parcelles en même temps auraient permis ensuite de quantifier l'effet protocole et l'effet préleveur, et donc de comparer plus facilement les données.

4.1.2 Protocole des autres jeux de données

Pour les données pédologiques, les textures ont été analysées par un laboratoire INRA et la structure par les agriculteurs en groupe. La structure a été analysée sur 81 parcelles, mais seulement 49 analyses de texture ont été récupérées durant ce stage.

Les caractérisations de la structure via les trois types de motte (Gamma, Delta 0 et Delta) et la distinction d'horizon a été mise en place en concertation avec les agriculteurs. La formation en grand groupe et la réalisation des observations en groupes restreints ont permis d'augmenter l'objectivité des observations. Mais le manque d'expérience dans la qualification des mottes a certainement été un biais. Lors de la présentation des résultats des analyses de l'année dernière, un groupe d'agriculteurs avait été particulièrement sévère sur les notations, ce qui impactait fortement les conclusions.

Un prorata des classes de structure est réalisé à l'échelle de la répétition pour simplifier les analyses. Il gomme les différences entre les horizons et donc l'impact direct ou non de la présence d'une surface ou d'une profondeur tassée, pourtant déterminante pour certaines espèces selon leur groupe fonctionnel (Langmaack et al., 1999 ; Jégou et al., 2002). Pour une analyse réelle de l'impact de la structure sur les lombriciens, l'indice de tassement de chaque horizon doit être préservé.

Peu de données issues de l'enquête ont pu être analysées par manque de précision dans les réponses. Les informations sur les intrants, organiques minéraux et phytosanitaires, n'ont pas pu être utilisées pour étudier la variabilité des communautés lombriciennes, car seule la réalisation d'un apport ou non, et le nombre de traitements étaient connus. Les vers de terre sont sensibles à la fréquence, à la quantité et à la qualité de ces apports, et à la matière active des produits phytosanitaires (Pérès et al., 1998 ; Garcia et al., 2008).

4.1.3 **Analyses statistiques**

Le manque de résultats d'enquête et de texture réduit considérablement la base de données pour les analyses des interactions. Il y a beaucoup de données manquantes ce qui ne permet pas de conclure dans certains cas. Le faible nombre d'échantillons par catégorie rend les moyennes très dépendantes des données extrêmes.

4.2 Analyse globale des vers de terre dans les vignobles français.

4.2.1 **Abondance parcellaire.**

D'une manière générale, les abondances totales de lombriciens varient entre 0 ind/m² et 1092 ind/m². La médiane se situe à 123 ind/m² et la moyenne à 184 ind/m². Ces données semblent particulièrement élevées par rapport aux abondances trouvées classiquement dans les vignobles français avec la méthode de prélèvement au formol (Pérès et al., 1998). Les différences pourraient venir de la diversité des régions de prélèvement. On observe en effet dans les résultats une très forte hétérogénéité des données selon les différentes régions viticoles. Cependant, quelque soit la région, le Beaujolais ou la Champagne par exemple, les données semblent élevées (Pérès et al., 2006 ; Cluzeau, 2013). Une partie de cette différence est peut être expliquée par le caractère participatif du programme de recherche et par le nouveau protocole. Il existe cependant peu de publications pouvant justifier ces différences.

En terme d'abondance relative, les proportions sont un peu différentes des valeurs de la bibliographie (Cluzeau et al., 1990). La proportion des anéciques est plus faible du fait la présence plus forte d'endogés et de celle des épigés.

4.2.2 **Biomasse parcellaire**

La biomasse lombricienne varie entre 0 et 375,8 g/m². La médiane se situe à 38,4 g/m² et la moyenne est à 69.9 g/m². La moyenne par m² est plutôt faible par rapport aux valeurs trouvées habituellement (Pérès et al., 1998).

Elle est en effet de 0.38 g/ind dans le vignoble du Beaujolais ce qui est très inférieure au 1.74 g/ind recueillie par Pérès et al (2008). Cette variabilité est peut être expliquée par le protocole qui défavorise les « grosses » espèces, mais aussi par la structure même des communautés lombriciennes et par le ratio adulte/juvénile. En abondance relative, il y a en effet beaucoup plus d'espèces endogées et épigées dans les prélèvements effectués pour AgrInnov. Il y a aussi dans ce jeu de données des parcelles sans vers de terre qui affectent les moyennes.

4.2.3 **Structure des communautés lombriciennes.**

Globalement, les communautés lombriciennes sont composées de 10% d'épigés, 24% d'épi-anéciques, 17% d'anéciques stricts et 48% d'endogés. Cette structure de communautés regroupant tous les groupes fonctionnels est exceptionnelle pour des prélèvements sur des vignobles (Pérès et al, 2008 ; Cluzeau, 2013). Dans le vignoble de Champagne, la proportion d'anéciques est beaucoup plus importante, au détriment en grosse partie des endogés dans Cluzeau (2013). Ces différences sont peut-être dues à l'échantillonnage aléatoire du programme de recherche AgrInnov et à la méthode de prélèvement, qui n'est peut-être pas optimale pour les anéciques (Bouché, 1969). Les systèmes de production sont très différents, impactant de façon différente les abondances des groupes fonctionnels (Pérès et al., 2006). Ces différences de structure des communautés lombriciennes expliquent certainement en partie les chiffres faibles de la biomasse moyenne.

4.2.4 **Richesse taxonomique.**

Les vers de terre ont été prélevés dans des régions différentes. Les espèces présentes sont très différentes d'une parcelle à l'autre. La richesse taxonomique moyenne observée est de 3.4 taxons par parcelle, mais il existe de très fortes différences entre les régions. En 2013, Cluzeau montrait une richesse spécifique de 10 dans le vignoble de Champagne. Elle est de 13 dans cette étude. De même, on compte 10 espèces dans le Beaujolais, alors que Pérès et al (2008), n'en comptaient que 5. Ces variations peuvent être expliquées par le fait que leurs programmes de recherche se focalisent sur 1 ou 2 sites d'étude. Les prélèvements AgrInnov ont été réalisés sur 10 parcelles en Champagne et 11 dans le Beaujolais. Pour chaque région, la richesse taxonomique maximale atteint respectivement 6 taxons/m² et 10 taxons/m².

4.2.5 **Les rapports biomasse/abondance et adulte/juvénile.**

Le ratio biomasse/abondance est très dépendant de la proportion des groupes fonctionnels et du ratio adulte/juvénile. Selon les régions, il varie de 0.3 en Provence à 1.03 en Bourgogne, conséquence des espèces et des stades des vers de terre.

Le ratio adulte/juvénile moyen est difficile à analyser et à interpréter, il y a très peu de publications sur le sujet avec un protocole tri-manuel uniquement. Pour ces données, le ratio moyen est de 0.88. Il est très fluctuant selon les espèces, et selon les conditions de vie des vers de terre, notamment le tassement (Bostrom, 1986). Son analyse est donc tributaire des taxons présents dans la parcelle.

