

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

Réf : ...../UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGRO/20



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER**

**Domaine : SNV    Filière : Science Agronomique**  
**Spécialité : Protection Des Végétaux**

**Présenté par :**

*Ait-Kara Yasmine & Dahmani Chahra*

*Thème*

**Effet des pesticides sur la biologie des lombricidés :  
bioindicateurs de la qualité des sols**

**Soutenu le :** 22 / 09 / 2020

**Devant le jury composé de :**

*Nom et Prénom*

*Grade*

*Mecelem Dalila*

*MCA.*

*Univ. de Bouira*

*Président*

*Benchikh Chafie*

*MAA.*

*Univ. de Bouira*

*Examineur*

*Mouhoub Sayah Chafika*

*Prof.*

*Univ. de Bouira*

*Promoteur*

*Année Universitaire : 2019/2020*

# Remerciements

*C'est avec beaucoup de sincérité que je voudrai remercier toutes les personnes ayant soutenu et apprécié notre travail.*

*En premier lieu, nous tenons à exprimer toute ma reconnaissance à Mme **Mouhoub-Sayah Chafika** de nous avoir encadrées. Je la remercie pour sa patience, sa confiance, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. Vous êtes pour nous un magnifique modèle de sagesse et de persévérance.*

*Mes plus vifs remerciements vont à Mme **Mecellem Dalila** qui m'a honorée de présider le jury de ce mémoire, Qu'elle retrouve ici l'expression de ma reconnaissance.*

*J'exprime toute ma gratitude à Mr **Benchikfi Chafie** pour avoir accepté de juger ce travail et faire partie de ce jury en qualité d'examineur.*

*Le prélèvement des échantillons et le tri manuel des vers de terre auraient été impossibles sans l'aide de l'ingénieur de la Ferme pilote Haicheur d'Ain bessam.*

*Je tien a remercié monsieur **Djezzar Miliani** enseignant à l'université Kfimis-Miliana pour ces conseils.*

*Je remercie chaleureusement ma famille, surtout mes parents, ces héros qui ont toujours cru en moi et m'ont toujours guidée et encouragée. Je leur suis redevable d'une éducation dont je suis fière.*

*À toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce mémoire, je leur présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.*

## Dédicace

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, L'amour, le respect, la reconnaissance... Aussi, c'est tout simplement que Je dédie cette thèse ...*

*...À mes chers parents...*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.*

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.*

*Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.*

*...A la mémoire de ma tante Rosa...*

*J'aurais tant aimé que tu sois présente. Que Dieu ait ton âme dans sa sainte miséricorde.*

*A mes deux grand-mères...A tous mes oncles et tantes*

*...A mes deux bijoux...*

*Basmala & Ghiles. En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.*

*...A mon binôme...A ma sœur...*

*Au nom de l'amitié qui nous réunit...Au nom de nos souvenirs inoubliables*

*Je te remercie pour ton soutien moral, ta patience, ta compréhension*

*Merci pour tous les moments de bonheur que tu nous as offerts.*

*Je te souhaite une vie pleine de réussites, de joie et de bonheur.*

*...A tous ceux qui m'aime...*

*A ceux qui m'ont transmis leur passion pour la science, Pour les sciences de la vie, Et  
la vie*

*YASMINE*

## Dédicace

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, L'amour, le respect, la reconnaissance... Aussi, c'est tout simplement que Je dédie cette thèse ...*

*...À mes chers parents...*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.*

*...À mon grand-père que dieu le garde ...*

*...À la mémoire de ma grand-mère...*

*J'aurais tant aimé que tu sois présente. Que Dieu ait ton âme dans sa sainte miséricorde.*

*...À mes chères et adorables sœurs et frère...*

*Akila, Fayza, Sabrina et Nabila et Mahfoud mon seul frère que j'adore. Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour, L'affection et le respect que je porte pour vous. En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.*

*...À mes chers petits neveux et nièces...*

*...À mon binôme...*

*Yasmine, ma moitié, je ne peux trouver les mots justes et sincères pour t'exprimer mon affection et mon amour, t'es pour moi une sœur qui je peux compter. En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments qu'on a passés ensemble.*

*Sans ton aide, tes encouragements ce travail n'aurait vu le jour. Je te remercie pour Ton soutien moral, ta gentillesse sans égal et je te souhaite une vie pleine de succès, de santé et de bonheur.*

*A ceux qui m'ont transmis leur passion pour la science, Pour les sciences de la vie, Et la vie*

*CHAHRA*

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau 1:</b> Classification des pesticides selon la cible (INSERM, 2013). .....	6
<b>Tableau 2:</b> Classement des pesticides suivant leur mode d'action (Socorro,2015). .....	7

## *Liste des figures*

<b>Figure 1:</b> Devenir des pesticides dans l'environnement.....	10
<b>Figure 2:</b> Position écologique des lombrics. ....	16
<b>Figure 3:</b> Morphologie externe d'un ver de terre.....	16
<b>Figure 4:</b> Anatomie interne d'un lombric.....	17
<b>Figure 5:</b> Action de déplacement des lombrics. ....	17
<b>Figure 6:</b> Accouplement des vers de terre. ....	19
<b>Figure 7:</b> Structures construites par des vers de terre.....	21

## *Glossaire*

**2-4D:** Acide 2,4-Dichlorophénoxyacétique.

**AChE :** l'AcétylCholinestérase.

**C/ N :** Rapport massique Carbone sur Azote.

**CE:** Concentration Effective.

**CL50 :** Concentration Létale 50%.

**Cu :** Cuivre.

**DDT :** Dichloro Diphényl Trichloroéthane.

**DL50:** Dose létale 50%.

**FAO:** Food and Agriculture Organization.

**Ha :** Hectare.

**Hg :** symbole chimique du Mercure.

**INERIS:** Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques.

**INSESRM :** Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale.

**ISO :** Organisation Internationale de Normalisation.

**LOEC:** Lowest Observed Effect Concentration.

**Mg/kg :** Concentration d'un pesticide en milligramme de matière active / kilogramme de sol.

**NOEC:** No Observed Effect Concentration.

**OCDE :** Organisation de Coopération et de Développement Economiques.

**OMS :** Organisation Mondiale de la Santé.

**OP :** Organophosphoré.

**OPVT :** Observatoire Participative des Vers de Terre.

**OSUR :** Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes.

**Ph:** Potentiel hydrogène.

**POP :** Polluants Organiques Persistants.

**Ppm:** Partie par million.

**SL:** Concentrée Solubles.

## Sommaire

<i>Introduction</i> .....	1
<b>I. Aperçu sur les pesticides</b> .....	5
<b>I.1. Historique des pesticides</b> .....	5
<b>I.2. Classification des pesticides</b> .....	6
I.2.1. Selon la nature de la cible et le mode d'action.....	6
I.2.2. Selon la famille chimique.....	7
<b>I.3. Devenir des pesticides dans l'environnement</b> .....	9
<b>I.4. Toxicologie des pesticides</b> .....	10
I.4.1. Conséquences sur les écosystèmes .....	10
I.4.2. Toxicité sur la santé humaine .....	10
I.4.3. Effets sur la biodiversité .....	11
<b>I.5. Méthodes d'évaluation de la toxicité des pesticides</b> .....	13
I.5.1. La biosurveillance.....	13
I.5.2. Bioindicateur ou indicateur biologique.....	13
I.5.3. Choix d'une espèce bioaccumulatrice .....	14
<b>II. Données bioécologiques sur les lombricidés</b> .....	15
<b>II.1. Taxonomie des lombricidés</b> .....	15
<b>II.2. Classification écologique des vers de terre</b> .....	15
<b>II.3. Morphologie des lombrics</b> .....	16
II.3.1. Anatomie externe .....	16
II.3.2. Anatomie interne .....	17
<b>II.4. Mode de locomotion des lombrics</b> .....	18
<b>II.5. Cycle de reproduction</b> .....	19
<b>II.6. Période de l'activité</b> .....	20
<b>II.7. Intérêt des lombrics</b> .....	20
II.7.1. Intérêt sur le sol.....	20
II.7.2. Intérêt sur les organismes du sol .....	21
II.7.3. Intérêt sur les plantes .....	22

<b>II.8. Méthode d'échantillonnage des vers de terre .....</b>	<b>22</b>
II.8.1. Les méthodes physiques .....	22
II.8.2. Les méthodes éthologiques : Méthode « Moutarde ».....	22
<b>III. Déclin des populations des lombricidés.....</b>	<b>23</b>
<b>III.1. Effet des pratiques agricoles sur la démographie des populations lombriciennes</b> .....	<b>23</b>
III.1.1. Le labour .....	24
III.1.2. Le tassement du sol .....	25
III.1.3. Effet de la rotation des cultures .....	25
<b>III.2. Effet des facteurs abiotiques .....</b>	<b>25</b>
III.2.1. La disponibilité en matière organique .....	25
III.2.2. Type du sol .....	26
III.2.3. Le pH.....	26
III.2.4. Température et humidité.....	27
<b>III.3. Effet des polluants sur les populations des lombrics.....</b>	<b>27</b>
III.3.1. Effet des métaux lourds sur les vers de terre .....	28
III.3.2. L'utilisation des pesticides .....	29
<b>IV. Effet des pesticides sur les lombrics.....</b>	<b>30</b>
<b>IV.1. Tests écotoxicologiques standardisés .....</b>	<b>30</b>
VI.1.1. Test de toxicité aigu .....	30
VI.1.2. Test de toxicité chronique .....	31
VI.1.3. Test d'évitement .....	31
<b>IV.2. Effet des insecticides sur les lombrics .....</b>	<b>31</b>
IV.2.1. Effet des organochlorés .....	32
IV.2.2. Effet des organophosphorés .....	32
IV.2.3. Effet des carbamates .....	33
IV.2.4. Effet des néonicotinoïdes .....	34
IV.2.5. Effet des pyréthroïdes .....	35
<b>IV.3. Effet des fongicides sur les lombrics .....</b>	<b>36</b>
IV.3.1. Les dérivés de cuivre.....	37
IV.3.2. Les carbamates systémiques.....	37

IV.3.3. Les Carbamates de contact (les dithiocarbamates) .....	38
IV.3.4. Cas de Priori Opti et d'Hexavil .....	39
<b>IV.4. Effet des herbicides sur les lombrics .....</b>	<b>40</b>
IV.4.1. Cas de glyphosate .....	40
IV.4.2. Cas de 2,4-Dichlorophénoxyacétique .....	41
IV.4.3. Cas de Butachlor .....	41
IV.4.4. Cas de l'acétochlore .....	42
IV.4.5. Cas d'atrazine .....	42
IV.4.6. Cas de Propyzamide, Benfluraline, Métribuzine .....	42
IV.4.7. Cas des urées substituées.....	43
<b><i>Conclusion et perspectives</i> .....</b>	<b>44</b>
<b><i>Références bibliographique</i> .....</b>	<b>47</b>

### **Introduction**

Durant la révolution verte, et face aux besoins croissants en alimentation liés à l'augmentation des populations humaines, une grande quantité des pesticides chimiques et d'engrais ont été utilisées pour augmenter le rendement des cultures (Gupta *et al.*, 2014b, Vanita *et al.*, 2014). Selon FAO, la demande en pesticides double pratiquement tous les dix ans depuis 1945. Le marché mondial des pesticides représente environ 40 milliards de dollars, il est stable depuis les années 2000.

En Algérie, l'utilisation des pesticides à usage agricole est de plus en plus fréquente, suite à l'augmentation des superficies cultivées (Bouziani, 2007). D'après l'institut national de la protection des végétaux, plus de 480 pesticides sont enregistrés en Algérie dans le domaine de l'agriculture (Ayad-Mokhtari, 2012). Ainsi, près de 400 substances actives de pesticides, dont environ 7000 spécialités, y sont commercialisées annuellement et constituent des outils nécessaires, voire indispensables pour les agriculteurs afin qu'ils assurent la rentabilité de la majorité de leurs productions (Bouziani, 2007).

Les pesticides ont montré leur valeur en augmentant la production agricole mondiale, en luttant contre les organismes considérés comme nuisibles pour les plantes et en limitant certains nombres de maladies parasitaires très meurtrières.

Si les pesticides sont d'abord apparus bénéfiques, leurs effets secondaires nocifs ont été peu à peu mis en évidence. Ces produits avérés très toxiques à différents degrés. Depuis plusieurs décennies, la communauté scientifique a pris conscience des dangers de l'emploi massif des pesticides, tant pour la santé humaine que pour l'environnement. La caractérisation des risques engendrés par ces polluants est donc devenue un enjeu écotoxicologique majeur (Marss *et al.*, 2004).

Cependant, certains pesticides sont persistants dans l'environnement et du fait de leur action non sélective, la faune et la flore ainsi que l'homme constituent leur cible. Les chercheurs estiment que sur les 2.5 millions de tonnes de pesticides répandus chaque année dans le monde, seulement 0.3% atteignent leur cible et le reste touche toutes les autres espèces vivantes (Magdelaine, 2013). Ils ont observé l'apparition des allergies, le développement de certains cancers, des troubles neurologiques et comportementaux (Mnif *et al.*, 2011) et d'autres maladies chez l'homme. L'exposition à des substances toxiques peut nuire aux prédateurs

## *Introduction*

naturels, aux pollinisateurs, aux organismes utiles du sol, aux poissons, aux oiseaux et aux autres animaux (Louveau, 1984). L'usage intensif des herbicides a induit une diminution de la biomasse végétale, avec une réduction importante du nombre d'espèces de plantes sensibles dans les parcelles cultivées (Fried, 2008).

L'estimation des effets sur les écosystèmes d'une pollution liée aux pesticides s'avère difficile, car il existe un millier de familles de pesticides, soit des dizaines de milliers de pesticides (Armand, 2002). Pour toutes ces raisons, les pesticides ont fait l'objet de nombreuses études qui portent sur l'évaluation de leur toxicité pour l'homme et son environnement. L'utilisation d'analyses physico chimiques informe sur la présence, la nature et la quantité des contaminants dans les sols. Cependant ce type d'approche donne peu d'informations sur l'état de santé des populations exposées aux contaminants (Léveque, 1997). C'est pour cette raison que les chercheurs se sont orientés vers la méthode de la biosurveillance faisant appel aux indicateurs biologiques qui permettent de comprendre les modalités d'exposition, le devenir des polluants dans leurs organismes<sup>2</sup>.

En bio surveillance on utilise deux types de bio tests de toxicité : aiguë ou chronique. Les tests de toxicité aiguë, basés sur le potentiel de survie des organismes, permettent de déterminer des doses ou concentrations responsables de la mort de 50% des individus exposés (DL50 ou CL50). Les tests de toxicité chronique sont plus pertinents car ils permettent de mesurer des effets sublétaux comme des changements au niveau de la croissance, la reproduction, le comportement, la physiologie, etc.

Certaines espèces sont aujourd'hui utilisées dans des tests d'écotoxicité normalisés pour évaluer la qualité des sols. C'est le cas notamment des vers de terre [ISO 11268 :1998-2 ; ISO 17512 :2008], utilisés pour mesurer les effets des substances polluantes comme les pesticides à travers, l'étude de la survie, de la croissance, de la reproduction et plus récemment, du comportement d'évitement (Kammenga et *al.*, 2000). Ces animaux à corps mou qui ingèrent une grande quantité de sol sont hautement exposés aux pesticides et représentent donc un taxon clé à étudier pour l'évaluation des risques liés à l'usage des produits phytosanitaires.

En Algérie, l'étude sur la diversité des vers de terre a été abordée par Baha, (1997) ; Omodeo et *al.* (2003) ; Ouahrni, (2003) ; Kherbouche et *al.* (2012) ; Boukria, (2012) ; Zeriri et *al.* (2013) ; Bazri et *al.* (2013), où 41 espèces ont été répertoriées à travers l'ensemble de ces travaux. Par contre, peu d'auteurs se sont intéressés à l'étude de l'écotoxicité des pesticides sur

## *Introduction*

les vers de terre. La première a été menée par Zeriri (2013), suivie par Yesguer (2015), Zaidi et Safsaf (2016) et Gueddou et Nedjaa (2017). Pour la région de Bouira, la première étude de l'écotoxicité sur les vers de terre est abordée par Medjri et Chabira (2019) pour évaluer la toxicité du Karaté Zeon, insecticide fréquemment utilisé par les agriculteurs de la région sur *Allolobophora rosea rosea*, un bioindicateur de la pollution appartenant aux oligochètes.

Poursuivre sur le même axe de recherche s'inscrivant dans le domaine d'écotoxicologie, notamment, sur la diversité des lombricidés, thème qui n'a jamais été abordé dans la région d'Ain Bessem. Un site d'échantillonnage de l'espèce est pris au niveau de la Ferme pilote Haicheur, exploitation caractérisée par une activité agricole intense. L'objectif principal de la thématique de ce mémoire est d'évaluer la toxicité des pesticides tout en faisant appel à un bioindicateur, tels les lombricidae, fréquemment utilisés en biosurveillance pour jauger la qualité des sols. Pour ce faire, des investigations ont été menées sur terrain sur les pesticides les plus fréquemment utilisés par les agriculteurs de cette région et réaliser des tests de toxicité sur ces derniers. Après la mise au clair et en commun accord avec notre encadreur sur les objectifs et la problématique liée à ce travail, aussitôt, les premières prospections sont engagées. Dès les premières sorties sur terrain, il nous est révélé une grande abondance et diversité des lombricidae, particulièrement sur les parcelles non traitées par les pesticides. Ainsi, des échantillons sont préparés pour la détermination par la spécialiste de référence en Algérie, Pr Sekhara Mounia (laboratoire de Recherche de Biologie et Physiologie Animale, Ecole Normale Supérieure de Kouba, Alger).

Il est à signaler que suite à la crise sanitaire liée au COVID19, nous n'avons, malheureusement pas pu respecter la démarche tracée précédemment pour atteindre notre objectif. Face à cette situation venue interrompre nos déplacements sur le terrain, notre démarche globale s'est orientée vers une synthèse bibliographique en relation avec la thématique proposée initialement. Cet investissement de recherche dans la consultation de littérature pourrait constituer une base de données pour les futurs travaux afin d'entreprendre et réaliser les objectifs que nous avons voulu atteindre.

Notre document sera présenté en 4 chapitres :

Le premier chapitre présent un aperçu sur les pesticides. Le deuxième chapitre est consacré à des données bioécologiques sur les lombricidae. Le troisième expose les principales causes de déclin de la population des vers de terre. Le quatrième chapitre présent une synthèse

## *Introduction*

des résultats de tous les travaux sur l'effet des pesticides sur les lombricidés. Et on terminera avec une conclusion générale et des perspectives de recherche.

