HAL
open science

# Analyse des facteurs impactant la biodiversité écologique des vers de terre dans trois sols typiques du Poitou-Charentes

Alice Six

## To cite this version:

Alice Six. Analyse des facteurs impactant la biodiversité écologique des vers de terre dans trois sols typiques du Poitou-Charentes. Sciences agricoles. 2014. dumas-01092762

**HAL Id: dumas-01092762**

**https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01092762v1**

Submitted on 9 Dec 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 :

Ingénieur Agronome

Spécialisation (et option éventuelle) :

Productions Végétales

**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)

# Analyse des facteurs impactant la biodiversité écologique des vers de terre dans trois sols typiques du Poitou-Charentes

Par : Alice SIX

http://www.futura-sciences.com

***Soutenu à Rennes le 12/09/14***

***Devant le jury composé de :***

Président :Dominique Poulain

Maître de stage : Marion Vigot

Enseignant référent :Dominique Poulain

Autres membres du jury : Benjamin Louis (thésard)

*Génola Pérès (enseignant-chercheur)*

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST*

# Remerciements

Voici venu le meilleur des moments dans l'écriture d'un rapport, celui au cours duquel on n'est jamais aussi proche du point final.

Dans cette série, je commencerai par remercier la chambre d'agriculture régionale du Poitou-Charentes, son président Luc Servant, son directeur, Pierre-Henri Bousquet et tous les partenaires qui ont permis l'existence de ce stage (voir logos ci-dessous).

Merci aussi à Jean-Luc Fort de m'avoir accueilli dans son unité.

Puis mes remerciements vont aux expatriés de Lusignan, aux chercheurs, ingénieurs et techniciens du Site INRA qui m'ont accueilli à bras ouvert.

Tout d'abord un grand merci à Marion Vigot, ma maitre de stage qui m'a accordé sa confiance et qui m'a appris tant de choses, à commencer par l'art occulte de la mise en page, merci de m'avoir soutenu jusqu'au bout de ce stage, voire au-delà !

Je tenais aussi à remercier le « gardien volcan » Ch'ti de Lusignan, Sébastien Minette, pour sa gentillesse, les bonnes rigolades à la pause café et surtout ses précieux conseils agronomiques.

Mes pensées vont bien sûr à mes compagnons de « labeur», les stagiaires du fond du couloir, qui ont partagé mon quotidien et ont su l'ensoleiller, même les (nombreux) jours de pluie (Anais, Charlène, Karine et Jérémie qui est presque encore un stagiaire).

Voilà, ainsi s'achèvent 6 mois très enrichissants, durant lesquels j'ai appris énormément de choses, parcouru avec enthousiasme des milliers de km et encore une fois fait marcher la tarière (avec un peu moins d'enthousiasme).

# INDEX

Diapause : La diapause est une réponse adaptative aux mauvaises conditions environnementales. Elle consiste en l'arrêt temporaire de l'activité ou du développement de l'animal.

DL50 : Il s'agit de la dose létale 50%. Il s'agit d'un indicateur de toxicité d'une substance chimique. Il est estimé par expérimentation en laboratoire sur différents animaux de références (la DL50 ver de terre existe).Il s'agit de la dose de produit qui a causé la mort de la moitié des individus testés.

Glandes de Morren : bourrelets glandulaires de l'oesophage autrement appelés « glandes calcifères » puisqu'elles sécrètent de petits cristaux de carbonate de chaux. Leur principal rôle serait d'assister chimiquement la digestion dans le gésier.

IFT : L'indice de fréquence de traitement correspond à la pression phytosanitaire appliquée sur une parcelle. A l'hectare, il est calculé avec la dose réellement appliquée divisée par la dose homologuée.

Indice de Shannon : L'indice de Shannon est un indice permettant de mesurer la biodiversité, c'est à dire d'illustrer l'hétérogénéité d'une population. Sa formule est développée ci-dessous.

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \log_2 p_i$$

*H' : indice de biodiversité de Shannon*
*i : une espèce du milieu d'étude*
*$P_i$ : Proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu d'étude (ou richesse spécifique du milieu).*

Indice de Simpson : L'indice de Simpson est une formule permettant de calculer une probabilité, soit la probabilité que deux individus sélectionnés aléatoirement dans un milieu donné soient de la même espèce. Sa formule est développée ci-dessous.

$$D = \sum Ni(Ni-1)/N(N-1)$$

*D : Indice de Simpson*
*Ni : nombre d'individus de l'espèce donnée.*
*N : nombre total d'individus.*

*L'indice variera entre 0 et 1. Plus il se rapproche de 0, plus les chances d'obtenir des individus d'espèces différentes sont élevées.*

Microsite: Il s'agit d'un petit volume du sol au sein duquel de déroulent des processus biologiques ou chimiques qui se distinguent du sol environnant (discontinuité).

NOEC : Cet indicateur signifie en anglais No Observed Effect  Concentration. Il s'agit de la plus forte concentration testée pour laquelle aucun effet sur l'organisme vivant n'a été observé. Cet indicateur est supposé plus fin que la DL50. Il est associé au taux de fécondité

Pression osmotique : Il s'agit d'une force qui apparait lorsque deux milieu séparés par une membrane semi-perméable présentent des concentrations en un ou plusieurs éléments différentes. Par exemple, lorsque le milieu extracellulaire est très concentré en un élément (calcium par exemple) par rapport au cytosol, l'eau intracellulaire migre vers le milieu extérieur. A l'inverse, lorsque le cytosol devient très concentré, c'est l'eau du milieu extérieur qui pénètre la cellule jusqu'à un éventuel éclatement de cette dernière. Dans les deux situations, des concentrations trop extrêmes aboutissent à la mort cellulaire.

QSA : Quantité de substance appliquée. Il est utile en complément de l'IFT (décrit ci-dessus) car il indique la quantité de substance active présente dans une dose de traitement.

Quiescence : La quiescence  consiste en l'arrêt temporaire de l'activité ou du développement de l'animal. Il résulte d'un blocage physiologique (« horloge interne ») et n'est pas la conséquence d'une perturbation environnementale.

Xénobiotique : Substance possédant des propriétés toxiques, même à très faible concentration.

## TABLE DES FIGURES

Figure 1: DL50 et NOEC des pesticides (Pelosi, 2014).*)*
Figure 2: Les méthodes de prélèvement lombriciennes
Figure 3: Carte des réseaux de parcelles ENI et SDCi en Poitou-Charentes
Figure 4: Méthode moutarde
Figure 5: Méthode de prélèvement des analyses de sol.
Figure 6: Exemple de boîte à moustache.
Figure 7: Histogramme classique d'une variable (à gauche). Histogramme de la même variable transformé à la racine carrée (à droite)
Figure 8: Graphique quantile-quantile des résidus d'une régression linéaire.
Figure 9: Analyse en composantes principales sur les caractéristiques physico-chimiques du sol
Figure 9a et 9b: (a)Nuage d'individus des parcelles SDCi et ENI et barycentres des types de sol.
(b) Nuage d'individus et classification en 5 groupes statistiquement distincts
Figure 11: Boîtes à moustaches représentant le pH et le taux de matière organique par type de sol
Figure 12: Abondances lombriciennes SDCi 2013-2014
Figure 13: Abondances lombriciennes moyennes par type de sol
Figure 14: Pourcentage des abondances moyennes lombriciennes ENI 2013
Figure 15: abondances lombriciennes moyennes ENI 2013
Figure 16: Abondances moyennes lombriciennes par type de sol
Figure 17: Moyennes de travaux du sol sur SDCi 1an et SDCi 2ans
Figure 18: Rotations culturales depuis 2011 sur les parcelles SDCi
Figure 19: Valeurs moyennes des QSA/ha et des IFT/ha sur SDCi-2ans et des QSA/ha et IFT/ha (sur SDCi-1an
Figure 20: Modèles linéaires issus de la sélection descendante.
Figure 21: Simulations de données avec abtot 1an et abtot 2 ans

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les vers de terre en quelques chiffres
Tableau 2: Les catégories écologiques
Tableau 3: Stratégies de survie des différentes catégories écologiques (Cluzeau D., com. pers.)
Tableau 4: Initiatives nationales et internationales sur la biodiversité des sols
Tableau 5: Caractéristiques des trois sols du Poitou-Charentes.
Tableau 6: Informations sur les deux réseaux parcellaires.
Tableau 7: Récapitulatif des données brutes et des données transformées utilisées pour l'analyse
Tableau 8: Analyse descriptive des populations lombriciennes selon leur âge (adultes ou juvéniles) par type de sol et selon l'année de prélèvement
Tableau 9: Facteurs sélectionnés par analyses statistiques.

# Table des matières

Introduction ..... 1
1. Contexte de l'étude ..... 2
1.1 Le ver de terre, un organisme très étudié ..... 2
1.1.1 Pourquoi s'intéresser au ver de terre ? ..... 2
1.1.2 Une classification simplifiée par fonctions écologiques ..... 3
1.1.3 Les facteurs impactant les populations lombriciennes ..... 4
1.1.4 Les méthodes de prélèvement ..... 10
1.1.5 Problématique et objectifs de ce rapport ..... 10
1.1 Le ver de terre, bio-indicateur des états et usages des sols ..... 11
1.2.1 Qu'est-ce qu'un bio-indicateur ? ..... 11
1.2.2 Caractérisation du « bioindicateur ver de terre » et enjeux ..... 11
1.2.3 La démarche de la chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes ..... 11
2. Matériel et méthodes ..... 12
2.1 Présentation du territoire de l'étude ..... 12
2.1.1 Contexte pédo-climatique ..... 12
2.1.2 Répartition des parcelles et description des réseaux ..... 12
2.2 Méthodes de prélèvement ..... 13
2.2.1 Choix de l'unité d'intégration de temps ..... 13
2.2.2 Méthode de prélèvement et tri des vers de terre ..... 13
2.2.3 Méthode de prélèvement d'échantillons de sol ..... 14
2.3 Données utilisées pour l'analyse ..... 14
2.3.1 Description des variables à expliquer : les abondances lombriciennes ..... 14
2.3.2 Données relatives aux pratiques agricoles ..... 14
2.3.3 Description des variables explicatives ..... 14
2.3.4 Création de trois jeux de données distincts ..... 15
2.4 Méthodes d'analyse des données ..... 15
2.4.1 Analyses statistiques descriptives ..... 15
2.4.2 Identification de relations entre variables ..... 15
2.4.3 Création de modèles linéaires par sélection descendante ..... 16
2.4.4 Test du modèle obtenu ..... 16
3. Résultats des analyses d'abondances lombriciennes ..... 17
3.1 Vérification de l'homogénéité des sols à partir des analyses de terre ..... 17

3.2 Arrêt sur les abondances lombriciennes ..... 18
3.2.1 Abondances lombriciennes du réseau SDCi (2013 et 2014) ..... 18
3.2.2 Abondances lombriciennes du réseau ENI 2013 et SDCi 2013-2014 ..... 19
3.2.3 Détail des données explicatives ..... 19
3.2.4 Sélection des variables explicatives et création de modèles linéaires ..... 20
4. Discussion ..... 22
4.1 Analyse des résultats obtenus ..... 22
4.1.1 Discussion sur les abondances lombriciennes observées ..... 22
4.1.2 Discussion sur les analyses statistiques et leur interprétation ..... 23
5. Limites et perspectives ..... 24
5.1 L'imprécision de la méthode de prélèvement lombricien ..... 24
5.2 L'imprécision du réseau ENI et l'hétérogénéité des protocoles « inter-réseau » ..... 25
5.3 Le déséquilibre des parcelles ..... 25
Conclusion ..... 26
Bibliographie ..... 27

## Introduction

La qualité d'un sol agricole est traditionnellement liée à son potentiel de production. Actuellement, la pédologie décompose de manière plus fine cette notion selon trois axes : la structure physique, la fertilité chimique et la richesse biologique (Peres, 2013). Tandis que les paramètres physico-chimiques sont internationalement reconnus et utilisés de tous dans les domaines de la production agricole, le recours à la biodiversité pour évaluer la qualité d'un sol reste très rare. Pourtant, les organismes du sol et leurs rôles sur son fonctionnement sont d'une importance à la fois quantitative et qualitative. Une perturbation de leur milieu peut avoir des conséquences notables à diverses échelles (moléculaire, cellulaire, organisme, population, communauté) qui dénoncent un défaut de fonctionnement et donc de gestion du sol concerné (Peres et al., 2009 ; Pelosi, 2014).

La biodiversité des vers de terre[1] dans les sols agricoles est justement un sujet très actuel depuis que cette dernière est considérée comme un indicateur des états et usages des sols par la communauté scientifique et agricole européenne[2]. Comprendre quelles pratiques agricoles sont néfastes pour « l'écosystème sol » et dans quelles conditions elles le sont, est devenu un enjeu international (Peres, 2009). En ce sens, l'analyse de la biodiversité des vers de terre de nos sols cultivés représente une piste de réflexion et un potentiel levier agronomique pour améliorer notre manière d'exploiter les sols, en respectant la faune et la flore résidente, tout en conservant de bons rendements. Malheureusement, les expériences en laboratoire ne prenant en compte que quelques facteurs à la fois et celles menées en plein champ restant rares et diffuses, nos connaissances actuelles à ce sujet restent très incomplètes. Le climat, les pratiques agricoles et les caractéristiques du sol ont toutefois été identifiés comme les principaux facteurs qui interviennent dans la modulation de la biodiversité lombricienne. Nous ignorons cependant à quel degré et quelles sont les relations complexes qui existent entre chacun d'eux (Pelosi, 2014).

Il apparait alors important de travailler à améliorer nos connaissances et de promouvoir en parallèle l'intégration de la notion de biodiversité des sols dans le suivi de leur qualité par le monde agricole et ce, en particulier, grâce au conseil. Comprendre le lien entre la biodiversité des lombriciens et les paramètres influant sur leur milieu (des conditions climatiques aux usages des terres, en passant par les caractéristiques physico-chimiques des sols) est donc l'enjeu majeur. Dans cette logique de développement et à partir de connaissances actuelles et d'observations régionales, nous nous sommes demandé s'il était possible d'identifier, de classer, de hiérarchiser les facteurs impactant les communautés lombriciennes dans les parcelles agricoles du Poitou Charentes.

Nous détaillerons tout d'abord l'organisme « ver de terre » et quelques-uns de ses rôles primordiaux au sein de l'écosystème sol, ainsi que les principaux facteurs identifiés qui impactent sa biodiversité. La notion de « bioindicateur ver de terre » et, plus en particulier, sa pertinence y sera également abordée. Dans un second temps nous développerons les matériaux utilisés et les méthodes auxquelles nous avons recouru. Enfin, les résultats, en grande partie issus d'analyses statistiques, seront présentés dans une troisième partie. Leur interprétation constitue un travail

[1] Encore appelés lombriciens

[2] Divers programmes nationaux et internationaux comme ENVASSO, ADEME bioindicators, BioBio ou SUSTAIN ont d'ailleurs utilisé le suivi des communautés lombriciennes comme outil de diagnostic de qualité des sols

[2] Divers programmes nationaux et internationaux comme ENVASSO, ADEME bioindicators, BioBio ou SUSTAIN ont d'ailleurs utilisé le suivi des communautés lombriciennes comme outil de diagnostic de qualité des sols

| Les Vers de terre en quelques chiffres (Bouché, 2014) |
| --- |
| • **Il existe plus de 3000 espèces de lombriciens dans le monde.**<br>• **La biomasse des vers de terre représente 70% de la biomasse animale dans les zones tempérées.**<br>• **Un sol en bon état peut contenir dans nos régions jusqu'à 300 000 vers de terre par hectare, soit 3 tonnes environ.**<br>• **1 tonne de lombriciens produit 30 tonnes de déjections en surface par an et 240 tonnes en totalité.**<br>• **Le réseau de galeries peut atteindre jusqu'à 4000km par hectare, soit 400m de linéaire par m².**<br>• **1kg de vers de terre remue environ 270kg de terre par an.**<br>• **En quelques années, l'anthropisation poussée (charrues, usage de pesticides, sols nus…) de nombre de parcelle agricoles a provoqué une chute de près de 97% de la biomasse lombricienne (2000 kg à 50kg par hectare).** |

Tableau 1: Les vers de terre en quelques chiffres

# 1. Contexte de l'étude

## 1.1 Le ver de terre, un organisme très étudié

Dans cette partie, nous développons en quoi la biologie et l'écologie de cet organisme jouent un rôle important sur les fonctions du sol. Puis sont identifiés, par un état de l'art, les facteurs qui impactent la biodiversité écologique des sols. Enfin les différentes méthodes de prélèvement des vers de terre sont présentées.

### 1.1.1 Pourquoi s'intéresser au ver de terre ?

L'utilité de cet organisme pour la fertilité du sol a été reconnue dès l'Antiquité dans toute la Mésopotamie (Cléopâtre en a même fait un animal sacré). Puis Darwin a « déterré » ces anciennes connaissances et a relancé l'intérêt et les découvertes scientifiques au sujet du ver de terre (Blanchart et al., 2005). Aujourd'hui, le lombric est reconnu, en tant qu' « ingénieur des sols » ou encore « acteur de la qualité des sols ». Il contribuerait à la pédogénèse et en particulier à la formation de « terre végétale » (humus), favoriserait la différenciation des horizons du sol, limiterait les processus d'altération liés à la minéralisation et à l'érosion du sol et enfin participerait à la régulation biologique en limitant la prolifération des pathogènes des cultures par la dégradation de la matière organique présente en surface. Nous développons ci-dessous les trois rôles principaux sur la fertilité du sol induits par l'activité lombricienne (déplacement dans le sol et métabolisation). Cependant, l'importance des lombriciens peut aussi être appréhendée plus simplement au travers de quelques chiffres (Tableau 1).

#### 1.1.1.1 Aération, drainage et résistance à l'érosion du sol (fertilité physique)

Les galeries creusées par les lombriciens constituent des voies préférentielles d'écoulement des eaux, ce qui favorise le drainage et limite la déstructuration de la surface du sol (formation de croûte de battance, érosion de surface). De plus, la stabilité structurale du sol est renforcée en surface par le dépôt de déjections (turricules) dont la composition physique et chimique assure une forte cohésion particulaire. Enfin, les pores liés au fouissage des vers permettent une bonne diffusion des gaz au sein du sol (dioxyde de carbone, dioxygène, ammoniaque…) et assurent leur disponibilité pour la faune et la flore (Peres, 2003).

#### 1.1.1.2 Enrichissement en éléments essentiels et biodisponibilité (fertilité chimique)

Les produits issus de la métabolisation de la matière organique sont en grande partie excrétés sous forme de mucus, d'urine ou de fèces. Ces émissions constituent des microsites* particuliers à la surface du sol et au sein même des galeries qui, comparés au sol environnant, présentent un enrichissement en carbone, azote et autres nutriments (Phosphate, Potassium, Magnésium, Ammonium…) directement assimilables par les racines des végétaux (Ablain, 2002).

#### 1.1.1.3 Induction de l'activité des micro-organisme (fertilité biologique)

Ces structures micrositiques sont en plus de cela une source nutritive pour les communautés microbiennes qui s'y développent et favorisent ainsi le développement de micro-écosystèmes localisés. Y ont notamment lieu les réactions de cycles biogéochimiques de certains éléments majeurs tels que l'azote, le carbone et le phosphore. La dynamique des éléments traces métalliques

| | Epigés | Endogés | Anéciques | |
|---|---|---|---|---|
| **Taille** | 1 à 5 cm | 1 à 20 cm | Têtes rouges | Têtes noires |
| | | | 10 à 110 cm | |
| **Couleur** | Rouge sombre | Faiblement pigmentée (rose, gris bleuté ou vert clair) | Rouge, gris clair ou brun (Gradient de coloration antéro-postérieur) | |
| **Mode de vie** | **Localisation:** surface du sol amas organiques ou Dans 1er centimètres du sol<br>**Alimentation:** composés polyhumiques (fumier, compost, litière de feuilles, écorces, bouses).<br><br>**Fonction vis-à-vis du sol:** Ingestion et fractionnement de M.O « brute » | **Localisation:** dans la couche supérieure du sol au niveau des racines (ne remontent presque pas à la surface)<br><br>**Alimentation:** M.O plus ou moins dégradée dans le sol (oligo-humiques, méso-humiques)<br><br>**Fonction vis-à-vis du sol:** Mélangent la couche superficielle du sol et décomposent la M.O | **Localisation:** En surface et dans le sol<br><br>**Alimentation:** Composés polyhumiques à mésohumiques (résidus de surface principalement et M.O plus ou moins dégradée dans le sol).<br><br>**Fonction vis-à-vis du sol:**<br>- mélangent intimement la matière organique et de la fraction minérale provenant de différents horizons du sol (jusqu'à plusieurs mètres) et décomposent la M.O.<br><br>-rejettent des déjections à la surface du sol (turricules) | |
| **Type de galeries** | Creusent peu ou pas de galeries | Creusent des galeries temporaires sub-horizontales à horizontales très ramifiées | Creusent des galeries d'orientation sub-verticales à verticales, ouvertes en surface (5-6m) | |
| **Particularités intra-écologiques** | | | -tirent des végétaux de surface dans leurs galeries (réserves)<br><br>-juvéniles vivent dans la couche de litière (comportement épigéique)<br><br>- Utilisent un réseau de galeries permanent et très profond.<br><br>-galeries enrichies de manière homogène en M.O issue de la litière (Jégou, 1998). | -juvéniles dans la couche supérieure du sol (comportement endogéique) (Jossi et al., 2011)<br><br>-réseau beaucoup plus fourni, ne réutilisent pas forcément les anciennes galeries<br><br>-Gradient décroissant de M.O avec la profondeur (Jégou, 1998) |

Tableau 2: Les catégories écologiques

| Catégories | Nombre de cocons/ mois | Nombre d'embryons/cocon | Nombre de descendants/mois | Temps pour produire 1 cocon (jours) | Durée du développement embryonaire (semaines) | Durée de la phase imature (semaines) | Temps de génération (mois) | Saisons défavorables | Espérance de vie |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Epigés | 4 à 8 | 2 à 4 | 8 à 32 | 5 à 7 | 3 à 4 | 3 à 5 | 2 à 2,5 | Cocons | moins de 6 mois |
| Endogés | 1 | 1.1 | 1 à 1,1 | 30 | 4 à 8 | 3 à 6 | 8 à 15 | Quiescence | 5 à 10 ans |
| Anéciques | 1 | 1 | 1 | 30 | 5 à 12 | 3 à 12 | 9 à 24 | Diapause | 8 à 10 ans |

Tableau 3: Stratégies de survie des différentes catégories écologiques (Cluzeau D., com. pers.)

est également activée. Le ver de terre, en stimulant l'activité biologique, favorise la biodégradation des polluants et diminue ainsi la biodisponibilité de certains composés toxiques pour la faune et la flore. Il joue donc un rôle dépolluant (Ablain, 2002).

Par ailleurs, les vers de terre sont sensibles au milieu dans lequel ils vivent. Ainsi, une perturbation trop importante de leur écosystème peut être identifiée en observant l'évolution de leurs communautés. Celles-ci peuvent être étudiées à l'échelle taxonomique[3] ou à une échelle moins précise basée sur des critères écologiques.

### 1.1.2 Une classification simplifiée par fonctions écologiques

Le territoire français compterait actuellement plus d'une centaine d'espèce de vers. Leur reconnaissance est basée sur des détails anatomiques très précis (nombres de métamères, forme et position des organes sexuels, présence et disposition des soies…) (Annexes I et VI). Il existe très peu de spécialistes dans cette identification taxonomique qui requiert des connaissances très pointues. Une classification par catégories écologiques a donc été proposée, elle est développée ci-dessous.

#### 1.1.2.1 Importance du comportement et du milieu de vie

La Classification de Bouché (1972), améliorée par la suite par Lavelle (1977) et Sims (1999), propose de discriminer les vers de terre selon la similarité de leurs comportements (liés aux habitudes alimentaires en particulier) et de leurs milieux de vie qui définissent une morphologie, une physiologie et un cycle de vie particulier (tableau 3). Il est pertinent d'étudier une communauté par fonction écologique puisque c'est en partie le comportement d'un ver qui déterminera son exposition aux facteurs extérieurs (soc de charrue, substance toxique…) (Pelosi et al., 2014).

Nous distinguons en zones agricoles 4 catégories écologiques : les épigés, les endogés, les anéciques têtes rouges (ou épi-anéciques) et les anéciques têtes noires. Les particularités de chacune des catégories (détaillées dans le tableau 2) se révèlent être complémentaires pour la dégradation de la matière organique dans l'écosystème du sol.

#### 1.1.2.2 Cycles de vie

Chacune de ces catégories possède une stratégie de survie différente. Les épigés ont une durée de vie très courte (moins de six mois), un développement rapide, ils présentent une forte prolificité et passent les périodes défavorables sous forme de cocon. A l'inverse, endogés et anéciques, bien moins prolifiques ont un temps de génération plus long (surtout les anéciques), et une durée de vie beaucoup plus importante (jusqu'à dix ans). Ces derniers lorsque les conditions sont difficiles s'enfoncent dans le sol et rentrent en diapause* ou en quiescence* (Tableau 3). Globalement le printemps correspond à la période de ponte, et l'automne au développement des juvéniles (Pelosi et al., 2009).

#### 1.1.2.3 Régime alimentaire et dégradation de la matière organique

Dans leur recherche de nourriture, les vers de terre, en association avec les micro-organismes, la microfaune, la mésofaune et macrofaune du sol, effectuent un relai dans la dégradation de la matière organique et sa minéralisation.

[3] De l'ordre du genre voire de l'espèce.

Le résidu végétal (litière) reposant à la surface du sol est ingéré et donc fragmenté par les épigés, les anéciques et autres insectes et acariens polyhumiques[4]. Les anéciques enfouissent également une partie des résidus en creusant leurs profondes galeries et assurent une répartition de la matière organique (continue pour les têtes rouge, avec un gradient décroissant pour les têtes noires) au sein du profil du sol qui sera alors dégradée plus en profondeur par d'autres organismes.

Les endogés n'ont pas besoin de se nourrir en surface, ils présentent tous les types trophiques, polyhumiques, mésohumiques et oligohumiques (Peres, 2013).

### 1.1.3 Les facteurs impactant les populations lombriciennes

Les vers de terre sont sensibles à trois types de facteurs : anthropiques, abiotiques et biotiques. Les facteurs anthropiques sont liés à l'activité humaine et agricole en particulier, tandis que les facteurs abiotiques sont relatifs au climat (précipitations, température…) et aux propriétés du sol (structure, texture humidité…). Les facteurs biotiques, quant à eux, reposent sur les interactions des communautés lombriciennes avec leur écosystème. Les compétitions inter et intra-espèces en sont par exemple une composante fondamentale, tout comme les relations avec d'autres règnes (interactions symbiotiques avec les micro-organismes, les mycorhizes…). Ces phénomènes, s'ils sont connus, restent très peu étudiés. C'est pourquoi notre bibliographie s'attache seulement aux deux premiers types de facteurs.

#### *1.1.3.1 Les facteurs abiotiques*

Les facteurs abiotiques sont liés à l'environnement direct du ver de terre. Ils peuvent être d'origine climatique, ou d'origine pédologique.

⇨ ***Le climat***

Le ver de terre est un organisme ubiquiste. Originaire des fonds marins, il est capable de survivre en milieux tempérés comme en milieux tropicaux. Ce n'est donc pas la température le facteur limitant (chaque espèce adaptée à son milieu ayant bien sûr sa gamme de température optimale), mais plutôt la présence d'eau.