4.3 Influence des paramètres pédologiques sur les communautés lombriciennes.

4.3.1 **Texture de l'inter-rang.**

La texture agit de deux manières sur les vers de terre, directement et indirectement. La présence d'éléments grossiers abrasifs peut constituer des barrières physiques à l'ingestion ou aux déplacements, et la texture agit directement sur la capacité de rétention d'eau des sols (Lee, 1985). Cela confirme les faibles abondances totales des vignobles bordelais et du beaujolais, où le sable représente en moyenne 65% des éléments. La texture la plus favorable dans ces prélèvements est l'argilo sableuse pour l'abondance totale. Pour certains groupes fonctionnels comme les épi-anéciques et les épigés, la texture argilo-limoneuse est aussi très favorable. En 1979, Gerard et Hayes ont démontré qu'en effet, les sols de texture argilo-sableux et argilo limoneux étaient les plus propices au développement des lombriciens. L'argile, élément commun en forte proportion dans ces milieux n'est cependant pas favorable aux vers de terre en trop grande quantité.

Les abondances y sont relativement faibles, et ne sont jamais différentes des sols sableux, quelque soit la catégorie écologique. Cela est dû au déficit en oxygène que peuvent engendrer ces sols en cas de forte humidité (Lee, 1985).

A taux d'argile plus faible, inférieur à 25%, Nordström and Rundgren (1974) trouvent une corrélation positive entre ce taux et les abondances lombriciennes. Mais les textures argilo-sableuses peuvent posséder jusqu'à 45% d'argile. D'autres paramètres entrent donc en compte, comme le taux de matière organique (Edwards and Lofty, 1977), données cependant indisponibles. Il en est de même pour la richesse taxonomique qui est plus élevée dans les sols à taux d'argile relativement fort.

4.3.2 Structure du sol de l'inter-rang

Les analyses de la structure ont donné des résultats très hétérogènes et difficilement exploitables. Les échantillons pour chaque classe de structure sont très hétérogènes. Les sols tassés (Classe 4) à très tassés (Classe 5) sont peu représentés. Ils sont très dépendants des valeurs exceptionnelles.

Les résultats de l'abondance totale montrent cependant une préférence des vers de terre pour les sols tassés de classe 4 et de classe 5. Ces résultats sont en contradiction avec ceux de Chan et Barchia (2007). Dans cette publication, ils montrent une très forte diminution des abondances totales de vers de terre dans le sol tassé. Au sein même d'une parcelle, Bostrom (1986) démontre qu'il y a moins de lombriciens sous les passages de roues, et que le ratio adulte / juvénile augmente. Les juvéniles sont donc plus sensibles au tassement du sol, à cause peut être leur plus faible capacité à creuser, ou de leur faible résistance à l'écrasement. Aucune publication montrant l'effet inverse n'a été trouvée.

Le ratio AD/JV est multiplié par deux entre les inter-rangs non travaillés et ceux travaillés. La chute du nombre de juvénile. Le travail du sol perturbe en effet la surface du sol. Les épigés et les épi-anéciques juvéniles se situent en surface (Cluzeau et al., 2003). Ils sont donc directement affectés par le travail du sol, ce qui fait augmenter le ratio AD/JV.

La structure du sol peut aussi être analysée comme une conséquence de l'activité lombricienne. Les vers de terre sont en effet responsables par leur activité de la formation d'une grande part de la macroporosité du sol (Bachelier, 1978). Cependant, dans ce cas, les zones les plus tassées, caractérisées par des mottes Delta sans traces d'activités lombriciennes sont les zones les plus abondantes en vers de terre. Le protocole ne permet peut-être pas de caractériser suffisamment précisément la structure ou bien, elle est en interaction avec d'autres variables.

4.1 Influence de la gestion des cultures

4.1.1 Travail du sol

L'analyse du travail du sol dans cette étude n'est pas très approfondie. Il manquait des informations sur la profondeur des pratiques et la nature de ces pratiques. Cependant de manière générale, pour la majorité des variables étudiées, excepté les endogées et les ACCX, le travail du sol est défavorable au développement des lombriciens en terme d'abondance. Les structures des communautés lombriciennes évoluent aussi selon le travail ou non des inter-rangs. Une diminution de la part des épi-anéciques et des épigés, mais une augmentation de celle des endogés sont constatées. En effet, le travail, comme le labour a un effet négatif sur les abondances (Curry et al., 1995), qui s'exprime principalement par des blessures mortelles et par la perturbation de leur habitat (Edwards, 1983). Les grandes espèces anéciques sont donc plus affectées. Les endogés par leur mode de vie en profondeur sont moins affectés par les chocs (Chan, 2001).

Dans les vignobles, cette pratique peut être associée à celle du désherbage mécanique de l'inter-rang (Cluzeau, 2013). Une gestion mécanique des inter-rangs apparaît alors défavorable aux abondances lombriciennes, (Schreck et al., 2012)

Le travail du sol a un très fort impact sur le ratio adulte/juvénile. Les épigés et les épi-anéciques juvéniles sont présents en très faible quantité. De St-Remy and Daynard (1982) montrent en effet qu'un travail du sol au printemps réduit les abondances de juvéniles très présents en cette période de l'année.

4.1.2 Enherbement de l'inter-rang

Pour l'ensemble des parcelles, l'enherbement permanent est significativement différent d'enherbement temporaire et d'absence d'enherbement. Il n'y aucune différence significative entre un enherbement temporaire et une absence d'enherbement. Cluzeau (2013) montre en effet que dans les inter-rangs enherbés, les abondances sont plus élevées. L'enherbement permanent de l'inter-rang peut être assimilé à une prairie permanente, milieu le plus propice au développement des vers de terre (Cluzeau et al., 1987).

Dans les autres types d'inter-rangs, les épigés disparaissent presque totalement, par manque de ressources trophiques. Les abondances d'épi-anéciques et d'anéciques stricts diminuent aussi, mais dans une moindre mesure. Ils sont aussi dépendants des ressources trophiques de surface (Bouché, 1977). Les abondances d'endogés sont légèrement plus élevées en absence d'enherbement de l'inter-rang. Ce résultat est aussi peut-être dû à une interaction avec une autre variable comme le travail du sol ou la structure du sol.

Le ratio AD/JV varie aussi un peu. Les inter-rangs enherbés seraient donc plus propices au développement des juvéniles.