## **I. Aperçu sur les pesticides**

On appelle pesticide, produit phytosanitaire, produit pharmaceutique ou produit de traitement, toute substance ou préparation destinée à repousser, détruire ou combattre les ravageurs et les espèces indésirables de plantes, d'animaux, des champignons ou des bactéries causant des dommages durant la production, la transformation, le stockage, le transport ou la commercialisation des denrées alimentaires (Benzine, 2006).

Selon les textes relatifs à la réglementation européenne, on distingue deux types de pesticides (Merhi, 2008) :

- **Produits phytopharmaceutiques** : pesticides à usages agricole et non agricole (parcs et jardins, entretien des abords d'axes de transport...) pour la protection des plantes.
- **Produits biocides** : pesticides destinés à tous les usages non agricoles hormis ceux voués à la protection des végétaux (désinfectants, insecticides ménagers, traitement des charpentes, produits antisalissure...).

### **I.1. Historique des pesticides**

Les êtres humains ont toujours utilisé des produits chimiques d'origine végétale et inorganiques dans leurs efforts de réduire les dommages produits par les ravageurs et les maladies au niveau de leurs cultures et de leurs animaux. Deux périodes peuvent être distinguées pour décrire le développement très important des pesticides; ce sont la première et la deuxième moitié du XXe siècle approximativement séparées par la deuxième guerre mondiale (Berrah,2011).

L'usage des composés arsenicaux étaient très répandu avant 1950, ils ont été utilisés contre les insectes ravageurs des arbres fruitiers et de la vigne, aussi contre un ravageur notoire de la pomme de terre (le doryphore). A côté des insecticides minéraux, le développement considérable des insecticides organiques d'origine naturelle et synthétique a été marqué, ces composés sont représentés par des composés organochlorés qui sont des biocides particulièrement efficaces. Le DDT a eu un grand succès dans la lutte contre de nombreux insectes ravageurs et aussi contre les moustiques (Anonyme, 2017).

L'utilisation des pesticides s'est beaucoup développée au cours de la deuxième moitié du XXe siècle. D'après le Conseil de l'Europe en 1992, de nombreuses substances ont été découvertes ; elles appartiennent aux familles chimiques des organophosphorés, des carbamates et des pyréthrinoides. A partir de début de 1960, l'utilisation des pesticides est montée en flèche en Asie et en Amérique du Sud (Jeroen et *al.*, 2004), 65% des pesticides dans le monde sont utilisés dans les pays développés, mais l'utilisation dans les pays en développement est de plus en plus élevée (Berrah, 2011).

## I.2. Classification des pesticides

Selon Calvet et *al.* (2005), les substances actives sont classées en fonction de :

- La nature de la cible et le mode d'action
- La nature chimique de la substance active.

### I.2.1. Selon la nature de la cible et le mode d'action

Plusieurs catégories de pesticides selon les organismes vivants visés, dont les principales sont consignées dans le tableau 01.

**Tableau 1:** Classification des pesticides selon la cible (INSERM, 2013).

Pesticides	Utilisation	Exemple
Insecticides	contre les insectes	Dichlorodiphényltrichloroéthane deltaméthrine
Fongicides	contre les champignons	Moncozébe, hexaconazol, chlorothalonil
Herbicides	Qui détruisent les plantes adventices des cultures de façon plus générale, toute végétation jugée indésirable	2-4D, glyphosate
Acaricides	Qui détruisent les acariens	Abamectine,
Nématicides	Employés contre les nématodes phytoparasites	Bromomethane, chloropicrine
Molluscicides	Ou hélicides qui détruisent les gastéropodes	Methiocarbe, mercaptodiméthur
Rodenticides	Qui tuent les rongeurs comme les rats	Warfarine, phosphure de zinc
Avicides	Destinés à éliminer les oiseaux	Strychnine

Les pesticides peuvent être groupés en fonction de la façon dont ils agissent sur les organismes nuisibles cibles, le tableau 02 résume la classification des pesticides selon le mode d'action ou le mode de pénétration.

**Tableau 2:** Classement des pesticides suivant leur mode d'action (Socorro, 2015).

<b>Herbicide</b>	
De contact	Agit sur les parties de la plante avec lesquelles ils entre en contact
Systémique	Absorbé par la plante, se déplace à l'intérieur de celle-ci
Sélectif	Ne contrôle que certaine plantes traités
Non-sélectif	Contrôle tous les plantes traitées
Résiduaire	Se dégrade lentement et contrôle les plantes sur une longue période
Non-résiduaire	Est rapidement inactif après son application et ne contrôle que sur une courte période
<b>Fongicide</b>	
Préventif	Protège la plante en empêchant la maladie de se développer
Curatif	Réprime une maladie qui est déjà développée
<b>Insecticide</b>	
De contact	Agit lorsque l'insecte entre en contact avec le produit
D'inhalation	Agit lorsque l'insecte respire le produit
D'ingestion	Agit lorsque l'insecte se nourrit du produit

### I.2.2. Selon la famille chimique

Les pesticides peuvent également être classés en fonction de la famille chimique à laquelle appartiennent les substances actives.

**I.2.2.1. Les pesticides organiques :** sont les plus nombreux. Ils présentent un squelette carboné et appartiennent à diverses familles chimiques selon les atomes constituant la structure de base de la molécule et les fonctions chimiques associées (Calvet et *al.*, 2005). Parmi ces multiples familles, on cite :

#### **I.2.2.1.1. Les Organophosphorés**

Ce sont des composés dans lesquels un atome de phosphore est lié à une molécule qui contient du carbone et de l'hydrogène, tels que le malathion, parathion, diazinon et le chlorpyrifos. Les organophosphorés (OP) sont trop persistants, hautement toxiques, volatiles et liposolubles (Ndoye, 1998; Di corcia ; Marchetti, 1991).

#### **I.2.2.1.2. Les Organochlorés**

Les organochlorés sont des composés organiques de synthèse dérivés du chlore, ce sont des POP (polluants organiques persistants) et peuvent donc s'accumuler dans la chaîne alimentaire. Ils sont très toxiques avec une très grande persistance. L'exemple du DDT est impressionnant car, il a un demi de vie de 40 ans (Capinov, 2020).

#### **I.2.2.1.3. Les Carbamates**

Les carbamates sont des esters de l'acide N-méthylcarbamique qui sont utilisés comme insecticides, nématicides et herbicides. Extrêmement toxique, leur demi-vie s'étend de quelques jours à plusieurs mois, voire plusieurs années dans les eaux souterraines. Ces pesticides sont solubles dans l'eau, leur toxicité est variable d'une molécule à l'autre. Tels que le cas de Carbaryl, Furadan, Aldicarbe qui présentent une toxicité avérée (Bouchon et *al.*, 2003).

#### **I.2.2.1.4. Les Triazines**

Ce sont des composés chimiques organiques aromatiques constitués d'un hétérocycle de trois atomes de carbones et trois azotes. Ce sont des molécules à effet herbicide telles que l'atrazine, la simazine, le prometryne et le terbutryne. La demi-vie de ces molécules peut atteindre un an dans les sols et plus de trente ans dans les eaux (Auld et *al.*, 1987).

#### **I.2.2.2. Les pesticides inorganiques**

Boland et *al.* (2004), ont mis en évidence que les pesticides inorganiques sont des éléments chimiques qui ne se dégradent pas. Leur utilisation entraîne souvent de graves effets

toxicologiques sur l'environnement par accumulation dans le sol tels que, l'arséniat de plomb, le mélange de cuivre et de chaux, le tétraborate de sodium, le chlorate et les composés de mercure.

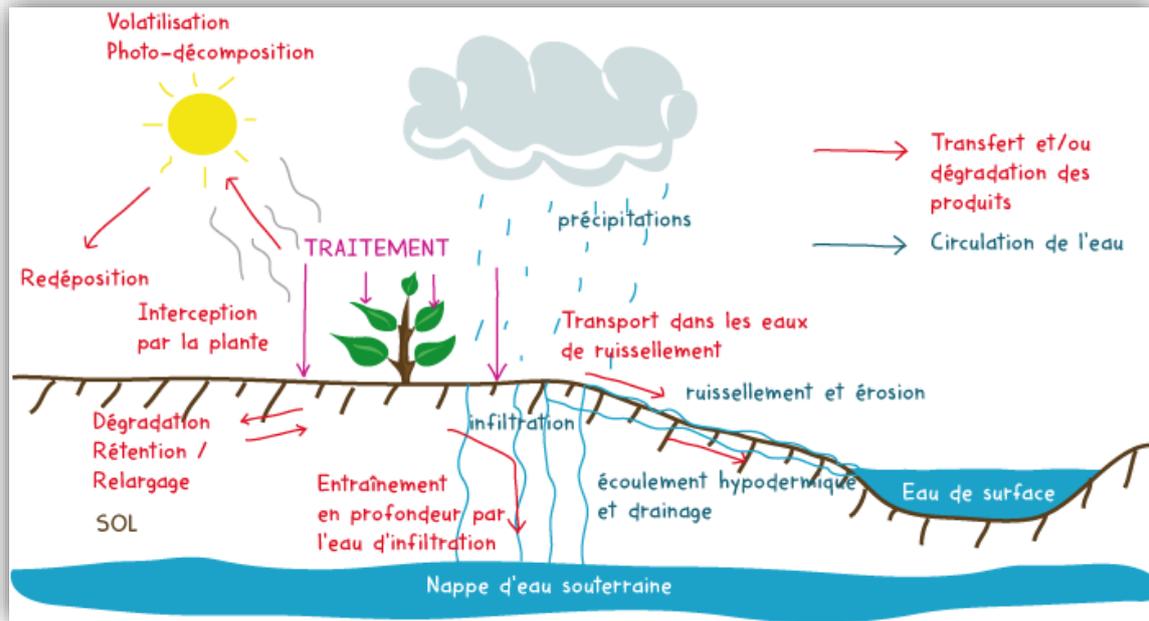
### **I.2.2.3. Les biopesticides**

Ce sont des substances dérivées de plantes et d'animaux. Elles peuvent être constituées d'organismes tels que, les moisissures (*Gliocladium catenulatum*), les bactéries (*Bacillus thuringiensis var. tenebrionis*), les virus (la mosaïque du pépino), les nématodes (*Steinernema fetiae*), composés chimiques dérivés de plantes (Ortie *Urtica dioica L.*) et phéromones d'insectes (phéromone de pyrale) (Boland et al., 2004).

### **I.3. Devenir des pesticides dans l'environnement**

Lors de l'utilisation des produits phytosanitaires, une certaine quantité de ces substances se retrouve dans l'environnement, principalement dans l'air par dérive sous forme de gouttelettes ou sur le sol (Pimentel, 1995). Ils peuvent alors être soumis à différents processus qui vont conditionner sa dissipation dans les différents compartiments de l'environnement (Merhi, 2008). (Fig 1)

- La photo-dégradation : est un processus abiotique dans la dissipation des pesticides où l'excitation moléculaire par absorption de l'énergie lumineuse (Katagi, 2004).
- La dégradation chimique par le phénomène d'hydrolyse aqueuse (Wolfe et al., 1990).
- La biodégradation grâce aux micro-organismes présents dans le sol (Colin, 2000)
- La rétention (adsorption) dans le sol jusqu'à la formation de résidus liés (par exemple l'accumulation des fongicides à base de cuivre dans les sols) (Van Der Werf, 1996).
- Le transport vers d'autres compartiments environnementaux par des processus physicochimiques (volatilisation) ou via un vecteur, l'eau par lixiviation ou ruissellement ou les particules de sol (désorption) (Van Der Werf, 1996).



**Figure 1:** Devenir des pesticides dans l'environnement (Berrah, 2011).

#### I.4. Toxicologie des pesticides

L'utilisation croissante des pesticides depuis un demi-siècle a eu des impacts délétères sur la santé de l'homme et l'environnement.

##### I.4.1. Conséquences sur les écosystèmes

L'application des pesticides sur les cultures entraîne une dispersion dans les compartiments de l'environnement. Cette dispersion provoque des transferts et des toxicités indirectes dans les écosystèmes terrestres et aquatiques, et une exposition indirecte pour l'homme via l'air et l'eau. Si les matières actives de première génération « les organochlorés » étaient faiblement dégradables, les composés actuels ont des demi-vies plus courtes, une disparition dans les semaines suivant le traitement est observée. Cependant, la rétention dans les sols peut augmenter leur rémanence et être responsable d'effets non intentionnels (effets sur la microflore et la microfaune du sol) (Narbonne, 1998).

##### I.4.2. Toxicité sur la santé humaine

Les effets sanitaires potentiels en relation avec l'exposition chronique à faible dose, professionnelle ou environnementale, aux produits phytosanitaires font l'objet de nombreuses

recherches depuis près de trois décennies. Les pathologies les plus étudiées sont les maladies neuro-dégénératives (démence d'Alzheimer, maladie de Parkinson et sclérose latérale amyotrophique notamment), les cancers (tumeurs prostatique et cérébrales, cancers cutanée et tumeurs labiales), et les hémopathies malignes (lymphomes, myélomes et leucémies), ainsi que les échecs de la reproduction et des perturbations endocriniennes. La possibilité de troubles neuropsychiques induits par l'exposition répétée à faible dose de pesticides a été évoquée dès les débuts de leur emploi, les insecticides pratiquement tous des substances neurotoxiques étant à cet égard les plus suspects (Viel et al., 1998).

### I.4.3. Effets sur la biodiversité

Les pesticides, en raison de leur toxicité avérée et de leur dispersion répétée à travers le monde, représentent un des facteurs responsables du déclin de la biodiversité (Foubert, 1986).

#### I.4.3.1. Effet sur la faune

Les pesticides peuvent nuire aux organismes autres que les espèces nuisibles contre lesquelles ils sont ciblés (Barnett et al., 2003). L'exposition même à des doses faibles de pesticides peut provoquer chez les espèces touchées des changements comportementaux et physiologiques pouvant conduire à une baisse de la survie et de la reproduction (Kegley et al., 1999).

##### I.4.3.1.1. Les vertébrés

**Les mammifères** sont également impactés par ces produits, soit directement par empoisonnement, ou indirectement en supprimant les aliments et les abris (Jahn et al., 2014). Certains mammifères tels que le sanglier (*Sus scrofa*) et le renard (*Vulpes vulpes*) ont été autopsiés dans le cadre d'une évaluation toxicologique d'un rodenticide. Les résultats ont confirmé leur intoxication suite à l'ingestion de ce produit (Jacquot, 2013). Le chien c'est d'ailleurs l'espèce la plus fréquemment contaminée par des pesticides utilisés à l'intérieur des habitations contre les insectes volants, suivi des chats, des bovins, des chevaux et des moutons (Berny, 2010).

L'utilisation intensive des pesticides jouent un rôle majeur dans le déclin de 4/5 des espèces d'**oiseaux** (Robinson et Sutherland, 2002). Un pesticide peut tuer l'oiseau directement, l'empoisonner sans le tuer ou avoir un effet indirect sur lui en réduisant sa nourriture ou par

consommation des proies déjà contaminées (Millot, 2016). Des moineaux sauvages sont exposés à des minuscules doses de produit chimique et ont été empoisonnés plus qu'ils ont désorientés, c'est un handicap majeur pour un animal migrateur, cela conduit à une arrivée tardive sur les lieux de nidification (Hautbois, 2019).

Les pesticides représentent une menace pour **les poissons**, certaines espèces sensibles risquent de disparaître (Beresford et al., 2004). Chez le poisson arc-en-ciel australien (*Melanotenia fluviatilis*), l'exposition de pyréthrinolide à des doses sublétales induit une diminution du nombre d'œufs pondus par femelle ainsi qu'une réduction du taux d'éclosion (Barry et al., 1995). L'exposition à ces contaminants peut engendrer ainsi des malformations, une diminution de la fertilité, une réduction de la capacité de nage, ou encore perturber le système immunitaire (Kegley et al., 1999).

Certains pesticides sont des perturbateurs endocriniens, ils peuvent donc perturber la régulation hormonale chez **les reptiles**. Une forte baisse d'une population d'alligators d'Amérique (*Alligator mississippiensis*), ainsi que des défauts morphologiques au niveau des ovaires et des testicules a été remarquée au niveau du lac Apopka en Floride, un lac fortement contaminé par le DDT et le dicofol (insecticides organochlorés) (Guillette et al., 1994).

#### I.4.3.1.2. Les invertébrés

L'exposition aux certains pesticides peut provoquer une diminution de la mobilité chez différents **insectes**. Tels que, chez *Melipona quadrifasciata* (abeille originaire du Mexique) et la guêpe *Trissolcus basalis*, l'exposition des larves à des doses sublétales d'imidaclopride (insecticide de la famille des néonicotinoïdes) provoque une diminution de l'activité locomotrice des adultes âgés de quatre jours ou plus (Tomé et al., 2012).

**Les annélides** ont un rôle majeur dans la structuration du sol. Leur relative sensibilité aux pesticides a fortement contribué à faire de ces organismes le point d'entrée des études d'écotoxicité des pesticides. Par exemple les vers de terre affectés par les pesticides ont subi des perturbations des activités enzymatiques, augmentation de la mortalité individuelle, diminution de la fécondité et la croissance (Aubertot et al., 2005).

### **I.5. Méthodes d'évaluation de la toxicité des pesticides**

La recherche en éco-toxicologie a permis de mettre au point différents outils permettant de définir la toxicité d'un produit vis à vis des êtres vivants ou encore d'évaluer l'état d'un milieu naturel (Calow, 1993).

Les méthodes physico-chimiques de surveillance de la qualité des milieux mesurent les concentrations de composants présents dans l'environnement, permettant par la suite leur comparaison à des valeurs réglementaires. Cependant, ces techniques n'apportent pas d'information directe sur les effets des polluants sur les organismes (Van Haluwyn et *al.*, 2011).

Pour appréhender les impacts et compléter les évaluations des risques, les méthodes de biosurveillance apportent des informations complémentaires sur la nature et l'intensité de la contamination, sur l'exposition en intégrant les échelles spatiales et temporelles et sur les effets toxiques aux différents niveaux d'organisation. Ces méthodes sont extrêmement pertinentes car elles informent sur les conséquences écologiques des pollutions mais elles sont généralement peu prédictives.

#### **I.5.1. La biosurveillance**

La bio-surveillance est définie comme l'utilisation des réponses à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes pour prévoir et/ou révéler une altération de l'environnement et pour en suivre l'évolution (Cuny, 2012).