-La Température

Elle n'est limitante que lorsqu'elle est associée à la sécheresse du milieu. Au contraire, son augmentation jusqu'à un certain seuil (15°C-20°C en moyenne en France) provoque une accélération du métabolisme et permet une meilleure disponibilité de l'eau (diminution du potentiel matriciel) (Lee, 1985 ; Philipson et Bolton, 1976). Le fouissage, l'acquisition de la maturité sexuelle, la production de cocons et la vitesse d'éclosion seraient alors favorisés (Evans, 1948). En deçà de 6°C et au dessus de 20°C, l'activité lombricienne devient ralentie voire stoppée (estivation, diapause). Cependant, si le changement de température se fait de manière très graduelle, une acclimatation est possible(Edwards et Lofty, 1979).

- L'humidité

L'humidité est une résultante de la pluviométrie et de la capacité de rétention en eau du sol considéré. Elle influe sur la distribution spatiale des vers (Cannavacciuolo et al., 1998). Associée à la température du sol, elle fait varier la dynamique des populations (Edwards et Bohlen, 1996 ; Sims, 1999 ; Pelosi et al., 2008), positivement en cas de forte humidité et fortes températures, négativement en cas de faible humidité et faibles températures, les autres combinaisons sont moins faciles à discriminer.

[4] Un organisme est polyhumique s'il se nourrit de matière organique riche, très peu dégradée et instable. Mésohumique et oligohumiques désignent des organismes dont les ressources trophiques sont moyennement à faiblement riches en matière organique (moyennement à très dégradées, moyennement à très stables).

Les vers de terre ont un métabolisme qui les rapproche plus du milieu aquatique, que terrestre lorsqu'ils ne sont pas privés de nourriture (excrétion d'ammoniaque majoritaire et non d'urée) (Bachelier, 1963). Ainsi, ils supportent relativement bien un excès d'eau au sein d'un sol (à l'inverse d'une sécheresse), la seule condition étant une bonne oxygénation.

La respiration qui est uniquement cutanée nécessite un épiderme toujours humide, d'où la forte sensibilité à un déficit hydrique. Les échanges d'eau et d'ions entre le milieu, la peau et le système excréteur (néphridies et intestin) sont extrêmement importants (jusqu'à 60% du poids du corps en une journée). En conditions d'immersion aérobie, la durée de survie varie de 31 à 50 semaines (Roots, 1956). La résistance au dessèchement tout comme à l'excès d'eau varie selon les espèces et leur région. Les endogés, globalement, supportent mieux les grosses variations d'humidité (saturation en eau et sécheresse), contrairement aux épigés dont la capacité de reproduction compense leur faible résistance et aux anéciques, qui sont plus sensibles.

⇨ ***La qualité physique et chimique du sol***

L'ensemble des éléments impactant les populations de vers de terre trouvés dans la littérature sont répertoriés et explicités dans le texte qui suit.

- La matière organique

Principale ressource alimentaire, la matière organique a un effet positif et attracteur sur les populations de ver de terre. Cet aspect sera développé dans les facteurs anthropiques. D'un point de vue chimique, les composés électronégatifs qui la constituent, en particulier les complexes humiques, forment une grande partie de la CEC (capacité d'échange cationique). Ainsi, un sol riche en humus et autres composés organiques favorise les échanges d'ions et présente un fort pouvoir tampon vis-à-vis du pH, auquel les vers de terre peuvent se révéler sensibles.

- Le calcium

Il s'agit d'un élément essentiel à l'activité du ver de terre (Bachelier, 1963). Il possède, en effet, un rôle d'échangeur cationique au niveau de la membrane tégumentaire du ver. Lui sont associés, une bonne élimination du $CO_2$ en milieu anaérobie par les glandes de Morren* (PrentØ, 1979) et un rôle de régulateur « tampon » vis-à-vis du pH. Le calcium permet donc au ver de terre de s'adapter rapidement à des changements environnementaux importants et de lutter contre la pression osmotique*. Ainsi les sols calcaires ou les apports de sels de calcium sur une parcelle ($CaCO_3$, $Ca(OH)_2$) sont favorables à l'abondance et à l'activité des populations de vers, jusqu'à une certaine concentration (Edwards et Bohlen, 1996). L'ajout de $CaCO_3$ ou de $Ca(OH)_2$ provoque une augmentation du pH(Springett et Syers, 1984). C'est principalement par ce rôle sur le pH que les sels de calcium favorisent le forage de galeries par les vers (démontré en laboratoire sur l'espèce endogée *A. caliginosa).* Selon l'utilisation de $CaCO_3$ ou de $Ca(OH)_2$, le $pH_{max}$ pour l'activité de forage est de 7.3 ou 6.7. Cet arrêt est certainement dû à une pression osmotique trop forte résultant de la forte concentration en sels solubles. En effet, lorsque le pH augmente, le taux de Ca échangeable augmente aussi (Springett et Syers, 1984).

- Le pH

Des préférences ont très souvent été données pour les Vers de terre, mais d'une manière générale, ces animaux semblent peu affectés par le pH, pour autant qu'il ne tombe pas en dessous de pH 4,4 (Bachelier, 1963).

Les vers de profondeur ont tendance à préférer les sols de pH plus élevé (jusqu'à 7-8) et sont plus ubiquistes (épi-anéciques comme *L. terrestris*). Les vers de surface supportent mieux les pH plus

acides. Chaque catégorie écologique, en fonction de son milieu de vie et de son aire de répartition dans le monde, présente une activité de fouissage optimale pour une gamme précise de pH. La distribution spatiale des vers de terre est alors très influencée par le pH. Néanmoins, la relation de cause à effet du pH n'est pas évidente. Est-ce l'effet acide qui influe ou les phénomènes dépendants des protons $H^+$ (disponibilité des métaux, variations d'échanges cationiques...)? Le pH du sol est, de plus, dépendant d'autres paramètres comme le taux de matière organique, la température et l'humidité du sol (Satchell, 1955 ; Lofs-Holmin, 1986).

-La granulométrie

Autrement appelée texture, la granulométrie est déterminée par la taille et les caractéristiques physico-chimiques des particules de la fraction de sol considéré. Elle affecterait la CEC et l'humidité du sol (Spring, 2003).

Les vers de terre préfèrent un milieu où il est aisé de se déplacer (pas d'obstacles, de zones trop tassées, donc dures à perforer, ou encore pas de surfaces abrasives), un milieu facile à ingérer (particules pas plus larges que leur bouche ou leur tube digestif et peu abrasives) et surtout un milieu dont les particules sont capables de retenir l'humidité. Ceci exclut les sables (abrasifs), l'argile lourde (tendance au tassement), ou encore les zones très caillouteuses (obstacles physiques). Les textures limoneuses ou mixtes sont privilégiées.

La matière organique s'assemble préférentiellement avec des particules de petite taille (Tisdall and Oades, 1982), ce qui oriente la sélection des vers en faveur ce type de granulométrie.

-Structure du sol

Elle correspond à l'agencement des agglomérats de particules du sol entre eux. Les lombriciens, comme il a déjà été dit, préfèrent un milieu aéré et facile à creuser. Dans le cadre d'une parcelle cultivée, une semelle de labour, présente en général à 30 cm de profondeur, gêne les circulations de vers, tandis qu'une croûte de battance (sols à texture limoneuse) en surface empêche une bonne pénétration de l'oxygène et de l'eau dans le sol. Kramer and al. (2008) met en évidence que le compactage artificiel d'un sol (réalisé en roulant sur des sols détrempés) provoque une réduction de la population des vers (Lavelle and al., 1989).

#### *1.1.3.2 Les facteurs anthropiques*

Les facteurs anthropiques agissent sur la qualité de l'habitat (travail du sol, application de traitements phytosanitaires, par exemple) et sur les ressources alimentaires (apport de matière organique) des vers de terre (Edwards et al., 1996 ; Smith et al., 2008).

### ⇨ *Le travail du sol*

Le travail du sol est décrit comme étant le plus préjudiciable des facteurs anthropiques (Chan, 2001 ; Thomas, 2004). Il affecterait plus la répartition des espèces, que le nombre global de vers (abondance) (Capowiez et al., 2009). Il y aurait même une sélection sur la petite taille par les passages d'outils. Les anéciques têtes rouges (les plus présents en prairies naturelles) sont très sensibles au travail du sol, contrairement aux anéciques tête noire qui eux reviennent moins en surface, vivent plus en profondeur et créent sans arrêt de nouvelles galeries. Les épigés sont quasi absents des parcelles cultivées (sauf s'il y a présence de résidus de culture ou d'autres matières organiques en surface), tandis que les endogés sont favorisés.

Au vu des observations d'abondance en conditions semi-contrôlées, il pourrait provoquer des baisses de la fonction de reproduction (baisse du taux de juvéniles dans la population en six saisons) (Schreck et al., 2012).

-La date d'intervention

La date d'intervention sur la parcelle est liée étroitement au climat. Elle peut être jugée favorable aux populations de vers de terre durant les périodes sèches ou très froides, c'est-à-dire l'été et l'hiver, lorsque les vers sont inactifs (CF partie facteurs) et enterrés à une profondeur à laquelle les machines ne les perturbent pas. A l'inverse, les périodes plus humides (printemps et automne) sont considérées comme défavorables (Jossi et al., 2011).

-Le type d'outil

A l'heure actuelle, la bibliographie nous permet de distinguer trois catégories d'outils, les outils animés, les outils à dents ou à disque et enfin la charrue (socs) pour leurs effets sur les catégories de vers (Jossi et al., 2011 ; Thomas, 2004 ; Edwards et Bohlen, 1996 ; Chan, 2001). Ces effets peuvent être directs ou indirects. Les effets directs correspondent à des blessures mortelles, tandis que les effets indirects correspondent à des changements environnementaux au sein du sol (destruction des galeries, des habitats, perte de matière organique en surface, perte d'humidité, changement de température) ou à une vulnérabilité face aux prédateurs (mise à découvert, blessures).

Le travail du sol, en particulier l'usage de la charrue, favoriserait l'enrichissement du sol en substances polluantes et en accroitrait la biodisponibilité (Schreck et al., 2012 ; Hendrix et al., 1992). De plus, à l'inverse des autres outils elle retourne le sol, elle enfouit la matière organique et contribue donc à la disparition de l'humus. La charrue aurait les effets indirects les plus néfastes tandis que les outils animés, de plus large rayon d'action et de plus grande « agressivité » auraient les effets directs les plus néfastes. Le labour favoriserait particulièrement les endogés (Wyss et Glasstetter, 1992 ; Nuutinen et Haukka, 1990). Ces derniers profiteraient de la matière organique de surface retournée qui leur serait plus accessible puisqu'ils vivent à 20 cm de profondeur (Chan, 2001).

-La profondeur de travail

Le travail du sol en profondeur affecte les espèces fouisseuses de grande taille qui creusent en profondeur et permettent le drainage. Les effets plus néfastes d'un labour à 35 cm contre 25 cm ont été démontrés (Paoletti, 1999).

### ⇨ *Les traitements phytosanitaires*

Très tôt, les vers de terre ont été appréhendés pour contrôler l'impact général de la pollution dans le sol (Callahan, 1984). Depuis, leur statut est devenu celui de bio-indicateurs de la qualité du sol, et des impacts environnementaux des systèmes culturaux et des produits polluants. Les traitements phytosanitaires constituent cependant le facteur anthropique le plus difficile à intégrer. La plupart des études traitant ce sujet sont en effet très anciennes ou portent sur des espèces de ver non caractéristiques de nos parcelles agricoles. Enfin la forte disparité entre les échelles appréhendées, les méthodologies, les protocoles et les conclusions de ces études limite leur pertinence (Pelosi et al., 2014). L'ensemble de la bibliographie pour ce paragraphe est basée sur le review de Pelosi et al. (2014).

Tout comme pour le travail du sol, il existe des effets toxiques directs, c'est-à-dire que le xénobiotique* induit la modification de l'expression d'un gène impliqué dans une fonction physiologique. Des effets sont qualifiés d'indirects (compensation ou restauration) lorsque le lombricien détourne ses ressources énergétiques pour « détoxifier » son organisme. Ainsi, une fonction peut être privilégiée (catabolisme oxydatif par exemple) face à une autre (reproduction ou croissance). Les effets directs et indirects pourraient être grossièrement approchés, respectivement,

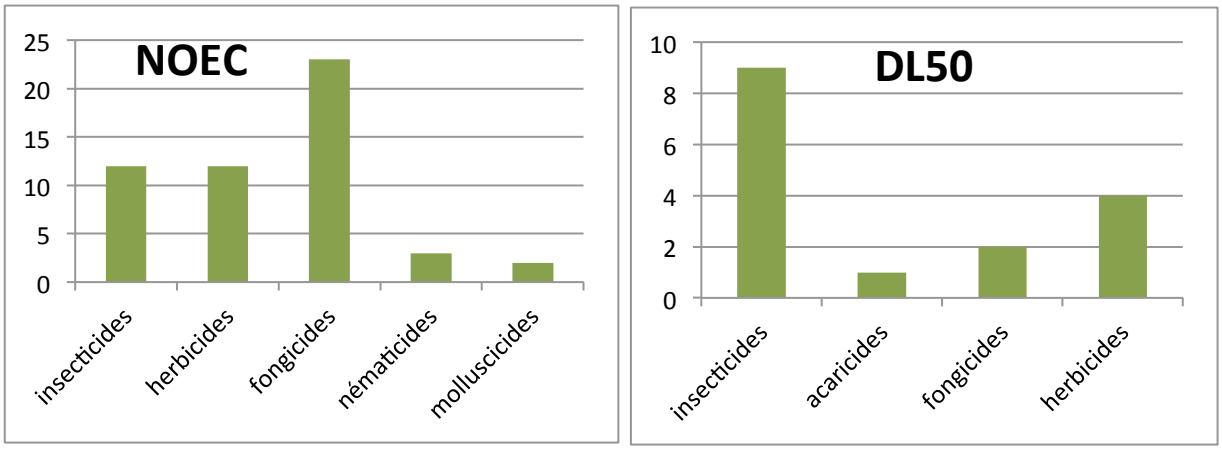



**Figure 1: DL50 et NOEC des pesticides (Pelosi et al., 2014). ).** *Pour les NOEC, sont représentés les 50% des 97 pesticides accessibles considérés comme moyennement à hautement toxiques (NOEC<10mg.kg-1). Pour les DL50, sont représentés les 5% des 400 pesticides homologués en France considérés comme moyennement à hautement toxique (DL50<10mg.kg-1)*

par la DL50* et la NOEC* de chacune des substances actives étudiées. Ces données sont facilement accessibles mais sont peu pertinentes.

-Les Familles chimiques

Sur les 400 substances actives autorisées en Europe (dont les métaux et les composants naturels), il apparaît que les familles les plus toxiques pour les vers de terre sont les insecticides en première position, puis les fongicides et les herbicides (Pelosi et al., 2013)[5]. Les molluscides sont peu évoqués dans la littérature, ils sont considérés comme peu toxiques au champ (Iglesias et al., 2003) (figure 1).

-La Dose appliquée

Aujourd'hui il n'est pas encore possible de distinguer une réponse générale d'une communauté de vers à une gamme limitée de pesticides. Nous savons cependant que le non-usage ou le faible dosage de pesticides est bénéfique pour les communautés de vers de terre. En particulier pour les anéciques et les épigés qui viennent se nourrir en surface, directement au contact des substances toxiques[6] présentes (granulés insecticides, bouillie bordelaise…). Il a été identifié que *Lumbricus terrestris* (tête rouge) était bien plus sensible à l'exposition que son cousin épigé *L. rubellus rubellus.*

-Le Mode d'application

Högger et Ammon, (1994) ont observé une baisse de 50% de l'activité lombricienne, lorsque le pesticide était incorporé dans le sol, contre 90% lorsque celui-ci était laissé en surface.

Notons enfin qu'il existe une forte interaction avec l'environnement qui joue également un rôle prépondérant dans la biodisponibilité des substances actives. Cette dernière serait notamment influencée par la température du sol, le pH, la teneur en matière organique et la structure du sol. (Bouché, 1972)

### ⇨ *Occupation du sol et gestion des cultures*

Dans cette partie se distinguent d'une part les apports nutritifs et leurs effets sur les parcelles et d'autre part, l'impact d'une culture en place sur la communauté lombricienne.

La matière organique est jugée comme le facteur le plus limitant pour les populations de vers de terre, en particulier pour la catégorie des anéciques « tête rouge » (Capowiez et al., 2009). Nous considérons ici comme apports nutritifs, les résidus de culture des saisons précédentes (cultures et intercultures) et les amendements organiques (lisier, fumier, compost, boues…) épandus sur la parcelle[7].

Les résidus de culture en surface représentent une réserve de nourriture (Jossi et al., 2011). Il a été montré que la présence d'au moins 30% de résidus à la surface du sol provoquait une croissance de 10% dans la population (Thomas, 2004) et que la présence de nourriture influait sur la répartition spatiale des vers (Lamandé et al., 2004). A l'inverse, l'enfouissement en profondeur est uniquement positif pour les endogés.

---

[5] Il existe un arrière effet positif pour les communautés lombriciennes de certains composés pourtant jugés toxiques. Le glyphosate (herbicide) et le benomyl (fongicide) favoriserait les populations en automne par un apport précoce en matières organiques et nutriments à la surface du sol (Christensen, 2004)).

[6] Les endogés se nourrissant au sein même du sol.

[7] La fertilisation azotée est une pratique qui est rarement prise en compte dans les analyses. Elle aurait un effet positif indirect en induisant la croissance végétale et en fournissant ainsi plus de nourriture aux vers de terre (Edwards C.A. B. P., 1996).

Globalement, toute fertilisation ou amendement provoque la perte de biodiversité fonctionnelle (Bellido et al., 2009) et se révèle toxique à fortes doses. Le lisier, appliqué en doses raisonnées et espacées dans le temps (Paoletti, 1988), favoriserait la ponte des cocons au printemps et le développement des populations (biomasse et maturité) en automne (Estevez et al., 1995). En tant que liquide, son infiltration affecterait plus les anéciques puisque facilitée par la gravité et leurs galeries verticales et sub-verticales (Estevez et al., 1995)[8]. Les matières sèches[9] auraient un effet positif moins prononcé (Bellido et al., 2009). Parmi elles se distinguent les composts d'ordures ménagères (OMR), des boues d'épuration urbaine co-compostées avec des déchets verts de grosse taille (DVB). Les OMR sont ceux qui ont l'effet le plus positif sur l'effectif, le poids de toutes les catégories d'âge des communautés de vers de terre, et le moins négatif à forte concentration (Capowiez et al., 2009). Le taux de survie, le nombre de galeries et leur profondeur sont également des paramètres qui augmentent avec l'épandage de ce type de compost. Les effets des DVB sont eux plus limités et transitoires. Cependant, l'usage de ces produits est fortement contrôlé puisqu'ils peuvent contenir de fortes concentrations en ETM (Zinc, Cadmium, Cuivre, Mercure.. .), en micro-organismes pathogènes et en micropolluants tels les PolyChloroBiphényles (PCB) et les hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP), toxiques pour les populations lombriciennes et autres espèces du sol (Kreis et al., 1987 ; Curry, 1994 ; Ablain, 2002),.

De nombreuses études sur les fèces d'élevage, montrent que la rémanence des antibiotiques utilisés pour traiter les cheptels, peut y être conséquente et que leur toxicité sur la faune du sol (et leurs prédateurs) est loin d'être négligeable. Les lactones macrocycliques par exemple ont été identifiées comme substances perturbant la reproduction (production de cocons et taux d'éclosion), pour bon nombre d'espèce de la méso et de la macrofaune. En particulier pour le ver de terre, dont le mode d'alimentation passe par une ingestion massive et continue de matière et de débris organiques (5 à 25 fois moins de tolérance pour les résidus que la mésofaune) (Boxall et al., 2006 ; Diao et al., 2007 ; Lumaret et al., 2012).

Les caractéristiques de la matière organique qui définissent sa qualité pour les lombriciens ne sont pas entièrement élucidées (Edwards et Lofty, 1979 ; Capowiez et al., 2009**)**. Chaque espèce, en fonction de son comportement alimentaire, se nourrira plus de litière, d'organismes, d'humus ou encore d'exsudats organiques avec des rapports C/N et des taux de fibres spécifiques (Spring, 2003). Cependant, quelques tendances ont été mesurées, une matière organique de faible taille, peu stable[10] avec un rapport C/N élevé et une forte valeur fertilisante azotée aurait un effet positif et durable sur les populations de vers (Capowiez, 2009).

Le métabolisme des vers de terre ne leur permet pas de dégrader la lignine et des dérivés de cellulose, mais plutôt leurs résidus issus de l'activité fongique et microbienne (Paoletti, 1999), il est donc à supposer que, dans des milieux où la richesse trophique est faible, l'appétence de ce type de matière organique pour les vers de terre soit faible.

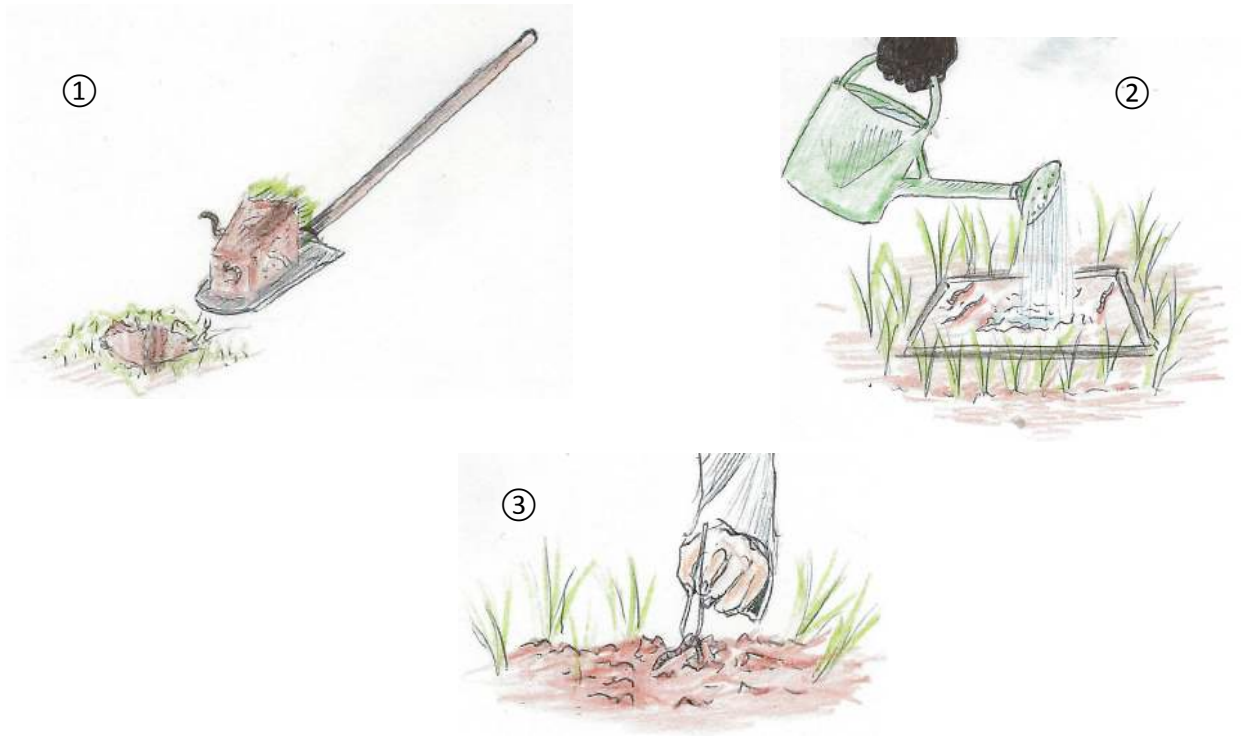
Enfin, le couvert végétal fournit une source importante de matière organique ainsi qu'une protection contre les prédateurs. Il limite aussi le transfert des pesticides vers les eaux de surface (Lacas et al., 2005). Ainsi, une plante dont le port aérien est très couvrant favoriserait le développement de populations de vers de terre. Il en serait de même pour un important réseau de racines (Schreck et al., 2012).

---

[8] Le rapport RMQS (Cluzeau D., 2009), au contraire affirme que la biomasse des anéciques est corrélée, de manière significative, positivement avec l'apport de lisier, de manière moindre avec celui de fumier. Il s'agit de la classe la plus favorisée par la fertilisation minérale et les amendements organiques (Capowiez C., 2009).

[9] Effluent solide mélangé avec une litière végétale (fumier, compost).

[10] L'indice ISB (indice de stabilité biochimique) permet de comparer les stabilités chimiques de différents matériaux. Plus l'ISB est faible, plus la matière organique est instable.




*①Les méthodes physiques consistent à sortir un cube de terre du sol à l'aide d'une bêche et d'en extirper manuellement les vers de terre.*

*②Les méthodes chimiques, non destructrices pour la structure du sol, provoquent la remontée en surface de vers de terre par saturation des premiers centimètres du sol avec une solution irritante (formol ou isothiocyanate d'allyle, composé organo-soufré contenu dans la moutarde).*

*Enfin, les méthodes combinées associent une méthode chimique ② avec une méthode physique (en général un grattage de surface ③ ou un tri d'un cube de terre sous-jacent à la zone arrosée ①).*

**Figure 2: Les méthodes de prélèvement lombriciennes**

La prairie permanente par exemple présente un chevelu aérien et racinaire très important, elle correspond au potentiel 100% de la communauté, sans activités anthropiques. La part d'épigés et d'épi-anéciques y est alors favorisée, sauf en cas de pâturage important (effet piétinement) (Cluzeau et al., 1992).

### 1.1.4 Les méthodes de prélèvement

L'approche de la communauté lombricienne par les catégories écologiques se révélant pertinente d'un point de vue écologique, des méthodes d'observation et de prélèvement ont été mises en place. Elles permettent de suivre l'évolution de chaque catégorie dans le temps ou dans l'espace (cartographie). Les méthodes les plus usitées aujourd'hui sont les méthodes physiques, chimiques ou combinées[11]. Elles sont décrites sur la Figure 2

Les méthodes chimiques et les méthodes combinées sont les plus efficaces pour étudier l'abondance, la taille et la biomasse des vers. Les méthodes chimiques sont plus sélectives pour les anéciques qui voient leurs galeries infiltrées par la solution irritante. A l'inverse, les méthodes physiques sont plus sélectives envers les endogés, moins vifs que les anéciques qui parviennent à s'échapper lorsque la bêche pénètre dans le sol (Pelosi et al., 2014).

La pertinence de chacune de ces méthodes peut aussi varier en fonction du type de sol sur lequel elles sont appliquées. Par exemple, l'infiltration de la substance irritante se révèle mauvaise dans les sols limoneux ou encore la pénétration de la bêche à 30 cm de profondeur se révèle impossible dans des sols superficiels très caillouteux. Il apparaît alors important de savoir adapter une méthode à chaque contexte pédologique.

Il n'est malheureusement pas encore possible de « convertir » les données issues d'une méthode à une autre afin de le comparer. Des travaux de comparaison de méthodes de prélèvement ont actuellement lieu à l'UMR ECOBIO (35), ils permettraient alors un suivi plus précis et adapté à chaque parcelle.

### 1.1.5 Problématique et objectifs de ce rapport

Dans une démarche prospective, nous nous demandons s'il est possible d'identifier et de hiérarchiser des facteurs impactant la biodiversité des vers de terre dans le sol. Nous en avons extrait trois objectifs à réaliser par le stagiaire pour la saison 2014 :

-Faire un état de l'art des connaissances sur les facteurs impactant la biodiversité des vers de terre dans le sol (entre février et août 2014).

- Réaliser les prélèvements lombriciens sur une grande partie des deux réseaux et des prélèvements d'échantillons de sol sur toutes les parcelles retenues en 2014, puis constituer une base de données homogène, commune aux deux réseaux (mars-avril 2014 puis mai à juillet 2014).