4.2 Interaction des facteurs pédologiques et de la gestion des cultures

4.2.1 Texture : structure

Les textures et la structure sont liées. Pour l'abondance totale, les sols de structure 1 et de texture sableuse se distinguent statistiquement des autres : les sols riches en sable sont en effet des sols où le tassement est plus faible. De plus, cette catégorie est très influente, car 57 répétitions sont concernées. Dans le 4.3.2, une interrogation était portée sur le fait que les sols de structure 1 ne soient pas les plus favorables. Dans cette base de données, il coïncide avec des sols sableux, très défavorables pour les vers de terre. De plus, dans les autres classes de structure, les textures favorables aux lombriciens, argilo-sableuses, et argilo-limoneuses sont sous échantillonnées.

La base de données actuelle, non complète, donne seulement des indications sur cette interaction.

Pour une texture donnée, Als, l'abondance totale diminue quand l'indice de tassement augmente. Chan (2007) a montré que pour une texture fixe, lorsque l'indice de tassement augmentait, l'abondance totale diminuait proportionnellement.

Pour étudier l'effet réel de la structure sur les vers de terre, il aurait fallu quantifier et retirer l'effet de la texture.

4.2.2 **Texture : enherbement**

L'étude de cette interaction permet de montrer, graphiquement, l'impact plus important de l'enherbement que de la texture sur les lombriciens. Des sols de texture sableuse, significativement défavorables aux lombriciens, deviennent positifs à leur développement dans les inter-rangs à enherbement permanent. L'apport de ressources trophiques constant en surface semble permettre aux lombriciens de se développer dans des sols à texture plus ou moins favorable. Curry (1994) démontre en effet que les relations entre abondances lombriciennes et textures seraient secondaires par rapport à la disponibilité et à la diversité de la ressource alimentaire.

Ce résultat se confirme par la suite, avec la diminution des abondances d'épi-anéciques lorsque la durée de l'enherbement diminue. Dans une parcelle dont la texture est favorable aux développements des épi-anéciques (Limono-sablo-argileux), l'abondance diminue entre un enherbement permanent et temporaire de l'inter-rang.

4.2.3 **Enherbement : travail du sol**

L'interaction entre enherbement et travail du sol permet de confirmer les résultats obtenus pour chaque variable. Dans un inter-rang enherbé, le travail du sol est négatif pour le développement des lombriciens. L'enherbement permanent de surface permet en effet de nourrir l'ensemble des groupes fonctionnels. Le travail du sol, même s'il est superficiel perturbe les épigés et le début de la chaîne de dégradation de la matière organique. Les conséquences du travail du sol s'inversent dans un inter-rang à enherbement temporaire. L'enfouissement des adventices est à la fois défavorable aux épigés, qui n'ont plus accès à la nourriture, et aux épi-anéciques qui subissent les agressions mécaniques, mais favorable aux endogés. Chan (2001) montre en effet que les endogés bénéficient de bonnes conditions de développement avec le labour car ils se trouvent alors à proximité des résidus de récoltes, et subissent moins de blessures de part leur petite taille. C'est le cas des ACCX, dont la proportion augmente en inter-rang travaillés.

4.2.4 **Enherbement : structure**

L'interaction de ces deux variables n'est pas significative. Elle permet cependant d'étayer les conclusions concernant la structure du sol. Elle semble passer en second dans l'interaction pour l'abondance totale et celle des épigés.

Les épi-anéciques sont eux réellement sensibles à l'interaction. Que l'on analyse en commençant par l'enherbement ou par la structure, les abondances vont toujours en diminuant. Leur besoin de nourriture en surface explique leur décroissance selon la diminution de la durée de l'enherbement de l'inter-rang (Cluzeau et al., 2003). Les structures tassées semblent exercer une pression négative. Les parcelles dont la structure est notée de classe 3 concernent en fait uniquement des inter-rangs en enherbement permanent, justifiant ainsi la très forte présence d'épigés. De plus, les épigés n'ont pas d'activité fousseuse. La structure du sol ne devrait donc pas avoir d'effet direct sur ces vers de terre. Cependant, la structure peut avoir une influence indirecte en limitant la production végétale, source de nourriture des épigés.

Conclusion

L'identification des bio-indicateurs qui rendent compte des interactions entre pratiques viticoles et facteurs pédologique montre une très grande variabilité spatiale de diversité et d'abondance, de l'échelle de la répétition à celle de la région viticole.

Malgré des valeurs d'abondances lombriciennes relativement élevées, peut être liées au nouveau protocole participatif, les variables pédologiques et les modes de gestion des inter-rangs ont montré des impacts modérés à forts sur les vers de terre.

Concernant les textures des vignobles échantillonnées, les vers de terre montrent une préférence certaine pour les milieux riches en argile. Malgré un échantillonnage hétérogène, l'analyse de la structure, seule, a montré que les milieux tassés étaient plutôt favorables aux vers de terre en générale excepté pour les épi-anécique.

Les vers de terre sont peu sensibles au mode d'entretien des inter-rangs. Le travail du sol ne semble pas affecter l'abondance totale, ni la richesse taxonomique. Il favorise plutôt l'abondance des endogés. A contrario, la durée de l'enherbement des inter-rangs influence beaucoup les communautés de vers de terre. Les inter-rangs où l'enherbement est permanent représentent le milieu le plus propice au développement des vers de terre, quelque soit le groupe fonctionnel. La richesse taxonomique et la biomasse y sont aussi supérieures. Un enherbement temporaire ou une absence d'enherbement ont un impact systématiquement défavorable sur les lombriciens.

Les analyses multi-variées ont permis d'établir qu'en cas d'enherbement temporaire, un travail du sol est bénéfique pour les endogés et les anéciques stricts, grâce au mélange de la matière organique provoqué par l'opération. Un effet de la structure a aussi été décelé en interaction avec l'enherbement. L'abondance totale et notamment celle des épi-anéciques indiquent de manière franche l'effet négatif de la réduction de la durée d'enherbement couplé à l'augmentation de l'indice de tassement des sols.

La finalité du programme AgrInnov est de valider ces indicateurs. Ce rapport préliminaire permet d'émettre des hypothèses quand à la pertinence de l'indicateur lombricien, dont la sensibilité permet de classer dans un ordre positif et croissant ces pratiques :

- enherbement temporaire avec un travail du sol.
- enherbement permanent sans travail du sol
- l'enherbement permanent associé à une réduction des passages sur l'inter-rang.

Ces résultats seront à approfondir avec les données de l'enquête sur la pression de produits phytosanitaires et sur les apports en intrants organiques et inorganiques.

L'aspect participatif de ce programme de recherche doit être approfondi, et doit déboucher sur des conseils de pratiques agro-viticoles. Un effort de vulgarisation des résultats de ce programme est fourni afin de permettre une lecture et une interprétation efficaces et rigoureuses des bilans. Les agriculteurs doivent à l'avenir pouvoir identifier, quantifier les bio-indicateurs et évaluer la qualité biologique de leur sol.