Cette méthode est rapide et se prête bien à la communication des résultats, elle présente notamment l'avantage de prendre en compte les interactions entre contaminants et leur biodisponibilité. Mais, outre son coût, elle présente l'inconvénient de porter sur des résultats de biotests réalisés en laboratoire et donc éloignés des conditions du milieu récepteur. Afin d'appliquer ce concept, plusieurs stratégies biologiques complémentaires peuvent être utilisées.

#### **I.5.2. Bioindicateur ou indicateur biologique**

Certaines espèces sont très sensibles aux variations des conditions environnementales, qu'elles soient d'origine biotique ou abiotique et y répondent proportionnellement par des changements mesurables à différents niveaux d'intégration (spatial, morphologique, physiologique, cellulaire, ou bien encore moléculaire). Tous ces changements peuvent s'ils sont

bien utilisés, constituer des bio-indicateurs, outils précoces et sensible à une large gamme de polluants, pour détecter une dégradation comme une restauration du milieu (Wu et *al.*, 2005 ; Figueira et *al.*, 2009). Un bon indicateur doit être : fiable quant à sa capacité à détecter les différents stress environnementaux ; apte à différencier les stress d'origine anthropique de ceux émanant du milieu naturel ; simple d'utilisation et applicable dans plusieurs écosystèmes différents dans le but de permettre l'échange et la comparaison des données et des résultats (Bentata-Keddar, 2015).

### I.5.3. Choix d'une espèce bioaccumulatrice

D'innombrables travaux ont été publiés sur l'emploi de bioindicateurs tels que les espèces bio-accumulatrices destinées à évaluer la qualité des milieux naturels. En effet, l'accumulation de certains polluants par les organismes bio-accumulateurs facilite leur mise en évidence et leur quantification par des méthodes chimiques et/ou physiques. De plus, les espèces bio-accumulatrices retenues comme bio-indicatrices sont en général des espèces abondantes, relativement résistantes aux toxiques et d'une durée de vie suffisante qui leur confère une capacité d'intégration des variations de la qualité du milieu (Amiard et *al.*, 1989).

Parmi les espèces bioaccumulatrices, on a choisi les vers de terre. En effet, ces organismes sont en contact direct avec le sol, ils absorbent des quantités conséquentes de sol, ils sont exposés aux contaminants par leurs surfaces d'assimilation alimentaire mais il a été démontré que la voie tégumentaire est un mode d'exposition prépondérant (Belfroid et *al.*, 1996; Saxe et *al.*, 2001; Peijnenburg, 2003; Jager et *al.*, 2003; Vijver et *al.*, 2003; Scott-Fordsmand et *al.*, 2004). La surface externe de leur épiderme est vascularisée mais dépourvue de cuticule, ce qui favorise une entrée directe des contaminants présents dans le milieu.

Enfin, l'existence d'un volume de connaissances substantiel au sujet de leur écologie, leur physiologie et leur écotoxicologie est un motif supplémentaire qui fait des vers de bons bioindicateurs. Plusieurs protocoles standardisés de tests de toxicité avec les vers de terre ont d'ailleurs été élaborés et peuvent être utilisés de façon routinière pour déterminer les effets toxiques de sols contaminés (OCDE, 1984; Abdul-Rida et Bouché, 1997; ISO, 1998; Ribera et Saint-Denis, 1999).

## II. Données bioécologiques sur les lombricidés

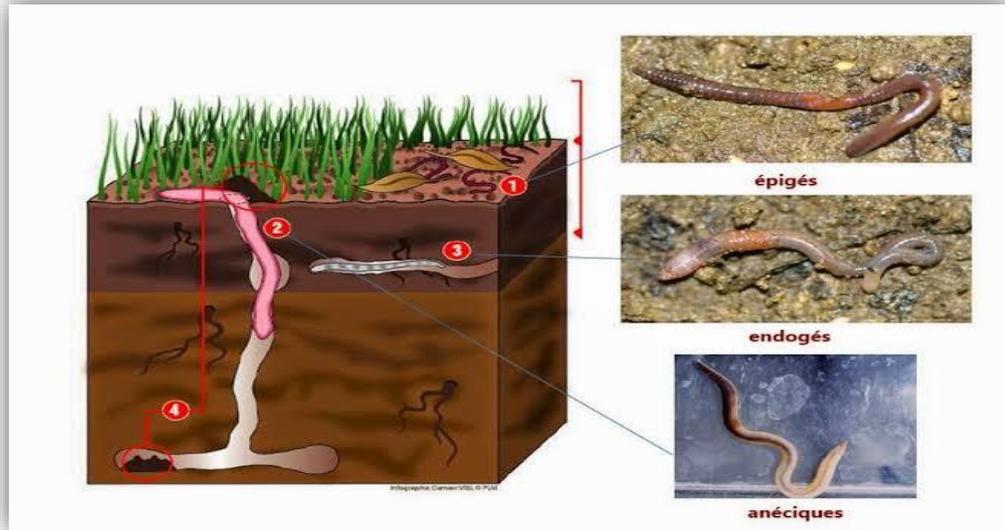
### II.1. Taxonomie des lombricidés

Les vers de terre sont des invertébrés appartenant au groupe des métazoaires coelomates triploblastiques protostomiens, ils appartiennent à l'embranchement des Annélides (vers segmentés, dont la principale caractéristique évolutive est un corps formé d'une série d'anneaux), à la sous-classe des Oligochètes (littéralement : qui ont peu de poils), à l'ordre des Haplotaxida et au sous-ordre des Lumbricina. La famille des Lumbricidae est la plus importante des Oligochètes. Elle se compose essentiellement de vers terrestres (Edwards et Bohlen, 1996). On estime à 7 000 environ le nombre total d'espèces, la majorité vivant sous les tropiques (Lavelle et *al.*, 1998).

### II.2. Classification écologique des vers de terre

Les travaux de Bouché (1971) et de Lavelle (1981) ont permis de regrouper les différentes espèces des vers de terre en trois catégories principales. Cette classification est basée sur des critères morphologiques et écologiques (Fig 2).

- **Les épigées** : sont des vers pigmentés de petite taille (10 à 30 mm en général) et vivent généralement dans la litière de surface et se nourrissent des matières organiques en décomposition dans cette litière.
- **Les endogées** : sont des vers peu ou pas pigmentés, de taille variable (1 à 20 cm), vivant généralement dans les premiers centimètres de sol où ils construisent des galeries temporaires horizontales en se nourrissant de sol minéral plus ou moins riche en matières organiques.
- **Les anéciques** : sont de couleur brune, de taille moyenne à géante (10 à 110 cm). Ils creusent des galeries verticales profondes à subverticales plus ou moins ramifiées s'ouvrant en surface. Ils ont un mode de vie mixte, et se nourrissent de débris organiques prélevés en surface et qu'ils laissent pourrir dans le sol avant de les ingérer avec du sol.

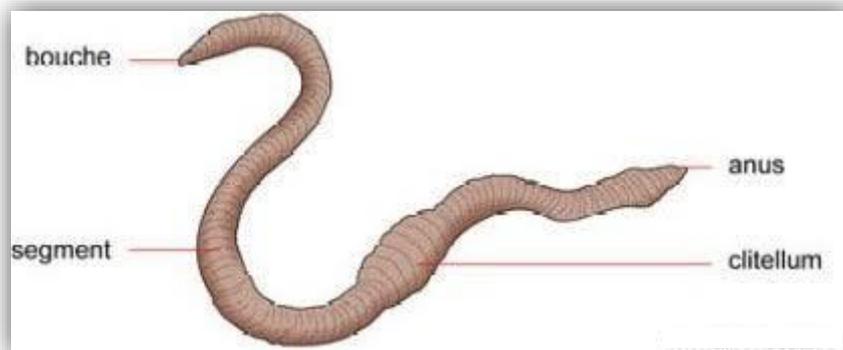


**Figure 2:** Position écologique des lombrics (OPVT-OSUR/Univ.Rennes).

### II.3. Morphologie des lombrics

#### II.3.1. Anatomie externe

Le corps est mou ; de forme cylindrique allongé, de couleur rougeâtre, à symétrie bilatéral, formé de nombreux anneaux successifs appelés les métamères. La peau rendue humide et visqueuse par du mucus, est légèrement irisée. On distingue facilement une face dorsale et une face ventrale; cette dernière, plus plate et moins colorée que la face dorsale. Il est aussi facile de distinguer la partie antérieure, plus effilée, plus colorée, de la partie postérieure. De plus cette partie antérieure possède sur la face dorsale, un renflement portant le nom de clitellum (Fig 3) (Villeneuve et Désire, 1965).



**Figure 3:** Morphologie externe d'un ver de terre ([www.ecobiosoil.univ-rennes1.fr](http://www.ecobiosoil.univ-rennes1.fr))

### II.3.2. Anatomie interne

Les lombriciens possèdent un squelette hydrostatique dû à la présence du coelome, ce qui leur permet de se déplacer par des mouvements péristaltiques du corps (Fig 4).

**Le système nerveux** est formé d'une chaîne nerveuse ventrale et d'un simple ganglion cérébroïde qui produit des neurosécrétions fondamentales pour la reproduction (Laverack, 1963).

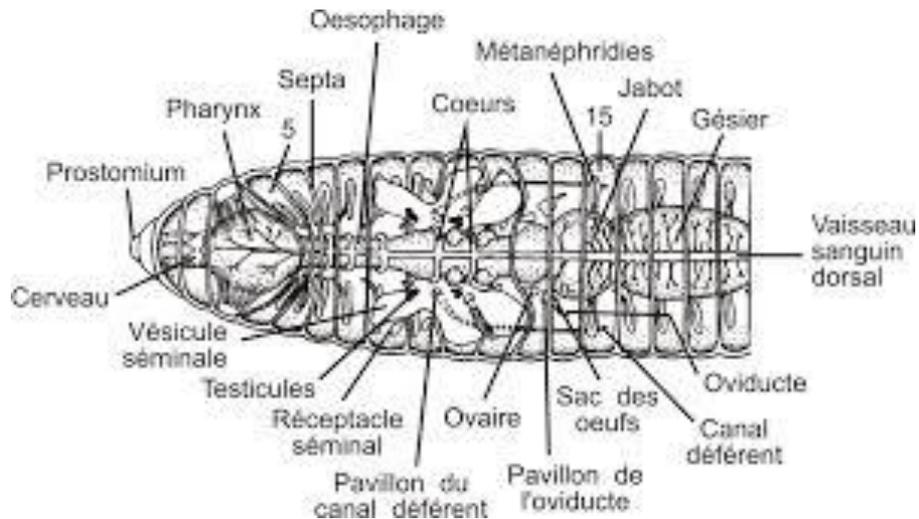
Les vers de terre présentent **un système circulatoire** fermé, et comporte deux vaisseaux: un ventral et un dorsal et des capillaires qui irriguent les différents organes, ainsi que des cœurs latéraux jouant le rôle de pompes (Edwards et Lofty, 1977).

**Le tube digestif** est constitué d'un tube interne qui parcourt toute la longueur du ver et qui présente des modifications locales pour assurer certaines fonctions digestives spécialisées. Le tube digestif qui débute par un simple orifice la bouche, comporte directement un pharynx suivi, dans un ordre variable, d'un œsophage plus ou moins long, de glande de Morren, d'un jabot et d'un gésier, cet ensemble est suivi d'un long intestin. Comportant le plus souvent un repli interne, dorsal, le typhlosolis (cet organe a un développement et une morphologie très variables en fonction des espèces) (Tomlin, 1980).

**Le système respiratoire**, du fait d'une respiration cutanée, les vers de terre ne possèdent pas de poumons, le corps doit rester humide pour permettre la respiration.

**Le système d'excrétion** est représenté par des organes de l'excrétion et de l'osmorégulation, qui jouent un rôle important dans l'élimination. Une néphridie comporte un néphrostome prolongé par un long tube ayant une morphologie très variable qui débouche à l'extérieur par un néphridiopore. En général, il existe une paire de néphridies par segment (Bouché, 1972).

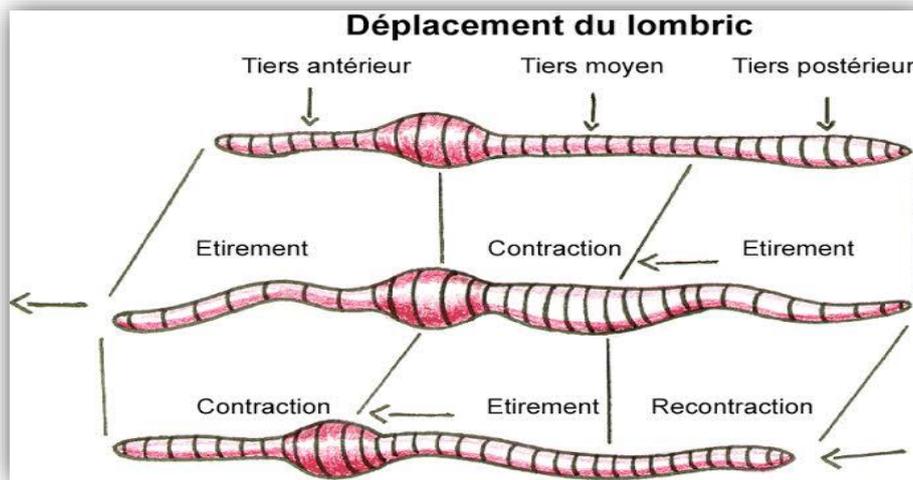
Le lombric est un hermaphrodite, **l'appareil reproducteur mâle** comprend deux paires de testicules logés dans le 10e et 11e anneau. Les orifices génitaux mâles sont situés dans le 15e anneau. **L'appareil reproducteur femelle** est formé par une paire d'ovaires logée dans le 13e anneau. Les orifices génitaux femelles sont situés dans le 14 e anneau (Villeneuve et Désire, 1965).



**Figure 4:** Anatomie interne d'un lombric (Caron, 2011)

#### II.4. Mode de locomotion des lombrics

Le tube externe, ou paroi du corps, est composé d'un épiderme enveloppé d'une cuticule, d'une couche de muscles circulaires et une autre de muscles longitudinaux. Cette musculature est adaptée à leur mode de locomotion de fousseurs. Une vague de contraction suivie d'une vague de relaxation du même ensemble de muscles (Fig 5). Les soies des segments postérieurs font saillie et sont incrustées dans le sol tandis que celles des segments antérieurs sont rétractées (Puranik et Bhate, 2008).



**Figure 5:** Action de déplacement des lombrics (<https://aminoapps.com/>).

### II.5. Cycle de reproduction

Les lombrics, bien qu'hermaphrodites, ne peuvent se féconder eux-mêmes et l'accouplement est indispensable, les spermatozoïdes arrivent à maturité avant les ovules (Boué et Chanton, 1974).

Les deux lombrics s'accouplent ventre à ventre de telle façon que le clitellum de l'un se trouve en face des réceptacles séminaux de l'autre. Les deux clitellums sécrètent chacun un anneau de mucus très visqueux qui durcit à l'air et unit les deux vers. Les spermatozoïdes mis en liberté au niveau de l'orifice sexuel mâle s'écoulent le long de la crête sexuelle et pénètrent dans les réceptacles séminaux de l'autre lombric (Boué et Chanton, 1974).

Les deux individus se séparent alors et chacun d'eux emporte le manchon de mucus sécrété par l'autre. A ce moment, les ovules sont pondus, et le sperme de l'autre ver, sortant des réceptacles séminaux, les féconde. Les œufs sont fixés à la paroi interne du manchon de mucus que le ver quitte et les ferme aux deux bouts. Ce manchon durcit formant le cocon de ponte (Boué et Chanton, 1974). C'est là que s'effectue le développement qui ne comporte pas de métamorphose, ni de phase larvaire libre. L'éclosion d'un œuf donne naissance à un lombric minuscule (Villeneuve et Désire, 1965).



**Figure 6:** Accouplement des vers de terre ([www.futura-sciences.com](http://www.futura-sciences.com) )

La durée des quatre étapes fondamentales du cycle de vie des lombriciens (cocon, juvénile, sub-adulte et adulte), ainsi que la fécondité et la survie des vers dépendent fortement de l'espèce considérée mais aussi des conditions du milieu (Pelosi, 2008). La durée de vie varie de 3 mois pour les épigés à 5-8 ans pour les anéciques et endogés. Il a été noté que *Allolobophora Chlorotica* mettait 17 à 19 semaines pour mûrir lorsqu'il était conservé à 15°C. En revanche les mêmes espèces ont mûri en 13 semaines à 18 °C (Edwards et Bohlen, 1996).

## II.6. Période de l'activité

Les vers de terre sont principalement actifs en sortie d'hiver, début de printemps et en automne. Le sol doit être suffisamment humide et à une température d'environ 10°C (optimum de 12°C) (Cluzeau et Vigot, 2014).

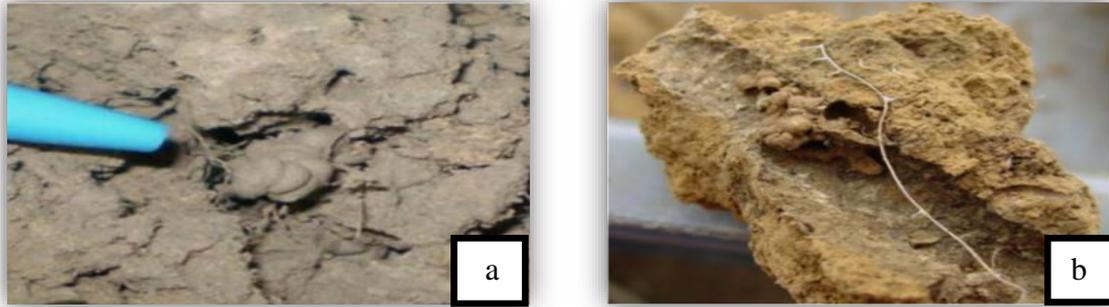
Lorsque les conditions ne sont pas favorables (sol sec en été et très froid en hiver), les vers de terre anéciques et endogés deviennent inactifs : ils s'enroulent dans une boule de mucus en mettant leur métabolisme au ralenti. Leur activité reprend dès que les conditions se sont améliorées (Cluzeau et Vigot, 2014). Les épigés quant à eux, meurent à chaque période défavorable et leurs populations survivent sous forme d'embryons dans les cocons (Cluzeau et Vigot, 2014).