- Réaliser une méthodologie d'analyse de l'ensemble des données (agrégation de données, tri et sélection de variables) et la tester en vue de la construction d'un éventuel outil prédictif de l'état des communautés lombriciennes (mai à août 2014).

[11] D'autres méthodes existent, les moins perfectionnées consistant à produire un champ électrique faisant fuir et donc remonter les vers en surface, les plus perfectionnées (et couteux) consistant à analyser les réseaux de galeries par rayons X.

| Initiatives à l'échelle mondiale | Initiatives à l'échelle de l'U.E | Initiatives à l'échelle de la France |
|---|---|---|
| **1992-Sommet de Rio**, convention sur la Biodiversité : *Mettre un terme à la perte de biodiversité.* | **2001-Göteborg** : *Mettre un terme à la perte de biodiversité.* | |
| | | **2004**-Publication de **« Stratégie Nationale pour la biodiversité »**: *favorise la coordination entre les agriculteurs et leurs partenaires.*<br>**2005**-Lancement de la première phase du **projet ADEME** « bioindicateurs de qualité des sols » : *évaluer et tester en collaboration avec un ensemble de laboratoires 80 bioindicateurs dans différentes situations.* |
| | **2006- Stratégie Thématique en faveur de la Protection des Sols (EC 2006a)**<br>- Proposition de Directive-Cadre sur les Sols (Soil Framework Directive, EC 2006b) : *perte de biodiversité reconnue comme risque majeur pour les sols, au même titre que l'érosion, la diminution du carbone organique et la compaction.*<br>(projet retiré en 2014)<br><br>**2006 à 2008 - Lancement du programme de recherche ENVironmental ASsessment of Soil for mOnitoring (ENVASSO) :** *répondre au besoin de surveillance, au niveau européen, de l'état des différents types de sols, soumis à diverses menaces. Permettre une harmonisation des activités en cours et à venir de surveillance des sols dans les Etats membres*<br><br>**2009 – Projet BioBio :** *indicateurs de biodiversité dans les systèmes d'agriculture biologique et à faible niveau d'intrants* | **2006-Lancement du programme RMQS Biodiv Bretagne** (fait partie d'ADEME) *: Cartographie et analyse des paramètres lombriciens en Bretagne.*<br><br>**2007-Grenelle de l'environnement**, naissance de la mesure **Ecophyto 2018** : *réduire si possible l'usage des pesticides à 50% avant 2018*<br><br>**2008- Naissance des Réseaux Mixtes Technologiques** (RMT) : *favoriser le rapprochement entre acteurs de la recherche, de la formation et du développement.*<br>2009-Lancement de la 2ème phase du **projet ADEME Bioindicateurs** (BIO2): *Calibrer, valider et comparer les bioindicateurs retenus, Créer un premier référentiel national*<br><br>**2009- Mise en place de la Surveillance Biologique du Territoire dans le domaine végétal (SBT)** : o*bserver l'impact potentiel des activités agricoles sur l'environnement.*<br>**-Création de l'Observatoire Agricole de la Biodiversité (OAB)** : *création d'un réseau de coordinateurs nationaux, d'animateurs locaux et d'observateurs volontaires → création de l'**OPVT**.*<br><br>**2010- VitiEcoBioSoil** *: les sols de vigne vivants : comment intégrer les connaissances acquises sur ce patrimoine à la base de la pérennité du vignoble de Champagne ? (programme GESSOL3)* |
| | **2011 – Programme européen SUSTAIN (ERANET – SNOWMAN)** | **2011 – Projet CASDAR Agrinnov** *: Indicateurs de l'état biologique des sols agricoles (Observatoire Français des Sols Vivants)*<br>**-Projet CESAB BETSI** *: traits fonctionnels, biologiques et écologiques d'invertébrés du sol (INRA Versailles – Grignon)*<br><br>**2012 – Mise en place du réseau de suivi des Effets Non Intentionnels (Ecophyto – SBT)** |

**Tableau 4: Initiatives nationales et internationales sur la biodiversité des sols**

## 1.1 Le ver de terre, bio-indicateur des états et usages des sols

### 1.2.1 Qu'est-ce qu'un bio-indicateur ?

La notion de bio-indicateur est apparue dans les années 70. La définition ci-dessous reste la plus populaire.

« Un bio-indicateur est défini comme un organisme vivant (ou une partie d'un organisme ou une communauté d'organismes) qui, par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques, permet de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications naturelles ou provoquées. » (Blandin, 1986).

De plus, un indicateur est intéressant s'il respecte quatre règles (Peres, 2003) :

- **la pertinence** : l'indicateur doit avoir un rôle important dans le fonctionnement de l'écosystème et doit être en cohérence avec le problème posé et l'échelle d'investigation,
- **la fiabilité** : l'indicateur doit avoir une large distribution, être commun et facile à prélever,
- **la sensibilité** : l'indicateur doit présenter des réponses mesurables,
- **la reproductibilité** : les réponses à des perturbations similaires doivent être similaires.

### 1.2.2 Caractérisation du « bioindicateur ver de terre » et enjeux

Les lombriciens ont été reconnus comme de bons bioindicateurs d'effet par plusieurs programmes de recherche (EU 6th PCRD ENVASSO, ADEME Bioindicateurs des sols, BioBio, Sustain) qui permettent de faire évoluer ce concept (Tableau 4)

Au niveau national, diverses structures ont participé à la construction de L'OPVT (Observatoire Participatif des Vers de Terre). Il s'agit d'un outil d'évaluation simplifié de la biodiversité des sols à l'aide des vers de terre. Son objectif principal est d'acquérir, à partir de différentes méthodes de prélèvement plus ou moins simplifiées, un grand nombre de références nationales en terme d'abondance lombricienne fonctionnelle (nombre vers de terre/m² par catégorie écologique), pour différents contextes pédoclimatiques et usages des sols. Toutefois, ces observations ne sont pas suffisamment valorisées ni détaillées et des observations réalisées dans d'autres réseaux pourraient être capitalisées pour former une plus grosse base de données. La diffusion de cet outil et la communication entre projets de réseaux agricoles sont donc un enjeu important pour développer au niveau national l'indicateur ver de terre.

### 1.2.3 La démarche de la chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes

La Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes (CRA-PC) travaille sur la biodiversité des sols depuis 2010. Sur les deux premières années ont été effectués des prélèvements lombriciens au formol pour étudier la faisabilité du protocole et l'appliquer sur une portion du territoire du Poitou-Charentes (Pamproux). Le « protocole moutarde » que nous utilisons dans cette étude été mis en place en 2012, sur un réseau de parcelles en systèmes conventionnel et biologique (réseau SBT-ENI Ecophyto), puis reconduit en 2013 avec l'addition d'un second réseau d'agriculteurs pratiquant des systèmes de culture « innovante »[12] (réseau SdCi). La Chambre souhaite aujourd'hui accroître et diversifier sa base de données issue des prélèvements de vers de terre et la valoriser afin de dégager des tendances sur quelques grands types de sols. La finalité serait de pouvoir apporter des éléments de connaissance et de réflexion aux conseillers agricoles et agriculteurs de la région soucieux de préserver la qualité de leurs sols.

[12] Usage raisonné de pesticides et utilisation de techniques culturales simplifiées.

| Sols | Groies (32% de la surface régionale) | Terres rouges à châtaigniers (5% de la surface régionale) | Bornais (7% de la surface régionale) |
|---|---|---|---|
| **Caractéristiques** | - Argilo-calcaires à limono-argileux calcaires ou calciques.<br><br>- Plus ou moins profonds (8% superficiels, 17% moyens, 3% profonds et 4% argileux).<br><br>-Caillouteux (calcaire)<br><br>- Réserve utile faible à moyenne.<br><br>-Reposent sur de l'argile de décalcification. | - Limoneux à argileux (sensibles à la battance)<br><br>-Plus ou moins profonds et caillouteux (silex).<br><br>-Acides.<br><br>- Sains avec ressuyage lent.<br><br>-Réserve utile faible à moyenne.<br><br>-Reposent sur de l'argile rouge. | -sols limoneux (sensibles à la battance).<br><br>-Profonds.<br><br>- Acides.<br><br>-Hydromorphes.<br><br>-Réserve utile moyenne à bonne.<br><br>-Reposent sur de l'argile. |
| **Classe** | **Calcosols et Calcisols** | **Brunisols et Néoluvisols** | **Luvisols** |

Tableau 6: Caractéristiques des trois sols du Poitou-Charentes.

| | Réseau SDCI | Réseau ENI |
|---|---|---|
| **Initiative dans le région Poitou-Charentes** | « Réseau Mixte Technologique-Systèmes de culture innovants » 2008 | « Surveillance Biologique du Territoire dans le domaine végétal » 2009 |
| **Début des prélèvements VDT** | 2013 | 2012 |
| | N.B Les prélèvements de 2012 ne sont pas pris en compte dans l'étude | |
| **Objectif principal** | Développer et évaluer des modes de production durable | Suivre l'apparition éventuelle d'effets non intentionnels des pratiques agricoles sur l'environnement |
| **Nombre de prélèvements e547ffectués** | -14 en 2013(dont 2 prairies)<br>-18 en 2014 (dont 3 prairies permanentes) | -22 « grandes cultures », 6 « vignes » et 3 « maraîchage » en 2013<br>-Idem en 2014 |
| **Caractéristiques des parcelles en grandes cultures** | **4 « Terres Rouges », 5 « Groies », 3 « Bornais » en 2013**<br>**7 « Terres Rouges », 7 « Groies »,4 « Bornais » en 2014** | **9 « Terres Rouges », 10 « Groies », 5 « Bornais »** |
| **Variables et paramètres relevés** | -abondance des VDT et classification écologique<br>-données climatiques<br>-itinéraires techniques<br>-données abiotiques (granulométrie, humidité…) | |
| **Organisme référent (vérification et analyse des données)** | CRA-PC | CRA-PC, Université de Rennes, Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) |

Tableau 5: Informations sur les deux réseaux parcellaires.

# 2. Matériel et méthodes

## 2.1 Présentation du territoire de l'étude

### 2.1.1 Contexte pédo-climatique

Seuls trois types de sols de Poitou-Charentes seront intégrés à notre étude: les groies, les terres rouges à châtaigniers et les bornais puisqu'ils représentent environ 43% du territoire et correspondent aux zones les plus cultivées (grandes cultures) de la région. (Annexe II). Les caractéristiques physico-chimiques sont détaillées dans le Tableau 6 ci-contre.

Le climat quant à lui est assez homogène. Il est de nature océanique et présente donc des étés plutôt chauds et des hivers doux. L'ensoleillement se révèle important, en particulier en Charente (plus de 2000 h/an) tandis que les pluies se répartissent tout au long de l'année entre 650 et 900 mm, avec un pic plus important en décembre. En règle générale, le bilan hydrique est déficitaire dès la première décade d'avril. Ce déficit persiste jusqu'à la première décade d'octobre.

La température moyenne est de 11°C avec une amplitude thermique de 15°C.

Globalement il y a un gradient de température Nord/Sud (1,2°C de plus à Cognac qu'à Poitiers) et un gradient de précipitation Ouest/Est (partie littorale plus arrosée), à l'exception de la zone Charente limousine, liée au massif central, plus pluvieuse et plus fraiche.

### 2.1.2 Répartition des parcelles et description des réseaux

L'étude repose sur deux réseaux de parcelles coordonnés par la CRA-PC (Tableau 5 et Figure 3)

- **Le réseau Système de culture innovant** (SDCI), est axé sur le développement de moyens de production performants (réduction des intrants en particulier) d'un point de vue social, économique et environnemental. Le suivi des communautés de vers de terre est utilisé, en Poitou-Charentes uniquement, depuis 2013 afin de compléter l'évaluation des systèmes de culture sur le volet environnemental (biodiversité des sols), pour lequel peu d'outils existent actuellement.
- **le réseau Effets Non Intentionnels** (ENI) s'intéresse aux conséquences non intentionnelles d'un moyen de production sur l'environnement. Les relevés de biodiversité ENI s'intéressent depuis 2012 aux bioindicateurs « vers de terre » en plein champ et « coléoptères », « oiseaux » et « flore » en bordure de champ.

Les parcelles sont présentes sur l'ensemble de la région et présentent une grande diversité de contextes (système de culture, type de sol, type de culture…) qu'il est nécessaire de caractériser pour permettre des analyses. Toutes n'ont pas été retenues dans notre travail. Pour commencer les cultures « vigne » et « maraîchage », trop peu représentées, ont été mises à l'écart. Enfin, certaines parcelles de 2013 qui n'ont pas été reprises en 2014 pour les prélèvements (prairies temporaires SDCi), ne seront pas traitées, contrairement aux « nouvelles venues » (prairies permanentes, NIOP2, LUSP5 et LUSP6) qui, respectivement, jouent le rôle de parcelles témoin et viennent renforcer les effectifs « groies » et « terres rouges ». Les parcelles ENI 2014 ne sont pas non plus retenues car les données sont incomplètes (attente de la validation des abondances lombriciennes par catégories écologiques par l'Université de Rennes 1 et attente des itinéraires techniques de la saison 2014). La liste des parcelles retenues (Annexe IV).

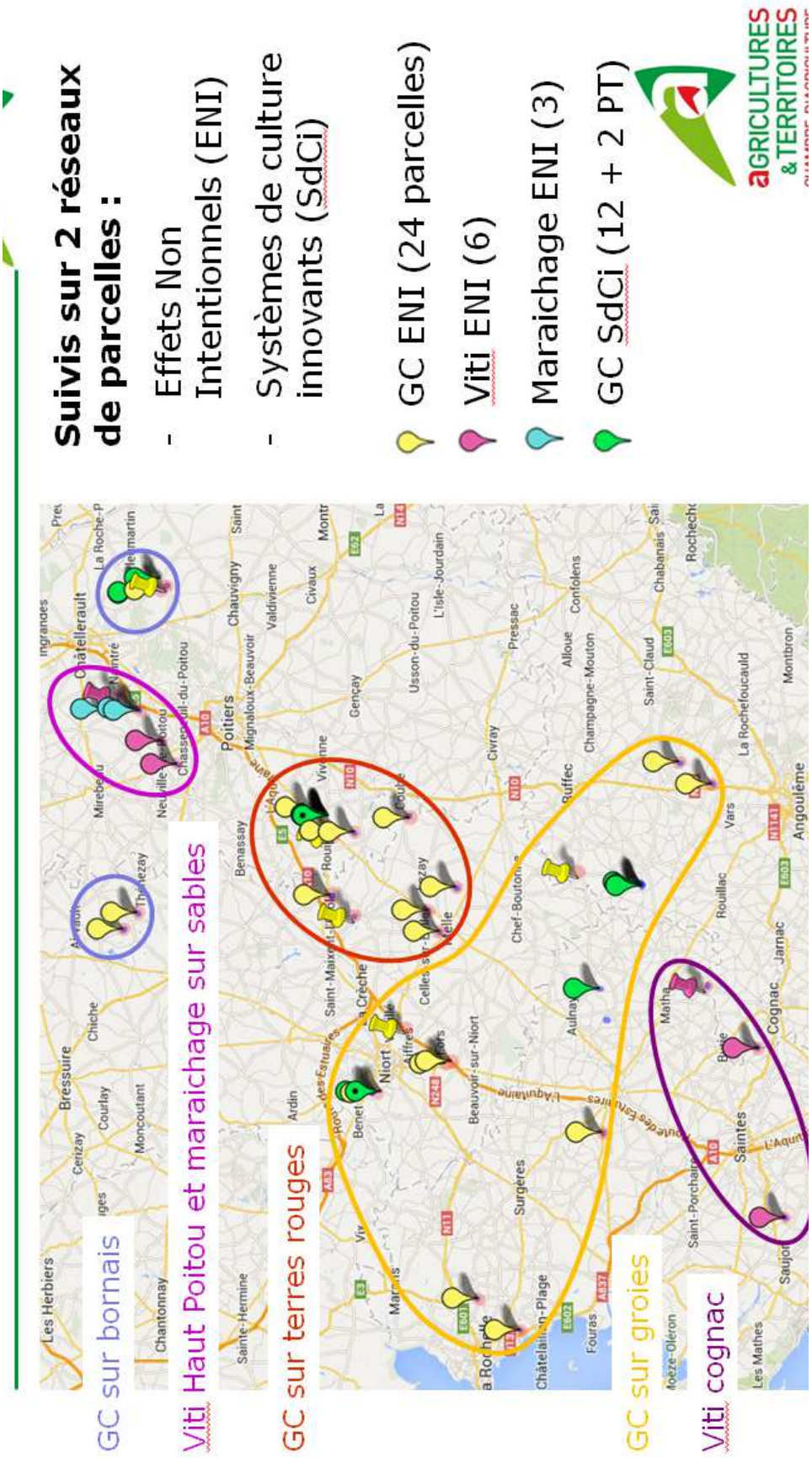



Figure 3: Carte des réseaux de parcelles ENI et SDCi en Poitou-Charentes

## 2.2 Méthodes de prélèvement

### 2.2.1 Choix de l'unité d'intégration de temps

Nous avons choisi d'intégrer nos données sur deux périodes de temps différentes et de comparer les résultats de leurs analyses. La première période de temps est de un an. Ainsi, nous relevons l'ensemble des pratiques réalisées sur les réseaux SDCi et ENI :

- entre mars-avril 2012 (un an avant le premier prélèvement des vers de terre) et mars-avril 2013 (jour du prélèvement 2013)
- entre le prélèvement 2013 et le jour du prélèvement 2014.

La seconde période de temps est de deux ans, elle n'est pas calculable pour les données ENI dont les relevés des itinéraires techniques ne commencent que pour la saison 2012 :

- entre mars-avril 2011 (deux ans avant le premier prélèvement des vers de terre) et mars-avril 2013 (jour du prélèvement 2013)
- entre le prélèvement mars-avril 2012 (deux ans avant le prélèvement 2014) le jour du prélèvement 2014.

### 2.2.2 Méthode de prélèvement et tri des vers de terre

La méthode moutarde, développée par l'OPVT, permet le prélèvement des vers de terre. Elle est expliquée ci-après (Figure 4).

Le tri est réalisé sur les vers de terre vivants, directement après le prélèvement, ils sont alors plus faciles à identifier. Pour chaque mètre carré prélevé (il y en a trois), les vers sont d'abord divisés en quatre catégories à partir de la clé de détermination de l'Université de Rennes 1 (Annexe VI) : les épigés, les endogés, les anéciques têtes rouges et les anéciques têtes noire. Puis, au sein de chacun de ces groupes, les adultes et les juvéniles ont été dénombrés. Leur distinction est basée sur des critères anatomiques précis (présence ou non de clitellum, présence ou non de puberculum, voir Annexe I). Les groupes sont ensuite stockés dans des piluliers d'alcool modifié. Des photos de chaque morphotype (il peut y en avoir plusieurs au sein d'une même catégorie, voir Annexe VI) sont prises, identifiées et envoyées, dans le cas des parcelles ENI, en même temps que les piluliers à l'université. Les échantillons SDCi sont triés par le CRA-PC avec une loupe binoculaire afin de limiter les erreurs.

## Protocole « moutarde » OPVT pour le prélèvement de vers de terre

### Conditions de validité pour les prélèvements

*Période de mi-février à fin avril

*Le matin lorsque : -Le sol est humide et ressuyé

-Température du sol (-10cm)> 8°C

-Température de l'air entre 8 et 15°C

- Ciel nuageux (pas trop de soleil)

*4 semaines minimum après toute intervention agricole (travail du sol, traitements phytosanitaires, fertilisation…)

### Avant de commencer

*Préparer le maximum d'arrosoirs.

*Mettre en place des thermomètres (sol et air).

*Préparer 3 placettes d'1m² en n'oubliant pas de :

-Couper (et non pas arracher) la végétation si besoin.

-Retirer délicatement les résidus en surface.

### Préparation pour un arrosoir

*Un arrosoir (10L) + une rampe (imitation de la pluie)*

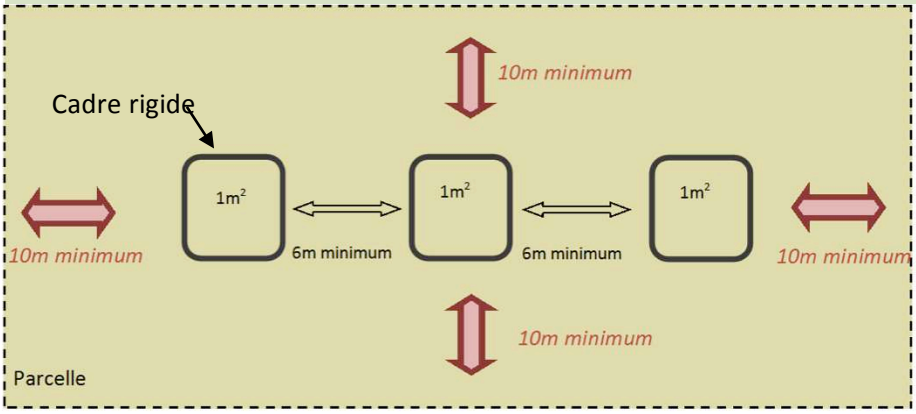
*2 pots de 150gr de Moutarde Amora fine & forte*

*Un shaker*

Pré diluer la moutarde dans le shaker avec de l'eau claire. Mélanger le contenu dans l'arrosoir pré rempli d'eau et ajouter de l'eau jusqu'au niveau indiquant 10L.

⚠ Bien agiter le contenu de l'arrosoir avant d'arroser afin de diluer la moutarde de façon optimale

### Mise en place des 3 placettes dans la parcelle




Attention, La zone choisie doit être:

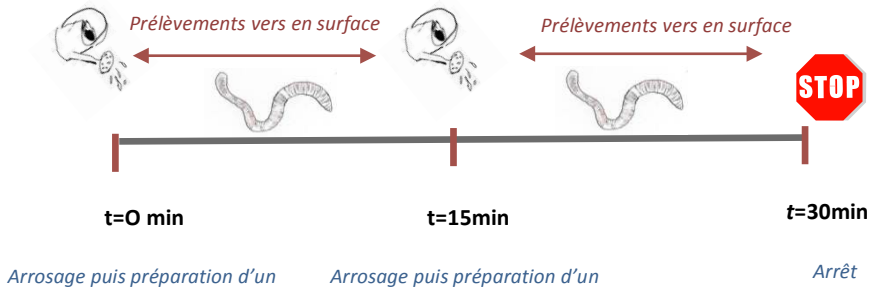
-Non tassée ( pas de passages de roues).

-Homogène et représentative de la parcelle.

-Prélevée pour la première fois.

- - - - - - - Bordure de parcelle

### Déroulement des prélèvements sur UNE placette ( durée incompressible de 30 minutes)




### N.B

*Les vers prélevés sur UNE placette doivent être collectés avec une pince dans un MEME contenant d'eau claire (maintien en vie pour une meilleure identification).

* Pour éviter que les vers ne s'enfuient, il est important de ne pas trop se déplacer autour de la placette (vibrations) et d'attendre que le ver soit **entièrement** sorti de sa galerie avant de s'en saisir.

Figure 4: Méthode moutarde

### 2.2.3 Méthode de prélèvement d'échantillons de sol

Les prélèvements d'échantillons de sol ont été exécutés avec une tarière, après la capture des vers. Leur répartition est régulière sur l'aire du cercle qui englobe les 3 zones de prélèvement vers de terre (Figure 5) La profondeur théorique et le nombre des prélèvements sont respectivement 30 cm et 6. La profondeur n'a pu être respectée sur nombre de parcelles superficielles et caillouteuses (en majorité des groies) se limitant parfois à seulement 5 cm. Le nombre d'échantillonnage, peut sembler un peu faible mais nous ne nous intéressons ici spécifiquement qu'aux caractéristiques des zones parcellaires où les prélèvements vers de terre ont eu lieu.

## 2.3 Données utilisées pour l'analyse

### 2.3.1 Description des variables à expliquer : les abondances lombriciennes

Le rapport RMQS Biodiv (Bellido et al., 2009) dont nous nous sommes beaucoup inspirés pour notre étude distingue les paramètres globaux (abondance et biomasse lombricienne), des paramètres fonctionnels (abondance et biomasse des catégories écologiques) et des paramètres de diversité (richesse taxonomique, indice de diversité de Shannon* et indice d'équitabilité de Simpson*). Dans notre cas, nous n'envisageons ni la biomasse qui n'a pas été mesurée ni les indices de diversité qui ne sont pas pertinents pour étudier seulement quatre catégories. Nous nous contentons donc d'étudier l'abondance totale, l'abondance de chaque catégorie écologie et enfin l'abondance des juvéniles et des adultes.

### 2.3.2 Données relatives aux pratiques agricoles

Si les variables et les paramètres relevés sont les mêmes (abondances lombriciennes par catégorie écologique, conditions de prélèvement, itinéraires techniques et caractéristiques parcellaires), la qualité et le degré d'information des données de chaque réseau sont différents. Globalement, la base de données SDCi est plus fiable et précise que la base ENI qui est moins complète concernant les pratiques culturales (rendements culturaux, dates d'interventions, type d'outils, relevés d'itinéraires techniques pour la saison 2014…) et dont les prélèvements n'ont pas toujours été effectués dans les conditions décrites par le protocole moutarde (arrachage de la végétation dans les placettes de prélèvement, réalisation des prélèvements durant l'après-midi ou encore au mois de mai, doc… ci-contre). De plus, les abondances des adultes et des juvéniles, ne sont pas disponibles pour les parcelles ENI.

### 2.3.3 Description des variables explicatives

Nous avons choisi d'étudier les abondances lombriciennes selon quatre axes :

-Les facteurs phytosanitaires
-Les facteurs de gestion des cultures et de la matière organique
-les facteurs liés au travail du sol
-les facteurs environnementaux (qualité physico-chimique)

Les variables explicatives sont issues de transformations des données brutes d'itinéraires techniques et d'analyses de terre, inspirées par la bibliographie. Par exemple, les fongicides ont été jugés défavorables aux populations lombriciennes, nous avons donc calculé l'IFT fongicide sur une période de temps. L'évolution des données brutes en facteurs à tester est résumée dans le tableau ci-après (Tableau 7).

Tableau 7: Récapitulatif des données brutes et des données transformées utilisées pour l'analyse

| | **Données brutes récoltées sur la période considérée** | **Indicateurs retenus durant la période considérée** |
|---|---|---|
| **Traitement phytosanitaires** | Nom du produit<br>Date<br>Dose appliquée par hectare | **IFT*** et **QSA*** par hectare et par famille chimique |
| **Gestion des cultures** | Rendement de la culture<br>Date de récolte<br>Devenir de la culture (exportés /laissés à la parcelle)<br>Amendement (type, date et quantité)<br><br>rotation<br>dates d'implantation<br><br>MS<br>travail du sol<br>Dates d'intervention | **Matière sèche organique (MS)** apportés à la parcelle (en tonnes)<br>**Amendement** : lisier, fumier<br><br>**Diversité de matière organique (divMO)**: nombre de cultures différentes)<br>**Couvert au prélèvement (Couv):** culture d'hiver, printemps, couvert intermédiaire, sol nu travaillé)<br><br>**Pourcentage de matière sèche enfouie profondément (%enf)** |
| **Travail du sol** | Type d'outil utilisé<br>Date d'intervention<br>Profondeur travaillée | **Travail du sol avant semis (Wsemis)** : labour, non labour, semis direct<br><br>**Proportion de techniques culturales simplifiées (%TCS)** entre 0 et cm de profondeur<br>**Total d'intervention sur la période (totW)**<br><br>**Durée entre le travail du sol et le prélèvement lombricien (duréeW)**<br><br>**Proportion de d'interventions pratiquées pendant une période défavorable (%défav)** |

Période de travail du sol favorables : Hiver (02/12 au 02/03) et Eté (01/06 au 15/09)
Périodes de travail du sol : Printemps (01/03 au 01/06 et Automne (15/09 au 01/12)

### 2.3.4 Création de trois jeux de données distincts

Nous avons déjà vu que les données ont été agrégées sur des périodes de un ou deux ans. La qualité de l'information est aussi à prendre en compte pour nos analyses. Les tableaux SDCi qui présentent des données homogènes

-« SDCi 1 an » pour celui qui couvre un an

- « SDCi 2 ans » pour celui qui couvre deux ans.