Ce programme constitue également une veille sur la qualité biologique de sol, où les agriculteurs sont acteurs de la surveillance des sols français. Ils contribuent ainsi à la formation d'une base de données support de recherches qui permettront d'anticiper des problèmes liés à la qualité biologique des sols. Un cercle vertueux se met progressivement en place.

Les études de la biodiversité aux champs sont aujourd'hui nombreuses, mais celles de son impact sur la qualité des produits le sont moins. Il serait intéressant de poursuivre l'étude jusqu'à l'intérêt pour le viticulteur de préserver la qualité biologique de ces sols, du point de vue de la rentabilité de son exploitation et de la qualité de ces produits.

Bibliographie

- Bachelier G. (1978). La faune des sols: son écologie et son action. O.R.S.T.O.M., Paris, 391p
- Barrios E. (2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecol. Econ.* 64, 269–285.
- Blavet D., De Noni G., Le Bissonnais Y., Leonard M., Maillo L., Laurent J.Y., Asseline J., Leprun J.C., Arshad M.A., Roose E. (2009). Effect of land use and management on the early stages of soil water erosion in French Mediterranean vineyards. *Soil Tillage Res.* 106, 124–136.
- Blum W.E.H. (2005). Functions of Soil for Society and the Environment. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 4, 75–79.
- Bostrom U. (1986). The effect of soil compaction on earthworms lumbricidae in a heavy clay soil. *Swedish Journal Of Agricultural Research.* p. 137-141.
- Bouché M.B. (1969). Comparaison critique de méthodes d'évaluation des populations des Lumbricides. *Pedobiologia*, 9 (1-2): 26-34.
- Bouché M.B. (1972). Lombriciens de France: Ecologie et systématique. INRA, Annales de Zoologie-écologie animale. Paris, 671p
- Bouché M.B. (1977). Stratégies lombriciennes. *Ecological Bulletin (Stockholm)*, 25:122-132.
- Chan K.Y. (2001). An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity - implications for functioning in soils. *Soil & Tillage Research.* 179–191.
- 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 Res.* 94, 75–82.
- Cheverry C. (1998). Agriculture intensive et qualité des eaux., INRA Editions. ed.
- Cluzeau D. (2013). VITIECOBIOSOL Les sols vivants du vignoble champenois Comment intégrer ces connaissances acquises sur ce patrimoine pour contribuer à la pérennité de l'A.O.C Champagne?
- Cluzeau D., Guo Z.T., Chaussod R., Esmenjaud D., Fedoroff N., Normand M., Valentin G. (1990). Etats structuraux et biologiques des sols du vignoble de Champagne., Rapport scientifique, Conseil Régional Champagne-Ardenne-SUAD MARne-Université de Rennes 1, vol.1.
- Cluzeau D., Lebouvier M., Tréhen P., Bouché M.B., Badour C., Perraud A. (1987). Relations between earthworms and agricultural practices in the vineyard of Champagne. Preliminary results. In "On Earthworms" Omodeo (Ed). Selected Symposia and Monographs UZI Modena (Italie), p 465-484.
- Cluzeau D., Lemerrier B., Ablain F., Pérès G., Grandin V. (2003). Ecologie des Lombriciens & Interactions avec les activités agricoles en zone tempérée - Cas particulier du Cuivre. *Les Cahiers du BIOGER*, Vol 2/2003.
- Coleman D.C., Odum E.P., Crossley Jr D.A. (1992). Soil biology, soil ecology, and global change. *Biol. Fertil. Soils* 14, 104–111.
- Curry J.P. (1994). Grassland Invertebrates, Ecology, Influence on soil fertility and effects on plant growth., Chapman & Hall, London. ed.
- Curry J.P., Byrne D., Boyle K.E. (1995). The earthworm population of a winter cereal field and its effects on soil and nitrogen turnover. *Biology and Fertility of Soil*, 19:166-172.
- De St-Remy E.A., Daynard T.B. (1982). Effects of tillage methods on earthworm populations in monoculture corn. *Can. J. Soil Sci.*, 62 , pp. 699–703.

- Dominati E., M. Patterson et A. Mackay. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils . *Ecological Economics* 69 (9): 1858–1868
- Edwards C.A. (1983). Earthworm ecology in cultivated soils. In J.E. Satchell (Ed), *Earthworm ecology from Darwin to Vermiculture*. Chapman and Hall, Londres. p 123-137.
- Edwards C.A., Bohlen P.J. (1996). *Biology and ecology of earthworms* (3rd edition), Chapman & Hall, London.426p
- Edwards C.A., Lofty, J.R. (1977). *Biology of earthworms*. Second edition, Chapman & Hall, London.300p
- Eijsackers H., Beneke P., Maboeta M., Louw J.P.E., Reinecke A.J. (2005). The implications of copper fungicide usage in vineyards for earthworm activity and resulting sustainable soil quality. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 62, 99–111.
- El-Duweini A.K., Ghabbour S.I. (1965). Population Density and Biomass of Earthworms in Different Types of Egyptian Soils. *Journal of Applied Ecology* Vol 2, 271–287.
- Garcia M., Römcke J., de Brito M.T., Scheffczyk A. (2008). Effects of three pesticides on the avoidance behavior of earthworms in laboratory tests performed under temperate and tropical conditions. *Environ. Pollut.* 153, 450–456.
- Gerard B.M., Hayes K.M. (1979). The effect on earthworms of ploughing, tined cultivation, direct drilling and nitrogen in a barley monoculture system. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 93:147-155.
- Gillot-Villenaze C. (1994). Effets de l'introduction du ver géophage tropical *Millsonia anomala* en système cultivé sur les caractéristiques des sols et la production végétale en moyenne Côte d'Ivoire. Institut National Agronomie, Paris.
- Gobat J.M., Aragno M., Matthey W. (2003). *Le Sol Vivant : Bases de pédologie biologique des sols*, Presses Polytechniques et Universités Romandes, Lausanne.600p
- Jégou D., Brunotte J., Rogasik H., Capowiez Y., Diestel H., Schrader S., Cluzeau D. (2002). Impact of soil compaction on earthworm burrow systems using X-ray computed tomography: preliminary study. *Eur. J. Soil Biol.* 38, 329–336.
- Jégou D., Cluzeau D., Balesdent J., Tréhen P. (1998). Effects of four ecological categories of earthworms on carbon transfer in soil. *Appl. Soil Ecol.* 9, 249–255.
- Jenny H., (1941). *Factors of Soil Formation*. McGraw-Hill, New York 281.
- Jones C.G., Lawton J.H., Shachak M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69:373-386.
- Langmaack M., Schrader S., Rapp-Bernhardt U., Kotzke K. (1999). Quantitative analysis of earthworm burrow systems with respect to biological soil-structure regeneration after soil compaction. *Biol. Fertil. Soils* 28, 219–229.
- Lavelle P. (1988). Earthworm activities and the soil system. *Biol. Fertil. Soils* 6, 237–251.
- Lee K.E. (1985). *Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press, Sydney; 411p.
- Le Roux X, Barbeault R., Baudray J., Burel F., Doussan L., 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.
- McGeog H, Melodie A. (1998). The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators . *Biological Reviews* 73 (2): 181–201

- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystem and Human Wellbeing: Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Neveu A., Chassin P., Bonhomme R., Riou C., Papy F. (2001). *L'eau dans l'espace rural: Vie et milieux aquatiques.*, INRA Editions. ed.
- Nordström S., Rundgren S. (1974). Environmental factors and lumbricids association in southern Sweden. *Pedologia*, 14:1-27.
- Nuutinen V. (1992). Earthworm community response to tillage and residue management on different soil types in southern Finland. *Soil & Tillage Research* 221–239.
- Nuutinen V., Pitkänen J., Kuusela E., Widbom T., Lohilahti H. (1998). Spatial variation of an earthworm community related to soil properties and yield in a grass-clover field. *Applied Soil Ecology* 8:85-94
- Paoletti M.G., Sommaggio D., Favretto M.R., Petruzzelli G., Pezzarossa B., Barbaferri M. (1998). Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs. *Appl. Soil Ecol.* 10, 137–150.
- Pérès G., Cluzeau D., Curmi P., Hallaire V. (1998). Earthworm activity and soil structure changes due to organic enrichments in vineyard systems. *Biol. Fertil. Soils* 27, 417–424.
- Pérès G., Transon A., Cluzeau D. (2006). Influence de 3 systèmes de production (conventionnel, intégré, biologique) sur le peuplement lombricien en vignoble du Beaujolais.
- Piron D. (2008). Distribution de la drilosphère lombricenne et caractérisation biophysique des faciès de bioturbation sous gradient de désintensification du travail mécanique des sols.
- Rimmer D. (1998). *Ultimate interface*. New Scientist.
- Robert M. (1996). *Le Sol: Interface dans l'environnement, ressource pour le développement*. Masson, Paris.
- Satchell J.E. (1980). “r” worms and “K” worms: a basis for classifying lumbricid earthworm strategies. In Dindal (Ed). *VII Int. Coll. Soil Zool.* 848-863.
- Satchell J.E. (1983). Earthworm microbiology. In Satchell J.E. (Ed), *Earthworm Ecology: from Darwin to Vermiculture*, Chapman & Hall, London, pp.351-364.
- Schreck E., Geret F., Gontier L., Treilhou M., (2008). Neurotoxic effect and metabolic responses induced by a mixture of six pesticides on the earthworm *Aporrectodea caliginosa nocturna*. *Chemosphere* 71, 1832–1839.
- Schreck E., Gontier L., Dumat C., Geret F. (2012). Ecological and physiological effects of soil management practices on earthworm communities in French vineyards. *Eur. J. Soil Biol.* 52, 8–15.
- Shipitalo M.J., Protz R. (1988). Factors Influencing the Dispersibility of Clay in Worm Casts. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 764.
- Tiedje J.M., Asuming-Brempong S., Nüsslein K., Marsh T.L., Flynn S.J. (1999). Opening the black box of soil microbial diversity. *Appl. Soil Ecol.* 13, 109–122.

ANNEXE I: Carte des prélèvements AgrInnov 2013 et 2014 en Viticulture.

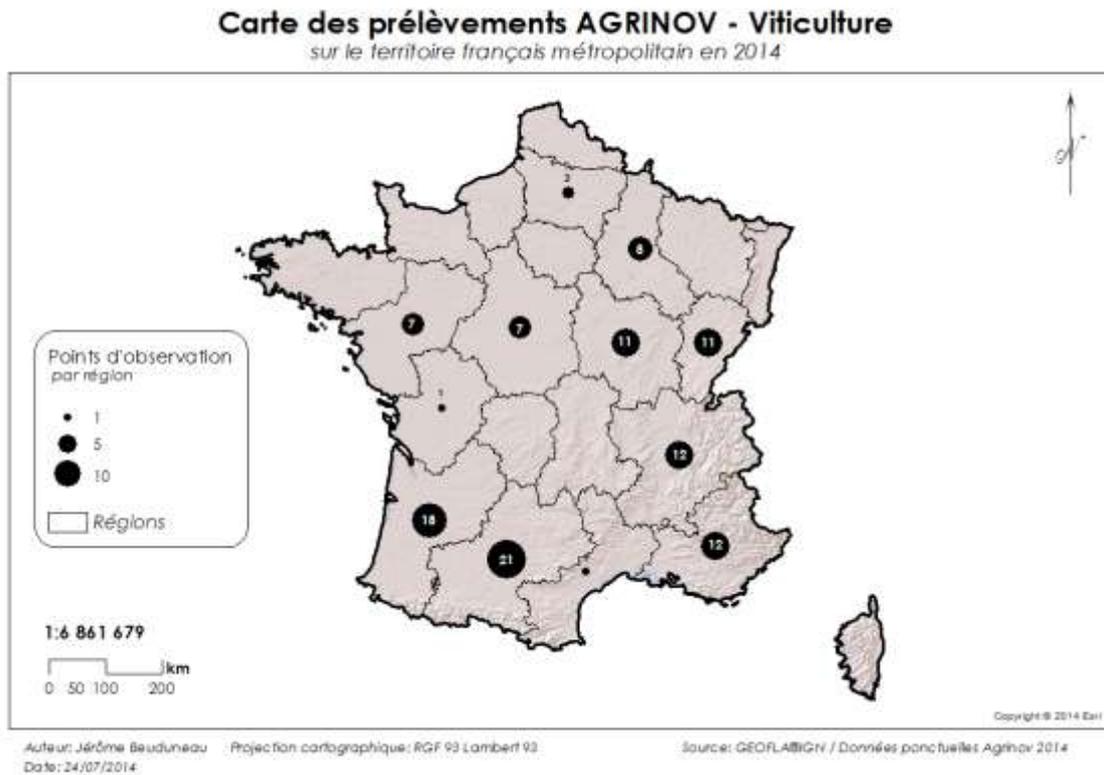


Figure 1 : Carte des prélèvements des lombriciens dans les parcelles AgrInnov, en 2013 et 2014.