## II.7. Intérêt des lombrics

Les vers de terre jouent un rôle écologique majeur en termes d'aération et de microdrainage du sol, comme ils influencent peu la diversité des espèces présentes, et ils influencent différemment la productivité de certains types ou communautés de plantes (Lavelle et al., 1998).

### II.7.1. Intérêt sur le sol

Un concept de drilosphère, qui désigne le volume de sol qui est influencé par les vers de terre, délimitant ainsi leurs domaines fonctionnels. Cette zone, concerne toute région de sol ayant été en contact avec des composés excrétés par les vers ou en contact direct avec les vers de terre, que ce soit à sa surface, ayant été ingéré (entrant en contact avec l'appareil digestif) ou encore, toutes les structures laissées par le vers de terre après son passage (turricules et galeries) (Bouché, 1975).



**Figure 7:** Structures construites par des vers de terre (Thi My Dung HUYNH ; Pelosi, 2008)

(a) déjection à la surface (turricules)    (b) galeries

Du fait que les lombrics ingèrent la matière organique et la matière minérale pour former des complexes organominéraux sous forme d'agrégats, ils améliorent la structure, la rétention en eau utile, ils créent des réseaux de galeries à travers lesquelles s'infiltrer l'eau, assurant ainsi un meilleur drainage et l'élimination des battances et des compactations, particulièrement, pour le sol limono-argileux. Ces réseaux des galeries augmentent la porosité, permettant aussi l'aération du sol. Il faudrait aussi signaler l'effet synergique des lombrics avec la présence de matière organique, qui donne des améliorations des propriétés physiques (porosité, densité apparente, stabilité structurale et perméabilité) nettement plus intéressantes (Achour, 2011).

Les vers de terre jouent un rôle primordial dans la transformation des matières organiques (Lavelle et *al.*, 1998). En effet, ils interviennent dans la dynamique de la matière organique dans le sol, ils transforment la matière organique instable, souvent d'origine végétale, en substances organiques stables appelées "humus" (Mitchell, 1997; Pelosi, 2008). L'activité des vers de terre facilite la minéralisation de la matière organique, et participe aussi à long terme à la formation de l'humus et à la stabilité de la structure du sol (Pelosi, 2008).

### II.7.2. Intérêt sur les organismes du sol

Les vers de terre favorisent le développement des organismes utiles dans le sol. En effet ils disséminent dans le sol des nématodes entomopathogènes *Heterorhabditis bacteriophora* et des champignons insecticides *Beauveria bassiana*, ce qui contribue à l'amélioration de la régulation naturelle des ravageurs (Lukas, 2013).

### **II.7.3. Intérêt sur les plantes**

Les vers sont l'exemple parfait des espèces ingénieurs de l'écosystème. Les endogés et anéciques creusent des galeries dans le sol rejetant des turricules. Cela crée des espaces vides et des agrégats plus ou moins compacts dans le sol et à sa surface. Les espaces vides entre les agrégats facilitent la croissance des racines et l'infiltration de l'eau.

Aussi, quand une plante ou ses parties (racines, feuilles) meurent, la matière en résultant contient du carbone mais aussi des substances minérales (azote, phosphore...) vitales à la croissance des végétaux. Or, les plantes ne peuvent absorber ces substances qu'une fois la matière morte est décomposée par les organismes décomposeurs comme les vers, les bactéries et les champignons (Barot, 2019). Les vers de terre participent également à la libération d'éléments minéraux (potassium, ammoniac, phosphore et magnésium), disponibles donc pour les plantes (Pelosi, 2008).

### **II.8. Méthode d'échantillonnage des vers de terre**

Pour extraire les vers de terre, de nombreuses méthodes ont été mises au point :

#### **II.8.1. Les méthodes physiques**

Se basent sur l'estimation de la faune dans un volume de sol, consiste à prélever le sol et les vers de terre qui s'y trouvent sur une surface de 25 cm x 25cm (Abdul-rida, 1997).

#### **II.8.2. Les méthodes éthologiques : Méthode « Moutarde »**

Elle est basée sur le comportement des animaux, cette méthode standardisée consiste à verser sur le sol de la moutarde diluée dans de l'eau. La moutarde contient des molécules qui irritent la peau des vers de terre, et pour quitter cette situation désagréable, ils fuient vers la surface. Il ne reste plus qu'à les ramasser (Cluzeau et Vigot, 2014).

### III. Déclin des populations des lombricidés

La disparition des vers de terre se passe à un rythme effréné, en 1950, 2 tonnes de vers à l'hectare sont comptées, aujourd'hui, il y'a que 200 kg (Hubert, 2018). Plusieurs études récentes abondent dans ce sens, une équipe de microbiologistes a constaté que les sols cultivés avec des engrais chimiques et pesticides abritaient en moyenne deux fois moins d'espèces de vers de terre (Privé, 2019).

Les pratiques de l'agriculture intensive, les variables climatiques, ainsi que l'utilisation des engrais chimiques et pesticides constituent les principaux facteurs de disparition des populations des vers de terre.

#### III.1. Effet des pratiques agricoles sur la démographie des populations lombriciennes

Les densités des vers de terre se situent généralement entre 50 et 400 vers par m<sup>2</sup>, excédant parfois les 1000 vers par m<sup>2</sup> (Lee, 1985). Leur biomasse vivante se situe entre 30 et 100 g par m<sup>2</sup> (Lavelle et Spain, 2001), mais peut dépasser 300 g par m<sup>2</sup> (Lee, 1985). En milieu cultivé, la densité et la biomasse des vers de terre sont généralement très variables et la taille des populations est intermédiaire entre celle trouvée dans les habitats les plus stériles (acides, secs ou froids) et celle des prairies naturelles, qui abritent en général un très grand nombre des vers de terre (Edwards et Bohlen, 1996).

En théorie, tous les éléments du système de culture (l'ensemble des techniques culturales comme la nature des espèces cultivées) peuvent jouer sur le niveau des populations des vers de terre et leur diversité spécifique. Le travail du sol, l'application de produits phytosanitaires ainsi que le tassement affectent négativement les communautés lombriciennes alors que la fertilisation, le chaulage et l'irrigation sont généralement favorables. Cependant, on constate une diversité, une densité et une biomasse souvent inférieure en milieu cultivé (Smeaton et *al.*, 2003). Ce constat peut être expliqué aux outils et des modifications du milieu lié au travail du sol et au tassement, une ressource en carbone plus faible et une mortalité directe liée à l'épandage de produits toxiques.

### **III.1.1. Le labour**

Le labour affecte négativement les populations de vers qui sont atteintes directement via des dommages mécaniques, une exposition aux prédateurs et un phénomène de dessiccation dû au retournement du sol (Edwards et Bohlen, 1996; Chan, 2001). De plus, le labour provoque des dommages indirects comme la destruction des galeries (donc de l'habitat pour certaines espèces), l'enfouissement de la matière organique ainsi que des changements de conditions physiques comme la température et l'humidité du sol, induits par une modification de la structure du sol.

Le labour affecte la densité, la biomasse mais également la composition et la diversité des communautés lombriciennes (Chan, 2001 ; Kladvko, 2001). En effet, les différentes catégories des vers ne sont pas affectées de la même manière. Les anéciques sont les plus touchés par cette pratique car ils sont plus susceptibles de subir des dommages mécaniques en raison de leur grande taille. De plus, les galeries verticales dans lesquelles ils vivent sont facilement détruites lors du passage de la charrue. Enfin, après un labour, ces vers n'ont plus accès à la ressource alimentaire, enfouie au sein du profil (Wyss et Glasstetter, 1992). Les épigés, vivant à la surface du sol et peu nombreux en systèmes agricoles, sont également défavorisés par le labour parce qu'ils n'ont plus accès à la ressource nutritive. Les endogés sont les moins touchés par cette pratique et peuvent même être favorisés par l'enfouissement des matières organiques dans le sol (Wyss et Glasstetter, 1992 ; Nuutinen, 1992). Ils ont alors plus facilement accès à la ressource et peuvent se développer et se reproduire plus rapidement. Malgré cela, globalement, la plupart des auteurs décrivent un impact négatif du labour. Evans et Guild (1948) ne constatent pas de diminution des populations lombriciennes dans les six premiers mois suivant le labour mais ils décrivent un déclin de 70 % et 80 % de la densité et de la biomasse de vers de terre, respectivement, au bout de 5 ans.

D'autre part, le travail du sol superficiel est nettement moins néfaste que le labour car il est moins profond et ne retourne pas le sol mais il peut tout de même porter préjudice aux populations de vers de terre, notamment à travers la destruction des habitats. Par contre, le semis direct favorise le développement des lombriciens, et en particulier le retour des anéciques. Tebrüge et Düring (1999) ont montré qu'après plus de 5 ans, la biomasse lombricienne était de 180 kg par ha pour le labour, 500 kg par ha pour le travail superficiel et 1 500 kg par ha pour le semis direct.

### III.1.2. Le tassement du sol

La compaction du sol est une conséquence du passage des engins agricoles en système de grande culture. Ce phénomène peut détruire les galeries mais également tuer les vers de terre eux-mêmes, par écrasement. Les galeries horizontales les plus proches de la surface du sol, celles des endogés, sont plus sensibles aux effets de la compaction que les galeries verticales ou obliques et plus profondes des anéciques (Jégou et *al.*, 2002). Le tassement peut donc réduire la densité et la diversité des populations lombriciennes (Langmaack et *al.*, 1999).

### III.1.3. Effet de la rotation des cultures

D'après Eric et *al.* (1979), la rotation des cultures, et plus généralement la diversité des cultures et le taux de recouvrement du sol d'un système, modifient fortement l'abondance et la diversité des vers de terre. Les systèmes de monoculture, type maïs, présentent moins de vers de terre que les systèmes diversifiés avec prairies permanente ou temporaire. De la même façon, plus un sol est couvert, plus l'abondance et la diversité des vers de terre augmentent.

## III.2. Effet des facteurs abiotiques

La qualité et la quantité de la matière organique du sol (Curry, 1998), ainsi que le type de sol, le pH et les conditions climatiques sont des facteurs du milieu qui gouvernent fortement la présence des communautés lombriciennes dans les différents biotopes (Lofs-Holmin, 1982 ; Whalen et Parmelee, 1999). Eventuellement, la température et la teneur en eau du sol sont les variables environnementales clés qui influencent la croissance, la survie, la fécondité et l'activité des lombriciens (Satchell, 1967 ; Hartensein et Amico, 1983 ; Sims et Gerard, 1999).

### III.2.1. La disponibilité en matière organique

Les populations lombriciennes se nourrissent de matière organique plus ou moins décomposée, à la surface ou dans le sol. Dans les parcelles agricoles, la quantité, la qualité et la localisation des matières organiques sont des facteurs importants pour les vers de terre et dépendent surtout, des plantes cultivées. Lofs-Holmin (1983) a rapporté que la qualité et la quantité des résidus de culture retournés dans le sol sont essentielles pour le développement et la croissance des vers de terre. Mais encore, l'effet négatif d'une diminution de la ressource trophique est souvent rapportée dans la bibliographie (Edwards 2004 ; Lee, 1985 ; Pérès et *al.*, 1998 ; Mele et Carter, 1999). Les études ont montré que les vers de terre ont des préférences

alimentaires. Tandis que, Guild (1955) a constaté que la plupart des vers de terre préféraient le fumier ou les herbes grasses et feuilles des arbres. Les aiguilles de pin étaient moins appréciées.

Il est bien connu que le rapport C/N est une mesure de la qualité de la matière organique en tant que source d'énergie. Bouché (1972) distinguent 49 espèces pour lesquelles le C/N optimal pour la croissance est inférieur à 13, et 18 espèces ayant un C/N optimal supérieur ou égal à cette valeur. Phillipson et *al.* (1976) expliquent qu'*Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea*, *Lumbricus terrestris* et *Lumbricus castaneus* occupent des sols ayant un rapport C/N inférieur à 8.

### III.2.2. Type du sol

D'autres facteurs du milieu peuvent influencer la distribution et l'abondance des populations de vers comme le type du sol (Edwards et Bohlen ; 1996), la profondeur (Van Rhee et Nathans, 1973 ; Phillipson et *al.*, 1976 ; Bachelier, 1978) et la texture du sol (Guild, 1948 ; Curry, 1998). Par exemple, Nordström et Rundgren (1974) trouvent une corrélation positive significative entre l'abondance des vers de terre et le taux d'argile des sols. La température et l'humidité du sol sont les variables clés influençant la dynamique d'une population de *Lumbricus terrestris*.

Autrement, Herger (2003), enregistre que les vers de terre préfèrent les sols argileux qui sont brassés avec la matière organique et les excréments d'autres animaux du sol dans le tube digestif des vers de terre. Selon Bachelier (1978), les vers sont plus abondants dans les sols limoneux, argilo-limoneux et argilo-sableux que dans les sables, les graviers et les argiles.

### III.2.3. Le pH

Les vers sont généralement absents des sols très acides ( $\text{pH} < 3.5$ ) et sont peu nombreux dans les sols à  $\text{pH} < 4.5$  (Curry, 1998). Il existe un pH optimal pour chaque espèce (Edwards et Bohlen, 1996). La majorité des espèces des régions tempérées se trouvent dans des sols à pH compris entre 5.0 et 7.4 (Satchell, 1967).

Or, d'après Herge (2003), les vers préfèrent les valeurs de pH les plus acides de 3,5 à 7,5. Aux sols tourbeux, les vers sont absents à cause de leurs valeurs de pH qui est plus faible. Tandis que, Cluzeau et *al.* (2004) montrent que les vers de terre préfèrent les milieux aux valeurs de pH non extrêmes (deux bornes :  $\text{pH} = 4,4$  et 11).

#### III.2.4. Température et humidité

Les vers de terre sont composés à 80-90 % d'eau lorsqu'ils sont pleinement hydratés (Lee, 1985) et, même s'ils peuvent supporter des pertes en eau, ils restent très sensibles aux faibles humidités. De même, ils ne régulent pas leur température corporelle et sont par conséquent très sensibles aux variations de température.

Les conditions optimales de température se situent en général entre 10 et 20°C pour les espèces de régions tempérées et entre 20 et 30°C dans les zones tropicales. Peu d'espèces survivent à des températures inférieures à 0°C ou supérieures à 28°C (Lee, 1985 ; Curry, 1998). Lorsque les conditions de température du sol deviennent défavorables (baisse ou hausse trop importante de la température), la survie, la fécondité et la croissance des lombrics sont affectées (Lee, 1985). Différentes stratégies de survie sont utilisées par les vers de terre. Tout d'abord, certains ne survivent aux mauvaises périodes que sous forme de cocons. C'est le cas de l'espèce *Lumbricus rubellus* (Parmelee et Crossley, 1988 ; Edwards et *al.*, 1995) et, plus généralement, des espèces épigées car vivant en surface, elles sont les plus exposées aux aléas climatiques.

Certaines espèces, principalement les anéciques, peuvent migrer vers les horizons profonds du sol, où les conditions de température et/ou d'humidité sont moins défavorables. C'est le cas de *Lumbricus terrestris*, qui, dès qu'il a acquis une musculature suffisante, peut descendre jusqu'à plusieurs mètres de profondeur (Edwards et Bohlen, 1996). Ainsi, les plus gros juvéniles, les sub-adultes et les adultes migrent pour s'affranchir partiellement des conditions extérieures alors que les plus petits juvéniles entrent en léthargie. Les vers de terre sont effectivement susceptibles de cesser leur activité pendant des périodes plus ou moins longues.

#### III.3. Effet des polluants sur les populations des lombrics

L'utilisation des engrais chimiques et des pesticides et même des métaux lourds dans le système agricole entraîne de nombreux problèmes écologiques. Il existe des preuves évidentes que la population de vers de terre et d'autres biotes du sol non ciblés est influencée par l'utilisation des pesticides et d'engrais. L'impact de ces polluants est de grande ampleur et provoque un changement indésirable dans la communauté des lombricidés.

### III.3.1. Effet des métaux lourds sur les vers de terre

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm<sup>3</sup>. Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse...etc (Arris., 2008).

Les vers de terre sont plus sensibles aux teneurs en métaux lourds que les autres invertébrés dans le sol (Bengtsson et *al.*, 1992) et leur capacité à accumuler des métaux lourds souvent plus élevée que pour d'autres espèces animales (Beyer et *al.*, 1982). Cependant, les métaux lourds ont des effets variables en fonction des espèces, du stade de développement, du mode de vie (lieu de vie et régime alimentaire) et de leur capacité d'adaptation face à la pollution. Ces effets varient également suivant la nature du métal, sa forme chimique et les propriétés du sol. Voire, l'augmentation de la teneur en métaux lourds au-delà d'un certain seuil réduit la densité des vers (Pizl et Josen, 1995) et influe négativement sur leur croissance pondérale, leur développement sexuel et la production de cocons (Spurgeon et Hopkin, 1996, 1999). En effet, Spurgeon et *al.* (2000), ont observé une réduction significative du taux de survie de 4 espèces de vers de terre pour des concentrations en zinc comprises entre 2000 – 3600 ppm. De plus, ils ont noté des pertes significatives de poids à partir de 1200 – 2000 ppm de zinc. Par ailleurs, Depta et *al.* (1999), indiquent que l'un des mécanismes potentiels d'adaptation des vers à la pollution est l'évitement. Les vers placés en sols pollués, seraient ainsi en mesure de différencier la matière organique selon son niveau de contamination.

Chez les vers de terre, les métaux lourds s'accumulent notamment dans les tissus digestifs soit par voie orale après leur ingestion, soit par voie cutanée chez les vers de terre n'ayant pas de cuticule protectrice et vivant en contact permanent avec le sol. Enfin, l'étude de l'accumulation des métaux lourds dans les tissus des vers pourrait être un bon bioindicateur de disponibilité des métaux lourds dans le sol (Lanno et Mc carty, 1997 ; Conder et Lanno, 2000 ; Conder et *al.*, 2001 ; Oste et *al.*, 2001).

Des travaux de recherche ont bien mis en évidence l'impact de mercure au laboratoire sur les espèces épigées *Eisenia fetida* et *Eisenia andrei* (Nahmani et *al.*, 2007a; OCDE, 2004). En utilisant différentes concentrations de méthyl-mercure, une mortalité de tous les vers de l'espèce *E. fetida* a été observée au bout de 12 semaines d'incubation avec 25 mg Hg par kg sol (Beyer et *al.*, 1985). D'autres études ayant travaillé sur l'effet des métaux lourds sur *Eisenia*

*fetida* ont montré que plus le taux de mercure augmente dans les sols, plus la production de cocons et la présence de juvéniles diminuent (Lock et *al.*, 2001; Lapinski & Rosciszewska, 2008).