Enfin, nous avons créé un dernier tableau plus hétérogène comportant les données SDCi et ENI, sur une période de un an : « SDCi-ENI 1 an » . Ce dernier a pour avantage de présenter un plus grand nombre de parcelles (supérieur à 30).

## 2.4 Méthodes d'analyse des données

### 2.4.1 Analyses statistiques descriptives

Nous avons réalisé en première approche des statistiques très simple basées sur le calcul des moyennes et des écarts-types[13]. Une variable quantitative (par exemple le pH) peut être associée à une variable qualitative (par exemple type de sol). Nous pouvons alors calculer les moyennes et les écarts-types de la variable selon chaque modalité (Terre rouge, Groie, Bornais).

Le graphique boite à moustache, bien qu'il affiche la médiane et non pas la moyenne, est une méthode visuelle qui permet de bien résumer ce type d'information (Figure 6). En plus de représenter la dispersion en quantiles, il indique les individus extrêmes (n°14 sur le graphique), ce qui apporte une notion supplémentaire sur la dispersion du jeu de données. Un individu (ici une parcelle) constitué par des variables extrêmes peut être supprimé.

Des histogrammes de fréquences peuvent être crées, ils permettent d'avoir une vue d'ensemble de la variable quantitative (et de sa qualité) et d'estimer si elle suit une loi en particulier (loi normale loi de poisson, loi binomiale…) (Figure 7).

### 2.4.2 Identification de relations entre variables

Nous avons utilisé trois méthodes permettant d'étudier les relations entre une abondance lombricienne et une autre variable (qualitative ou quantitative.

Une Analyse en Composante Principales (ACP) construit le meilleur plan possible à partir d'un groupe de variables quantitatives. Chacune des variables est projetée dans ce plan et il est alors possible d'étudier le comportement des variables entre elles (sur un cercle des corrélations). Des variables illustratives (qualitatives ou non) peuvent également être ajoutées et permettre une compréhension plus fine. L'ACP peut également projeter les individus dans ce plan, et permettre l'identification (ou non) de groupes. Les barycentres de variables qualitatives peuvent être ajoutés pour identifier ces groupes. L'analyse combinée du cercle des corrélations et du nuage d'individus permet d'identifier les variables corrélées et leur signification dans le plan obtenu.

Pour quantifier la corrélation « deux à deux » entre plusieurs variables quantitatives, un test de Spearman est appliqué au groupe considéré. Les tables de Spearman (coefficients de corrélation et p-values) obtenues permettent entre-autres d'évaluer la relation entre deux variables et sa significativité.

[13] Un faible écart-type signifie que les données sont très homogènes, donc caractéristique de la variable étudiée. A l'inverse, s'il est grand, la variable est peu pertinente. Comparer des variables présentant de forts écart-types est délicat et les résultats seront discutables.

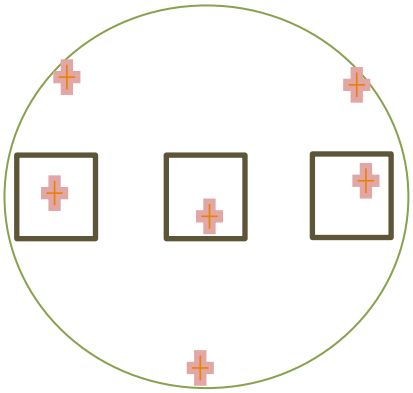


**Figure 5: Méthode de prélèvement des analyses de sol.** Schéma montrant la répartition des prélèvements d'échantillons de sol. Le cercle délimite l'aire autorisée de prélèvement, les carrés noirs représent les quadras où les prélèvements lombriciens ont été effectués.

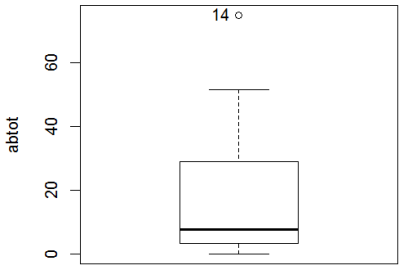



**Figure 6: Exemple de boîte à moustache.**

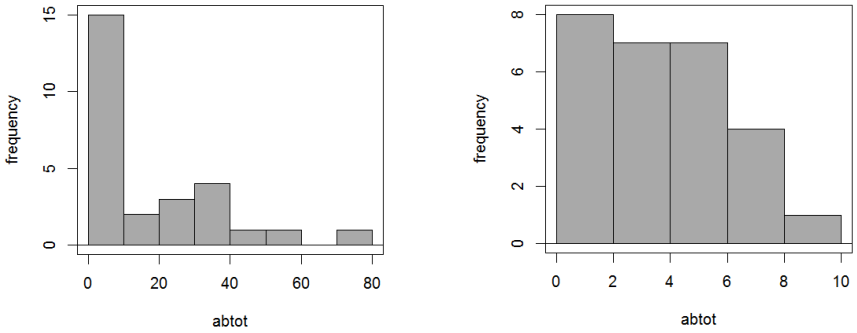



**Figure 7: Histogramme classique d'une variable (à gauche). Histogramme de la même variable transformé à la racine carrée (à droite)**

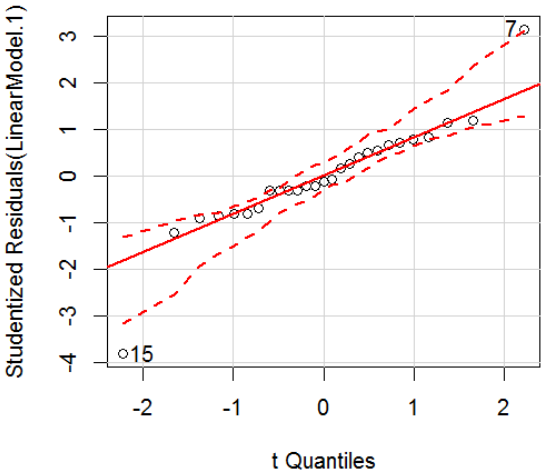



Figure 8: Graphique quantile-quantile des résidus d'une régression linéaire.

Enfin, une analyse de variance à un facteur (ANOVA) permet de linéariser la relation entre une variable quantitative à expliquer (abondance lombricienne par exemple) et une variable qualitative à expliquer. Nous avons fixé le seuil de risque à 5%. De même, les combinaisons de modalités sont testées (pH ~ sol de Groie, pH ~ sol de Terre rouge et pH ~ sol de Bornais par exemple). Pour valider une ANOVA, un test de normalité des résidus est nécessaire (graphique 8). Si le test est négatif (non obtention d'une droite), l'ANOVA ne peut être retenue. Dans ce cas, un test de Kruskal-wallis non paramétrique peut alors être effectué pour évaluer l'affinité entre les deux variables, bien qu'il reste très peu puissant.

### 2.4.3 Création de modèles linéaires par sélection descendante

L'étape précédente consistant à linéariser les relations entre une abondance lombricienne et un paramètre anthropique ou environnemental, il apparaîtrait logique de créer des modèles à deux, trois, quatre (et ainsi de suite) facteurs et d'identifier les meilleurs. La fonction statistique stepwise ascendante permet d'ajouter un à un des facteurs au modèle et de ne retenir que la meilleure combinaison. Malheureusement, elle n'est pas applicable dans notre cas, nous avons bien trop de variables à expliquer par rapport au nombre de parcelles prélevées (plus de 20).

Nous avons donc décidé de nous servir de l'ensemble des variables isolées à l'étape précédente et de leur appliquer la démarche suivante :

-Si deux variables explicatives sont fortement corrélées, il faut en supprimer une.

-Seules les variables indépendantes et significativement corrélées à la variable à expliquer sont conservées pour former un modèle linéaire.

-Une sélection descendante (qui évolue en supprimant une à une les variables non significatives) est ensuite réalisée, elle propose le modèle le plus significatif possible (selon le critère BIC) qui a uniquement conservé les variables et interactions de variables les plus significatives.

-Un test de normalité sur les résidus du modèle doit également être réalisé pour le valider (Figure 8). Si le test est négatif, une transformation de la variable à expliquer permet parfois de contourner le problème (passage au logarithme, à la racine carrée).

Cette démarche présente donc une limite : elle ne prend pas en compte des combinaisons de variables qui, séparément, n'étaient pas fortement liées à une abondance lombricienne, mais qui, combinées entre elles, pourraient l'être.

### 2.4.4 Test du modèle obtenu

Le modèle, sous forme linéaire (y= ax+bz+c) permet de simuler des abondances à partir des variables sélectionnées. Les données estimées sont alors confrontées aux données réelles avec un nuage de points. La valeur du $R^2$ de la droite de linéarisation indique la pertinence du modèle.

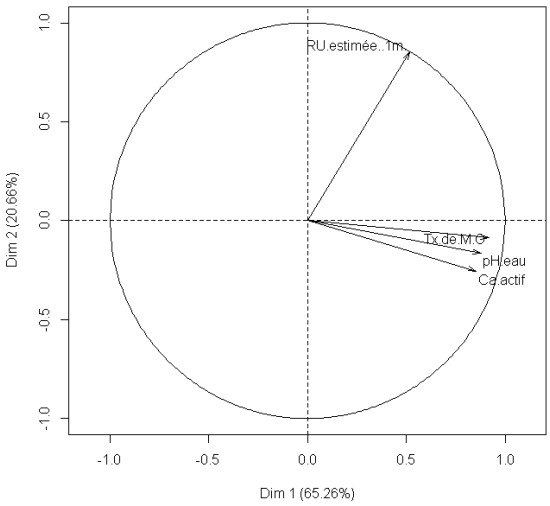



**Figure 9: Analyse en composantes principales sur les caractéristiques physico-chimiques du sol**

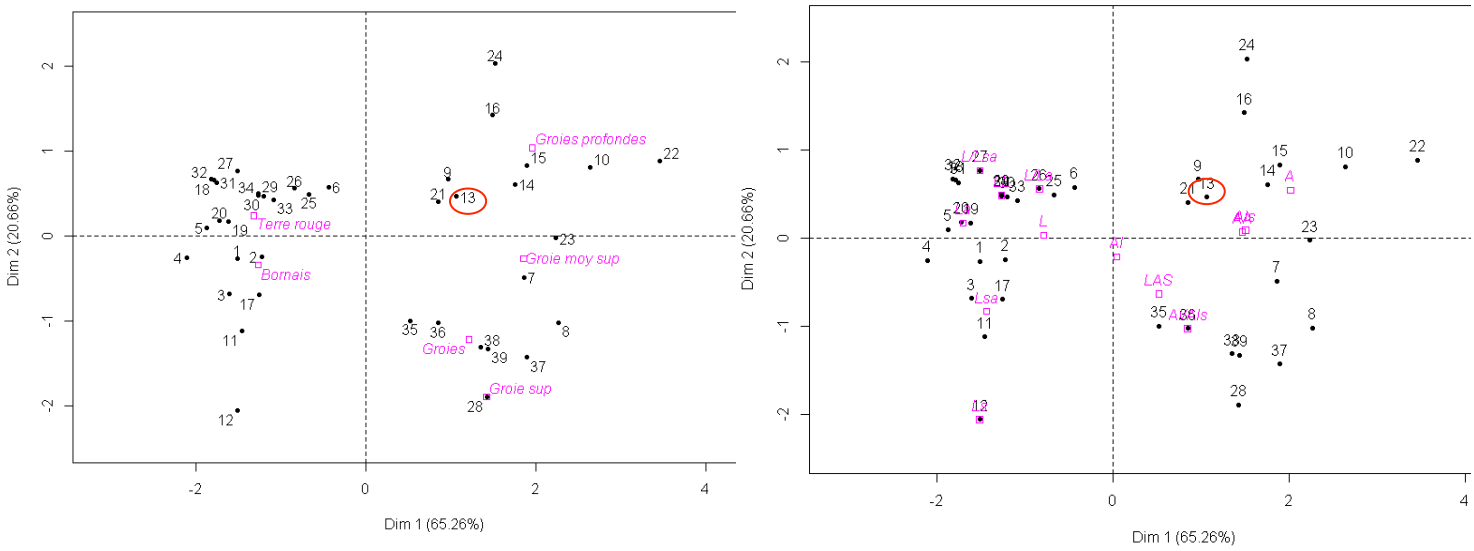



**Figure 10a et 9b: (a)Nuage d'individus des parcelles SDCi et ENI et barycentres des types de sol. (b) Nuage d'individus et barycentres des classes de texture des sols**

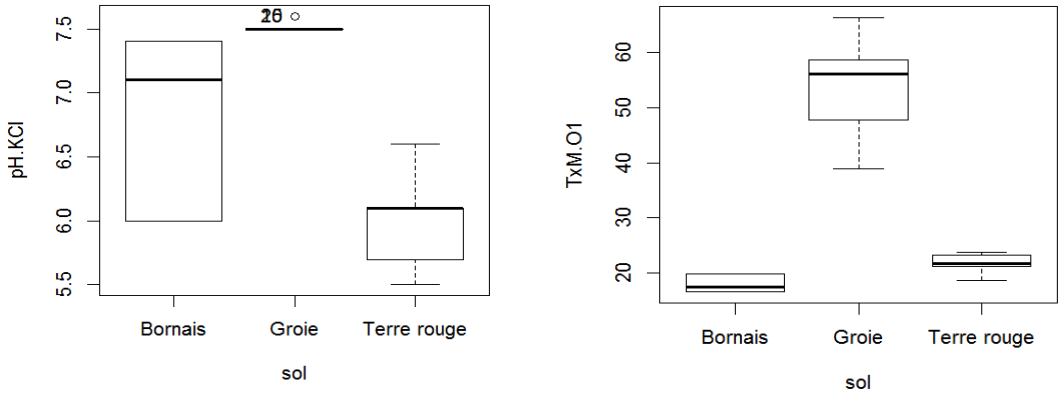



**Figure 11: Boîtes à moustaches représentant le pH et le taux de matière organique par type de sol**

## 3. Résultats des analyses d'abondances lombriciennes

### 3.1 Vérification de l'homogénéité des sols à partir des analyses de terre

Avant de commencer toute analyse de nos résultats, il nous faut vérifier si la classification par type de sol de nos parcelles est pertinente. L'ACP issue de la confrontation de toutes les données physico-chimiques sur l'ensemble des parcelles ENI et SDCI présente une inertie de 86% (figure 9). La variabilité expliquée par la projection de nos deux axes Dim1 et Dim2 est donc très intéressante. Le plus gros de l'information est représenté sur l'axe 1 (65.26%) (Figure 9)

Au regard de la place de chaque individu sur les nuages (Figure 10a), nous identifions que ce dernier oppose symétriquement un sol de pH neutre à légèrement acide, à faible teneur en Calcaire, à faible teneur en matière organique (MO) (terres rouges et bornais) face à un sol à pH très basique, très calcaire, à forte teneur en MO (groies). L'axe 2, qui présente une inertie de 20%, oppose les réserves hydriques fortes (au-dessus de l'axe des abscisses) aux plus faibles (en dessous). Les sols de terres rouges et de bornais ne se distinguent pas l'un de l'autre par leur réserve utile (qui reste globalement importante) tandis que les groies présentent au sein d'un même groupe, d'énormes variations de réserve utile (groies superficielles, groies, groies moyennement superficielles, groies profondes).

Le nuage d'individus de la figure 9b met en évidence les textures caractéristiques (classification GEPPA, voir Annexe VIII ) des parcelles prélevées. Les groies présentent des sols à tendance très argileuse tandis que les bornais et les terres rouges sont à dominance limoneuse. Une parcelle ENI (PCM1, numéro 13 entouré en rouge sur figures 9a et 9b) définie initialement comme terre rouge présente plutôt les caractéristiques de groies profondes (forts taux de matière organique, de calcaire, pH élevé et texture très argileuse), elle a donc été reclassée en groies.

Dans un souci de simplification pour les analyses statistiques à suivre, nous avons regroupé toute la diversité des groies en une seule Des ANOVA à un facteur reliant les variables à expliquer « pH », « taux de matière organique » et « taux de calcaire » au type de sol ont été réalisées. Elles ont montré respectivement des p-value et des $R^2$ de ($1.8.10^{-11}$, 0.7), ($1.6.10^{-15}$,0.81) et ($<2.2.10^{-6}$,0.87). Cela signifie que les valeurs prises par ces trois facteurs caractérisent en grande partie la variable sol et ses trois modalités. La Figure 11 montre que le pH est discriminant pour les terres rouges tandis que le taux de matière organique l'est pour les groies.

En résumé : les types de sols sont suffisamment homogènes dans leurs caractéristiques physico-chimiques pour conserver leur dénomination initiale (Terres rouges, Groies, Bornais) dans l'analyse qui suit.

Figure 12: Abondances lombriciennes moyennes par type de sol

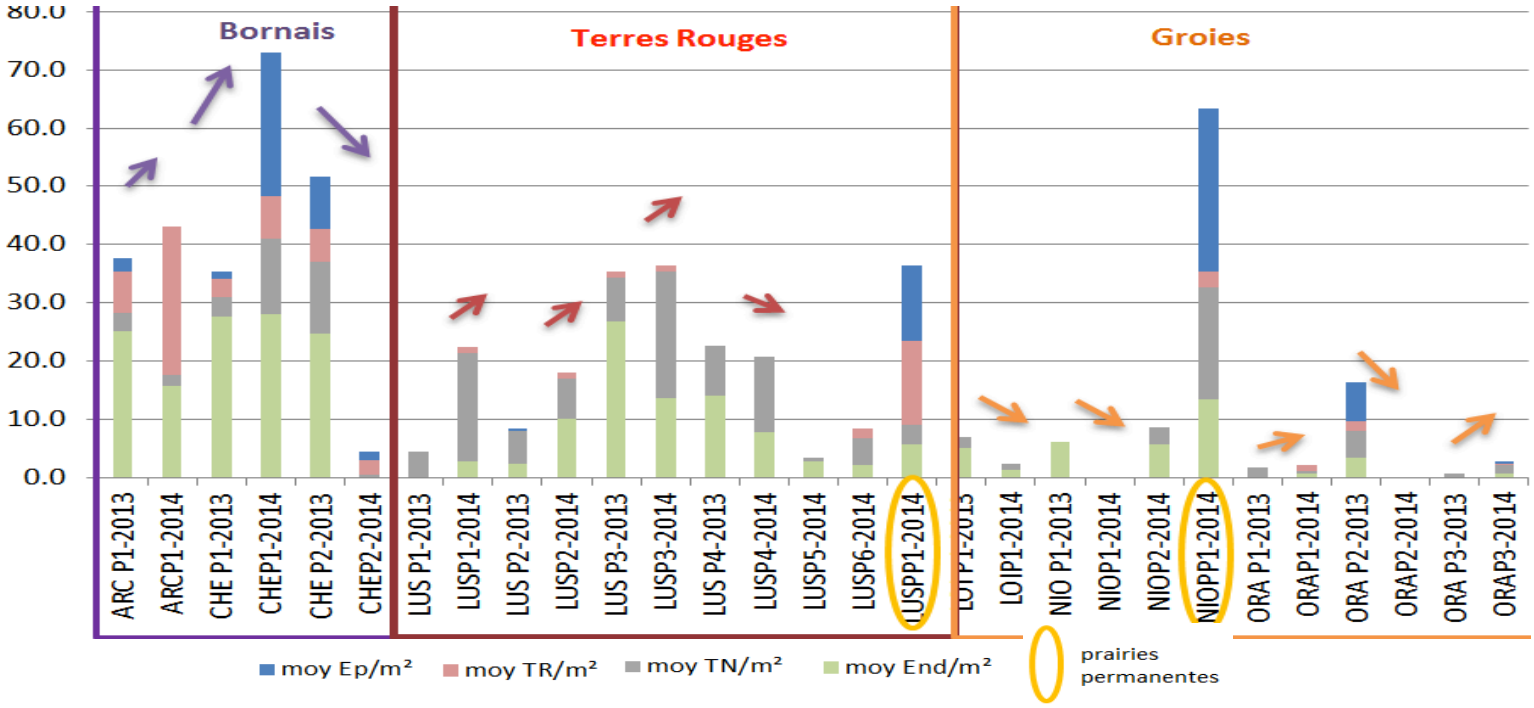
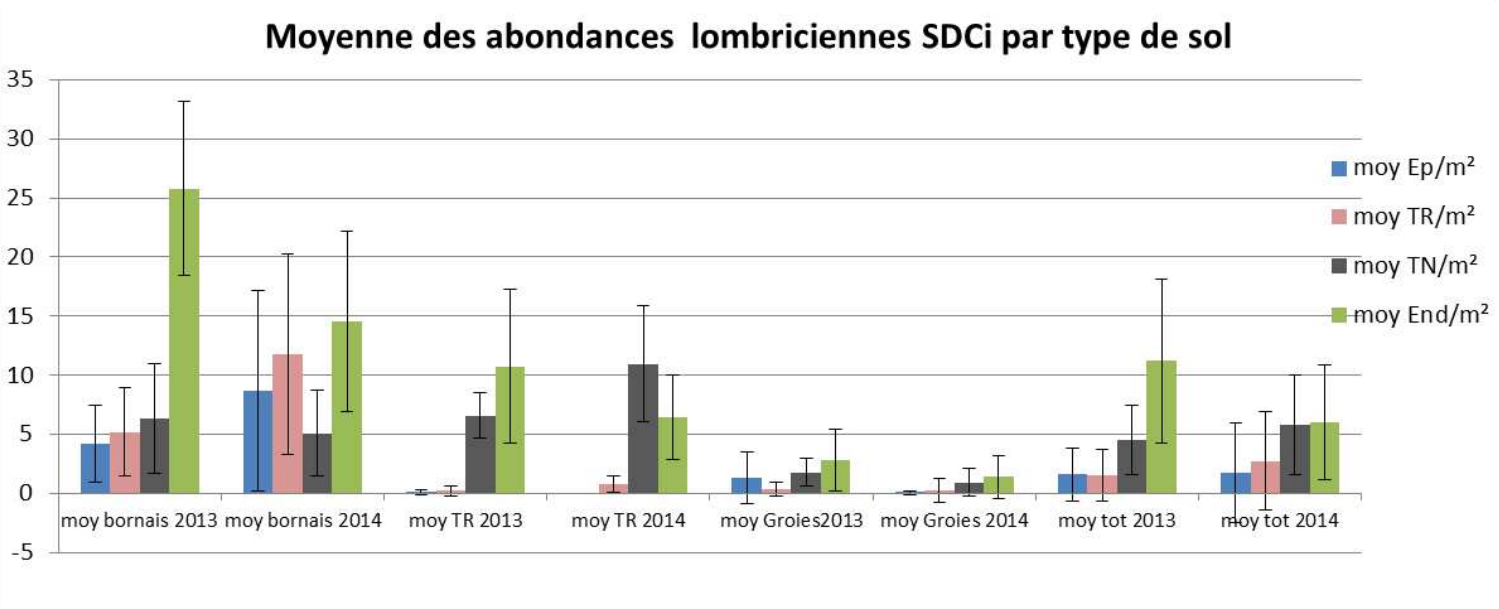



Figure 13: Abondances lombriciennes SDCi 2013-2014




| ① | Bornais | | Terres rouges | | Groies | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | moyenne | écart-type | moyenne | écart-type | moyenne | écart-type |
| Adultes | 16.2 | 13.6 | 6.8 | 4.5 | 2.7 | 3.6 |
| Juvéniles | 24.5 | 14 | 11 | 7.7 | 1.5 | 1.8 |

| ② | 2013 | | 2014 | |
|---|---|---|---|---|
| | moyenne | écart-type | moyenne | écart-type |
| Adultes | 8.4 | 7 | 6.3 | 10 |
| Juvéniles | 10.4 | 11 | 10 | 12.7 |

Tableau 8: Analyse descriptive des populations lombriciennes selon leur âge (adultes ou juvéniles) par type de sol et selon l'année de prélèvement

## 3.2 Arrêt sur les abondances lombriciennes

En première approche pour les abondances, nous avons choisi de nous concentrer sur les résultats SDCi qui ont l'avantage de présenter une évolution exploitable entre 2013 et 2014, puis de nous intéresser à la confrontation des données des deux réseaux (SDCi 2013, 2014 et ENI 2013). Ce paragraphe, résume simplement les observations faites sur nos deux réseaux de parcelles. Les questions de significativités statistiques seront abordées par la suite.

### 3.2.1 Abondances lombriciennes du réseau SDCi (2013 et 2014)

Les sols cultivés du réseau SDCi présentent sur les deux années une abondance moyenne totale de 17,6 ± 19,12 individus par mètre carré (ind/m²), les valeurs s'étendant de 0 à 75 ind/m².

Un « effet sol » semble se dégager (Figure 12). Les sols de Bornais présentant une abondance moyenne totale (41 ind/m²) nettement plus importante que les Terres rouges (18) et les Groies (4.5). Dans ce dernier groupe, il arrive qu'aucun ver ne sorte au prélèvement (NIOP1-2014 et ORAP2-2014).

D'une année sur l'autre apparaissent de fortes disparités (Figure 13). Sur certaines parcelles l'effectif général augmente (**ARCP1** (+5.3 ind/m²), **CHEP1 (+37.7)**, **LUSP1 (+18)**, LUSP2 (+9.7) ou diminue **(CHEP2 (-47.3 ind/m²)**, LOIP1 (-4.7), **ORAP2 (-16.3))**. En outre la biodiversité varie également beaucoup, avec l'apparition (têtes rouges sur LUSP1, têtes rouges sur LUSP2, endogés et têtes rouges sur ORAP1, endogés, têtes rouges et épigés sur ORAP3) ou la perte (épigés sur ARCP1, endogés sur CHEP2, épigés sur LUSP2, épigés, endogés et anéciques ORAP2) d'une ou plusieurs classes écologiques.

De plus, la composition moyenne des communautés (par sol et par an) présente aussi des variations. Si la part des endogés est omniprésente et dominante par rapport aux autres catégories (Figure 13 et Figure 12), elle est bien plus importante en 2013 (plus de 50% de l'abondance totale moyenne) qu'en 2014 (40%). La part de têtes noires est, elle, bien plus importante sur les Terres Rouges et vient même concurrencer la catégorie des endogés (60% de l'abondance totale en 2014, 40% en 2013), tandis que les têtes rouges, catégorie écologique la moins représentée après les épigés, semblent plus présents sur les Bornais (12% de l'abondance totale en 2013 contre 2% sur terres rouges et 4% sur Groies, 29% en 2014 contre 4% sur Terres rouges et 8% sur Groies). Nous remarquons que la présence de ces deux types d'anéciques est toujours opposée. Les épigés sont présents sur les Bornais et les Groies majoritairement.

Si l'on s'intéresse à la répartition des âges au sein des communautés lombriciennes (Tableau 8), les juvéniles sont presque deux fois plus importants sur les Bornais et les Terres rouges. A l'inverse, les adultes sont deux fois plus importants sur les Groies. Globalement, le nombre moyen total de juvéniles est constant sur les deux années (10 ind/m²), celui des adultes diminue légèrement (-2 ind/m²).

Des histogrammes réalisés sur l'ensemble des abondances lombriciennes montrent une grande présence de zéros. Si cela constitue bien un résultat, cela annonce d'éventuelles difficultés dans les analyses qui vont suivre. Les écarts-types liés aux abondances sont importants.