Fiche d'interprétation des résultats											
Observation tenue sur bêche, bâche et nombre de fissures qui...					...correspond au mode d'assemblage	Terre fine et/ou Γ dominant	Dominance $\Delta 0$ et Γ ou terre fine $> \Delta$	Dominance $\Delta 0$ et $\Delta > \Gamma$ ou terre fine	Dominance Δ et Γ ou terre fine $> \Delta 0$	Dominance Δ et $\Delta 0 > \Gamma$ ou terre fine	
Se tient sur la bêche	Oui	Se tient sur la bâche	Oui	Nombre de fissures	0	C	Classe 1 <i>Etat peu probable</i>	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 5
					1	CR	Classe 2	Classe 3	Classe 3	Classe 4	Classe 4
					> 1	C2R	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 3	Classe 4
		Non	Non	Nombre de sous-blocs	1	CR	Classe 2	Classe 3	Classe 3	Classe 4	Classe 4
					> 1	C2R	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 3	Classe 4
					1	O/C	Classe 1	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4 <i>Etat peu probable</i>
	Non	Se tient sur la bâche	Non	Nombre de sous-blocs	> 1	O	Classe 1	Classe 1	Classe 2	Classe 2 <i>Etat peu probable</i>	Classe 3 <i>Etat peu probable</i>

Tableau 1: Tableau d'aide à la détermination des modes d'assemblage des mottes et des classes de structure.

ANNEXE III: Abondances et biomasses relatives selon les régions.

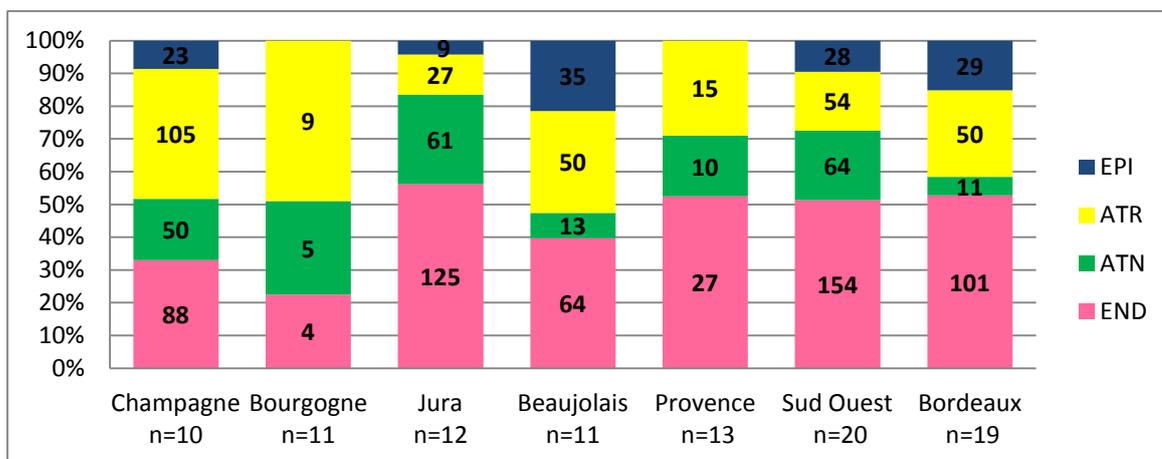


Figure 1: Abondance relative totale des groupes fonctionnels selon les régions viticoles.

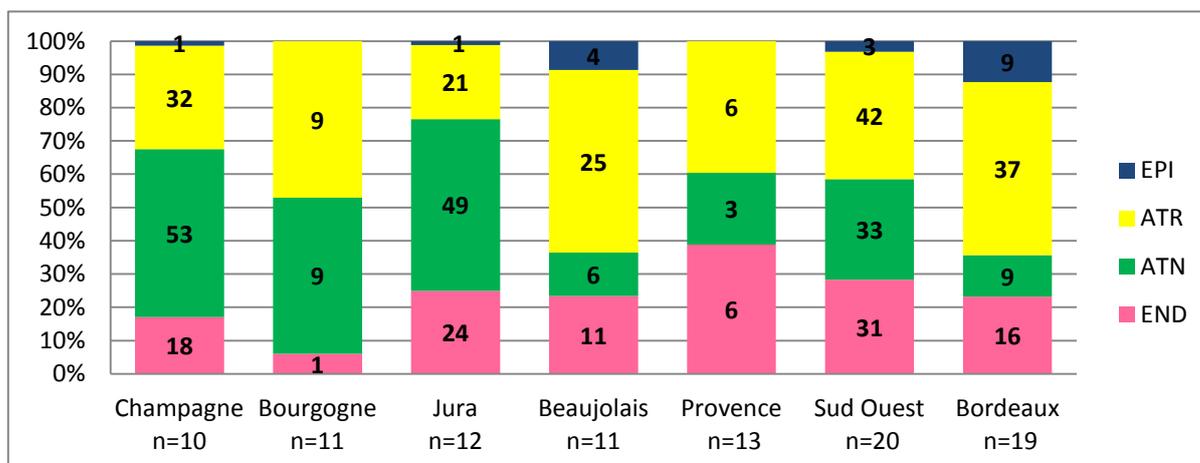


Figure 2: Biomasse relative totale des groupes fonctionnels selon les régions viticoles.

Catégorie écologique	CLASSIFICATION TAXONOMIQUE					PRESENCE / ABSENCE						
	GENRE	ESPECE	SOUS-ESPECE	VARIETE	Code Taxon	Champagne	Bourgogne	Jura	Beaujolais	Provence	Sud-Ouest	Bordeaux
Epigés (10%)	Dendrobaena	mammalis			DM							
	Dendrodrilus	subrubicundus	subrubicundus		DSS							
	Lumbricus	castaneus			LC							
	Lumbricus	castaneus	disjonctus		LCD							
	Lumbricus	indéterminé			LX_E							
Epi-anéciques (24%)	Lumbricus	centralis			LCE							
	Lumbricus	festivus			LFE							
	Lumbricus	friendi			LFR							
	Lumbricus	molibeus			LM							
	Lumbricus	terestrís			LT							
Anéciques stricts (17%)	Lumbricus	indéterminé			LX_A							
	Aporrectodea	caliginosa	meridionalis		NCM							
	Aporrectodea	caliginosa	meridionalis	pseudolongus	NCMP							
	Aporrectodea	giardi			NG							
	Aporrectodea	longa	longa		NLL							
	Aporrectodea	nocturna			NN							
	Aporrectodea	indéterminé			NX_A							
	Rhodonicus	rubicundus	indéterminé		RRX							
Endogés (48%)	Scherotheca	gigas	dinoscolex		SGD							
	Scherotheca				SX							
	Allolobophora	chlorotica	chlorotica	indéterminé	ACCX							
	Allolobophora	chlorotica	postepheba	indéterminé	ACPX							
	Allolobophora	cupulifera			ACU							
	Allolobophora	chlorotica	indéterminé		ACX							
	Allolobophora	icteria			AI							
	Allolobophora	minima			AM							
	Allolobophora	rosea	rosea		ARR							
	Allolobophora	indéterminé			AX							
	Microscolex	dubius			MD							
	Aporrectodea	caliginosa	caliginosa	trapezoides	NCCR							
	Aporrectodea	caliginosa	caliginosa	typica	NCCT							
	Aporrectodea	caliginosa	indéterminé		NCX							
	Aporrectodea	indéterminé			NX_N							
	Aporrectodea	indéterminé			NX							
	Octolasion	cyaneum			OC							
	Octolasion	indéterminé			OX							
	Prosellodrilus	fragilis	indéterminé		PFX							
	Prosellodrilus	amplisetosus	amplisetosus		PMM							
Prosellodrilus				PX								
Ind (1%)	Indéterminé				X_N							
	Indéterminé				X							

Figure1 : Richesse taxonomique dans les régions viticoles d'AgrInnov.