### III.3.2. L'utilisation des pesticides

Les pesticides généralement utilisés en grande culture sont les herbicides, les fongicides et les insecticides. Leur nuisibilité vis-à-vis des populations lombriciennes dépend du type d'application (épandage de granulés, pulvérisation, etc.), de la période d'application, de la matière active qu'ils renferment, de la fréquence et de l'intensité d'application mais également du comportement des vers de terre et des conditions climatiques (Edwards et Bohlen, 1996).

Bien qu'avant leur homologation, des tests de toxicité des pesticides soient réalisés sur les vers de terre, l'application de tels produits peut modifier la diversité taxonomique des communautés (Cluzeau et *al.*, 1987 ; Cluzeau et Fayolle, 1988 ; Tebrügge et Düring, 1999). Même si peu d'herbicides semblent avoir un effet vraiment néfaste sur les populations de vers lorsqu'ils sont employés aux doses préconisées (Bachelier, 1978 ; Lee, 1985), certaines molécules utilisées comme fongicides, par exemple le Carbendazim (Cook et Swait, 1975) ou le Thiabendazole (Roark et Dale, 1979), sont reconnues comme pouvant avoir un effet dépressif sur les densités lombriciennes. Par ailleurs, la toxicité des insecticides pour les vers de terre varie selon la catégorie des produits chimiques affectant les paramètres du cycle de vie des vers de terre, la plupart des insecticides sont neurotoxiques.

Vu l'importance des altérations causés par les pesticides nous avons jugé utile de faire dans le chapitre suivant l'état des travaux de recherche ayant bien mis en exergue les effets néfastes des pesticides sur les Lombricidae.

## IV. Effet des pesticides sur les lombrics

En raison de leur exposition aux pesticides, les vers de terre sont incapables d'exercer leurs fonctions vitales dans le sol (Rathore et Nollet, 2012). Ils peuvent affecter leur taux de mortalité soit directement par un stress aigu ou indirectement en affectant leur reproduction, leurs fonctions neurologiques ou en provoquant des changements dans leurs comportements. Ces effets néfastes dépendent des espèces, du type de contaminants et de leurs concentrations, ainsi que des caractéristiques du sol (Roriguez et *al.*, 2014). Les espèces épigées sont les plus exposées aux effets néfastes des pesticides car ils vivent à la surface du sol. Les anéciques, bien qu'ils se nourrissent en surface, et les endogés, semblent moins affectés par l'application de tels produits chimiques (Singh et *al.*, 2016).

### IV.1. Tests écotoxicologiques standardisés

Les effets peuvent être déterminés à l'aide des tests d'écotoxicité réalisés pour identifier le potentiel toxique d'une substance ou d'un mélange de substances par la réponse biologique de l'organisme test. Elle détermine les concentrations avec effets (CE10, CE50, LOEC...) ou sans effet (NOEC) (OCDE, 2003).

On peut différencier plusieurs types de tests, selon leur durée : aiguë ou chronique, le nombre d'espèce exposé aux perturbations, le niveau d'observation des effets : Ils peuvent être intracellulaire (enzymatique, génétique ...), cellulaire, au niveau de l'organisme entier, au niveau des populations ou encore des communautés puis de l'écosystème. Différents critères d'effets peuvent être mesurés : mortalité, croissance, développement, reproduction, activités enzymatiques, génotoxicité, mutagénicité ... (Calow, 1993 ; Forbes et Forbes, 1997).

Les méthodes standardisées fournissent des lignes directrices permettant de déterminer la toxicité aiguë ainsi que la toxicité chronique ou subaiguë (sub-létale) des contaminants d'intérêts sur les vers de terre.

#### VI.1.1. Test de toxicité aigu

Les effets causés par une toxicité aiguë sont observables rapidement après une exposition à de fortes concentrations de substance toxique (Bedoux et *al.*, 2012). Cette toxicité est représentée par la concentration létale LC50, qui est égale à la concentration d'exposition où la mortalité de 50 % de la population est observée. Les vers de terre sont exposés pendant 7 ou 14

jours aux sols contaminés par les substances toxiques afin de déterminer les valeurs de LC50 (Cunha et *al.*, 2016). Le protocole de test de toxicité aiguë, a été inspiré de la ligne directrice pour les essais de produits chimiques, élaborée par l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE); de la méthode SPE 1/RM/43 d'Environnement Canada (OCDE, 1982; Anonyme, 2004) et de la norme ISO 11268-1 (1993).

### **VI.1.2. Test de toxicité chronique**

Cependant, des effets toxiques résultant d'une toxicité subaiguë peuvent apparaître. Ces effets sont définis comme étant des effets néfastes sur la physiologie des organismes exposés, mais n'aboutissant généralement pas à leur mort. Cela peut être des effets sur la reproduction, la croissance, le comportement ou encore des effets génotoxiques. Les concentrations d'exposition à l'origine de ces effets sont généralement plus faibles que celles à l'origine d'une toxicité aiguë. Il suit la norme ISO 11268-2 ; OCDE 222.

### **VI.1.3. Test d'évitement**

En complément du test de toxicité aiguë, un test d'évitement est réalisé pour avoir plus d'information sur la toxicité des pesticides. Ce biotest évalue l'influence des substances chimiques sur le comportement d'évitement des vers de terre exposés pendant deux jours à un échantillon de sol naturel contaminé ou à des concentrations connues de substance d'essai mélangée à un sol artificiel normalisé ou à un sol naturel (Anonyme, 2004). Le test d'évitement est considéré comme un outil sensible dans l'évaluation des risques, car les vers de terre détectent un large éventail de contaminants, notamment des hydrocarbures polyaromatiques, des métaux lourds, des explosifs, du pétrole brut et des pesticides (ISO, 2007). Il suit la norme ISO 17512-1:2008 et la méthode SPE 1/RM/43 d'Environnement Canada (Anonyme, 2004).

Plus de 500 substances appartenant à diverses familles chimiques conduisent à des effets toxicologiques différents. Peu d'études ont abordé la toxicité de certaines familles chimiques sur les vers de terre tels que les organophosphorés, les carbamates ...etc.

## **IV.2. Effet des insecticides sur les lombrics**

Les insecticides à large spectre comme les carbamates, les organophosphorés et les pyréthrénoïdes peuvent provoquer le déclin des organismes de la pédofaune tels que les vers de terre qui jouent un rôle important au bon fonctionnement des écosystèmes, en brassant les nutriments et en stockant le carbone dans le sol (Deluzarche, 2019).

Certaines familles de pesticides sont considérées comme nocives pour les vers de terre, à savoir les néonicotinoïdes, les triazoles, les carbamates et les organophosphorés (Pelosi et *al.*, 2014 ; Edwards et Bohlen, 1996). Tandis que, Wang et *al.* (2012) ont rapporté que les néonicotinoïdes sont les plus toxiques pour *Eisenia fetida*. On outre, les insecticides semblent être les produits chimiques les plus toxiques affectant respectivement la survie et la reproduction. En revanche, les insecticides à base de pyrimidine semblent non toxiques pour les vers de terre (Edwards et Bohlen 1996). A travers la recherche bibliographique en relation avec la toxicité des pesticides envers les vers de terre, nous avons recensé les effets de ces polluants selon leur classification chimique en citant dans certains cas des exemples de produit.

#### IV.2.1. Effet des organochlorés

Les organochlorés sont la première famille chimique qui a été utilisés contre les ravageurs depuis longtemps, elle est connue par sa toxicité nocive. Faisant partie de cette famille, le DDT est un produit extrêmement toxique à la biodiversité et à la santé humaine (Kulhow, 1961). Peu de travaux ont été fait pour montrer la toxicité du DDT sur les vers de terre, par contre sa toxicité a été démontré pour d'autres organismes tel que les poissons.

En outre, Mosleh et *al.* (2003) ont étudié la toxicité du chlor fluazuron (un insecticide organochloré), ils ont observé une réduction du taux de croissance de tous les vers traités avec ce pesticide.

#### IV.2.2. Effet des organophosphorés

Selon Wang et *al.* (2015), les organophosphorés sont toxiques pour l'animal, mais moins toxiques que les organochlorés (Curry et Good, 1992). Ils peuvent inhiber de manière significative la fécondité et l'activité de la cellulase (enzyme permet de décomposer la cellulose des plantes) chez *Eisenia fetida* et endommager également les cellules épidermiques et intestinales du lombric.

Les dangers des insecticides organophosphorés (OP) sur l'environnement sont nombreux. Les effets toxiques des insecticides organophosphorés chez les vers de terre ont été démontrés par plusieurs auteurs. Leur toxicité est expliquée par leur liposolubilité élevée, cette propriété leurs permet de pénétrer facilement dans le tissu cutané de l'animal (Rice et *al.*, 1997). Selon Vyas et *al.*, (1998), les organophosphorés sont neurotoxiques, après leur pénétration à l'intérieur de l'organisme, la cible moléculaire des insecticides OP est l'acétylcholinestérase

(AChE) (neurotransmetteur au niveau du système nerveux) en inhibant son fonctionnement, ce qui perturbe la transmission des messages nerveux, et enfin suivie par la mort de l'animal (Venkateswara et Kavitha, 2004 ; Kavitha et Venkateswara, 2007 ; Sanchez et *al.*, 2014). Par contre Ma et Bodt, (1993), ont signalé que les organophosphorés ont un faible effet toxique pour l'espèce *Eisenia fetida*, avec une DL50 égale à 1077 mg/kg après 14 jours d'exposition.

Dans le cas de chlorpyrifos (un insecticide de la famille des Organophosphorés, efficace contre les ravageurs des fruits et des légumes), Shi-ping et *al.*, (2007) ont indiqué qu'il a un impact négatif sur la croissance et la reproduction des vers de terre, mais cela dépend largement de la concentration des pesticides et de la période d'exposition. Par ailleurs, Décarie et *al.* (1993) ont indiqué que l'usage répété de chlorpyrifos, conduit à une diminution de la biomasse des vers de terre. L'effet de ce pesticide a été noté par Booth et O'Halloran (2001), qui ont constaté une réduction significative de la croissance d'*Allolobophora caliginosa* par exposition au chlorpyrifos. D'autre part, l'étude réalisée par Yesguer (2015) portant sur l'effet de cet insecticide sur *Aporrectodea caliginosa caliginosaa* montré une toxicité élevée de cet insecticide avec un taux de mortalité de 100% après une semaine d'exposition à la dose 720mg/kg. Concernant le test chronique dans la même étude la production des cocons, le nombre des juvéniles et l'activité de l'Acétylcholine estérase des vers de terre de l'espèce *Eisenia fetida* commencent à diminuer significativement à partir de la dose 2 mg/kg de chlorpyrifos éthyle. Par ailleurs, Casabé et *al.* (2007) n'ont observé aucun effet du chlorpyrifos éthyle utilisé sur la reproduction d'*Eisenia andrei*.

Une autre étude a rapporté que le profenofos (insecticides utilisé contre les chenilles phyllophage et carpophage et les acariens du cotonnier) a non seulement causé la toxicité directe mais a également montré des changements histologiques et morphologiques significatifs dans la paroi épidermique d'*E. fetida* (Reddy et Rao, 2008).

#### IV.2.3. Effet des carbamates

Les carbamates (carbofuran, méthomyl...) sont révélés toxiques pour la plupart des groupes de la faune du sol (Curry & Good, 1992). Ils sont de puissants inhibiteurs réversibles de l'acétylcholinestérase (AChE), et se traduisant par une toxicité souvent importante pour les vers de terre.

Des études écotoxicologiques ont fait objet de l'effet du carbaryl chez différentes espèces de vers de terre comme *Eisenia andrei*, *Metaphire posthuma* (Lima et *al.*, 2010; Saxena et *al.*,

2014). Selon Ribera et *al.* (2001) la cholinestérase (ChE) est inhibée même à des faibles doses et des durées d'exposition courtes du Carbaryl chez *E. fetida*.

Dans le cas d'un autre carbamate tel que, le Méthomyl, les résultats ont montré que celui-ci n'a pas affecté (même aux plus fortes concentrations) le ver de terre (*Octadrilus complanatus*) car aucune mortalité n'a été observé au cours de la période d'exposition aux différentes concentrations (Zhou et *al.*, 2006). Mais, d'après l'étude de Zeriri (2013), le Méthomyl réduit le taux de croissance des vers de terre aux plus fortes concentrations. Ce résultat est en accord avec les travaux de Mostert et *al.* (2000) qui ont testé l'effet de cinq pesticides (le Cyfluthrine, le Carbaryl, le Chlorpyrifos, le Fipronil et l'Imidaclopride) sur un ver de terre.

#### IV.2.4. Effet des néonicotinoïdes

D'après Nicolas (2018), les néonicotinoïdes ont tendance à se situer parmi les pesticides les plus toxiques pour certaines espèces de vers de terre, vu qu'ils peuvent persister dans le sol et se déplacer, ce qui augmente la probabilité que les vers de terre soient exposés durant de longues périodes. Les essais en laboratoire et sur le terrain avec les néonicotinoïdes ont démontré que leur demi-vie dans les sols varie en fonction des conditions du sol et peuvent varier de quelques semaines à plusieurs années par rapport à d'autres insecticides (Cox et *al.* 1997 ; Sarkar et *al.* 2001 ; Cox et *al.* 2004 ; Bonmatin et *al.* 2005 ; Fossen 2006 ; Gupta et Gajbhiye 2007 ; Goulson 2003).

Les néonicotinoïdes sont aujourd'hui les plus utilisés dans le monde contre les insectes parasites des cultures et des animaux, d'ailleurs, ils ont la capacité d'altérer le métabolisme des microorganismes. Ils sont neurotoxiques, ils provoquent un blocage irréversible des récepteurs de l'acétylcholine (Stenersen 2004; Casida, 2009; Ribera et *al.*, 2001; Nasr et Badawy, 2015). Les effets liés à l'exposition à ces substances peuvent être immédiats et fatals mais également chroniques. Parmi les effets chroniques possibles liés aux néonicotinoïdes : une perte de fécondité et une capacité altérée du ver de terre à creuser des tunnels. L'utilisation des néonicotinoïdes menace l'infrastructure mettant en danger les ingénieurs de l'écosystème (Boughriet, 2014). Selon Elbert et *al.* (1991) les néonicotinoïdes et d'autres insecticides systémiques peuvent créer un risque pour la survie et le comportement des vers de terre. En effet, les attributs de comportement considérés sont les comportements d'évitement, d'enfouissement, de déjection et le changement de poids.

Parmi les pesticides néonicotinoïdes étudiés par les chercheurs figurent la clothianidine, l'imidaclopride et le thiaméthoxame. Wang *et al.* (2012b) ont constaté que dans les bio-essais du sol, la clothianidine était le plus toxique des insecticides néonicotinoïdes pour *E. fetida*.

Alves *et al.* (2013) ont comparé trois insecticides utilisés en traitement de semences, les résultats ont indiqué que l'imidaclopride était le plus toxique pour les vers de terre. Par ailleurs, Mostert *et al.* (2002) ont constaté que l'imidaclopride arrivait en seconde position des plus toxiques (derrière le carbaryl) pour les vers de terre. Les tests de l'effet d'imidaclopride sur la reproduction ont montré que celui-ci favorise fortement la déformation des spermatozoïdes des vers de terre dès que sa concentration excède 0,5 ppm dans le sol (Luo *et al.*, 1999). Tandis que, une étude de l'impact de l'imidaclopride sur deux sortes d'espèce de lombrics, induit à une perte de poids et changement de comportement, les galeries creusées sont moins profondes et plus superficielles, c'est pourquoi les gaz circulent moins facilement dans le sol (Capoweiz *et al.*, 2006).

#### IV.2.5. Effet des pyréthroïdes

Selon la littérature, il semble que tous les pyréthroïdes présentent une faible toxicité aiguë (CL50 > 1000 mg / kg / poids sec) pour les oligochètes (Inglesfield, 1989). En revanche, selon Yuguda *et al.* (2015), les pyréthroïdes, sont hautement toxiques pour l'espèce *Lumbricus terrestris*. Ces résultats concordent avec les travaux effectués par Wang *et al.* (2012), qui ont signalé aussi la toxicité des pyréthroïdes à l'égard de l'espèce *Eisenia fetida*, ce qui classe les pyréthroïdes comme substance très toxique.

En outre, dans l'étude de Pande *et al.* (2014), traitant l'effet des insecticides pyréthroïdes sur les paramètres hématologiques, il a été rapporté que cet insecticide induit une diminution de la concentration d'hémoglobine. Tandis que, Louise (2016) a constaté que les lombrics peuvent également subir des effets toxiques à cause de l'exposition à long terme au pyréthroïde.

Une étude menée par Medjri et Chabira (2019) sur l'espèce *Allolobophora rosea rosea* exposé à l'insecticide Karaté Zeon (lambda cyhalothrin), a montré des perturbations comportementales de l'espèce. En effet, les vers de terre remontent en surface et s'enroulent sur eux-mêmes. De même, plusieurs anomalies morphologiques sont observées telles que, la perte de la coloration cutanée, l'étranglement de la partie postérieure du corps jusqu'à désintégration totale pour les fortes concentrations, ainsi que, l'apparition des lésions sanglantes

avec évacuation du liquide cœlomique. En plus une mortalité importante de 80% est enregistrée juste pour la concentration la plus élevée (1,250 ml/L). Beeby (1991), Stürzenbaum et al. (1998), Morgan et al. (2004) et Homa et al. (2005) ont rapporté que la sécrétion du mucus est une détoxification de l'organisme et une réponse d'adaptation dans le milieu très contaminé.

Cette famille d'insecticides prolonge d'autant plus l'influx nerveux en empêchant la boucle de rétroaction inhibitrice de neurotransmetteurs (Michelangeli et al., 1990). Cet insecticide est toxique pour les adultes et l'ensemble des vers de terre à des concentrations élevées. Whalen et al. (2012) ont révélé que lambda cyhalothrin a affecté les juvéniles de l'espèce *Eisenia fetida* plus que les adultes avec une concentration efficace médiane (EC50) de (15.9 mg kg<sup>-1</sup>).