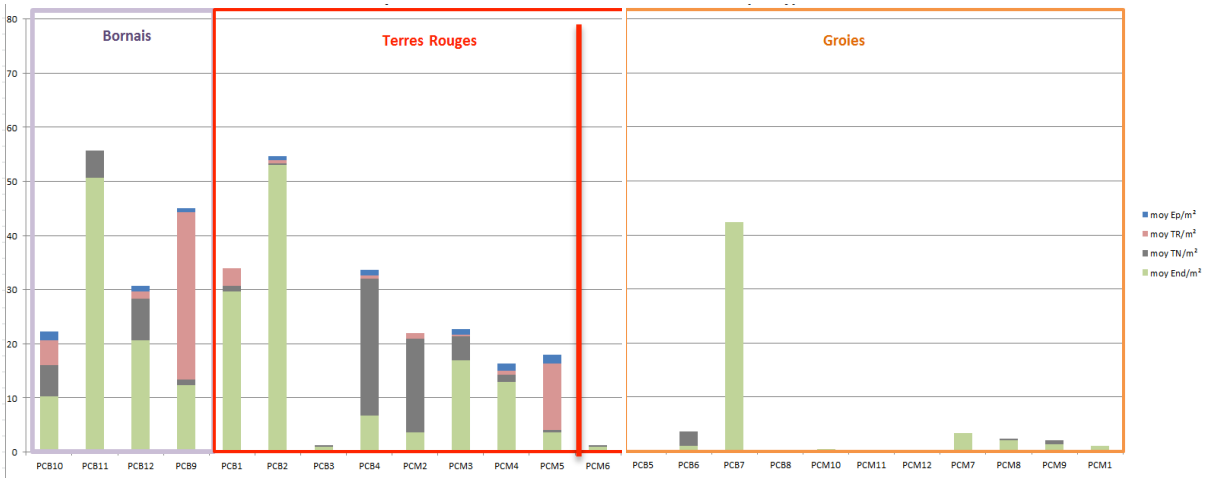



Figure 14: abondances lombriciennes moyennes ENI 2013

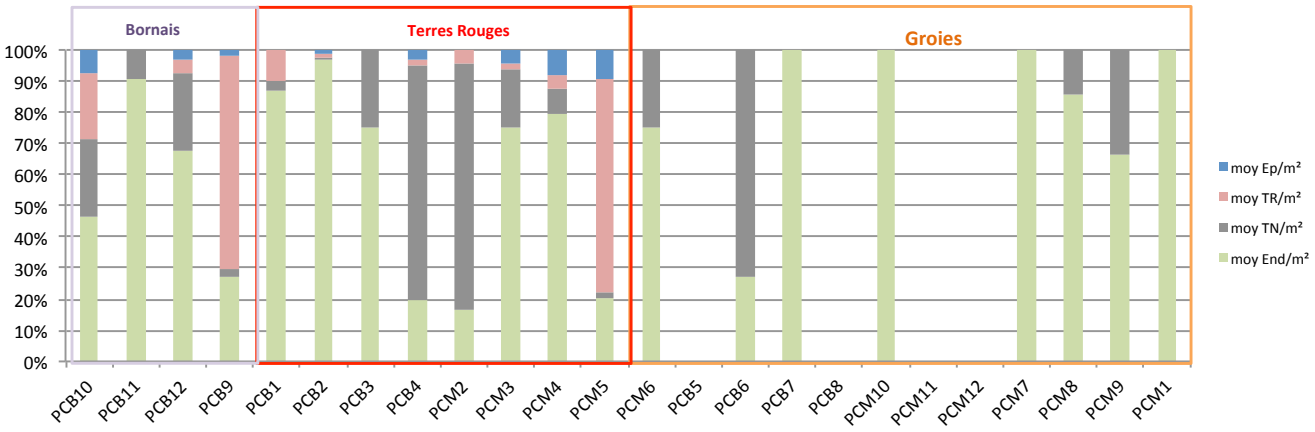



Figure 15: Pourcentage des abondances moyennes lombriciennes ENI 2013

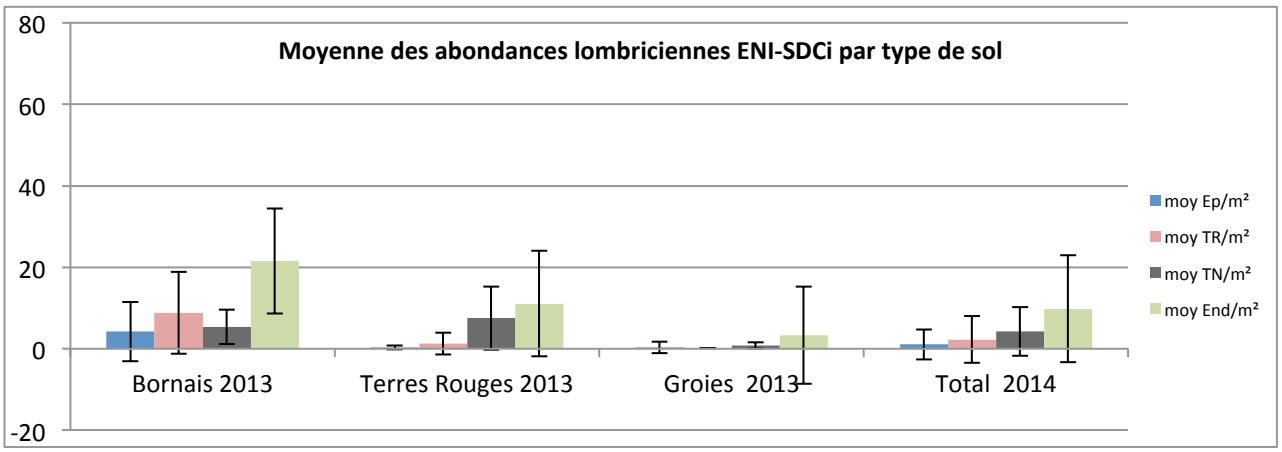



Figure 16: Abondances moyennes lombriciennes par type de sol

### 3.2.2 Abondances lombriciennes du réseau ENI 2013 et SDCi 2013-2014

La fusion des deux réseaux donne une moyenne totale de 17.39 ± 18.8 ind/m² quasi-similaire à celle issue du réseau SDCi, les valeurs minimales et maximales s'étendant de 0 à 56.

Un effet du sol sur les abondances totales et la répartition des classes écologiques est à nouveau discernable (Figure 16). Avec une abondance totale moyenne proche de 40 ind/m², les parcelles sur Bornais montrent un potentiel supérieur à celui des sols de Terres rouges (20 ind/m²) et des Groies (5 ind/m²).

La part des endogés est, pour chaque type de sol, très dominante (plus que pour les SDCi). Sur les parcelles ENI, cependant, d'autres catégories peuvent être ponctuellement majoritaires comme les têtes rouges (PCB9, pour les sols de Bornais et PCM5 pour les sols de Terres rouges), ou bien les têtes noires (PCB4 et PCM2 pour les sols de Terres rouges et PCB6 pour les sols de Groies) (Figure 14 et Figure 15). En moyenne sur l'ensemble du jeu de données, la portion des têtes rouges est supérieure à celle des têtes noires sur les Bornais tandis que l'inverse a lieu sur les Terres rouges. Les épigés, eux, sont bien moins représentés que sur les parcelles du réseau SDCi, leur nombre n'est jamais supérieur à 2 ind/m². Une autre remarque intéressante est qu'aucun tête rouge ni aucun épigé n'est sorti sur l'ensemble des parcelles de groies ENI qui peuvent aussi présenter des abondances nulles (PCB5, PCB8, PCM11, PCM12).

Plus de graphiques descriptifs sur les abondances lombriciennes sont disponibles en Annexe V.

**CE QU'IL FAUT RETENIR :**

- Les **endogés** sont **majoritaires**
- Les **têtes noires** sont plus importants sur les **Terres rouges**
- Les **têtes rouges** sont plus importants sur les **Bornais**
- Les **épigés** sont beaucoup plus présents sur les parcelles **SDCi** que sur les parcelles **ENI**
- Les **Juvéniles** sont plus importants sur **Bornais** et **Terres rouges**. Les **adultes** sont plus importants sur **Groies**.

A l'issue de cette étape, nous pouvons nous demander si une variation extrême d'abondance totale d'une année à l'autre, une perturbation de l'équilibre des catégories écologique ou une prédominance d'une catégorie par rapport à une autre peuvent être expliquées statistiquement par l'effet d'un ou d'une combinaison de facteur(s) en particulier ?

### 3.2.3 Détail des données explicatives

#### 3.2.3.1 Données liées au travail du sol

Un résumé des profils de chaque parcelle (opérations culturales, rotation, sol) utilisée dans les analyses est présenté (annexe IV). Les données du réseau SDCi ne distinguent pas vraiment les pratiques les unes des autres sur les trois types de sol (sauf peut-être les Bornais qui sont travaillés avec des outils plus profonds (nombres moyens de TCS plus faibles pour « SDCi 1 an » (1.6 TCS sur 4 passages totaux) et « SDCi 2 ans » (3.1 TCS sur 7.5 passages)).

La moyenne par type de sol de la durée entre le prélèvement des vers de terre et le dernier travail du sol est, pou le réseau SDCi, de 6.6 mois sur les Bornais, 5 mois sur les Groies et 3.3 sur les Terres rouges. Dans le réseau ENI, la valeur la plus élevée est également pour les Bornais (6) tandis qu'elle est de presque 4 pour les autres sols.

Figure 17: Moyennes de travaux du sol sur SDCi 1an et SDCi 2ans

SDCi 2ans

| | totW | nbTCS | nb défavorables |
|---|---|---|---|
| bornais | 7.5 | 3.16666667 | 5.333333333 |
| groies | 6.63636364 | 4.54545455 | 3.545454545 |
| terres rouges | 8.4 | 4.7 | 5.5 |

ENI

| | totW | nbTCS | nb défavorables |
|---|---|---|---|
| bornais | 2.75 | 2 | 2.25 |
| groies | 4.58333333 | 9.16666667 | 7.583333333 |
| terres rouges | 3.625 | 2.375 | 2.375 |

| | moy duréeW SDCi | moy durée W ENI |
|---|---|---|
| bornais | 6.636550308 | 6.036960986 |
| groies | 4.883330222 | 3.909090909 |
| terres rouges | 3.370841889 | 3.7 |

SDCI 1an

| | totW | nbTCS | nb défavorables |
|---|---|---|---|
| bornais | 4 | 1.66666667 | 3 |
| groies | 3.90909091 | 3 | 2.272727273 |
| terres rouges | 3.7 | 2.1 | 2.3 |

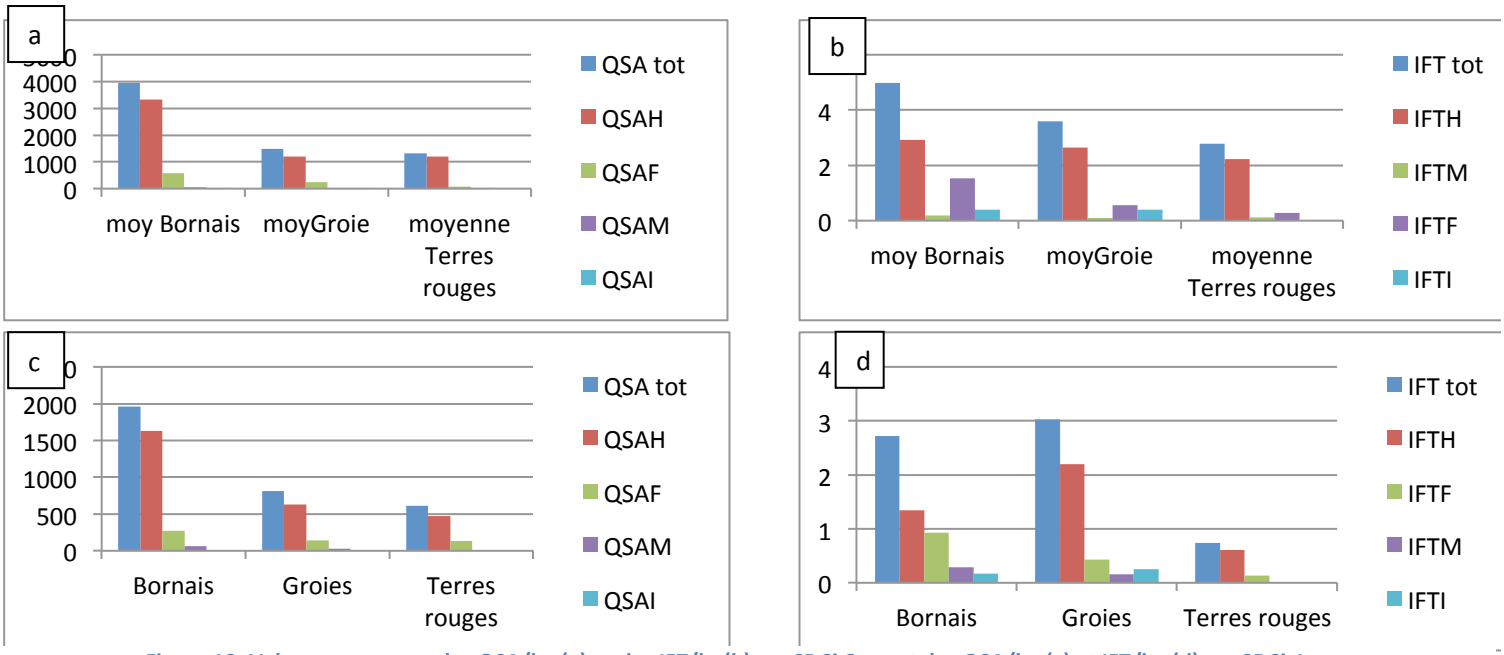



Figure 19: Valeurs moyennes des QSA/ha (a) et des IFT/ha(b) sur SDCi-2ans et des QSA/ha (c) et IFT/ha (d) sur SDCi-1an

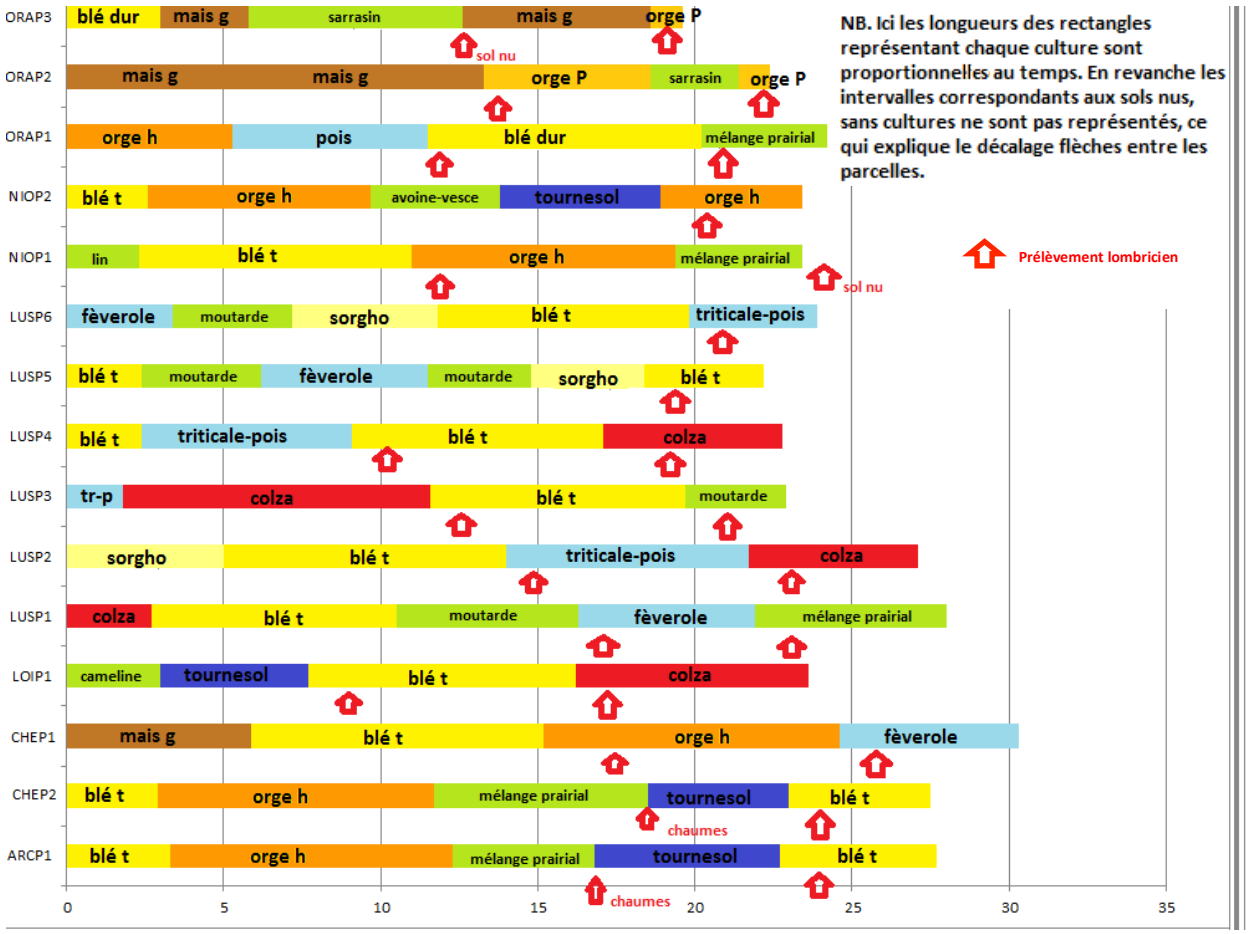



Figure 18: Rotations culturales depuis 2011 sur les parcelles SDCi

#### 3.2.3.2 Données liées à la gestion de la matière organique

Les amendements, la masse de matière sèche totale rendue à la parcelle (amendement et résidus de culture) ainsi que le détail de la rotation sont les descripteurs que nous avons retenus pour décrire la gestion de la matière organique. Les détails figurent en annexe IV. Nous développerons l'importance du couvert au prélèvement (flèches rouges sur figure) dans la partie analyse des résultats.

#### 3.2.3.3 Données liées aux traitements phytosanitaires

En moyenne, sur « SDCi 1 an » et « SDCi 2 ans », l'IFT et le QSA totaux sont construits en très grande majorité par l'apport d'herbicides. Les fongicides, les molluscides et des doses anecdotiques d'insecticide (généralement en traitement de semences) viennent compléter ces indicateurs. Globalement, les sols de Bornais présentent les plus grands IFT et QSA (total, herbicide, fongicide et insecticide), les sols de Groie arrivent en deuxième position (sauf pour le jeu de données « SDCi 1 an », les IFT total et herbicide sont plus élevés que ceux des Bornais (3 et 2.1 contre 2.7 et 1.27)). Les Terres rouges affichent toujours les IFT et QSA les plus bas.

Le jeu de données ENI n'affiche pas les mêmes résultats. Les plus grands IFT (total, herbicide et fongicide) sont détenus par les Terres rouges, puis les Groies, puis les Bornais. L'ordre change pour les QSA, les plus élevés sont ceux des Groies, puis Bornais et Terres rouges sont à égalité. La présence des insecticides sur les Groies et les Terres rouges et des molluscides sur les Terres rouges reste anecdotique, surtout en termes de QSA.

A titre de comparaison, les IFT et QSA moyens totaux des réseaux SDCi 2013 et ENI 2013 sont respectivement de (2.26 et 984.85) et (2.1 et 900).

### 3.2.4 Sélection des variables explicatives et création de modèles linéaires

#### 3.2.4.1 Sélection des variables explicatives quantitatives et qualitatives

Les corrélations de spearman appliquées aux variables quantitatives et les ANOVA à un facteur appliquées aux variables qualitatives (ou test de Kruskal-Wallis en cas de non normalité des résidus) ont permis d'isoler des variables qui auraient un lien significatif avec nos abondances. L'ensemble de celles-ci est représenté dans le Tableau 9.

Globalement, à l'analyse de ce tableau, nous pouvons constater que certaines variables ressortent pour chaque catégorie d'abondance et dans les trois jeux de données (durée depuis le dernier travail du sol, pourcentage de techniques culturales simplifiées, couverture du sol au prélèvement et type de sol).

Les **traitements phytosanitaires** semblent plus ressortir des jeux de données couvrant les pratiques anthropiques sur une **seule année**, en particulier pour le cas des variables d'abondance « têtes noires » et « abondance totale ». Le traitement statistique sur SDCI 2ans identifie tout de même la quantité de substance active fongicide pour expliquer les variations d'abondance des épigés. Si les **traitements molluscides** semblent particulièrement affecter les abondances de **têtes rouges** (pour les trois jeux de données), les **têtes noires** seraient, eux, plus sensibles aux **traitements fongicides.**

Savoir en quoi nos facteurs identifiés affectent les abondances lombriciennes se révèle fondamental. Par manque de place, l'ensemble des tableaux de résultats statistiques comprenant les coefficients estimés, les p-values et les $R^2$ sont présentés en annexe VII. Nous en faisons ici un résumé :

| | SDCi 1an | SDCi 2ans | SDCi-ENI 1an |
|---|---|---|---|
| Abondance totale | • Durée depuis dernier travail du sol (duréeW)<br>• % de passages en TCS (%TCS)<br>• IFT herbicide (IFTH)<br>• QSA molluscides (QSAM)<br>• Couverture du sol au prélèvement (couv)<br>• Type de sol (sol) | • duréeW<br>• %TCS<br>• Couv<br>• Sol<br>• Diversité de matière organique (divMO) | • duréeW<br>• %TCS<br>• IFTH<br>• QSAM<br>• Couv<br>• Sol |
| Epigés | • duréeW<br>• Sol<br>• couv | • duréeW<br>• QSAF<br>• Sol<br>• Couv | • duréeW<br>• Couv<br>• Sol |
| Têtes rouges | • %TCS<br>• IFTM<br>• QSAM<br>• Couv<br>• Sol | • IFTM<br>• QSAM<br>• Couv<br>• Sol | • %TCS<br>• IFTM<br>• QSAM<br>• Sol |
| Têtes noires | • total de passages pour le travail du sol (totW)<br>• IFTH<br>• IFT fongicides (IFTF)<br>• QSA fongicides (QSAF)<br>• couv<br>• sol | • Couv<br>• Sol | • totalW<br>• IFTH<br>• IFTF<br>• QSAF<br>• Couv<br>• Sol |
| Endogés | • duréeW<br>• %TCS<br>• Couv<br>• Sol | • duréeW<br>• %TCS<br>• % de travail du sol pendant les périodes défavorables (% défav)<br>• Couv<br>• Sol | • duréeW<br>• %TCS<br>• Couv<br>• Sol |
| Adultes | • duréeW<br>• %TCS<br>• Couv<br>• Sol | • duréeW<br>• %TCS<br>• Couv<br>• Sol<br>• divMO | |
| Juvéniles | • %TCS<br>• IFTH<br>• QSAM<br>• Couv<br>• Sol<br>• Wsemis | • %TCS<br>• %défav<br>• IFTF<br>• Couv<br>• Sol<br>• divMO<br>• Wsemis | |

**Tableau 9: Facteurs sélectionnés par analyses statistiques.**

- Les variables « DuréeW », « IFTM », « QSAM » et « % défavorables » possèdent des **coefficients de spearman positifs**, c'est-à-dire que l'augmentation de leurs valeurs et liée à L'augmentation de la variable d'abondance considérée, (corrélation positive). En d'autres termes, il s'agit de **facteurs favorables**.
- A l'inverse, «%TCS », « IFTF », « IFTH », «QSAF », «QSAH», «totW», sont corrélés **négativement** aux abondances, ils sont **défavorables**.
- A la lecture des tableaux ANOVA, les Bornais sont les sols les plus favorables, puis ce sont les Terres rouges et enfin les Groies. Les couvert végétaux qui favorisent le plus les abondances de vers de terre sont tantôt les cultures d'hiver, tantôt les cultures intermédiaires (implantées à des périodes similaires aux cultures d'hiver). Les sols nus sont les plus pénalisants avant les couverts de printemps. Le travail avant semis favorise les têtes rouges et épigés lorsqu'il s'agit de labour, puis de techniques culturales simplifiées et enfin de semis direct. La diversité de matière organique tend à favoriser les abondances de vers lorsqu'elle est élevée). La diversité de la M.O est globalement favorable pour des valeurs élevées.

#### 3.2.4.2 Présentation des modèles linéaires de l'abondance lombricienne totale

Nous n'avons modélisé que la variable « abondance totale » à partir des jeux de données SDCi 1 an et SDCi 2 ans. Ce choix est en partie dû à un manque de temps, nous avons choisi cette variable car elle représente la combinaison linéaire de toutes les autres abondances. Dans une démarche prospective, nous avons testé la variable normalisée (à la racine carrée), et non normalisée. La normalisation s'est avérée décevante et le modèle trop peu pertinent, nous vous présentons donc le modèle non normalisé. Nous avons choisi de ne pas prendre en compte les interactions, le nombre de paramètres à estimer était alors de 21 pour 27 données, ce qui était bien trop juste (Figure 20).

#### 3.2.4.3 Confrontation du modèle « abtot » à des données réelles

Nos modèles sont intéressants, ils captent à chaque fois plus de 60% de la variabilité présente dans nos jeux de données SDCi. Pour aller plus loin, nous avons voulu les confronter à des données réelles. D'abord les données SDCi, puis des données qui n'ont pas servi à leur construction, les données ENI 2013 seules (Figure 20).

Nous pouvons constater que :

- les modèles simulent bien les données qui ont servi à leur construction ($R^2$ proches de 0.7) (Figure 21), même s'ils ont tendance à sous-estimer les parcelles sur Groies avec une grosse production de zéros.
- « abtot 1 an » et « abtot 2ans » s'adaptent médiocrement au jeu de données ENI ($R^2$ de 0.3), ils ont tendance à sous-évaluer les parcelles sur Groies et Bornais et à surévaluer les parcelles sur Terres rouges.

Pour le jeu de données SDCi 1 an (nommé « abtot 1an »):

$abtot \sim dur\acute{e}eW + QSAM + sol$ **soit** :

$$\begin{cases} Y_{bornais} = 23.38 + 2.06(x_{duréeW}) + 0.06(x_{QSAM}) \\ \begin{cases} Y_{groie} = -27.52 + 0.3(x_{duréeW}) + 0.06(x_{QSAM}) \\ Y_{groie} = 0 \text{ si } Y_{groie} < 0 \end{cases} \\ \begin{cases} Y_{terres\ rouges} = 22.69 + 0.3(x_{duréeW}) + 0.06(x_{QSAM}) \\ Y_{terres\ rouges} = 0 \text{ si } Y_{terres\ rouges} < 0 \end{cases} \end{cases}$$

Le modèle est statistiquement significatif, le $R^2$ est de 0.63 tandis que le degré de liberté est de 22.

Pour le jeu de données SDCi 2 ans (nommé « abtot 2 ans ») :

$abtot$ ~ duréeW+ sol **soit** :

$$\begin{cases} Y_{bornais} = 4.33 + 2.06(x_{duréeW}) \\ \begin{cases} Y_{groie} = 0.39 + 2.06(x_{duréeW}) \\ Y_{groie} = 0 \text{ si } Y_{groie} < 0 \end{cases} \\ \begin{cases} Y_{terres\ rouges} = 3.11 + 2.06(x_{duréeW}) \\ Y_{terres\ rouges} = 0 \text{ si } Y_{terres\ rouges} < 0 \end{cases} \end{cases}$$

Le modèle est statistiquement significatif, le $R^2$ est de 0.65, le degré de liberté est de 23.