ANNEXE V : Variabilité intra-parcellaire des abondances de vers de terre dans le Sud Ouest.

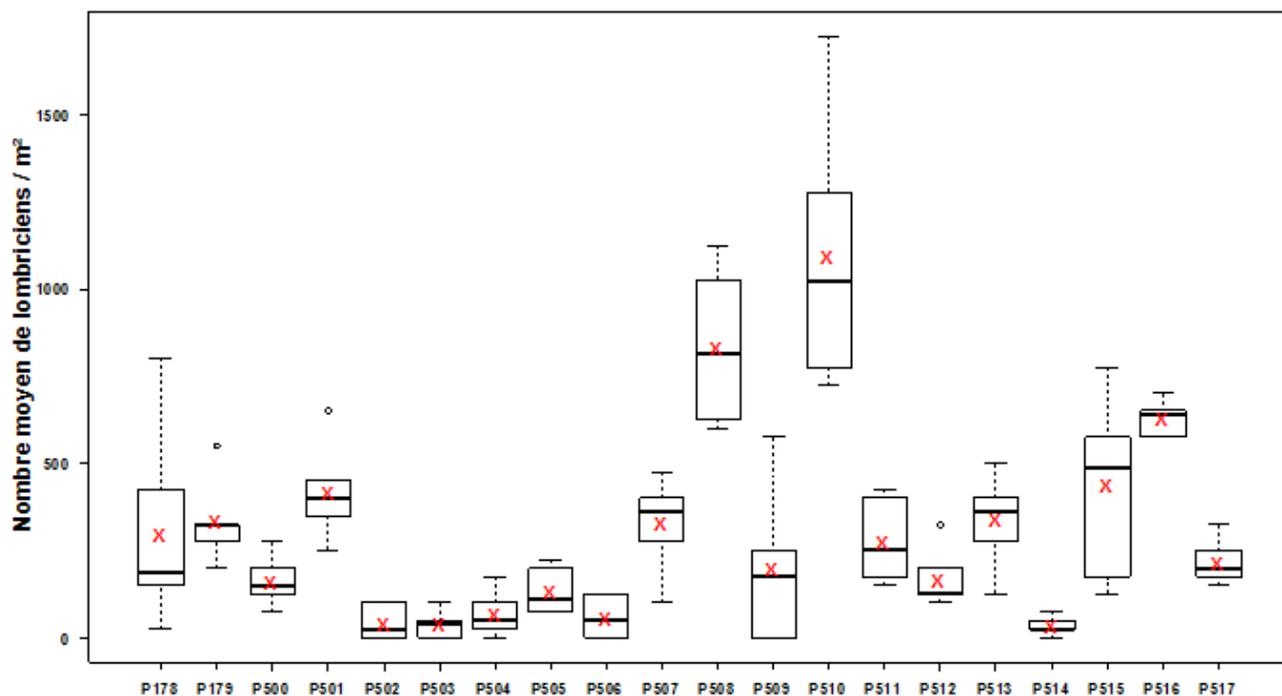


Figure 1: Variabilité intra-parcellaire de l'abondance totale des lombriciens dans la région du Sud Ouest.

ANNEXE VI : Significativités et moyennes des parcelles selon la texture et la durée de l'enherbement.

		Texture	A	Al	Als	AS	LAS	Lsa	S	Sa	Sal
Abondance totale moyenne	Significativité	cd	abcd	abc	ab	bcd	a	d	abc	d	
	Moyenne (ind/m ²)	96	138	273	339	148	287	89	269	39	
Biomasse totale	Significativité	cd	bcd	bc	ab	bcd	a	cd	abc	d	
	Moyenne (g/m ²)	45	54	60	170	45.9	139	37	130	9	
Abondance d'épigés	Significativité	bc	a	ab	abc	bc	abc	c	abc	abc	
	Moyenne (ind/m ²)	6	21	37	30	4	9	1	9	13	
Abondance d'épi-anécique	Significativité	ab	a	ab	a	a	a	ab	ab	ab	
	Moyenne (ind/m ²)	19	66	110	88	76	60	48	38	13	
Abondance d'endogés	Significativité	bc	abc	bc	ab	bc	a	c	abc	c	
	Moyenne (ind/m ²)	59	50	120	186	67	162	34	119	12.5	
Abondance d'ACCX	Significativité	ab	ab	b	a	ab	ab	b	ab	b	
	Moyenne (ind/m ²)	47	50	16	113	55	55	11	50	7	
Richesse taxonomique	Significativité	b	ab	b	ab	b	a	b	ab	b	
	Nombre (Taxon/m ²)	1.4	2.2	1.9	2.8	1.5	3.3	0.9	3	0.6	

Tableau 1 : Significativités des différences et moyennes de l'abondance totale selon la texture du sol.

		Durée de l'enherbement	Permanent	Temporaire	Aucun
Abondance totale moyenne	Significativité		a	b	b
	Moyenne (ind/m ²)		319	90	128
Biomasse totale	Significativité		a	b	b
	Moyenne (g/m ²)		116	47	48
Abondance d'épigés	Significativité		a	b	b
	Moyenne (ind/m ²)		43	5	1
Abondance d'épi-anécique	Significativité		a	b	b
	Moyenne (ind/m ²)		85	24	19
Abondance d'anéciques stricts	Significativité		a	b	b
	Moyenne (ind/m ²)		63	18	20
Abondance d'endogés	Significativité		a	b	b
	Moyenne (ind/m ²)		128	43	87
Abondance d'ACCX	Significativité		a	b	b
	Moyenne (ind/m ²)		60	19	8
Richesse taxonomique	Significativité		a	b	b
	Nombre (Taxon/m ²)		2.9	1.5	1.5

Tableau 2 : Significativités des différences et moyennes de l'abondance totale selon la durée de l'enherbement de l'inter-rang.

ANNEXE VII: Significativités des tests de Kruskal Wallis et de Mann-Whitney

Variables	Texture	Structure	Travail du sol	Enherbement
AB_TOT	2.18e-16	1.07e-14	0.91	5.34e08
BM_TOT	9.63e-05	0.11	0.32	5.76e-08
AB_EPI	4.04e-05	8.14e-03	0.15	3.07e-12
AB_ATR	2.62e-05	0.16	0.87	6.70e-12
AB_ATN	0	0.13	5.83e-3	4.79e-07
AB_END	2.29e-08	2.19e-04	1.07e-02	1.03e-04
AB_ACCX	4.09e-06	1,04e-02	2.02e-02	2.88e-05
R_T	1.95e-08	0.77	0.44	1.05e-05

Tableau 1 : P-values des tests de Kruskal Wallis et Mann Whitney.