Par contre, le test de toxicité du Décis (Deltaméthrine) sur l'espèce lombricienne *Aporrectodea caliginosa caliginosa* après 28 jours d'exposition aux différentes concentrations, a montré qu'aucune mortalité n'a été enregistrée. On outre, la contamination des lumbricidae par des concentrations croissantes du Décis induit une diminution de leur poids à toutes les doses, notamment celle ayant la valeur maximale de 12,5 mg/l. L'analyse spectroscopique d'absorption atomique démontre que la quantité du cadmium et de cuivre chez les individus contaminés par la déltaméthrine est supérieure à celle des individus témoins (Gueddou et Nedjaa, 2017). La Deltaméthrine appartient à la famille des pyréthrinoïdes, elle est considérée comme une substance toxique, car elle n'est pas complètement dégradée ni rapidement métabolisée et de ce fait s'accumule dans les lipides (Sayeed et al., 2003). D'autre part, selon Tomlin (1994), les pyréthroïdes agissant comme antagoniste du canal sodique, perturbant le système nerveux des arthropodes, et peut-être aussi des lumbricidae en raison des similitudes dans le système nerveux (Scholtz, 2002).

### IV.3. Effet des fongicides sur les lombrics

Les fongicides comprennent une grande variété de composés chimiques, dont leur toxicité varie considérablement d'une substance à l'autre. Eventuellement, les fongicides sont moins toxiques que les insecticides, ils sont néanmoins très souvent à la base d'un certain nombre de troubles.

D'après Cong et Shujui (2011), les fongicides n'ont pas montré de toxicité significative pour les vers de terre lorsqu'ils n'étaient appliqués qu'une seule fois, mais leur toxicité augmentait à mesure que la fréquence d'application augmentait.

### IV.3.1. Les dérivés de cuivre

Graham (2004) a montré que les fongicides à base de cuivre ont un impact à long terme sur un large éventail de biotes du sol. Les effets peuvent se produire à des concentrations de Cu relativement faibles et les résidus de cuivre devraient rester indéfiniment et continueront d'influencer la santé du sol.

Autrement, une étude a été faite sur les 3 groupes des lombrics pour obtenir une bonne indication sur les effets du cuivre dans le sol, les résultats obtenus ont montré que les endogés sont sensibles au cuivre puisqu'ils disparaissent lorsque la teneur en cuivre totale du sol atteint 175 mg Cu/kg, mais les épigés sont nettement moins affectés par le cuivre, ainsi que, les anéciques semblant très tolérants au cuivre. L'excès de cuivre dans le sol entraîne à la fois une diminution de la biomasse de 34% et une baisse de la diversité des lombrics de 64% dès 50 mg Cu/kg de sol en teneur totale (Paoletti et al., 1998).

Par ailleurs, Pelosi et al. (2014) ont évalué l'influence de deux fongicides sur le ver de terre *Aporrectodea caliginosa*, les vers de terre présentent un effet tardif après 12 mois d'exposition à un fongicide inorganique Cuprafor Micro® (oxychlorure de cuivre, un métal) en particulier sur la densité des vers de terre anéciques. Par rapport au Swing Gold (époxyconazole et dimoxystrobine), un fongicide organique, la biomasse des vers de terre n'a pas été affectée par les traitements fongicides.

### IV.3.2. Les carbamates systémiques

#### IV.3.2.1. Cas de bénomyl

Dans un autre essai de toxicité, les vers de terre pulvérisés avec de bénomyl, ont subi une réduction de la population, qui a été rétablie lorsque les pulvérisations de bénomyl ont été interrompues, mais certains effets résiduels étaient apparents après trois ans. Ce fongicide a des effets neurotoxiques subtils et sublétaux sur les fibres nerveuses géantes du ver de terre (Charles et al., 2006). Le thiophanate-méthyle s'est également révélé réduire les populations des vers de terre (Cook et Swait, 2015).

En effet, la toxicité du bénomyl est observée par Stringer et Wright (1973) qui indiquent que ce pesticide était plus toxique pour *Lumbricus terrestris* que pour *Eisenia fetida*. Cette dernière étude a bien mis en évidence que l'utilisation de 7,75 kg ma / ha de bénomyl a produit une mortalité de 100% de *L. terrestris* dans les 14 premiers jours du test. Tandis que pour *E.*

*fetida* une mortalité de 90 % a été marquée après 84 jours. Cependant, les traitements des sols indiquent que les accumulations des fongicides dans le sol pourraient éventuellement affecter les vers de terre par toxicité, en modifiant leurs habitudes alimentaires ou en provoquant une diminution de la reproduction.

Par ailleurs, Jehan et Otto (2001) ont étudié l'effet toxique du bénomyl sur l'ultrastructure du système reproducteur masculin et les spermatozoïdes du ver de terre *Eisenia fetida* dans une expérience de laboratoire. Ces applications ont provoqué des anomalies dans l'ultrastructure du cytophore, des spermatogonies, des spermatides et des spermatozoïdes. Les altérations comprennent des formes d'acrosomes incomplètes, une distorsion nucléaire et une perturbation des microtubules. Ces changements micromorphologiques devraient être inclus dans un modèle de prévision des risques environnementaux.

#### **IV.3.2.2. Cas de carbendazim**

Pour montrer l'effet du carbendazime sur les vers de terre, Römbke et *al.* (2004) et Iglesias et *al.* (2003) ont extrait des colonnes de sol intactes du champ et exposé de véritables communautés de vers de terre à un fongicide, le carbendazime appliqué dans la formulation Derosal. Ce dernier produit des diminutions dans l'abondance et dans la biomasse de la communauté des vers de terre.

### **IV.3.3. Les Carbamates de contact (les dithiocarbamates)**

#### **IV.3.3.1. Cas de Manèbe**

Dans un test de toxicité aigu, le Manèbe (l'éthylène bis de manganèse, utilisé pour lutter contre la rouille précoce et tardive) utilisé sur l'espèce *Aporectodea caliginosa caliginosa* a provoqué une faible mortalité chez les vers de terre, et ceci peut être expliquée par le fait que le Manèbe appartient aux fongicides de la famille des dithiocarbamates, qui sont peu solubles dans les lipides et très solubles dans l'eau (Yesguer 2015). Ce fongicide s'accumule faiblement dans les tissus animaux et par conséquent il serait facilement dilués dans l'eau et dispersés après la pluie ou après irrigation (Fabre et Truhaut, 1954).

Pour le test chronique sur l'espèce *Eisenia fetida*, l'effet du Manèbe est absent sur la prise du poids des juvéniles, cela peut être expliqué par le fait que ce fongicide n'est pas toxique et par conséquent il exerce un effet toxique à des doses élevées que celle utilisées dans cette étude (6.25, 12.5, 25 et 50 mg/kg). Tandis que, les effets du Manèbe sur la reproduction sont observés

à la concentration 50 mg/kg (Yesguer 2015). Dans ce sens les résultats de Da Silva et al. (2010) révèlent que les fongicides de la famille des dithiocarbamates affectent la reproduction des vers de terre en causant des malformations des spermatozoïdes.

#### IV.3.3.2. Cas de Mancozèbe

D'autre part Vermeulen et al. (2001) ont déterminé les effets aigus et sublétaux du fongicide Mancozèbe sur le lombric *Eisenia fetida*, les résultats ont indiqué que le Mancozèbe n'avait aucun effet néfaste significatif sur la croissance ou la reproduction d'*E. fetida* à la dose recommandée (8 mg / kg) ou à une concentration environnementale estimée (44 mg / kg). Selon Reinecke et al. (2002), les résultats ne corroborent pas l'hypothèse selon laquelle la réponse d'évitement au Mancozèbe pourrait servir d'indication de toxicité.

#### IV.3.4. Cas de Priori Opti et d'Hexavil

Le Priori Opti un fongicide phytopharmaceutique (à large spectre utilisé pour contrôler les champignons qui menacent les légumes, les arbres fruitiers, le gazon, les plantes ornementales et d'autres cultures agricoles) qui agit par l'association de deux matières actives complémentaire, le Chlorothalonil (organochlorés dérivé de benzène) et l'Azoxystrobine (strobilurines), a été testés sur l'espèce *Aporrectodea caliginosa caliginosa* dans l'étude de Gueddou et Nedjaa (2017). Les résultats ont montré une mortalité totale des vers de terre à des concentrations de 1200 mg/l après deux semaines et de 600 mg/l après 21 jours.

En effet, l'impact massif observé et la mortalité importante enregistrée, peuvent être expliqués par l'effet toxique des deux matières actives chlorothalonil et azoxystrobine. A travers les différentes concentrations de Priori Opti testées sur les lombricidae, la dose létale qui provoque la mortalité de 50% de la population (DL50) est de l'ordre de 199,84 mg/l. Pour l'une des matières actives de ce pesticide Lorenzo et Seranno (2003) montrent que les vers introduits dans le sol au quel le chlorothalonil a été incorporé, révèlent une réduction de la longévité d'environ 50% par rapport aux témoins après le début du traitement, en parallèle aussi la reproduction a été pratiquement éliminée.

Les résultats obtenus au cours de l'étude de Gueddou et Nedjaa (2017) de l'effet d'Hexavil (un fongicide systémique à large spectre appartenant au groupe des Triazole actif contre les mildious, les rouilles et quelque autre ascomycètes et basidiomycètes) sur *Aporrectodea caliginosa caliginosa* révèlent un risque écotoxique assez faible pour cette

molécule manifestée par un taux de survie de 92 % à la concentration maximale 116 mg/l. Malheureusement, il n'y a pas d'étude liée à l'effet de ce produit sur les invertébrés terrestres, Par contre d'autres études se sont effectuées sur les invertébrés aquatiques tel que *Daphnia magna*. Les études relatives sur cette dernière espèce montrent qu'il y a une toxicité aigüe élevée avec une DL50 après 48h est de 2,9 mg/l (Anonyme, 2011).

#### IV.4. Effet des herbicides sur les lombrics

Les herbicides utilisés pour lutter contre les mauvaises herbes dans l'agriculture sont très toxiques pour le biote du sol. Dans une certaine mesure, ces herbicides sont utilisés sans restriction par les agriculteurs sans tenir compte des effets à long ou à court terme dans le milieu du sol. En effet, il est évident que la plupart de ces herbicides peuvent entraîner la réduction des populations sensibles des vers de terre en affectant leurs paramètres biologiques. Ainsi qu'il y a un impact précis sur la production de biomasse et de cocon après l'application d'herbicides à différentes concentrations. Au total, les herbicides présentent presque une toxicité élevée contre les vers de terre (Krishan et Pooja, 2018).

##### IV.4.1. Cas de glyphosate

Parmi les herbicides utilisés en agriculture nous citons en premier le glyphosate, pesticide non sélectif le plus vendu au monde (Schronbrunn, 2001; Duke et Powles, 2008). Il appartient à la famille chimique des organophosphorés (phosphonoglycine) (INERIS, 2010). D'une part, une étude réalisée à Azaguié (Côte d'Ivoire) vise à évaluer la toxicité d'une formulation à base de glyphosate (Glycel 410 SL) sur le vers de terre *Eudrilus eugeniae* et de déterminer les effets à long terme. La toxicité s'est manifestée lorsque la quantité de glyphosate a été supérieure à la concentration recommandée par le fabricant. Cette situation porte à croire que l'application rationnelle de cet herbicide ne provoquerait pas d'effet létal sur les vers de terre. En ce qui concerne l'effet chronique de cet herbicide, il s'est traduit au niveau de la reproduction par la réduction du taux d'éclosion et du nombre de juvéniles/cocon (Ardjouma et *al.*, 1967).

Les herbicides à base de glyphosate réduisent l'activité et la reproduction des vers de terre (Boris et *al.*, 2015). Les travaux de Seppi (2015) sur l'impact de l'herbicide Roundup à base de glyphosate sur deux espèces de vers de terre a montré que l'activité de surface des vers de terre qui fouissent verticalement, *Lumbricus terrestris*, cesse près de trois semaines après l'application de l'herbicide, tandis que l'activité des vers de terre qui remuent le

sol, *Aporrectodea caliginosa*, n'est pas affectée. La reproduction de ces derniers a été réduite de 56 % trois mois après l'application de l'herbicide.

Des études portant sur des lombrics exposés au glyphosate ont indiqué une réduction du rythme de leur croissance et une tendance de ces animaux à éviter les endroits traités par cet herbicide, toute atteinte à ces invertébrés risque de compromettre la santé des sols (Brack et al., 2010).

D'autre part, Edwards et Bholen (1996) ont constaté que des expositions au glyphosate dans le sol n'avaient pas d'effets toxiques sur les lombrics. Les évaluations de risques concluent que les utilisations typiques du glyphosate ne posent pas de risque aigu ou chronique pour les lombrics et autres organismes du sol (Arla 2015; Durkin 2003; et al, 2000).

#### **IV.4.2. Cas de 2,4-Dichlorophénoxyacétique**

Dans un essai d'un herbicide à base de 2,4-D (Phénoxyacétique) (contre les mauvaises herbes vivaces et annuelles en arboriculture et en grandes cultures) sur *Eudrilus eugeniae*. La concentration létale (CL50) été  $175,6 \pm 12,3$  mg/kg. L'exposition des vers à 20 mg/l de 2,4-D soit 9,2 mg/kg, a réduit significativement la production de cocon, le taux d'éclosion et le nombre de juvéniles/cocon. Les résultats de l'étude de la toxicité aiguë (mortalité) de l'herbicide Herbextra 720 SL (un herbicide non sélectif des dicotylédones) s'est manifestée par un taux de mortalité de 50% de la population. Vu la nocuité de cette formulation envers *E. eugeniae*, elle constitue une menace potentielle pour les vers de terre car la CL50 de l'herbicide a été inférieure à la dose recommandée par son fabricant (1920 mg/l et 2880 mg/l) (Ardjouma et al., 1967).

#### **IV.4.3. Cas de Butachlor**

Lors des travaux de Ganesan et al. (2004) après l'exposition du ver de terre *Eisenia fetida* à l'herbicide Butachlor (acétanilides) pendant 60 jours, aucune mortalité n'a été observée, même à une dose plus élevée. À la fin de l'expérience, le groupe témoin avait une biomasse moyenne de 0,0831 mg et, dans le groupe exposé, la biomasse moyenne était de 0,0497 mg. En effet, ces derniers travaux ont mis en évidence que la biomasse moyenne des vers de terre diminuait avec l'augmentation de la concentration d'herbicides. De même, la production de cocon a également été réduite. Tous les vers de terre exposés présentaient une hypertrophie des cellules glandulaires et qui étaient aussi vacuolés.

#### IV.4.4. Cas de l'acétochlore

Pour évaluer les effets toxiques de l'herbicide **acétochlore** (chloroacétamides) sur les vers de terre, l'espèce *Eisenia fetida* a été exposée à des sols artificiels (sols de l'OCDE) supplémentés en différentes concentrations (5, 10, 20, 40 et 80 mg /kg de sol) d'acétochlore. Cette étude a montré que l'acétochlore n'avait pas d'effet à long terme sur la croissance et la reproduction d'*E. fetida* à la dose sur le terrain (5–10 mg / kg). À des concentrations plus élevées d'acétochlore (20–80 mg / kg), il a révélé une toxicité sublétales pour *E. fetida*. La croissance, le nombre de juvéniles par cocon et l'activité de la cellulase peuvent être considérés comme des paramètres sensibles pour évaluer la toxicité de l'acétochlore sur les vers de terre (Bobin et *al.*, 2006).

#### IV.4.5. Cas d'atrazine

Pour montrer la toxicité et les effets histopathologiques de l'herbicide Atrazine (la famille des triazines utilisé sur le maïs, le blé, le sorgho et la canne à sucre pour le traitement en pré et post-émergence des adventices) sur les vers de terre, Obiezue et *al.* (2010) ont exposé l'espèce *Nsukkadrilus mbae* à des différentes concentrations d'atrazine (0,0, 0,4, 0,8, 3,0 et 9,0 mg / kg de sol) pendant 96 heures. Une mortalité a été enregistrée toutes les 24 heures. La mortalité dans les différents groupes de traitement dépendait de la concentration. Les manifestations histopathologiques de l'exposition de *N. mbae* à l'herbicide comprenaient des dommages à la couche chloragène, des dommages aux tissus épithéliaux; hypertrophie glandulaire des tissus épithéliaux, vacuolations proéminentes et cellules pycnotiques. Dans une autre étude, Xiao et *al.* (2004) ont testé le même herbicide (acétochlore) sur *Eisenia fetida*, les résultats ont montré une mortalité 86,7%. Ceci est comparable au résultat de l'étude précédente dans laquelle la mortalité de *N. mbae* variait de 37,8 à 80% en cas d'exposition à l'atrazine.

#### IV.4.6. Cas de Propyzamide, Benfluraline, Métribuzine

Des études sur les effets des trois herbicides (amide) sur le poids des vers de terre ont été menées par Bilalis et *al.* (2013). Une forte réduction progressive du poids des vers a été obtenu au cours de cette expérience chez les vers traités au propyzamide à 1125 g m.a./ha, où le pourcentage de perte de poids à la fin de l'expérience était de 50% du contrôle non traité, tandis qu'une petite réduction a été obtenue chez des vers traités avec de la benfluraline à un taux de 1350 g m.a./ha suivi de vers traités avec de la métribuzine à raison de 750 g m.a./ha. Un impact négatif des herbicides sur la croissance des vers de terre a été rapporté par divers chercheurs,

selon Xiao et *al.* (2006), le pourcentage de survie le plus élevé a été observé chez les vers de terre traités par la benfluraline (86,6%), suivis des vers de terre traités par la métribuzine et le propyzamide. A l'issue de ces travaux, les effets significatifs de la benfluraline, de la métribuzine et du propyzamide se sont manifestés sur la croissance et la survie des vers de terre.

#### IV.4.7. Cas des urées substituées

Une étude a été menée pour étudier les effets de l'isoproturon (urées substituées) sur les vers de terre matures (*Lumbricus terrestris L.*) et son devenir dans des conditions de laboratoire. Les vers de terre sont exposés à des sols contaminés par différentes concentrations. Les résidus ont été surveillés dans le sol et les vers de terre après 7, 15, 30, 45 et 60 jours d'exposition à différentes concentrations d'isoproturon. Aucun effet létal de l'isoproturon n'a été observé même à la concentration la plus élevée testée (1,4 g / kg de sol) après 60 jours d'exposition. Les résidus d'isoproturon ont provoqué une réduction significative du taux de croissance (maximum - 27,9%). De plus, une réduction de la protéine soluble totale a été observée chez tous les vers traités (Carina et *al.*, 2018).

## **Conclusion et perspectives**

Les vers de terre sont l'un des ingénieurs physiques de l'écosystème, Ils jouent un rôle important dans les cycles biogéochimiques. Ils assurent la décomposition, l'incorporation de la matière organique et la formation des turricules en augmentant la fertilité du sol, ainsi que la disponibilité des éléments minéraux nutritifs pour les plantes et les autres organismes du sol.