**Figure 20: Modèles linéaires issus de la sélection descendante.**

# 4. Discussion

## 4.1 Analyse des résultats obtenus

Nous reprendrons dans cette sous-partie les résultats par étapes chronologiques.

### 4.1.1 Discussion sur les abondances lombriciennes observées

#### 4.1.1.1 Que dire des moyennes générales lombriciennes obtenues ?

Un premier point intéressant à propos de nos résultats est l'abondance moyenne d'environ 17 individus par m². Est-ce un chiffre normal ? Une abondance peut énormément varier en fonction du type de sol, de la région prélevée, de la méthode d'extraction utilisée (Pelosi, 2014). Le rapport du RMQS (Bellido et al., 2009) par exemple, isole en moyenne 260±232 ind/m² avec une méthode combinée (formol et tri manuel) contre 96±82 ind/m² avec la méthode formol. Il est à noter également que ces prélèvements ont eu lieu sur grandes cultures mais aussi sur prairies et en forêt. Nos résultats moyens sont relativement faibles, cependant avant de tirer une conclusion, il serait intéressant d'utiliser d'autres méthodes que celle de la moutarde sur notre région afin de comparer nos résultats locaux et de prendre plus de recul.

#### 4.1.1.2 Pourquoi obtenons-nous des abondances nulles ?

Certaines parcelles de Groies présentent des abondances moyennes nulles. Quelques hypothèses peuvent être émises. Est-ce la méthode moutarde qui fonctionne mal (le principe actif pourrait-être moins efficace à pH très basique ou l'infiltration serait un peu moins bonne dans des sols superficiels très caillouteux) ? Peut- être que ces sols sont inhospitaliers pour les communautés lombriciennes (pH trop élevé, trop grosse densité de cailloux, sols séchants) ou encore que ce type d'environnement protège moins les vers de terre de l'action de l'homme (moindre résistance physique, rétention de certaines substances toxiques…). La prairie permanente NIOPP1 sur Groies atteste qu'il est possible de trouver une abondance et une richesse écologique forte sur ce type de sol. La condition serait alors de laisser se développer un couvert permanent et de limiter au maximum le travail du sol (Jossi W., 2011). Le semis direct sous couvert, pratiqué sur ORAP2 en 2013, en comparaison avec les autres parcelles SDCI cultivées semble également avoir profité aux populations de vers de terre.

#### 4.1.1.3 La prédominance des endogés

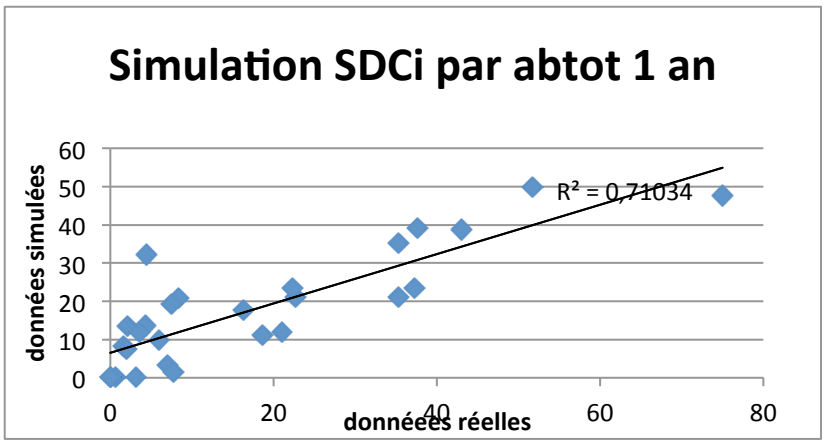
La prédominance et l'omniprésence quasi systématique de la catégorie des endogés sur nos sols conduit à un équilibre fort différent de celui des prairies permanentes NIOPP1 et LUSPP1 (où les catégories épi-anéciques représentent 50% et 75% de l'abondance totale), Ce fait met en évidence un stress anthropique plus impactant pour les catégories épi-anéciques, ce qui est confirmé par la bibliographie[14]. Nous pouvons supposer que la proportion d'endogés (et donc indirectement l'abondance) est défavorisée lorsque la pression anthropique diminue.

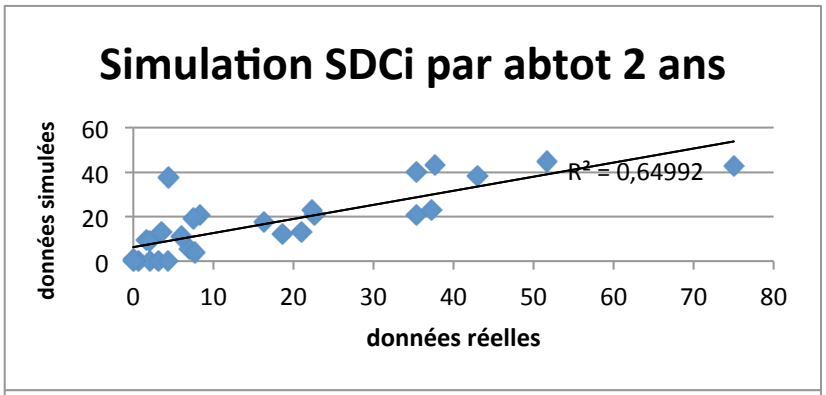
#### 4.1.1.4 La présence/absence des épigés

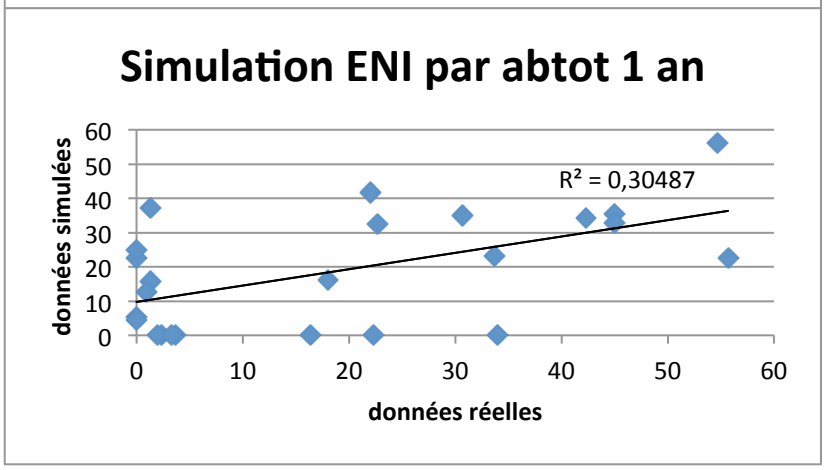
Nous avons noté une présence ponctuelle des épigés sur les réseaux SDCi et ENI. Leur abondance est bien plus importante sur le réseau SDCi que sur le réseau ENI Les trois jeux de données nous ont permis d'isoler les facteurs « duréeW », « sol » et « couv ». Cette catégorie vivant en surface est très sensible au couvert mis en place (protection physique et nourriture), au travail du sol, même superficiel (ce qui explique leur absence des Terres rouges SDCi) et à l'aspertion phytosanitaire

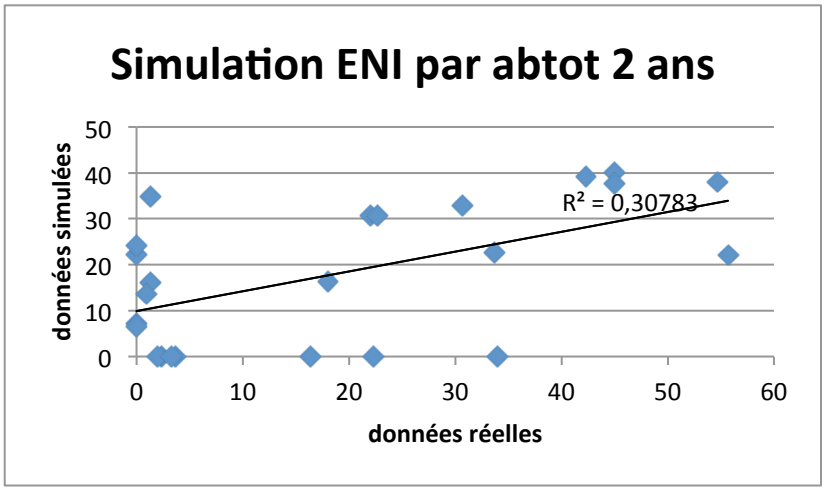
[14] De petite taille et vivant à une trentaine de centimètres de profondeur un endogé, serait moins exposé aux outils de travail du sol et aux substances toxiques épandues en surface que les épigés et les anéciques (de grande taille)

Figure 21: Simulations de données avec abtot 1an et abtot 2 ans



directe. C'est ce qui expliquerait sa forte présence sur les cultures longues (hivernales type colza ou couvert végétal). En ce sens, le semis direct sur ORAP2 en 2013 a sans doute beaucoup favorisé leur prolifération puisque leur proportion a atteint presque celle de la prairie permanente de même type de sol : NIOPP1.

#### 4.1.1.5 L'opposition entre la présence des anéciques têtes rouges et des anéciques têtes noires

Chaque sous-catégorie est sensible à un facteur du travail du sol (%TCS pour les têtes rouges, totW pour les têtes noires) et un facteur phytosanitaire (molluscides pour les têtes rouges et herbicides-fongicides pour les têtes noires). Un point intéressant est l'effet positif des molluscides sur les abondances de têtes rouges. Nous avons trouvé peu d'informations sur l'effet de cette famille chimique, aucune n'évoquait une haute toxicité. Nous pouvons supposer que les granulés molluscides ont pour seul effet direct un effet nutritionnel (les têtes rouges ne se nourrissant qu'en surface). Seule une étude à long terme sur une même parcelle pourrait nous informer sur d'éventuels effets indirects néfastes. Les têtes noires sont statistiquement très sensibles aux fongicides, ce facteur semble être en bonne partie à l'origine de l'opposition tête-rouges-têtes noires observée.

#### 4.1.1.6 Comment interpréter les abondances par classe d'âge ?

D'un point de vue dynamique des populations, une forte présence de juvéniles (comme c'est le cas sur les Bornais et les Terres rouges), pourrait indiquer une mortalité importante des adultes, compensée à l'instant du prélèvement par le renouvellement de la population (fort taux d'éclosion). Nous pourrions l'associer à un facteur négatif direct, causant une mort rapide des adultes, comme le passage d'un outil mécanique ou d'une charrue. A l'inverse, une forte présence d'adulte (comme c'est le cas sur les Groies) pourrait sous-entendre un problème de renouvellement de population (fertilité, taux d'éclosion, développement…), la cause serait alors plus indirecte (toxicité à long terme d'une substance chimique par exemple). Pouvons-nous pour autant reporter ces hypothèses dans notre situation ? Actuellement, nous ne disposons pas d'assez de données pour pouvoir y répondre, mais il s'agit d'une piste à creuser. En dernière remarque, les juvéniles, plus sensibles en théorie que les adultes, présentent en effet pour leur abondance plus de facteurs de perturbation à la sortie de notre analyse, que les adultes.

### 4.1.2 Discussion sur les analyses statistiques et leur interprétation

#### 4.1.2.1 La pertinence de certaines variables retenues par l'analyse statistique

Certains résultats entrent en contradiction avec nos attentes et la bibliographie. Par exemple, le travail superficiel du sol, s'il augmente, devient défavorable aux populations. De même, le labour (Wsemis), décrit comme le plus préjudiciable des travaux dans la bibliographie, apparait comme le travail avant semis le plus favorable (contrairement au semis direct). Peut-être le contexte n'est-il pas adapté. Un labour avant semis peut « passer inaperçu » si il est effectué en hiver ou en été (semis culture d'hiver ou couvert intermédiaire)). Les interactions « Wsemis : couv » ou « Wsemis : duréeW » seraient une piste à creuser. Malheureusement, nous disposons de seulement 27 individus et ajouter à notre régression des interactions en plus des facteurs qualitatifs (dont chaque modalité enlève déjà un degré de liberté) ferait chuter le degré de liberté total et donc la pertinence de notre test.[15]

Le passage au pourcentage semble changer le sens des données (%TCS, %défav). Dans tous les cas, nous réfutons ces résultats qui sont trop peu pertinents. Enfin, certaines modalités ne ressortent pas

[15] Dans le cas de la sélection du modèle SDCI 1 an « abtot », si nous avions conservé les interactions, nous devions estimer 21 paramètres à partir de 27 individus (degré de liberté de 6), ce qui est beaucoup trop important.

à l'analyse, cela est dû à leur sous-représentativité (le semis direct pour le travail au semis n'apparait qu'une fois).

#### 4.1.2.2 La valeur prédictive du modèle

Le $R^2$ de 0.3 obtenu lorsque nous lui avons soumis nos modèles « abtot-1 an » et « abtot-2 ans » aux données ENI (seules deux abondances sur 23 ont été estimées proches de la réalité) montre le manque de valeur prédictive du modèle. Si le modèle a été correctement construit à partir des données SDCi ($R^2$ de 0.7), sa qualité est très limitée par le faible nombre d'individus qui ont servi à sa construction.

#### 4.1.2.3 Sur quelle durée de temps nous baser pour étudier nos facteurs ?

Au regard des différents résultats obtenus selon la période de recueil de données considérée, nous ne pouvons affirmer qu'une durée est meilleure qu'une autre. Il s'agit là d'un phénomène complexe qui dépend certainement du facteur considéré (l'impact d'un travail du sol n'aura certainement pas la même portée qu'une substance chimique tout comme la communauté lombricienne n'aura pas la même résilience face à tel ou tel facteur) et du type d'effet (direct ou indirect). Déterminer pour chaque facteur si le recueil des données de pratiques agricoles doit se faire à court-terme ou à long-terme (voire déterminer la période exacte à prendre en compte) serait à nouveau une piste à explorer.

#### 4.1.2.4 Identification du facteur le plus préjudiciable

Les facteurs liés au travail du sol retenus sont « totw », « duréeW » et « Wsemis ». A l'observation des résultats, au carrefour entre le travail du sol et la gestion de la matière organique, une interaction de facteurs pourrait apporter d'avantage d'information au modèle. Les parcelles combinant (duréeW< 3), (Wsemis= labour) et (couv = culture hiver ou culture intermédiaire) présentent en effet des abondances majoritairement nulles (Annexes IV). Malheureusement, comme nous l'avons déjà dit, il ne nous est pas aujourd'hui possible d'explorer les interactions. Il se pourrait que cela soit le plus gros point faible de notre modèle.

Les sols de Bornais présentent les plus fortes abondances lombriciennes. Ce phénomène semble être lié en majorité au type de sol et la variable « duréeW » qui est la plus élevée sur les deux réseaux. Les doses élevées de traitements phytosanitaires semblent n'avoir qu'un faible impact.

Nous pouvons finalement nous demander si notre étude ne viendrait pas appuyer la théorie du travail du sol comme facteur le plus limitant (voir Partie bibliographie). Les traitements phytosanitaires ne seraient-ils pas moins néfastes que le travail du sol.

## 5. Limites et perspectives

### 5.1 L'imprécision de la méthode de prélèvement lombricien

D'un point de vue global, la première limite qu'il est nécessaire d'aborder est celle des méthodes de prélèvements lombriciens qui existent et, entre autres, de la méthode moutarde. Au cours de la lecture d'études réalisées en plein champ et lors de l'acquisition de nos données, il est impossible de ne pas remarquer l'importance des écarts-types. Les méthodes de prélèvement actuelles ne sont pas capables de cerner l'homogénéité de la communauté d'une parcelle et semblent soumises à la probabilité de « tomber » sur une population regroupée. Capowiez (2009) en vient à discuter la pertinence des communautés de vers comme bioindicateurs pour cette même raison. L'efficacité qui varie en fonction du type de sol constitue également un problème. Il apparaît important de travailler à améliorer notre capacité à estimer ces communautés sous-terraines (et par exemple à adapter une méthode efficace pour un type de sol).

### 5.2 L'imprécision du réseau ENI et l'hétérogénéité des protocoles « inter-réseau »

Une seconde limite, non moins importante à évoquer est la méthodologie développée par le réseau SBT-ENI. En effet, il est toujours intéressant de vouloir capter un grand non d'observations, mais comment les valoriser si leur exploitation n'a pas été réfléchie en amont ? conséquences en sont les difficultés auxquelles nous avons été confrontés, à savoir des données peu précises sur le travail du sol et la gestion des cultures (détails sur les profondeurs travaillées, qualification de l'outil utilisé), des données absentes (IFT et QSA sur certaines parcelles, données de rendement et d'amendement). Si la démarche du réseau national paraît prometteuse, il est nécessaire de lui apporter un cadre. Une perspective encourageante serait la création d'un questionnaire aussi précis que celui réalisé pour le réseau SDCi et surtout commun à l'ensemble du réseau. Les données obtenues seraient alors plus homogènes (donc plus exploitables).



### 5.3 Le déséquilibre des parcelles

A l'échelle de notre étude, la constitution et la qualité de nos jeux de données sont des limites à leurs exploitations. Comme il a déjà été dit, la présence d'écart-types importants nous oblige à sans-arrêt remettre en question et à moduler les interprétations issues de nos observations. Une autre critique sur notre jeu de donnée serait le déséquilibre entre les individus (le faible nombre de parcelles en Bornais avec de fortes abondances, par exemple, pourrait avoir biaisé les résultats). Il est important pour la suite de veiller à multiplier une diversité de situations (semis direct, strip-till..) mais surtout à renforcer les effectifs de chaque type de sol (grandes cultures et prairies permanentes). La force du réseau développé par la CRA-PC est que l'analyse sera chaque année plus forte suite à l'acquisition de nouvelles données parcellaires et apportera une notion d'évolution dans le temps. Il sera alors plus facile d'identifier de meilleurs facteurs, de pouvoir nous concentrer sur les interactions évoquées un peu plus haut et ainsi de sélectionner des modèles plus robustes adaptés à l'ensemble de la région Poitou-Charentes.

Ce travail, s'il n'est pas exploitable directement pour prédire des communautés lombriciennes fournit des pistes intéressantes qui mériteraient d'être explorées.

## Conclusion

La méthodologie d'analyse que nous avons développée à partir de nos données locales et avec l'aide de travaux scientifiques, nous a donné quelques résultats intéressants. Nous avons isolé (mais pas hierarchisé) des facteurs anthropiques (travail du sol, gestion des cultures, traitements phytosanitaires) et un facteur environnemental (type de sol) fortement liés aux abondances lombriciennes.

Certains résultats étaient attendus, comme l'effet positif de l'allongement de la durée entre le dernier travail du sol et le prélèvement des vers de terre ou encore l'abondance totale et écologique qui sont caractéristiques d'un type de sol (importante sur les Bornais, faible sur les Groies). D'autres en revanche nous ont surpris, comme l'effet positif des molluscides sur les anéciques têtes rouges ou encore comme l'effet négatif de la proportion de techniques culturales simplifiées. D'autre part, des observations sur les abondances nulles et les évolutions brutales d'abondance entre 2013 et 2014 nous ont permis de soulever quelques pistes de recherches pour la suite de ce travail :

-Etudier l'effet de possibles interactions entre la durée allant du dernier travail du sol au jour du prélèvement, le travail au semis et le couvert végétal présent lors du prélèvement lombricien.
- Affiner les indicateurs du travail du sol.
- Tester les effets isolés des molluscides sur les têtes rouges et des fongicides sur les têtes noires.
- Tester la prise de données sur des périodes différentes afin d'identifier des « durées de rétablissement » des populations lombriciennes pour chaque type de perturbation.

Nous avons également construit un prototype de modèle qui estime l'abondance totale des vers de terre sur les trois sols agricoles de Poitou-Charentes étudiés. Les facteurs les plus impactants seraient l'effet du type de sol, la durée écoulée entre le dernier travail du sol et le prélèvement lombriciens et la dose de molluscides épandue en surface de la parcelle. Ces résultats bien sûr, ne constituent pas la réalité et il serait dangereux d'affirmer au monde agricole que les molluscides sont majoritairement impactants pour la communauté lombricienne par exemple. La première priorité serait de continuer à affiner le modèle à l'aide d'un plus grand jeu de données et en le confrontant à des jeux de données indépendants. La méthodologie d'analyse statistique doit également et simultanément au jeu de données se complexifier pour tenter d'approcher au plus près la « réalité » (nos observations lombriciennes). Afin d'y parvenir, les priorités seraient donc de :

-Travailler à l'élaboration d'un questionnaire commun aux deux réseaux afin d'obtenir les mêmes degrés d'information.
-Agrandir le jeu de données en veillant à sélectionner des parcelles intéressantes (homogénéité des sols, pratique de semis, prairies permanentes…) et en nombre suffisant.
-Adapter à ce jeu de données une nouvelle méthode d'analyse statistique plus efficace et puissante (sélections de modèles croisées (ascendantes et descendantes), recours à de meilleurs critères que $R^2$ pour juger de la qualité d'un modèle (RMSEP, validations croisées), prises en compte des interactions de degré 2).

Si l'utilisation de notre modèle par les acteurs du monde agricole n'est pas envisageable à ce stade précoce, notre travail montre qu'il est possible de cerner quelques facteurs préjudiciables. C'est en adaptant les techniques culturales à notre type de sol et en prenant compte des interactions qui y ont lieu entre les communautés lombriciennes et nos actions que nous pouvons prétendre à rétablir un équilibre naturel au sein des communautés lombriciennes.

## Bibliographie


Ablain F. (2002). *Rôle des activités lombriciennes sur la redistribution des éléments traces métalliques.* Thèse, UMR ECOBIO.

Bachelier G. (1963). *La vie animale des sols.*

Bellido A., Boulonne L., Cannavacciuolo M., Chaussod R., Cortet J., Fargette M., ... & Walter, C. (2009). RMQS BioDiv Bretagne*, 4(7)*.

Blanchart E., Brown G. G., Chernyanskii S. S., Deleporte P., Feller C., Goulet F. (mai 2005). Perception et popularité des vers de terre avant et après Darwin. *Étude et Gestion des Sols, 12*, 145-152.

Blandin P. (1986). Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bulletin d'écologie, 17(4)*, 215-307.

Bouché M.B. (1972). Lombriciens de France. Ecologie et systématique. *Annales de Zoologie Ecologie Animale, 72-2 (HS). Paris, FRA : INRA Editions.*

Bouché M. B. (2014). Des vers de terre et des hommes. Découvrir nos écosystèmes fonctionnant à l'énergie solaire. ACTES SUD.

Boxall A. B. A., Fogg L. A., Baird D. J., Lewis C., Telfer T. C., Kolpin D., Gravell A., Pemberton E., Boucard T. (2006). Targeted monitoring study for veterinary medicines in the environment. *Enviroment Agency Science Report*, p. 119.

Callahan C. (1984). *Earthworms as ecotoxicological assessment tools.* U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/D-84/272 (NTIS PB85124691).

Cannavacciuolo M. B., Bellido A., Cluzeau D., Gascuel C. Trehen P. (1998). A geostatistical approach to the study of earthworm distribution in grassland . *Applied Soil Ecology, 9*, 345-349.

Capowiez Y., Rault M., Mascle O., Mazzia C., Le Villio-Poitrenaud M., Houot, S. (2009). Étude des effets des apports de produits résiduaires organiques sur la macrofaune lombricienne en conditions de grandes cultures. *Etude et gestion des Sols, 16(3)*, 175-185.

Chan K. Y. (2001). An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity.Implications for functioning in soils. *Soil Tillage Res., 57(4)*, 179–191.

Christensen O. M. & Mather J. G. (2004). Pesticide-induced surface migration by lumbricid earthworms in grassland: life-stage and species differences. *Ecotox Env Saf , 57(1)*, 89–99.

Cluzeau D., Binet F., Vertes F., Simon J. C., Riviere J. M., & Trehen P. (1992). Effects of intensive cattle trampling on soil-plant-earthworms system in two grassland types. *Soil Biology and Biochemistry*, *24*(12), 1661-1665.

Curry J. P. (1994). *Grassland invertebrates: ecology, influence on soil fertility and effects on plant growth*. Springer.

Diao X., Jensen J., & Hansen A. D. (2007). Toxicity of the anthelmintic abamectin to four species of soil invertebrates. *Environmental pollution*, *148*(2), 514-519.

Düring, R. A., Hoß, T., & Gäth, S. (2002). Depth distribution and bioavailability of pollutants in long-term differently tilled soils. *Soil and Tillage Research*, *66*(2), 183-195.

Edwards C. A., Arancon N. Q., Vasko-Bennett M., Little B., & Askar A. (2009). The relative toxicity of metaldehyde and iron phosphate-based molluscicides to earthworms. *Crop Protection*, *28*(4), 289-294.

Edwards C. A., & Bohlen P. J. (1996). *Biology and ecology of earthworms* (Vol. 3). Springer.

Edwards, C. A., & Lofty, J. R. (1979). The effects of straw residues and their disposal on the soil fauna. *Straw decay and its effect on disposal and utilization*, 37-44.

Estevez B., Coderre D., Côté D., Pagé F. (Septembre 1995). Effets à long terme de l'application en post-levée de lisier de porc sur les populations de vers de terre (Lumbricidae) en monoculture de maïs. *Agrosol (Quebec) , VIII(1), 51-61*

Evans A. C. (1948). On the life cycles of some British Lumbricidae. Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. *Annals of Applied Biology*, *35*(1), 471-484.

Hendrix P. M., Mueller B. R., Bruce R. R., Langdale G. W., & Parmelee R. W. (1992). Abundance and distribution of earthworms in relation to landscape factors on the Georgia Piedmont, U.S.A. *Soil Biology and Biochemistry*, *24*(12), 1357-1361.

Högger C. H., & Ammon H. U. (1994). Testing the toxicity of pesticides to earthworms in laboratory and field tests. *Bulletin OILB SROP (France), 17*, 157–178.

Iglesias J., Castillejo J., & Castro R. (2003). The effects of repeated applications of the molluscicide metaldehyde and the biocontrol nematode Phasmarhabditis hermaphrodita on molluscs, earthworms, nematodes, acarids and collembolans: a two-year study in north-west Spain. *Pest management science*, *59*(11), 1217-1224.

Jossi W., Zihlmann U., Anken T., Dorn B., & Van der Heijden M. (2011). Un travail du sol réduit protège les vers de terre. *Recherche Agronomique Suisse*,*2*(10), 432-439.

Kramer S., Weisskopf P., & Oberholzer H. R. (2008, June). Status of earthworm populations after different copaction impacts and varying subsequent soli management practices. In *5th International Soil Conference ISTRO Czech Branch–Brno* (pp. 249-256).

Kreis, B. E., Edwards P., Cuenet G., Tarradellas J. (1987). The dynamics of RCBs between earthworm populations and agricultural soils. *Pedobiologia , 30*, 379–388.

Lacas J. G., Voltz M., Gouy V., Carluer N., & Gril J. J. (2005). Using grassed strips to limit pesticide transfer to surface water: a review. Agronomy for sustainable development, 25(2), 253-266.

Lamandé M., Pérès G., Hallaire V., Curmi P., & Cluzeau D. (2004). Action combinée des pratiques culturales et des lombriciens sur le sol. Morphologie porale, conductivité hydraulique et communautés lombriciennes suivant trois systèmes de culture. *Etude et gestion des sols*, *11*(4), 393-402.

Lavelle P., Barois I., Martin A., Zaidi Z., & Schaefer R. (1989). Management of earthworm populations in agro-ecosystems: A possible way to maintain soil quality?. In *Ecology of Arable Land—Perspectives and Challenges* (pp. 109-122). Springer Netherlands.

Lee K. E. (1985). *Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press Inc (New York).

Lofs-Holmin A. S. T. R. I. D. (1986). Occurrence of eleven earthworm species (Lumbricidae) in permanent pastures in relation to soil-pH. *Swedish Journal of Agricultural Research (Sweden), 16*, 161-165*)*.