ANNEXE VIII: Graphique des parcelles et des modalités de l'ACM de l'enquête.

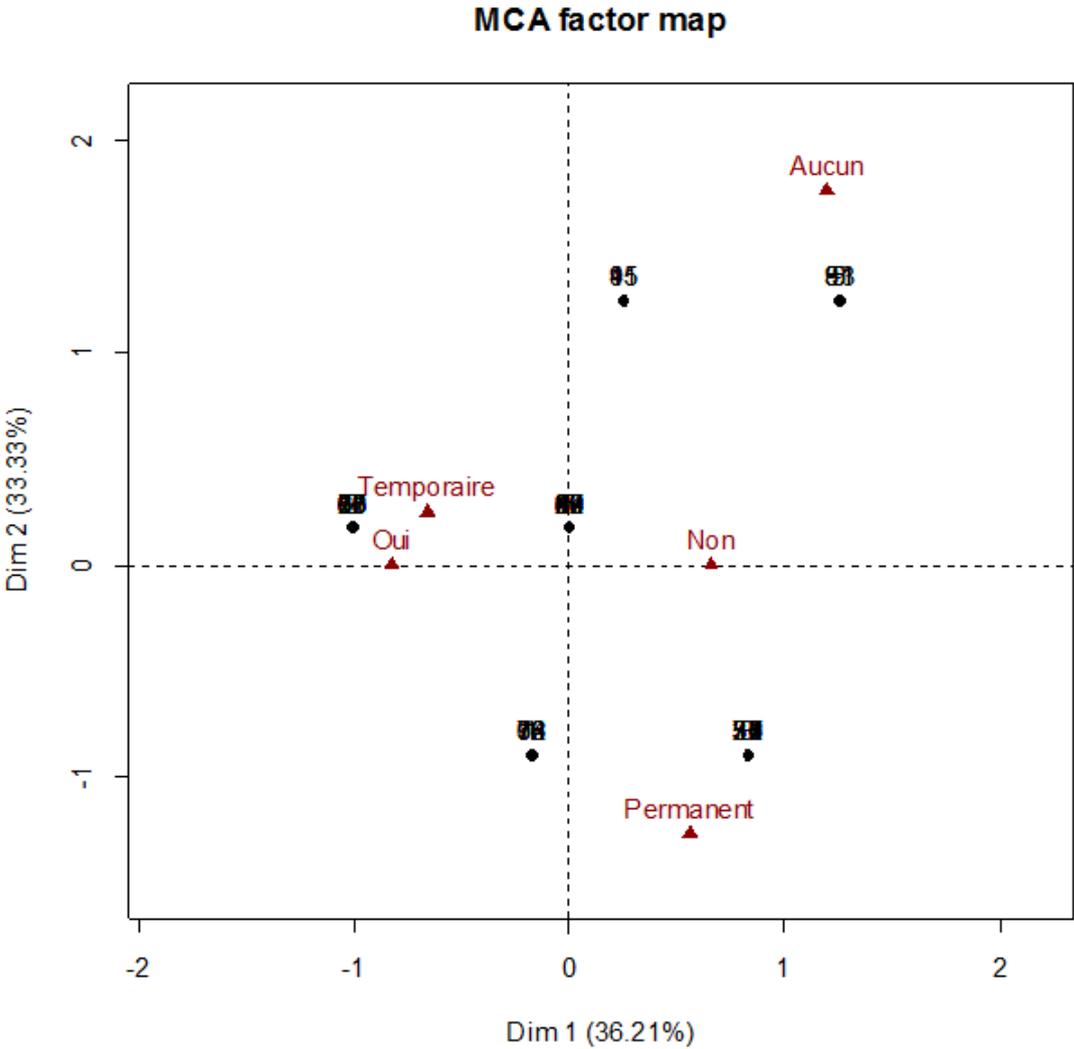


Figure 1 : Représentation des modalités et des parcelles issues des données de l'enquête.



Diplôme : Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, horticoles et du Paysage

Spécialité : Horticulture

Spécialisation : Sciences des Productions Végétales

Option : Ingénierie des Agrosystèmes

Responsable d'option : Philippe Leterme

Auteur(s) : BEDUNEAU JEROME

Organisme d'accueil : UMR EcoBio

Université de Rennes 1

Date de naissance : 03/08/1989

Adresse : Station biologique de Paimpont,

Nb pages : 49 Annexe(s) : 7

Beauvais, 35380 Paimpont

Année de soutenance : 2014

Maître de stage : Daniel Cluzeau

Titre français : Impacts de facteurs pédologiques, de pratiques culturales et de leurs interactions sur les lombriciens dans les vignobles français.

Titre anglais : Impacts of soil factors, cultural practices and their interaction on earthworms in french vineyard.

Résumé :

AgrInnov est un programme de recherche dont le but est de valider des bio-indicateurs de la qualité des sols, répondant aux variations des milieux et des pratiques culturales. Dans les vignobles français, les vers de terre apparaissent comme un bio-indicateur pertinent grâce aux services écosystémiques qu'ils rendent et à leur sensibilité à leur environnement.

L'enherbement de l'inter-rang est le principal facteur favorisant la présence des vers de terre, allant de 319 ind/m² avec enherbement à 128 ind/m² sans enherbement. Dans ces inter-rangs en enherbement permanent, la structure, à la fois cause et conséquence de l'abondance lombricienne, a un effet négatif lorsque son indice de tassement augmente, et le travail du sol est défavorable aux abondances. Dans les inter-rangs travaillés, la mise en place d'un enherbement temporaire permet de stimuler les croissances des vers de terre.

Abstract :

AgrInnov is a research program for which the aim is to validate biological indicators of soil quality, responding to changes in environment and cultural practices. In French vineyards, earthworms appear to be a relevant biological indicator because of ecosystem services they provide and because of their sensitivity to their environment.

The grassing of the inter-row is the main factor promoting the presence of earthworms, from 319 ind / m² with permanent grass cover to 128 ind / m² without cover grassing. In these inter-rows with permanent grass cover, structure, both cause and consequence of earthworm abundance has a negative effect when the index compaction increases, and tillage is unfavorable for abundances. In the inter-rows tilled, the establishment of a temporary green cover helps to stimulate the growth of earthworms abundance.

Mots-clés : vers de terre, bio-indicateur, pratique cultural, paramètre pédologique, vignoble

Key Words: earthworms, biological indicator, cultural practices, soil parameters, vineyard