La diminution des vers de terre ne fait pas la une des journaux. Cependant, c'est tout aussi grave que le réchauffement climatique. Plusieurs chercheurs s'intéressent à la diminution importante des populations des lombricidés. Cette diminution est à cause de la synergie de plusieurs facteurs, le développement des pratiques de l'agriculture intensive, tels que le labour en détruisant les galeries et en changeant les conditions physiques comme la température et l'humidité du sol, les variables climatiques comme les températures élevées et les faibles humidités peut cesser l'activité du lombric, ainsi que l'utilisation des engrais chimiques et pesticides peuvent causer le déclin de cette population. De nombreuses études ont montré que la réduction la plus importante des populations des lombrics est causée par les pesticides.

Au cours de ce travail on s'est intéressées à l'effet des pesticides sur les vers de terre dans le cadre de la biosurveillance. Plusieurs biotest ont été réalisés sur ce taxon qui sert comme un bon modèle pour l'évaluation de la qualité du sol, en particulier pour la toxicité des pesticides sur l'écosystème du sol.

Notre recherche bibliographique concernant l'effet des pesticides sur les populations des lombrics a bien montré que les pesticides agissent sur différentes fonctions vitales des lombrics. L'effet le plus nocif des pesticides les plus toxiques est représenté par une neurotoxicité, dont l'inhibition de l'acétylcholinestérase (AChE) perturbe la transmission des messages nerveux, suivie par la mort de l'animal. De nombreux produits phytosanitaires en usage agricole ont altéré la reproduction par une déformation des spermatozoïdes, une perte de fécondité, et une réduction d'éclosion et de production des cocons. En effet, ils manifestent sur la croissance par la perte de poids et de biomasse et la réduction de longévité. Ils peuvent aussi causer des changements histologiques et morphologiques comme la perte de coloration (vers blanc), le gonflement du corps et le décharge de liquide coelomiques (une détoxification de l'organisme et une réponse d'adaptation dans le milieu très contaminé), avec la perturbation du

## *Conclusion et perspectives*

comportement qui se traduit par un évitement des endroits contaminés, un enfouissement et une altération de la capacité à creuser des galeries.

Les résultats montrent que les insecticides semblent être les produits chimiques les plus toxiques affectant la survie et la reproduction et la croissance des vers de terre. La matière active des fongicides semble moins dangereuse que les insecticides. En revanche, même quand un herbicide ne présente aucun effet à court terme, les résidus accumulés vont subir une perturbation de la reproduction, la diminution des populations et le changement de comportement.

Toutes ces altérations physiologiques aboutissent à la réduction de l'abondance et la diversité des populations lombriciennes, cela peut agir sur la fertilité du sol en diminuant son activité biologique (la dégradation de la matière organique, création des galeries et terrecules), et par conséquent le sol devient improductif.

Au cours de notre recherche, plusieurs questions ont surgi et qui peuvent ouvrir des Perspectives intéressantes :

- ✓ S'intéresser à l'étude de la biodiversité du sol.
- ✓ Elargir l'échantillonnage des vers de terre dans différentes régions de l'Algérie notamment dans la région de Bouira qui a une location agricole importante et dans les milieux forestiers.
- ✓ S'intéresser à faire les clés de détermination des oligochètes en Algérie.
- ✓ Renforcer les études qui traitent les facteurs qui agissent sur les vers de terre.
- ✓ Multiplier les études traitant les pesticides et les engrais non étudiés, et leur devenir dans l'écosystème.
- ✓ Une des perspectives prioritaires est d'évaluer l'effet de mixture des pesticides sur les vers de terre afin de mieux reproduire ce qui se passe réellement en culture.

## *Conclusion et perspectives*

- ✓ Evaluer un test de toxicité des biopesticide sur les vers de terre, pour encourager leur utilisation en culture.
- ✓ S'intéresser aux espèces bioaccumulatrices pour que leur suivi soit facile, en utilisant le biomarquage et les tests histologiques moléculaires.
- ✓ S'intéresser à l'étude de transfert des pesticides dans la chaine trophique.

Après la reconnaissance de ces effets, on peut recommander à :

- ✓ Au regard de l'utilisation encore intensive de ces pesticides, rechercher quelle est la meilleure stratégie d'entretien du sol pour réduire au maximum l'impact des molécules sur l'environnement. Adopter des politiques agricoles alternatives, parmi lesquelles, on note la lutte intégrée et lutte biologique.
- ✓ L'utilisation de produits phytopharmaceutiques doit toujours être conforme aux inscriptions afin de minimiser les effets négatifs. Et leurs choix des produits sélectif et biodégradable.

## **Références bibliographique**

**Abdul-Rida A. M., Bouché M. B., 1997.** Earthworm toxicology: from acute to chronic tests. *Soil Biology and Biochemistry*, 29: 699–703.

**Achour S., 2011.** Etude de l'influence des vers de terre et du fumier de bovin sur les propriétés physiques de deux types de sol, du pourtour de la baie de Bejaia. Mémoire de Magister. Université de Bejaia.

**Alves P R L., Cardoso E J B N., Martines A M., Sousa J P., 2013.** Earthworm ecotoxicological assessments of pesticides used to treat seeds under tropical conditions. *Chemosphere*. 90 : 2674-2682. DOI : 10.1016/j.chemosphere.2012.11.046.

**Amiard JC., Berthet B., Metayer C., 1989.** Importance relative des fluctuations analytiques, *Anim., INRA*, n° spécial, 72-2, 671 p.

**Anonyme, 2011.** INRERIS : Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Azoxystrobine-N° CAS 131860-33-8

**Anonyme, 2017.** Comité sécurité Alimentaire d'Aprifel : pesticides, risques et sécurité alimentaire, [http://www.aprifel.com/userfiles/file/pesticides\\_risques\\_securite\\_a.pdf](http://www.aprifel.com/userfiles/file/pesticides_risques_securite_a.pdf), Vu le 02/04/2017 à 23h00.

**Ardjouma D., Sory Karim T., Seydou T., Lazare Y B., Mamadou T., Moïse N'guetta E., Gains K K K., 2018.** Toxicité d'un Herbicide à base de Glyphosate sur le ver de Terre *Eudrilus Eugeniae* KINBERG, 1867 (Oligochaeta, Eudrilidae), *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X / 1450-202X Vol. 150 No 3 October, 2018, pp. 285-298.

**Arla, 2015.** Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. Projet de décision de réévaluation concernant le glyphosate. Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire.

**Armand D. (2002).** Découvrir l'eau : Dégradation : La pollution par les pesticides. [En ligne] [http://www.cnrs.fr/cw/dossier/doseau/decouv/degradation/06\\_pollution.html](http://www.cnrs.fr/cw/dossier/doseau/decouv/degradation/06_pollution.html) Consulté le 12/09/2015.

## *Références bibliographiques*

**Arris S., 2008.** « Etude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sous-produits de céréale » Thèse de doctorat de l'université de Constantine-Algérie.

**Aubertot J N., Clerjeau M., David C., Debaeke P., Jeuffroy M H., Lucas P.et al., 2005.** Stratégies de protection des cultures. Expertise scientifique collective INRA/Cemagref « Pesticides, agriculture et environnement » - Chapitre 4, 104 pages.

**Auld B. A., Mead E., Medd R W., 1987.** Weeds: An illustrated botanical guide to the weeds of Australia. Elsevier.255 P.

**Ayad Mokhtari N., 2012.** Identification et dosages des pesticides dans l'agriculture et les problèmes d'environnement liés. Thèse de magister en chimie organique (environnement), université d'Oran, Algérie, 86 p

**Bachelier G., 1978.** La faune des sols, son écologie et son action, IDT N°38. ORSTOM, Paris, 391 pp.

**Baha M., 1997.** The earthworm fauna of Mitidja, Algeria. Trop. Zool.10 : 247-254.

**Barnett E A., Fletcher M R., Hunter K., Sharp E A.** Pesticide poisoning of animals 2003: Investigations of suspected incidents in the United Kingdom Central. Science Laboratory, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Sand Hutton, York. 52 p.

**Barot S., 2019.** Comment les vers de terre font-ils pousser les plantes. Institut de recherche pour le développement (IRD).

**Barry M.J., O'Halloran K., Logan D.C., Ahokas J.T., Holdway D.A., 1995.** Sublethal effects of esfenvalerate pulse-exposure on spawning and non-spawning Australian crimsonspotted rainbowfish (*Melanotaenia fluviatilis*). Archives of environmental contamination and toxicology 28, 459–463.

**Bazri K., Ouahrani G., Gheribi-Oulmi Z., Prigo D., Cosin D. J. D., 2013.** Soil factors and earthworms in Eastern Algeria. Sci. Technol. 37: 22-31.

**Bedoux G., Roig B., Thomas O., Dupont V., Le Bot B., 2012.** Présence et toxicité du triclosan antimicrobien et de ses sous-produits dans l'environnement. Environ Sci Pollut Res Int. 2012; 19 (4): 1044-1065.

## *Références bibliographiques*

**Beeby A., 1991.** Toxic metal uptake and essential metal regulation in terrestrial invertebrates. In Newman MC. McIntoch AW. (eds.): Metal Ecotoxicology: Concepts and Applications. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan (USA), pp. 65-89.

**Belfroid A. C., Sijm D. T. H. M., 1996.** Van Gestel, C.A.M. Bioavailability and toxicokinetics of hydrophobic aromatic compounds in benthic and terrestrial invertebrates. Environ Rev. 4:276-299.

**Bengtsson G., Ek H., Rundgren S., 1992.** Evolutionary response of earthworms to longterm metal exposure. Oikos 63, 289–297.

**Bentatat-keddar I., 2015.** Evaluation de la contamination par trois métaux traces(Cd,Ni,Zn) du rouget du vase *Mullus barbatus*(L,1758) pêcher au niveau de la côte occidentale algérienne .(Diplôme de Magister ,Université d’Oran)

**Benzine M., 2006.** Les pesticides : toxicité, résidus et analyse, département des produits frais-Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordination des Exportations (EACC). Les technologies de laboratoire, N° 0: 1-24

**Beresford N., Jobling S., Williams R. & Sumpter J.P. (2004).** Endocrine disruption in juvenile roach from English rivers: a preliminary study. Journal of Fish Biology, 64, 580-586

**Berny P., 2010.** Animal poisoning in Europe. Part 3: Companion animal. The veterinary journal.

**Berrah A., 2011.** Etude sur les pesticides. Mémoire Master 2 en toxicologie appliquée . Université de Tébessa Algérie.

**Beyer W N., Chaney R L., Mulhern B M., 1982.** Heavy metal concentrations in earthworms from soil amended with sewage sludge. J. Environ. Qual. 11,381–385.

**Beyer W N., Cromartie E., Moment G B., 1985.**Accumulation of methylmercury in the earthworm *Eisenia fetida* and its effect on regeneration. Bulletin of environmental contamination and toxicology 35, 157–162.

## Références bibliographiques

- Bilalis D., Tzortzi I., Vavoulidou E., Karkanis A., Emmanouel N., Efthimiadou A., Katsenios N., Patsiali S., Dellaporta L., 2013.** Effects of aluminum and moisture levels on aluminum bioaccumulation and protein content in the earthworm *Octodrilus complanatus*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13: 845–854.
- Bobin J., Feng G., Nengwen X., Xianghui L., 2006.** Le devenir de l'herbicide acétochlore et sa toxicité pour *Eisenia fetida* dans des conditions de laboratoire.
- Boland J., Koomzn I., Van Lidth J., Jeude DE., Oudejans J., 2004.** Les pesticides compositions, utilisation et risques. Edition Agrosdok.
- Bonmatin J M., 2005.** Centre de Biophysique Moléculaire, UPR 4301 CNRS, affiliated to Orléans University and to INSERM, 45071 Orléans cedex 02, France.
- Booth LH., O'Halloran K., 2001.** A comparison of biomarker responses in the earthworm *Aporrectodea caliginosa* to the organophosphorus insecticides diazinon and chlorpyrifos. *Environ Toxicol Chem* 20:2494–2502
- Boris R., Johann Z., Martin H., Mailin G-B., 2015.** Glyphosate-based herbicides reduce the activity and reproduction of earthworms and lead to increased soil nutrient concentrations DOI: 10.1038/srep12886.
- Bouché M B., 1971.** Relation entre les structures spatiales et fonctionnelles des écosystèmes illustrés par le rôle pédobiologique des vers de terre. In Pesson P. (Ed). *La vie des sols*. Gauthier-Villars, p. 187-209.
- Bouché M., 1972.** Les Lombriciens de France. *Ecologie et systématique*, Ann. Zool. Ecol
- Bouché M., 1975.** Action de la faune sur les états de la matière organique dans les écosystèmes. In Kilbertius, G., Reisinger, O., Mourey, A., Cancela da Fonseca, J.A. (eds) *Humification et biodégradation*. Pierron, Sarreguemines, France, pp. 157-168.
- Bouchon C., Lemoine S., 2003.** Marine Niveau de contamination par les pesticides des chaînes trophiques des milieux marins côtiers de la Guadeloupe et recherche de biomarqueurs de génotoxicité. Université des Antilles et de la Guyane Laboratoire de Biologie.
- Boué H., Chanton R., 1974.** *Zoologie I invertébrés* - « Doin, éditeurs » 94 p.

## *Références bibliographiques*

**Boughriet R., 2014.** Outre les abeilles, les pesticides systémiques impactent les vers de terre et les oiseaux. 25(6) 2014. Actuenvironnement .

**Boukria A., 2012.** Demoécologie des peuplements Lombriciens dans la zone aride de l'est Algérien- Biskra- mémoire de Magister- Université de Biskra.

**Bouziati M., 2007.** L'usage immodéré des pesticides: De graves conséquences sanitaires. Le guide de la médecine et de la santé. Santémaghreb. P8.

**Brack P., Antoniou M., Carrasco A., Fagan J., Habib M., Leifert C. et Pengue W., 2010.** Le Soja OGM Durable ? Responsable ? ARGE Gentechnik-frei (Arbeitsgemeinschaft für Gentechnik-frei erzeugte Lebensmittel), Bochum, Germany, p 30-36.

**Calow P., 1993,** General principles and overviews. In: Calow P., Handbook of ecotoxicology, Vol. 1. Oxford : Blackwell Scientific Publications, 1-5.

**Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M P., Coquet Y., 2005.** Les pesticides dans le sol : conséquences agronomiques et environnementales. Editions France Agricole, France. 637 p.

**Capinov :** Analyse d'insecticide, analyse organophosphoré, disponible sur : <https://www.capinov.fr/>. page consulté en 2020

**Capowiez Y., Bastardie F., Costagliola G., 2006.** Sublethal effects of imidacloprid on the burrowing behaviour of two earthworm species: modifications of the 3D burrow systems in artificial soil cores and consequences on gas diffusion in soil. Soil Biology and Biochemistry, 38, 285-293.

**Carina L., Mirna V., Thomas-B S., Henner H., 2018.** Herbicides diuron et fluazifop- *p*- butyle affectent la réponse d'évitement et l'activité de résistance multixénobiotique chez le lombric *Eisenia andrei*.

**Caron M., 2011.** Les vers de terre. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/>. Publié le 31/05/2011.

**Casabé N., Piola L., Fuchs J., Oneto ML., Pamparato L., Basack S., Gimenez R., Massaro R., Papa JC., Kesten E., 2007.** Ecotoxicological assessment of the effects of glyphosate and chlorpyrifos in an Argentine soya field. J Soil Sed 7:232–239.

## *Références bibliographiques*

**Casida J.E., 2009.** Pest toxicology : the primary mechanisms of pesticides action. *Cbem. Res. Toxicol.* 22 : 609-19.

**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, 179-191.

**Charles D., Drewes M J., Zoran C A., Callahan., 2006.** Sublethal neurotoxic effects of the fungicide benomyl on earthworms (*Eisenia fetida*). *chemical properties of soil: soil vs vermicast.* *Ecol Eng* 90:1–5.

**Cluzeau D. Lebouvier M., Tréhen P., Bouché M.B., Badour C., Perraud A., 1987.** Relations between earthworm and agricultural practices in the vineyard of Champagne. Preliminary results. In "On Earthworms" Omodeo (Ed.). Selected Symposia and Monographs UZI Modena (Italie), p 465-484.

**Cluzeau D., Fayolle L., 1988.** Impact des traitements pesticides sur les peuplements lombriciens en viticulture champenoise. *CR. Acad. Agric. France:* 74 :105-112.

**Cluzeau D, Peres G, Thomas F., 2004.**L'importance de la biodiversité du sol : le cas du ver de terre. *revue TCS.* 14-22.

**Cluzeau D., Vigot M., 2014.** Les vers de terre. Chambre régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes OPVT-OSUR/ Univ. Rennes.

**Colin F., 2000.** Approche spatiale de la pollution chronique des eaux de surface par les produits phytosanitaires Cas de l'Atrazine dans le bassin versant de Sousson (Gers, France). Unité mixte Cemagref-ENGREF "Structure des systèmes spatiaux". 233.

**Conder J M., Lanno R P., 2000.** Evaluation of surrogate measures of cadmium, lead, and zinc bioavailability to *Eisenia fetida*. *Chemosphere* 41, 1659–68.

**Conder J M., Lanno R P., Basta N., 2001.** Assessment of metal availability in smelter soil using earthworms and chemical extractions. *Journal of Environmental Quality* 30, 1231–1237.

**Cong Y., Shuijin H., Wenxia D., Peter H., Lane T., Rick B., David L., Mark S., 2011.** Effects of fungicides and insecticides on feeding behavior and community dynamics of earthworms: Implications for casting control in turfgrass systems [Author links open overlay panel](#) *Volume* 47, Issue 1.

## *Références bibliographiques*

**Conseil de l'Europe., 1992:** Pesticides, 7e édition, Strasbourg.

**Cook M EA., Swait A., 2015.** Effects of Some Fungicide Treatments on Earthworm Populations and Leaf Removal in Apple Orchards Pages 495-499 | Received 06 Mar 1975.

**Cook M E., Swait A A J., 1975.** Effects of some fungicide treatments on earthworm populations and leaf removal in apple orchards. *J. Hortic. Sci.* 50, 495-499.

**Cox L., Koskinen W., Yen P., 1997.** Sorption-desorption of imidacloprid and its metabolites in soils. *Agric J. Food Chem.* 45(4) : 1468-1472.