Lumaret J. P., Errouissi F., Floate K., Römbke J., & Wardhaugh K. (2012). A review on the toxicity and non-target effects of macrocyclic lactones in terrestrial and aquatic environments. *Current pharmaceutical biotechnology*,*13*(6), 1004-1060.

Nuutinen V., & Haukka J. (1990). Conventional and organic cropping systems at Suitia. VII: Earthworms. *Journal of Agricultural Science in Finland*, *62*(4), 357-367.

Paoletti M. G. (1988). Soil invertebrates in cultivated and uncultivated soils in northeastern Italy. *Redia*, *71*(2), 501-563.

Paoletti M. G. (1999). The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *74*(1), 137-155.

Pelosi C., Bertrand M., Makowski D., & Roger-Estrade J. (2008). A model of lumbricus terrestris population dynamics in agricultural fields. *Ecological Modelling*, *218*(3), 219-234.

Pelosi C., Bertrand M., & Roger-Estrade J. (2009). Earthworm community in conventional, organic and direct seeding with living mulch cropping systems.*Agronomy for Sustainable Development*, *29*(2), 287-295.

Pelosi C., Toutous L., Chiron F., Dubs F., Hedde M., Muratet A., ... & Makowski D. (2013). Reduction of pesticide use can increase earthworm populations in wheat crops in a European temperate region. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *181*, 223-230.

Pelosi C., Barot S., Capowiez Y., Hedde M., & Vandenbulcke F. (2014). Pesticides and earthworms. A review. *Agronomy for Sustainable Development*,*34*(1), 199-228.

Peres G. (2003). *Identification et quantification in situ des interactions entre la diversité lombricienne et la macro-bioporosité dans le contexte polyculture breton. Influence sur le fonctionnement hydrique du sol* (Doctoral dissertation, Université Rennes 1).

Peres G., Vandenbulcke F., Guernion M., Hedde M., Beguiristain T., Douay F., ... & Cluzeau D. (2011). Earthworm indicators as tools for soil monitoring, characterization and risk assessment. An example from the national Bioindicator programme (France). *Pedobiologia*, *54*, S77-S87.

Peres, G. (2013). Etude de la macrofaune du sol. *UE Fonctionnement et gestion durable des ressources.* Rennes.

Phillipson J., & Bolton P. J. (1976). The respiratory metabolism of selected Lumbricidae. *Oecologia*, *22*(2), 135-152.

Prentø P. (1979). Metals and phosphate in the chloragosomes of Lumbricus terrestris and their possible physiological significance. *Cell and tissue research*,*196*(1), 123-134.

Roots B. I. (1956). The water relations of earthworms II. Resistance to desiccation and immersion, and behaviour when submerged and when allowed a choice of environment. *Journal of Experimental Biology*, *33*(1), 29-44.

Satchell J. E. (1955). Some aspects of earthworm ecology. *Soil zoology*, 180-201.

Schreck E., Gontier L., Dumat C., & Geret F. (2012). Ecological and physiological effects of soil management practices on earthworm communities in French vineyards. *European Journal of Soil Biology*, *52*, 8-15.

Sims R. W. & Gerard B. M. (1999). Earthworms. *FSC Publications, 167*.

Smith R. G., McSwiney C. P., Grandy A. S., Suwanwaree P., Snider R. M., & Robertson G. P. (2008). Diversity and abundance of earthworms across an agricultural land-use intensity gradient. *Soil and Tillage Research*, *100*(1), 83-88.

Spring C.A. (2003). The Effects of Earthworms on Soil Structure in an Upland Grassland. *thesis ,The Faculty of Natural Sciences*. University of Stirling.

Springett J. A., & Syers J. K. (1984). Effect of pH and calcium content of soil on earthworm cast production in the laboratory. *Soil Biology and Biochemistry*,*16*(2), 185-189.

Thomas F. (MARS/AVRIL/MAI, 2004). Vers de terre, Les acteurs de la fertilité des sols. *Techniques culturales simplifiées*, 27(2), 10-21.

Tisdall J. M., & Oades J. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of soil science*, *33*(2), 141-163.

Wyss E., & Glasstetter M. (1992). Tillage treatments and earthworm distribution in a Swiss experimental corn field. *Soil Biology and Biochemistry*,*24*(12), 1635-1639.

# TABLE DES ANNEXES

Annexe I. Anatomie du ver de terre ..... II

Annexe II. Carte des Grands types des sol ..... III

Annexe III : Détail des pratiques du sol sur le réseau SDCi ..... IV

Annexe IV : Liste des parcelles SDCi et ENI ..... V

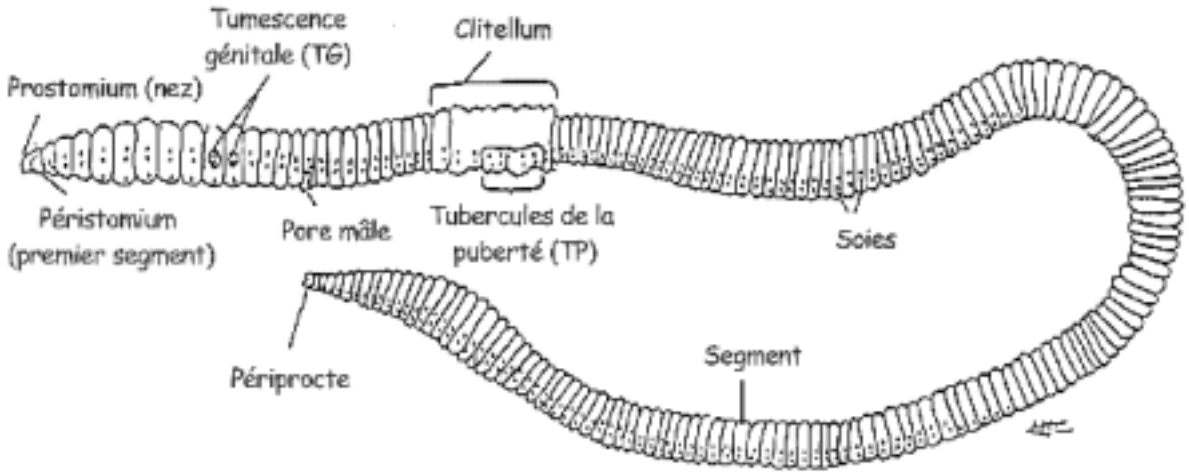
Annexe V : Compléments analyses statistiques des abondances lombricienne SDCi et ENI ..... VII

Annexe VI. Clé d'identification lombricienne ..... VIII

Annexe VII. Résultats des analyses statistiques ..... X

Annexe VIII : Diagrammes GEPPA ENI et SDCi ..... XIII

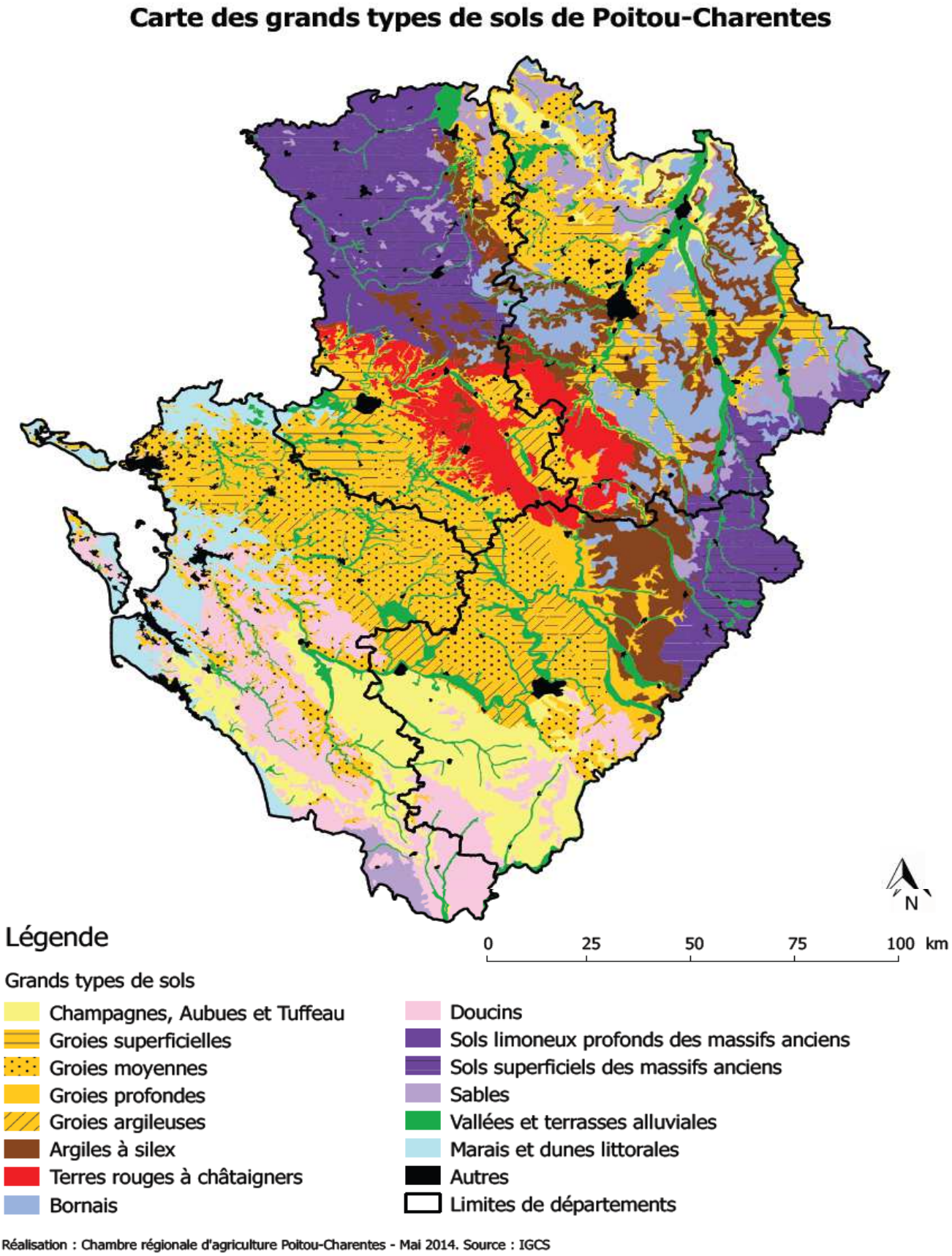
# Annexe I. Anatomie du ver de terre



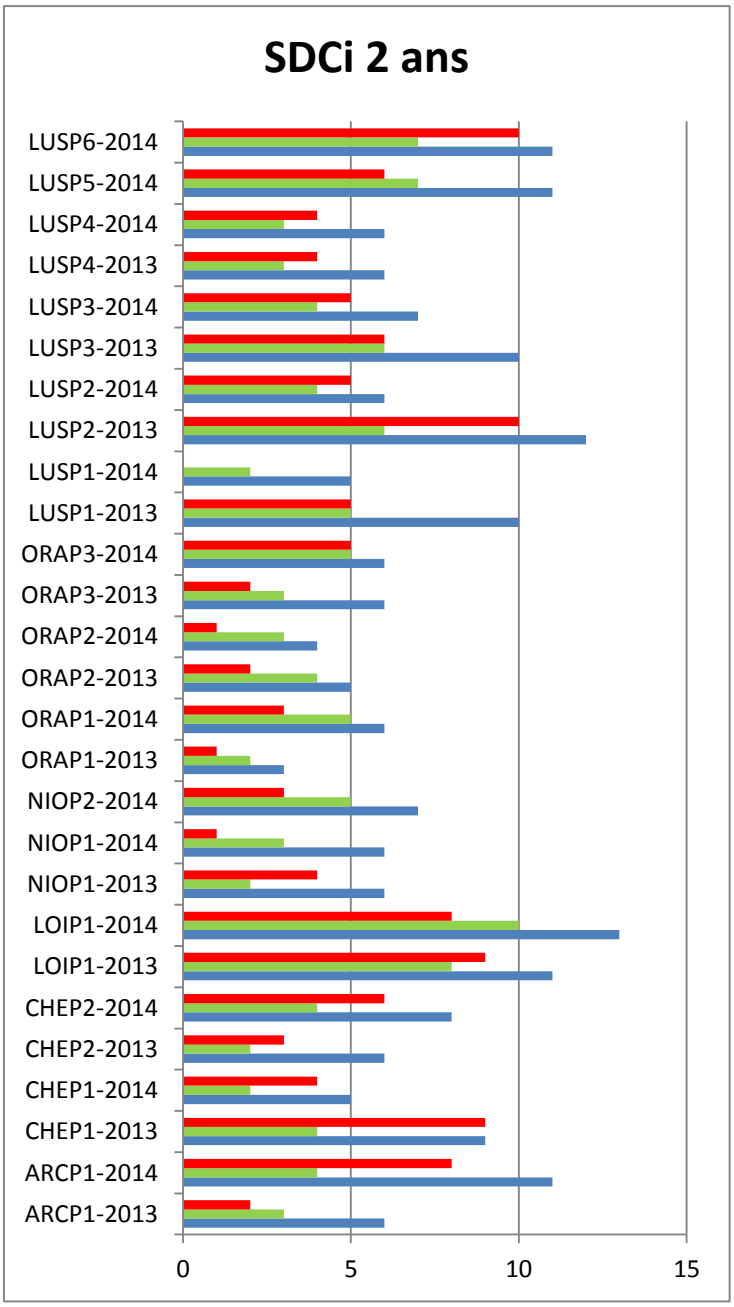

*https://www.naturewatch.ca/francais/wormwatch/about/anatomy.html*

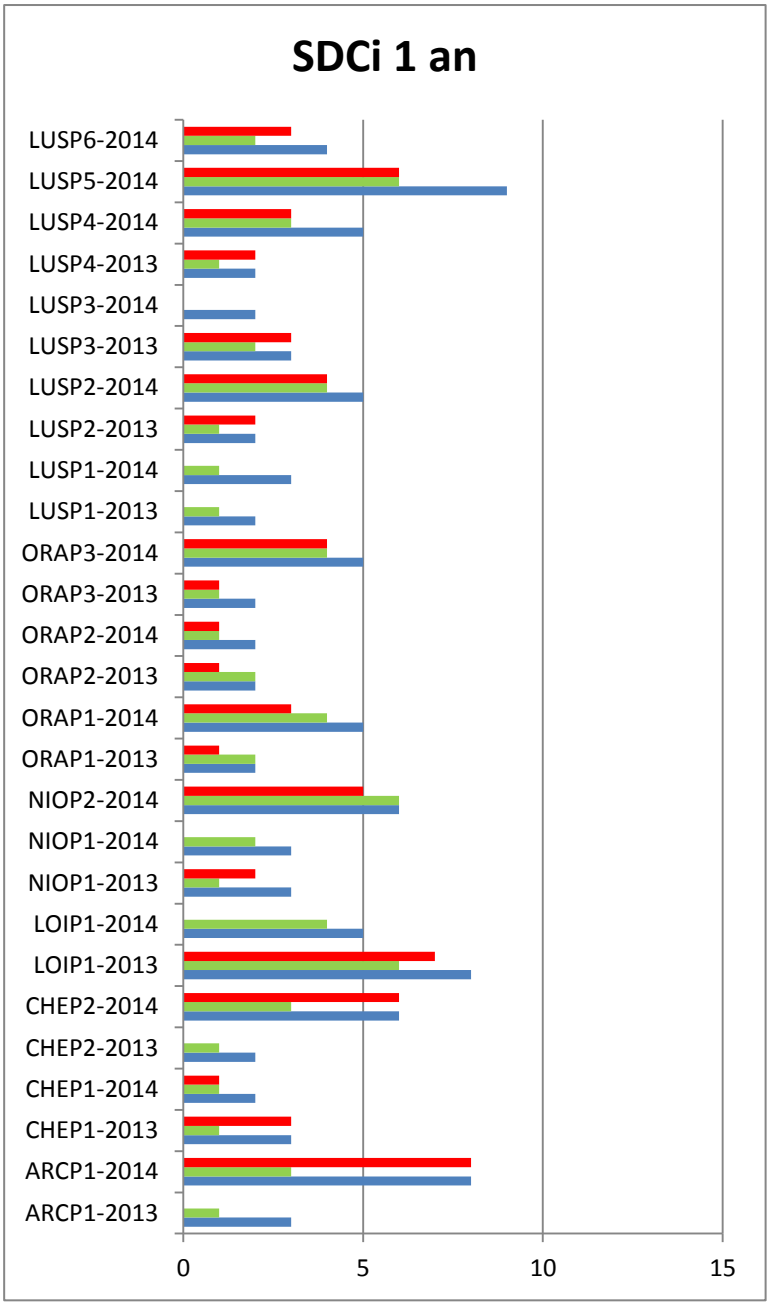
Les annélides présentent de multiples formes. Les lombricidés sont des annélides polychètes. Ils disposent de soies qui leur permettent de se cramponner aux parois de leurs galeries. Leurs métamères ne sont pas tous identiques. Le pore male, les tubercules de puberté (ou puberculum), ainsi que le clitellum, qui constituent des organes sexuels, sont situés à un nombre d'anneaux de sa bouche (prostomium) caractéristique de son espèce. Ces organes sexuels sont très visibles chez les vers matures (ils sont qualifiés de sub-adultes lorsque seul le puberculum est présent) ou d'adultes lorsque il y a un clitellum. Ce sont donc ces critères qui sont utilisés pour déterminer la catégorie d'âge d'un individu. Pour différencier une espèce d'une autre, tous les caractères sont à prendre en compte : disposition des soies, rang du clitellum et du pore mâle à partir du prostomium, forme du prostomium, nombre de métamères…L'ensemble de ces critères ont été répertoriés par Bouché (1972).

# Annexe II. Carte des Grands types des sol



# Annexe III : Détail des pratiques du sol sur le réseau SDCi




nb défavorables

nbTCS

totW

# Annexe IV : Liste des parcelles SDCi et ENI

Tableau "SDCI 2 ans": description des parcelles

| parcelle | sol | duréeW | Wsemis | MS | amendement | couvprelevement | %couvert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ARCP1-2013 | Bornais | 7.85215606 | non labour | 16.1788 | oui | Culture intermédiaire | 39.79706877 |
| ARCP1-2014 | Bornais | 5.05954825 | labour | 15.513524 | oui | Culture d'hiver | 77.70177839 |
| CHEP1-2013 | Bornais | 5.94661191 | non labour | 13.435888 | non | Culture d'hiver | 45.55555556 |
| CHEP1-2014 | Bornais | 7.6550308 | non labour | 11.3974151 | non | Culture intermédiaire | 58.69947276 |
| CHEP2-2013 | Bornais | 8.80492813 | non labour | 16.779028 | non | Culture intermédiaire | 89.32968536 |
| CHEP2-2014 | Bornais | 4.50102669 | labour | 9.86244 | non | Culture d'hiver | 54.42670537 |
| LOIP1-2013 | Groie | 5.61806982 | non labour | 11.986 | non | Culture d'hiver | 30.64295486 |
| LOIP1-2014 | Groie | 7.78644764 | non labour | 13.009318 | non | Culture d'hiver | 56.77154583 |
| NIOP1-2013 | Groie | 8.87063655 | non labour | 11.52864 | non | Culture d'hiver | 48.8372093 |
| NIOP1-2014 | Groie | 2.85831622 | labour | 14.11142 | non | Sol nu travaillé | 35.70536829 |
| NIOP2-2014 | Groie | 4.69815195 | non labour | 14.407176 | non | Culture d'hiver | 52.90858726 |
| ORAP1-2013 | Groie | 8.08213552 | non labour | 20.85292 | non | Culture d'hiver | 41.17647059 |
| ORAP1-2014 | Groie | 0.16427105 | non labour | 12.4127836 | oui | Culture de printemps | 79.04109589 |
| ORAP2-2013 | Groie | 12.7474333 | SD | 11.55 | non | Culture d'hiver | 83.42465753 |
| ORAP2-2014 | Groie | 1.3798768 | labour | 21.29016 | oui | Culture de printemps | 80.95890411 |
| ORAP3-2013 | Groie | 0.42710472 | labour | 35.08782 | oui | Sol nu travaillé | 86.60220994 |
| ORAP3-2014 | Groie | 1.08418891 | non labour | 31.1012 | oui | Culture de printemps | 90.95890411 |
| LUSP1-2013 | Terre rouge | 1.31416838 | labour | 7.20679429 | non | Culture de printemps | 72.73972603 |
| LUSP1-2014 | Terre rouge | 6.11088296 | non labour | 9.294512 | non | Culture intermédiaire | 59.73813421 |
| LUSP2-2013 | Terre rouge | 4.92813142 | labour | 9.60216 | non | Culture d'hiver | 86.22366288 |
| LUSP2-2014 | Terre rouge | 0.03285421 | labour | 19.4438598 | oui | Culture d'hiver | 74.54242928 |
| LUSP3-2013 | Terre rouge | 5.02669405 | labour | 24.10171 | oui | Culture d'hiver | 76.5060241 |
| LUSP3-2014 | Terre rouge | 6.24229979 | non labour | 10.283784 | non | Culture intermédiaire | 72.87671233 |
| LUSP4-2013 | Terre rouge | 5.09240246 | labour | 7.8213 | non | Culture d'hiver | 71.36986301 |
| LUSP4-2014 | Terre rouge | 0.42710472 | labour | 19.7623689 | oui | Culture d'hiver | 50.82191781 |
| LUSP5-2014 | Terre rouge | 0.45995893 | labour | 19.12448 | oui | Culture d'hiver | 53.15068493 |
| LUSP6-2014 | Terre rouge | 4.07392197 | labour | 9.763488 | non | Culture d'hiver | 57.80821918 |

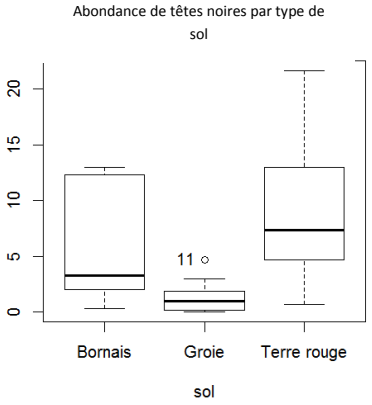
Tableau "SDCi 1 an": description des parcelles

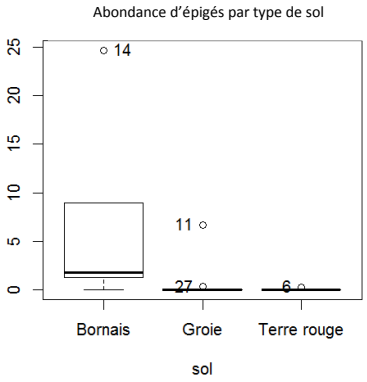
| parcelle | sol | duréeW | Wsemis | MS | amendement | couvprelevement | %couvert |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ARCP1-2013 | Bornais | 7.85215606 | non labour | 9.64104 | oui | Culture intermédiaire | 27.12 |
| ARCP1-2014 | Bornais | 5.05954825 | labour | 7.9992 | non | Culture d'hiver | 80.5479452 |
| CHEP1-2013 | Bornais | 5.94661191 | non labour | 7.870128 | non | Culture d'hiver | 86.3013699 |
| CHEP1-2014 | Bornais | 7.6550308 | non labour | 2.3718 | non | Culture intermédiaire | 73.1638418 |
| CHEP2-2013 | Bornais | 8.80492813 | non labour | 8.955664 | non | Culture intermédiaire | 86.3013699 |
| CHEP2-2014 | Bornais | 4.50102669 | labour | 7.9992 | non | Culture d'hiver | 64.9315068 |
| LOIP1-2013 | Groie | 5.61806982 | non labour | 2.82492 | non | Culture d'hiver | 50.1369863 |
| LOIP1-2014 | Groie | 7.78644764 | non labour | 9.4282 | non | Culture d'hiver | 63.8356164 |
| NIOP1-2013 | Groie | 8.87063655 | non labour | 5.785 | non | Culture d'hiver | 30.6849315 |
| NIOP1-2014 | Groie | 2.85831622 | labour | 3.8 | non | Sol nu travaillé | 57.8082192 |
| NIOP2-2014 | Groie | 4.69815195 | non labour | 12.12 | non | Culture d'hiver | 56.9863014 |
| ORAP1-2013 | Groie | 8.08213552 | non labour | 5.785 | non | Culture d'hiver | 57.4585635 |
| ORAP1-2014 | Groie | 0.16427105 | non labour | 6.953 | oui | Culture de printemps | 91.17043121 |
| ORAP2-2013 | Groie | 12.7474333 | SD | 11.55 | non | Culture d'hiver | 81.86173854 |
| ORAP2-2014 | Groie | 1.3798768 | labour | 17.75 | oui | Culture de printemps | 81.86173854 |
| ORAP3-2013 | Groie | 0.42710472 | labour | 12.012 | non | Sol nu travaillé | 87.88501027 |
| ORAP3-2014 | Groie | 1.08418891 | non labour | 21.43 | oui | Culture de printemps | 97.19370294 |
| LUSP1-2013 | Terre rouge | 1.31416838 | labour | 1.78 | non | Culture de printemps | 28.74743326 |
| LUSP1-2014 | Terre rouge | 6.11088296 | non labour | 4.49864 | non | Culture intermédiaire | 65.16084873 |
| LUSP2-2013 | Terre rouge | 4.92813142 | labour | 12.276 | non | Culture d'hiver | 85.96851472 |
| LUSP2-2014 | Terre rouge | 0.03285421 | labour | 14.5075 | oui | Culture d'hiver | 61.60164271 |
| LUSP3-2013 | Terre rouge | 5.02669405 | labour | 2.96442 | non | Culture d'hiver | 69.54140999 |
| LUSP3-2014 | Terre rouge | 6.24229979 | non labour | 8.3076 | non | Culture intermédiaire | 33.4017796 |
| LUSP4-2013 | Terre rouge | 5.09240246 | labour | 6.9384 | non | Culture d'hiver | 79.39767283 |
| LUSP4-2014 | Terre rouge | 0.42710472 | labour | 15.9708 | oui | Culture d'hiver | 30.39014374 |
| LUSP5-2014 | Terre rouge | 0.45995893 | labour | 11.431 | oui | Culture d'hiver | 118.6858316 |
| LUSP6-2014 | Terre rouge | 4.07392197 | labour | 6.726 | non | Culture d'hiver | 58.59000684 |

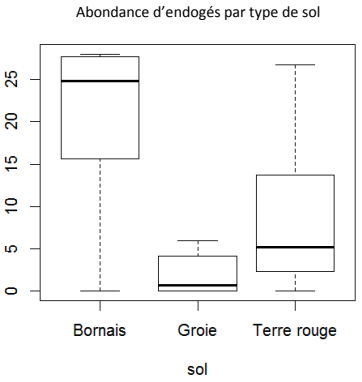
Tableau SDCi-ENI: description des individus

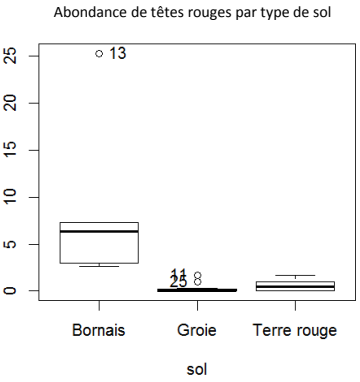
| parcelle | sol | duréeW | Wsemis | MS | amendement | couvprelevement | culture précédente |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PCB10 | Bornais | 5.84804928 | nul | NA | non | Chaume | repousses BTH |
| PCB11 | Bornais | 6.04517454 | non labour | NA | non | Culture intermédiaire | IC avoine vesce |
| PCB12 | Bornais | 6.24229979 | non labour | NA | oui | Culture d'hiver | RGI |
| PCB9 | Bornais | 6.01232033 | labour | NA | oui | Culture d'hiver | orge d'hiver |
| PCB5 | Groie | 0.72279261 | labour | NA | oui | Sol nu travaillé | maïs |
| PCB6 | Groie | 1.51129363 | labour | NA | non | Culture de printemps | pois |
| PCB7 | Groie | 1.93839836 | labour | NA | non | Culture de printemps | oeillette |
| PCB8 | Groie | 4.92813142 | non labour | NA | non | Culture d'hiver | orge d'hiver |
| PCM1 | Groie | 0.85420945 | labour | NA | non | Sol nu travaillé | maïs |
| PCM10 | Groie | 0.19712526 | labour | NA | non | Sol nu travaillé | maïs |
| PCM11 | Groie | 0.91991786 | labour | NA | non | Sol nu travaillé | maïs |
| PCM12 | Groie | 0.95277207 | labour | NA | non | Culture d'hiver | lentille |
| PCM6 | Groie | 2.13552361 | labour | NA | oui | Culture de printemps | orge pois |
| PCM7 | Groie | 0.39425051 | labour | NA | non | Sol nu travaillé | semis maïs |
| PCM8 | Groie | 5.05954825 | labour | NA | non | Culture d'hiver | BTH |
| PCM9 | Groie | 5.65092402 | non labour | NA | non | Culture d'hiver | BTH |
| PCB1 | Terre rouge | 6.80082136 | labour | NA | non | Culture d'hiver | lupin |
| PCB2 | Terre rouge | 6.93223819 | non labour | NA | non | Culture d'hiver | colza |
| PCB3 | Terre rouge | 0.78850103 | labour | NA | oui | Sol nu travaillé | maïs |
| PCB4 | Terre rouge | 6.63655031 | non labour | NA | non | Culture d'hiver | luzerne, TB, TV, dactyle |
| PCM2 | Terre rouge | 13.0759754 | SD | NA | non | Culture d'hiver | orge d'hiver |
| PCM3 | Terre rouge | 5.35523614 | labour | NA | oui | Culture d'hiver | orge d'hiver |
| PCM4 | Terre rouge | 0.91991786 | non labour | NA | oui | Sol nu travaillé | maïs |
| PCM5 | Terre rouge | 3.97535934 | non labour | NA | oui | Sol nu travaillé | maïs |

# Annexe V : Compléments analyses statistiques des abondances lombricienne SDCi et ENI

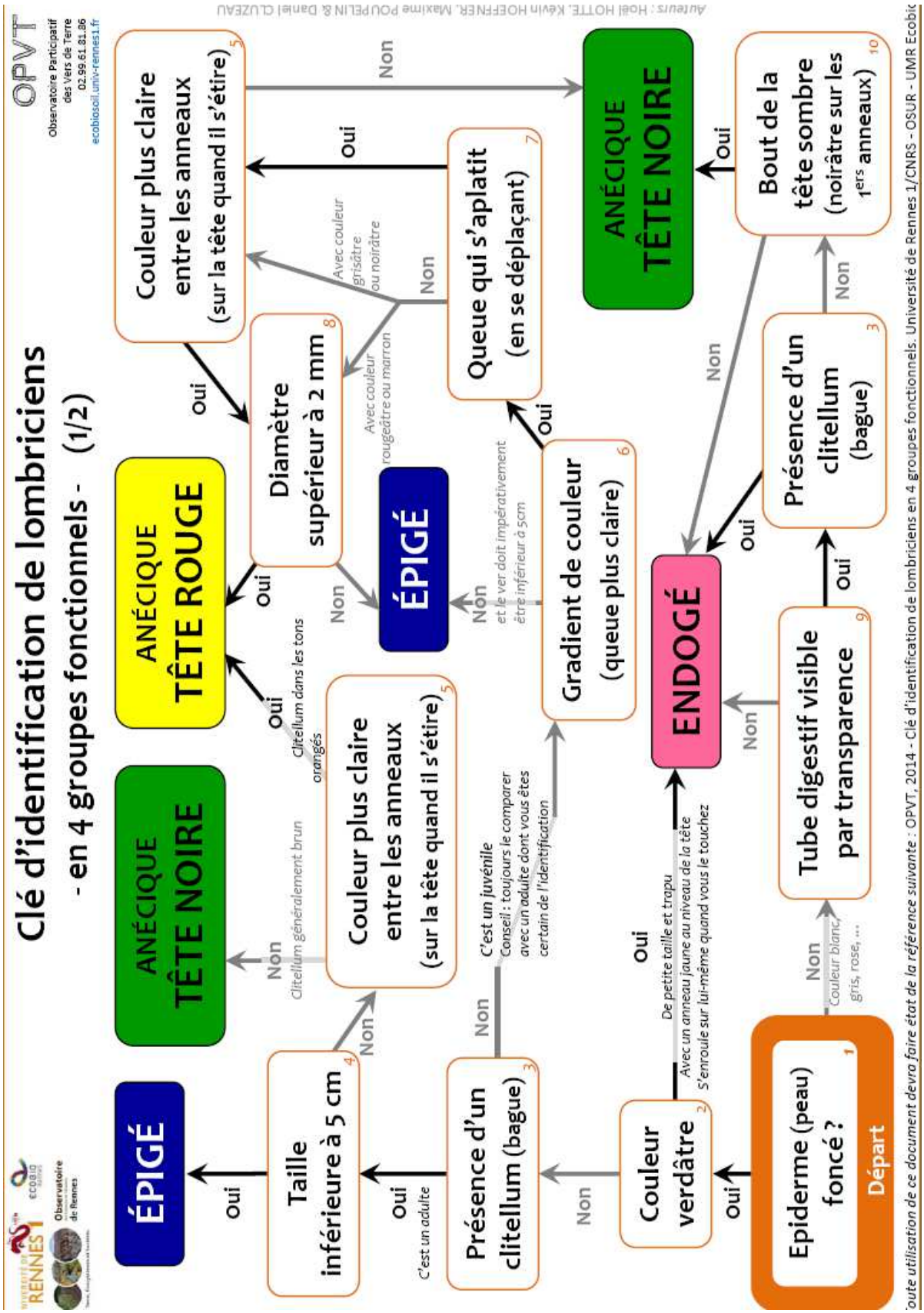


# Annexe VI. Clé d'identification lombricienne



# Clé d'identification de lombriciens

## - en 4 groupes fonctionnels - (2/2)

OPVT
Observatoire Participatif des Vers de Terre
02.99.61.81.86
ecobiosoil.univ-rennes1.fr

## Illustrations pour chaque critère de décision (1 à 10)

**1 Epiderme (peau) foncé ?** 1

Oui / Non

- Faire attention que la couleur ne soit pas due à l'intérieur du ver *(le mettre à la lumière)*
- Regarder la pigmentation sur le premier tiers du ver

**2 Couleur verdâtre** 2

- Petit et trapu
- Plusieurs types de vert possibles
- S'enroule sur lui-même quand le ver est posé sur la main

**3 Présence d'un clitellum (bague)** 3

S'il est de même couleur sur l'épiderme, cela peut être due à un pincement

**4 Taille inférieure à 5 cm** 4

- Taille d'un individu au repos (ni étiré, ni contracté)
- Vous pouvez vous référer à l'échelle sur votre gauche

**5 Couleur plus claire entre les anneaux** 5

- Quand il est sur le ventre
- Couleur claire dans les tons orangés

**6 Gradient de couleur (queue plus claire)** 6

**7 Queue qui s'aplatit (en se déplaçant)** 7

**8 Diamètre supérieur à 2 mm** 8

- Taille d'un individu au repos (ni étiré, ni contracté)
- Vous pouvez vous référer à l'échelle sur votre gauche

**9 Tube digestif visible par transparence** 9

Vous pouvez le placer devant la lumière pour l'observer par transparence

**10 Bout de la tête sombre (noirâtre sur les 1ers anneaux)** 10

Oui / Non

**+**

Anécique
Tête Noire
Tête Rouge

*Auteurs* : Hoël HOTTE, Kévin HOEFFNER, Maxime POUPELIN & Daniel CLUZEAU

*te utilisation de ce document devra faire état de la référence suivante* : OPVT. 2014 - Clé d'identification de lombriciens en 4 groupes fonctionnels. Université de Rennes 1/CNRS - OSUR - UMR Ecobio

# Annexe VII. Résultats des analyses statistiques

SDCi-1an

| | duréeW | | TotalW | | %TCS | | IFTH | | IFTF | | IFTM | | QSAF | | QSAM | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff |
| ab tot | 0,03 | 0,41 | | | 0,017 | -0,45 | 0,09 | -0,32 | | | | | | | 0,07 | 0,34 |
| Ep | 0,04 | 0,4 | | | | | | | | | | | | | | |
| TR | | | | | 0,08 | -0,33 | | | | | | | | | | |
| TN | | | 0,09 | -0,32 | | | 0,02 | -0,43 | 0,03 | -0,42 | 0,03 | 0,42 | 0,04 | -39 | 0,05 | 0,52 |
| END | 0,037 | 0,4 | | | 0,004 | 0,5 | | | | | | | | | | |
| AD | 0,004 | 0,5 | | | 0,08 | -0,35 | | | | | | | | | | |
| JUV | | | | | 0,039 | -0,39 | 0,038 | -0,39 | | | | | | | 0,08 | 0,34 |

SDCi-1an

| | duréeW | | TotalW | | %TCS | | IFTH | | IFTF | | IFTM | | QSAF | | QSAM | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff |
| ab tot | 0,03 | 0,41 | | | 0,017 | -0,45 | 0,09 | -0,32 | | | | | | | 0,07 | 0,34 |
| Ep | 0,04 | 0,4 | | | | | | | | | | | | | | |
| TR | | | | | 0,08 | -0,33 | | | | | | | | | | |
| TN | | | 0,09 | -0,32 | | | 0,02 | -0,43 | 0,03 | -0,42 | 0,03 | 0,42 | 0,04 | -39 | 0,05 | 0,52 |
| END | 0,037 | 0,4 | | | 0,004 | 0,5 | | | | | | | | | | |
| AD | 0,004 | 0,5 | | | 0,08 | -0,35 | | | | | | | | | | |
| JUV | | | | | 0,039 | -0,39 | 0,038 | -0,39 | | | | | | | 0,08 | 0,34 |

| | duréeW | | %période défavorable | | %TCS | | IFTF | | IFTH | | IFTM | | QSAH | | QSAM | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff |
| ab tot | 0,029 | 0,41 | | | 0,005 | -0,52 | 0,09 | -0,32 | | | | | | | | |
| Ep | 0,039 | 0,4 | | | | | | | | | | | 0,008 | 0,5 | | |
| TR | | | | | | | | | | | 0,02 | 0,43 | | | 0,022 | 0,43 |
| TN | | | | | | | 0,02 | -0,43 | | | | | | | | |
| END | 0,037 | 0,4 | 0,076 | 0,34 | 0,031 | -0,41 | | | | | | | | | | |
| AD | 0,004 | 0,5 | | | 0,039 | -0,39 | | | | | | | | | | |
| JUV | | | | | 0,02 | -0,44 | 0,038 | -0,39 | 0,06 | -0,35 | | | | | | |

SDCi-ENI-1an

| | duréeW | | | | %TCS | | IFTH | | IFTF | | IFTM | | QSAM | | QSAF | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | p.val | est. Coeff | | | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | | |
| ab tot | 0,03 | 0,41 | | | 0,017 | -0,45 | 0,09 | -0,32 | | | | | 0,07 | 0,34 | | |
| Ep | 0,04 | 0,4 | | | | | | | | | | | | | | |
| TR | | | | | 0,08 | -0,33 | | | | | 0,029 | 0,41 | 0,005 | 0,52 | | |
| TN | | | 0,09 | -0,32 | | | 0,02 | -0,43 | 0,029 | -0,42 | | | | | 0,04 | -0,39 |
| END | 0,037 | 0,4 | | | 0,08 | -0,41 | | | | | | | | | | |

SDCi-1an

| | duréeW | | TotalW | | %TCS | | IFTH | | IFTF | | IFTM | | QSAF | | QSAM | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff |
| ab tot | 0,03 | 0,41 | | | 0,017 | -0,45 | 0,09 | -0,32 | | | | | | | 0,07 | 0,34 |
| Ep | 0,04 | 0,4 | | | | | | | | | | | | | | |
| TR | | | | | 0,08 | -0,33 | | | | | | | | | | |
| TN | | | 0,09 | -0,32 | | | 0,02 | -0,43 | 0,03 | -0,42 | 0,03 | 0,42 | 0,04 | -39 | 0,05 | 0,52 |
| END | 0,037 | 0,4 | | | 0,004 | 0,5 | | | | | | | | | | |
| AD | 0,004 | 0,5 | | | 0,08 | -0,35 | | | | | | | | | | |
| JUV | | | | | 0,039 | -0,39 | 0,038 | -0,39 | | | | | | | 0,08 | 0,34 |

**Travail du sol au semis**

| | intercept(nul) | | labour | | TCS | | SD | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | $R^2$ |
| JUV | 6.43 | 0.04 | 32.9 | 0.006 | 5.4 | 0.2 | - 1.73 | 0.87 | 0.21 |

Div MO SDCi 2ans

| | M.O=5 | | MO=6 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | $R^2$ |
| ab tot | 62.6 | 0.003 | | | 0.33 |
| AD | 31.8 | 0.00039 | | | 0.49 |
| JUV | 28.8 | 0.02 | 34.8 | 0.008 | 0.3 |

**Couverture lors du prélèvement SDCi**

| | intercept(hiver) | | printemps | | C.I | | sol nu W | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | $R^2$ |
| ab tot | 3,5219 | 3,36E-09 | -2,1973 | 0,016874 | 3,0406 | 0,000739 | -3,1136 | 0,012175 | 0,563 |
| Ep | | | ***Kruskal-Wallis | | | | | | |
| TR | | | ***Kruskal-Wallis | | | 0,04609 | | | |
| TN | 1,7979 | 1,33E-07 | -0,8465 | 0,12895 | 1,783 | 0,00144 | -1,3796 | 0,06827 | 0,448 |
| END | 2,4164 | 6,20E-07 | -2,0081 | 0,0188 | 1,7019 | 0,0285 | -2,4164 | 0,0331 | 0,4034 |
| AD | 2,2314 | 7,53E-09 | -1,4427 | 0,017743 | 2,0273 | 0,000693 | -1,9575 | 0,016635 | 0,5576 |
| JUV | 2,6183 | 7,35E-08 | -1,6254 | 0,04215 | 2,2758 | 0,00323 | -2,3444 | 0,03 | 0,4693 |

**sol SDCi**

| | Intercept (bornais) | | Groies | | Terres Rouges | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | $R^2$ |
| ab tot | 6,0992 | 1,37E-09 | -4,4043 | 1,15E-05 | -2,0954 | 0,0166 | 0,534 |
| Ep | | | ***Kruskal-Wallis | | 0,002181 | | |
| TR | | | ***Kruskal-Wallis | | 0,0003575 | | |
| TN | 2,1229 | 2,51E-05 | -1,1968 | 0,0268 | 0,716 | 0,1783 | 0,4029 |
| END | 4,0804 | 4,98E-07 | -3,0195 | 0,00047 | -1,6071 | 0,0449 | 0,3614 |
| AD | 3,6788 | 1,96E-07 | -2,3728 | 0,00103 | -1,2529 | 0,0646 | 0,3203 |
| JUV | 4,6971 | 6,92E-10 | -3,671 | 2,21E-06 | -1,5559 | 0,0167 | 0,6 |

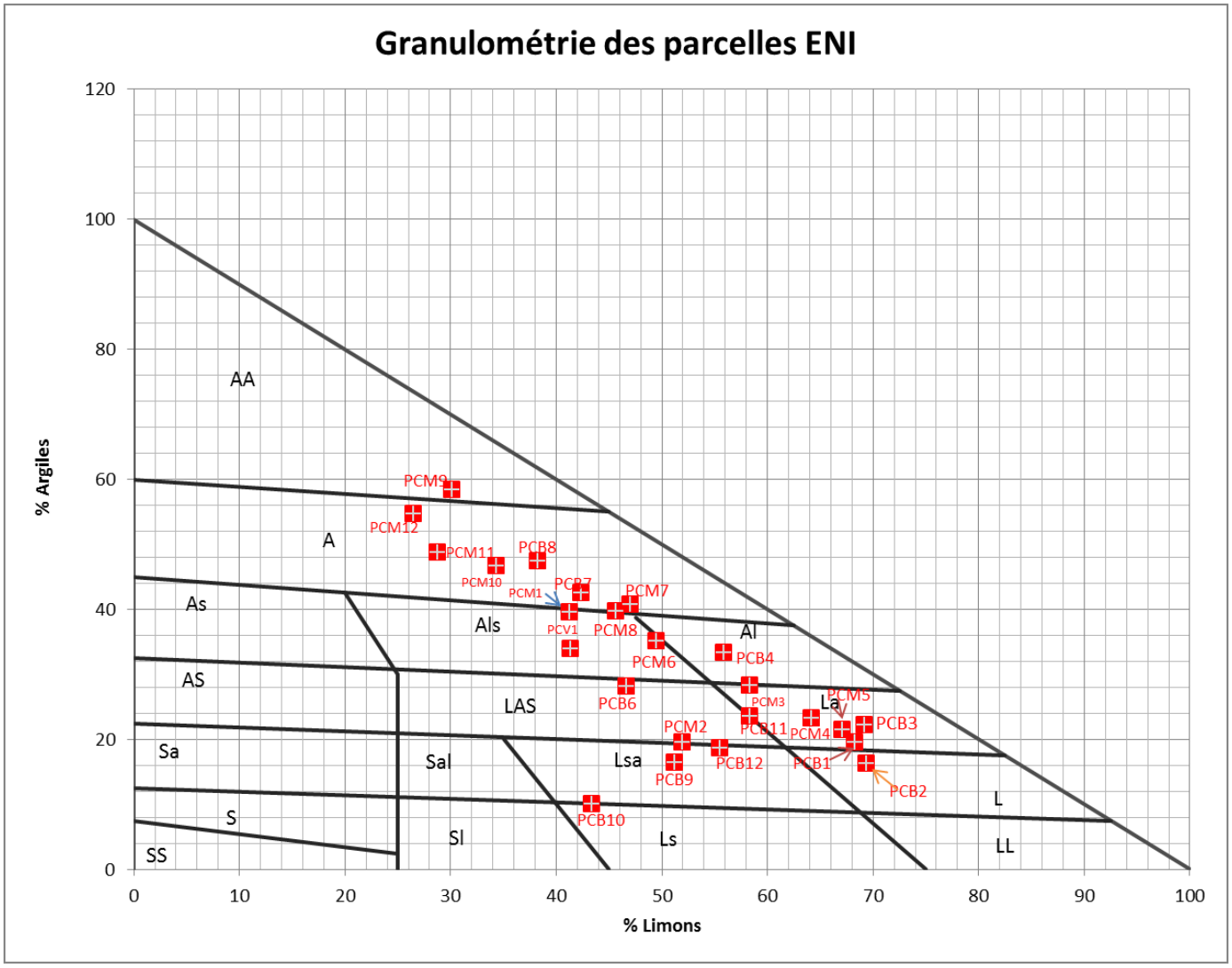
*Les tableaux suivant concernent le jeu de données SDCi-ENI 1 an*

**Couverture lors du prélèvement**

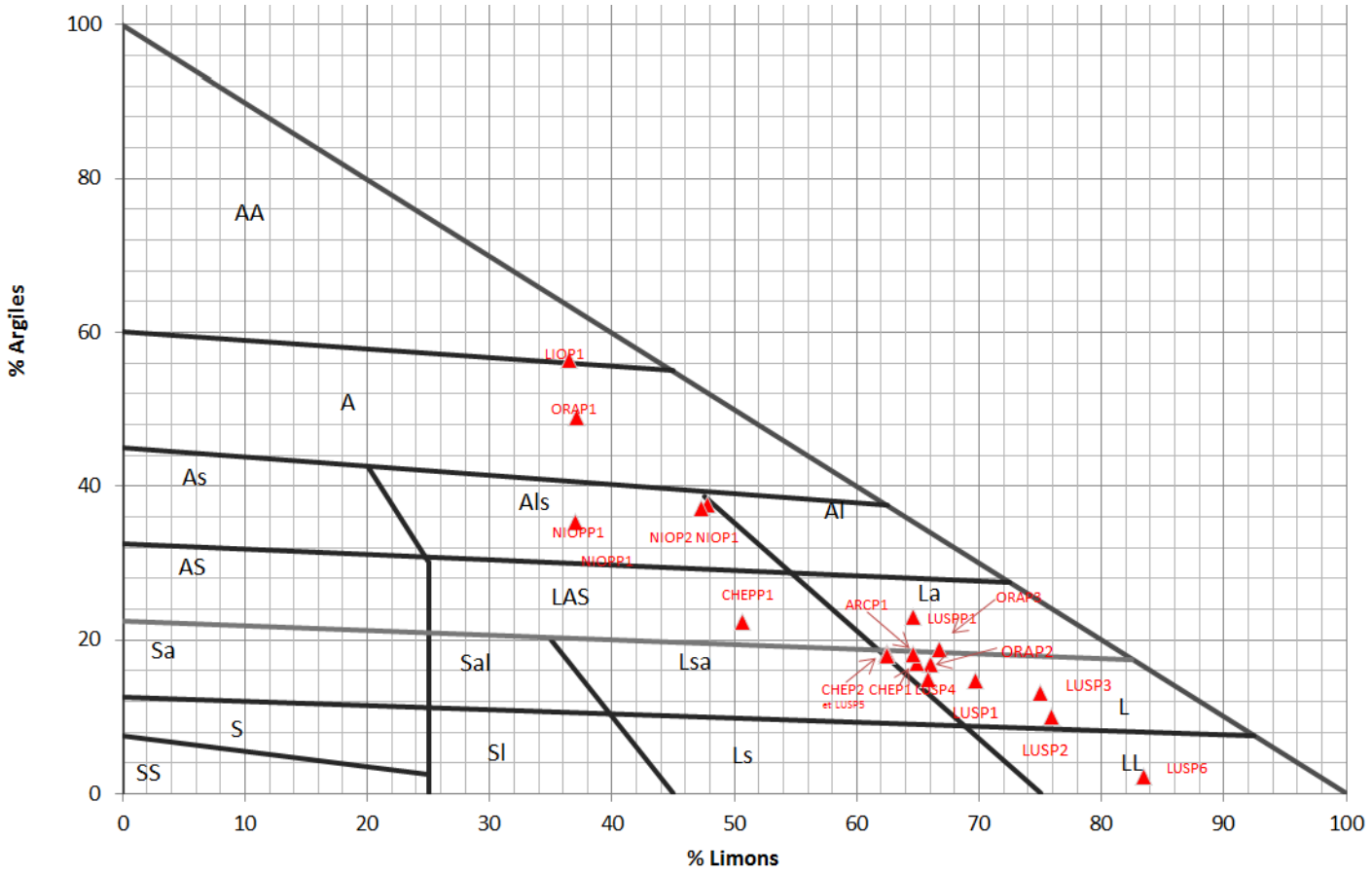
| | intercept(hiver) | | printemps | | C.I | | sol nu W | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val | est. Coeff | p.val |
| ab tot | | | | ***KW | | | | |
| Ep | | | | ***KW | | | | |
| TR | | | | NS (K.W) | | | | |
| TN | | | | ***KW | | | | |
| END | | | | ***KW | | | | |

| | sol | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ab tot | | | | ***KW | | |
| Ep | | | | ***KW | | |
| TR | | | | ***KW | | |
| TN | | | | ***KW | | |
| END | | | | ***KW | | |

# Annexe VIII : Diagrammes GEPPA ENI et SDCi



## Granulométrie des parcelles SDCi



Diplôme :Ingénieur agronome
Spécialité :Productions végétales
Spécialisation / option : Ingénierie des Agrosystèmes
Enseignant référent :Dominique Poulain

Auteur(s) :Alice SIX

Date de naissance* :30/11/1990

Nb pages : 29 Annexe(s) :14

Année de soutenance :2014

Organisme d'accueil: Chambre Régionale d'Agriculture du Poitou-Charentes (CRA-PC)
Adresse :2133 Route de Chauvigny, Mignaloux-Beauvoir
Maître de stage :Marion Vigot

Titre français : Analyse des facteurs impactant la biodiversité écologique des vers de terre dans trois sols typiques du Poitou-Charentes.

Titre anglais :Analysis of factors that impact earthworms ecological biodiversity in three typical soils of Poitou-Charentes (France).

Résumé (1600 caractères maximum) :
Dans un contexte de développement des sciences vivantes du sol (étude de la microfaune, la mésofaune et la macrofaune), la chambre d'agriculture du Poitou-Charentes souhaite valoriser deux années de prélèvements lombriciens, créer un indicateur d'abondance lombricienne (et évaluer ainsi la durabilité d'un système cultural) et surtout communiquer les résultats à l'ensemble du réseau d'agriculteurs régional. Cette étude réalise dans un premier temps une synthèse bibliographique sur les facteurs identifiés comme influençant les différentes classes écologiques de vers de terre : les épigés, les endogés, les anéciques têtes rouges et les anéciques têtes noires. Les abondances des juvéniles et des adultes sont également prises en compte. Après traitement des données d'analyses de terre et d'itinéraires techniques récoltées sur deux périodes de temps différentes, des variables pertinentes en vue d'une modélisation sont sélectionnées. Ces facteurs concernent à la fois le travail du sol, les traitements phytosanitaires, la gestion de la matière organique et surtout la qualité physico-chimique des sols. Chaque abondance est sensible à différentes combinaisons de variables. La dernière étape de ce mémoire concerne la modélisation de l'abondance totale des lombriciens. Les variables concernant le type de sol considéré, une durée de non-travail du sol et les traitements molluscides sont les plus pertinentes pour décrire cet indicateur. Le modèle se révèle bien représentatif du jeu de données ayant servi à son élaboration mais ne supporte pas la confrontation à un jeu de données « étranger » (certainement parce qu'il ne peut prendre en compte des interactions de facteurs). En résumé, ce rapport livre une ébauche de modèle mais surtout une méthodologie permettant de sélectionner à partir d'un très grand nombre de données, moins d'une dizaine de facteurs d'impact et d'intensités très différents.Il se pose donc en tant que travail préliminaire sur l'utilisation du bioindicateur ver de terre.

Abstract (1600 caractères maximum) :
In the context of a developping life science of soil (study of microfauna, mesofauna and macrofauna), the French institute "Chambre d'agriculture" of Poitou-Charentes wants to value two-year-sampled datas of earthworm abundancies (and evaluate the durability of a crop system) and most of all communicate the results to the local farmer network. In a first time this study summarizes every factors that are set to be influent on earthworm communities in bibliographic datas (more precisely on ecological types: épigeic group, "black head" anecic group, "red head" anecic group, endogeic group and at last young and adult groups). Datas were sampled from soil analysis and all the practices made on plots of land. Those samples were made on two periods of time. A statistic analysis isolated a group of factors concerning soil tillage, phytosanitary treatments, organic matter management and soil physical and chemical properties in order to create a mathematic model.Each kind of ecological group is sensitive to a special combination of variables.The last step is concerning the modelisation work on global abundancy of earthworms. The type of soil, the interval of time between the last tillage and the sampling day and the molluscicidal treatment are the most relevant. The model isn't stong-built enough to predict a value from a different dataset than the one which was used to its construction (it made be because it doesn't use interactions of factors). To put in a nutshell, this study suggest a prototype of model and moreover it offers a methodology to select from a huge dataset only a dozen of variables that have different impacts and intensities on earthworms abundancies. This is a preliminary work on the use of earthworms as bioindicators.

Mots-clés :bioindicateur, lombriciens, modélisation, qualité des sols

Key Words: bioindicator, earthworms, modelisation, soil quality