**Cox R., Rakotondrazafy A. F. M., Rakotondramazava H. T., 2004.** Geological versus human controls on lavaka formation and extreme erosion in Madagascar. *Geological Society of America*, 36, 364-377.

**Cunha L., Brown G.G., Stanton D.W.G., Silva E. Da, Hansel F.A., Jorge G., et al., 2016.** Soil Animals and Pedogenesis : The Role of Earthworms in Anthropogenic Soils. *Soil Science*, 181, 110–125.

**Cuny., 2012.** La biosurveillance végétale et fongique de la pollution atmosphérique : concepts et applications\_ Air pollution biomonitoring with plants and fungi: Concepts and uses. *Annales Pharmaceutiques Françaises.* 70:182—187.

**Curry J.P., Good J.A., 1992.** Soil faunal degradation and restoration, in *Soil Restoration, Advances in Soil Science*, Lal, R. and Stewart, B.A., Eds., Springer-Verlag, New York, 171.

**Curry J P., 1998.** Factors affecting earthworm abundance in soils. In: Edwards, C. A. (eds), *Earthworm Ecology*. Boca Raton, St. Lucie Press, pp. 389.

**Da Silva PMCS., Pathiratne A., van Gestel CAM., 2010.** Toxicity of chlorpyrifos, carbofuran, mancozebe and their formulations to the tropical earthworm *Perioyx excavatus*. *Appl Soil Ecol* 44:56-60.

**Décarie R., Desgranges J-L., Lépine C., Morneau F., 1993.** Impact of insecticides on the American robin (*Turdus migratorius*) in a suburban environment. *Environ. Pollut.*, 80: 231-238.

**Deluzarche C., 2019.** Pesticides : les pays plus gros consommateurs. *Futura planète.* 9 fev 2019.

## *Références bibliographiques*

**Depta B., Koscielniak A., Rozen A., 1999.** Food selection as a mechanism of heavy metal resistance in earthworms. *Pedobiologia* 42, 608–614.

**Di corica A., MarchettiM., 1991.** Méthode multi-résidus pour les pesticides dans l'eau potable en utilisant une extraction de cartouche de noir de carbone graphitée et une analyse chromatographique liquide. 63 , 6 , 580–585.

**Duke S O., Powles S B., 2008.** Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science*, 64: 319-325.

**Durkin, P.R., 2003.** Glyphosate - Human health and ecological risk assessment report. Syracuse Environmental Research Associates Inc, Fayetteville (NY).

**Edwards C A., Lofty J R., 1977.** Biology of earthworms. Chapman and Hall Ltd, Grande Bretagne. *Environmental pollution* 90, 7–14.

**Edwards, C. A., Bohlen, P. J., Linden, D. R. et Subler, S., 1995.** Earthworms in agroecosystems. In: Hendrix, P. F. (eds), *Earthworm ecology and biogeography in North America*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp. 185-213.

**Edwards C., Bohlen P., 1996.** *Biology and Ecology of Earthworms* 3rd ed. Chapman and Hall, London, 426 p.

**Edwards C A., 2004.** *Earthworm Ecology*, 3. CRC Press LLC, Boca Raton.

**Elbert A., Becker B., Hartwig J., Erdelen C., 1991.** Imidacloprid—a new systemic insecticide. *Pflanzenschutz Nachr Bayer* 44: 113–136

**Eric B., Joséphine P., Jean-François V., 1979.** Effet des SDC sur les vers de terre. [www.supagro.fr](http://www.supagro.fr).

**Evans A. C., Guild W. J. M., 1948.** Studies on the relationships between earthworms and soil Fertility. *App. BioL.*35:472- 484.

**Fabre R., Truhaut R., 1954.** *Toxicologie des Produits Phytopharmaceutiques*. Société d'Édition d'Enseignement Supérieur - SEDES: Paris; 272p.

## Références bibliographiques

**Figueira C A., Taylor C A., 2009.** Annual Review of Biomedical Engineering Vol. 11:109-134 (Volume publication date 15 August).

[www.doi.org/10.1146/annurev.bioeng10.061807.160521](http://www.doi.org/10.1146/annurev.bioeng10.061807.160521)

**Forbes V E., Forbes T L., 1997.** Ecotoxicologie - Théorie et applications. Paris : INRA Editions. 256p.

**Fossen M., 2006.** Environmental fate of imidacloprid. Departement of Pesticides Regulation, Sacramento, Californie.

**Foubert A., 1986.** Biodiversité : Victime silencieuse des pesticides. World Wide For nature, page 8.

**Fried G., Chauvel B., Reboud X., 2008.** Evolution de la flore adventice des champs cultivés au cours des dernières décennies ; vers la sélection de groupes d'espèces répondant aux systèmes de culture. Innovations Agronomique, 3, 15-26.

**Gains K K K., Moïse N E., Mamadou T., Lazare YB., Seydou T., Sory K T., Ardjouma D., 1867.** Toxicité d'un Herbicide à base de Glyphosate sur le ver de Terre *Eudrilus Eugeniae* KINBERG, (Oligochaeta, Eudrilidae). <https://infoforet.ca/>

**Ganesan V. Gobi M., Suman J., 2004.** Sublethal Toxicity of the Herbicide Butachlor on the Earthworm *Perionyx sansibaricus* and its Histological Changes (5 pp). *Journal of Soils and Sediments* volume 5, pages 82–86.

**Giesy J.P., Dobson S., Solomon K.R., 2000.** Ecotoxicological risk assessment for Roundup® herbicide. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 2000; (167):35-120.

**Goulson D., 2003.** School of Life Sciences, University of Sussex, Sussex BN1 9RH, UK.

**Graham M., Van-Zwieten M., 2004.** Review of impacts on soil biota caused by copper residues from fungicide application.

**Gueddou A., Nedjaa Kh., 2017.** Evaluation de la toxicité des pesticides par l'utilisation d'un biotest, Département de Biologie Physico-Chimique, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie - Université A. Mira Bejaia.

## *Références bibliographiques*

**Guild W J M L., 1948.** The effect of soil type on the structure of earthworm populations. *Ann. Appl. Biol.* 35, 181-192.

**Guild W J M L., 1955.** Earthworms and soil structure. In: Kevan, D. K. M. E. (eds), *Soil Zoology*. Butterworths, London, pp. 83-98.

**Guillette Jr., Gross T S., Masson G R., Matter J M., Percival H F., Woodward A R., 1994.** Developmental abnormalities of the gonad and abnormal sex hormone concentrations in juvenile alligators from contaminated and control lakes in Florida.

**Gupta S K., Sundararaman V., 1991.** Correlation between burrowing capability and AChE activity in the earthworm, *Pheretima posthuma*, on exposure to carbaryl. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 46, 859-65.

**Gupta S., Gajbhiye V.T., 2007.** Persistence of acetamiprid in soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 78(5) : 349-352.

**Hartensein R., Amico L., 1983.** Production and carrying capacity for the earthworm *Lumbricus terrestris* in culture. *Soil Biol. Biochem.* 15: 51-54.

**Hautbois M., 2019.** Les insecticides sont aussi nocifs pour les oiseaux. [www.futura.com](http://www.futura.com). Consulté le 16 septembre 2019 à 12h23.

**Herger P., 2003.** Regenwürm. Zentrum für angewandte Ökologie Schattweid, NaturMuseum Luzern, Wolhusen. 49 p.

**Homa J., Olchawa E., Stürzenbaum SR., Morgan AJ., Plytycz B., 2005.** Early phase immunodetection of metallothionein and heat shock proteins in extruded earthworm coelomocytes after dermal exposure to metal ions. *Environmental Pollution*, 135: 2.

**Hubert R., 2018.** La disparition des vers de terre, aussi grave que le réchauffement climatique. Disponible sur [www.pensees-sauvages.com](http://www.pensees-sauvages.com). Publié le 20.11.2018.

**Iglesias J., Castillejo J., Castro R., 2003.** The effects of repeated applications of the molluscicide metadéhyde on molluscs, earthworms, nematodes, acarids and collembolans: a two-year study in north-west Spain. *Pest Manag Sci* 59:1217-1224.

## Références bibliographiques

**INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), 2010.** Fiches de données toxicologiques et environnementales. Arsenic et ses dérivés inorganiques. 2010, 124p.

**Inglesfield C., 1989.** Pyrethroids and terrestrial non-target organisms. Pesticides Science. Volume 27, issue 4.

**Inserm (Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale), 2013.** Expertise collective. Pesticides, effets sur la santé, 2013. <http://editions.inserm.fr/zh5/109743>.

**ISO (International Organization for Standardization), 1998.** Effects of pollutants on earthworms ( *Eisenia Fetida*). Part 2: determination of effects on reproduction-No. 11268-1.Geneva.

**Jacquot M., 2013.** Usage des rodenticides anticoagulants et conséquences en termes d'exposition et d'impact pour les populations de renards roux. Thèse de doctorat de l'Université de Franche Comté, 208 pp.

**Jager T., Fleuren RHLJ., Hogendoorn EA., Korte G., 2003.** Elucidating the routes of exposure for organic chemicals in the earthworm, *Eisenia andrei* (oligochaeta). Environ Sci Technol; 37:3399–404.

**Jahn T., Hötker H., Oppermann R., Bleil R., Vele L., 2014.** Protection of biodiversity of free living birds and mammals in respect of the effects of pesticides. Plant Protection Products, Ecotoxicology, Environmental Risk Assessment. 90 p.

**Jegou D., Brunotte J., Rogasik H., Capowiez Y., Diestel H., Schrader S., Cluzeau D., 2002.** Impact of soil compaction on earthworm burrow systems using X-ray computed tomography: preliminary study. Eur. J. Soil Biol. 38, 329-336.

**Jehan S., Otto L., 2001.** Toxic Effects of Benomyl on Ultrastructure during Spermatogenesis of the Earthworm *Eisenia fetida*. Volume 50, Issue 3, Pages 180-188.

**Jeroen B et al., 2004.** Les pesticides : Composition, utilisation et risques. Fondation Agromisa(Agrodok 29), Wageningen, Pays bas (Hollande).

**Kammenga JE., Dallinger R., Donker MH., Kohler H R., Simonsen V., Tribskorn R., Weeks JM., 2000.** Biomarkers in terrestrial invertebrates for ecotoxicological soil risk assessment. In Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, Vol 164,93-147.

## *Références bibliographiques*

**Kavitha P., Venkateswara Rao J., 2007.** Oxidative stress and locomotor behaviour response as biomarkers for assessing recovery status of mosquito fish, *Gambusia affinis* after lethal effect of an organophosphate pesticide, monocrotophos.

**Katagi T., 2004.** Photodegradation of Pesticides on Plant and Soil Surfaces. *Rev Environ Contam Toxicol* 182:1-195.

**Kegley S., Neumeister L., Martin T., Network P A., 1999.** Disrupting the balance. Ecological impacts of pesticides in California. Pesticide Action Network 99.

**Kherbouche D., Bernhard-Reversat F., Moali A., Lavelle P., 2012.** The effect of crops and farming practices on earthworm communities in Soummam valley, Algeria. *European Journal of Soil Biology*.48 :17-23.

**Kladivko E J., 2001.** Tillage systems and soil ecology. *Soil Tillage Res.* 61, 61-76.

**Krishan K., Pooja., 2018.** A review on the effect of herbicides on the earthworms Department of Food and Biotechnology, Jayoti Vidyapeeth Women's University, Jaipur, Rajasthan, India.

**Kulhow F., 1961.** Field experiments on the behavior of malaria vectors in an unsprayed hut 1962; 22 ; 95-1 18. And in a hutsprayed with DDT in Northern Nigeria. WHO/MAU310, 21, 1961.

**Langmaack M., Schrader S., Rapp-Bernhardt U., Kotzke K., 1999.** Quantitative analysis of earthworm burrow systems with respect to biological soil-structure regeneration after soil compaction. *Biol. Fertil. Soils* 28, 219-229.

**Lapinski S., Rosciszewska M., 2008.** The impact of cadmium and mercury contamination on reproduction and body mass of earthworms. *Plant Soil Environment* 54, 61–65.

**Lavelle P., 1981.** Stratégie de reproduction chez les vers de terre. *Acta Oecol. Gener.* p. 117-133.

**Lavelle P., Pashanasi B., Charpentier F., Gilot C., Rossi J., Derouard L., Andre J., Ponge J., Bernier N., 1998.** Large-scale effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics, in: Edwards C.A. (Ed.), *Earthworm Ecology*, St. Lucie Press, Boca Raton, USA, 103–122.

## *Références bibliographiques*

**Lavelle P., Spain A V., 2001.** Soil Ecology. Kluwer Scientific Publications, Amsterdam, 654 pp.

**Laverack M S., 1963.** The Physiology of Earthworms Volume 15 de International series of monographs on pure and applied biology: Division: Modern trends in physiological sciences Volume 15 de International series of monographs on pure and applied biology: Division, Zoology.

**Lee K E., 1985.** Earthworms: their ecology and relationship with soils and land use. New York, 411 p.

**Léveque C., 1997.** Etat de santé des écosystèmes aquatiques: l'intérêt des variables biologiques. In séminaire national « Les variables biologiques : des indicateurs de l'état de santé des écosystèmes aquatiques » Ministère de l'Environnement, 2-3 Novembre 1994, CEMAGREF (Eds.), pp 13–26.

**Lima M P., Cardoso D N., Soares A M., Loireiro S., 2010.** Carbaryl toxicity prediction to soil organisms under high and low-temperature regims. *Ecotoxicol Environ Saf*,45:348-359.

**Lock K., Janssen C.R., Lock J., 2001.** Ecotoxicity of mercury to *Eisenia fetida*, *Enchytraeus albidus* and *Folsomia candida*. *Biology and Fertility of Soils* 34, 219–221.

**Lofs-Holmin A., 1982.** Reproduction and growth of common arable land and pasture species of earthworms (Lumbricidae) in laboratory cultures. *Swed. J. Agr. Res.* 13, 31-37.

**Lofs-Holmin A., 1983.** Influence of agricultural practices on earthworms (Lumbricidae). *Acta Agricult. Scand.* 33, 225-234.

**Lorenzo D. M. E., Serrano L., 2003.** Chlorothalonil, *EnvironScihealth B* 38 (5) : 529- 38

**Louise H.E., 2016.** Impacts des insecticides pyréthrinoides sur la santé humaine et environnementale : Ce que l'on sait, ce qu'on ignore et les recommandations qui s'y rapportent.

**Louveaux J., 1984.** Les traitements phytosanitaires et les insectes pollinisateurs. 565- 575.

## Références bibliographiques

**Lukas P., 2013.** Les vers de terre architectes des sols fertiles. Fiche technique Vers de terre, numéro de commande 1619, Édition suisse FiBL 2013 (Institut de recherche de l'agriculture biologique. FiBL), [www.shop.fibl.org](http://www.shop.fibl.org).

**Luo Y., Zang Y., Zhong Y., Kong Z., 1999.** Toxicological study of two novel pesticides on earthworm *Eisenia fetida*. *Chemosphere*, 39, 2347-2356.

**Ma W, Bodt J., 1993.** Differences in toxicity of the insecticide Chlorpyrifos to six species of earthworms (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*) in standardized soil tests. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 50, 864–870.

**Magdelaine C. (2013).** Les pesticides ou produits phytosanitaires. 5 En ligne]: <http://www.notre-planete.info/ecologie/alimentation/pesticides.php#>. Consulté le 02/09/2015.

**Medjri Y., Chabira H., 2019.** Les lombricidés, bioindicateurs de la qualité des sols agricoles de la région de Bouira, pollués par les pesticides. Département de Biologie, Faculté de Sciences la Nature et de la Vie, Université Akli Mohand Oulhadj Bouira.

**Mele P M., Carter M. R., 1999.** Impact of crop management factors in conservation tillage farming on earthworm density, age structure and species abundance in south-eastern Australia. *Soil Tillage Res.* 50, 1-10.

**Merhi M., 2008.** Etude de l'impact de l'exposition à des mélanges de pesticides à faible dose: caractérisation des effets sur des lignées cellulaires humaines et sur le système hématopoïétique murin. Thèse de doctorat en pathologie, toxicologie, Génétique et nutrition, université de Toulouse, France, 140 p.

**Michelangeli F., Robson M J., East J M., Lee A G., 1990.** Fluorescence and kinetic studies of the interactions of pyrethroids with the  $(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ -ATPase. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes* .1028 (1) : 58-66.

**Millot F., Decors A., Mastain O., Quintaine T., Berny P., Vey D., Lasseur R., Bro E., 2016.** Field evidence of bird poisonings by imidacloprid-treated seeds: a review of incidents reported by the French SAGIR network from 1995 to 2014. *Environmental Science and Pollution Research*.1614-7499.

**Mitchell A., 1997.** Production of *Eisenia fetida* and vermin compost from feed-lot cattle manure. *Soil Biol. Biochem.* 29, p. 763–766.

## *Références bibliographiques*

**Mnif W., Hassine A.I.H., Bouaziz A., Bartegi A., Thomas O., Roig B., 2011.** Effect of endocrine disruptor pesticides: A review. *International journal of environmental research and public health* 8, 2265–2303.

**Morgan A J., Stürzenbaum SR., Winters C., Grime GW., Aziz NA., Kille P., 2004.** Differential metallothionein expression in earthworm (*Lumbricus rubellus*) tissues. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 57: 11–19.

**Mosleh YY., Paris-Palacios S., Couderchet M., Vernet G., 2003a.** Effects of herbicide isoproturon on survival, growth rate, and protein content of mature earthworms (*Lumbricus terrestris* L.) and its fate in the soil. *Appl Soil Ecol* 23:69-77. Doi: 10.1016/S0929-1393(02)00161-0.

**Mostert M A., Schoeman A S., Van Der Merwe M., 2002.** The relative toxicity of insecticides to earthworms of the *Pheretima* group (Oligochaeta). *Pest ManagSci* 58 : 446-450.

**Mostert M A., Schoeman AS., Van Der M., 2000.** The toxicity of five insecticides to earthworms of the *Pheretima* group, using an artificial soil test. *Pest ManagSci*, 58, 1093-1097.

**Nahmani J., Hodson ME., Black S., 2007b.** A review of studies performed to assess metal uptake by earthworms. *Environ Pollut* 145:402.

**Narborn E.J.F., 1998.** Historique-fondements biologiques de l'utilisation de biomarqueurs en éco-toxicologie. In « Utilisation de biomarqueurs pour la surveillance de la qualité de l'environnement » .Tec et Doc Lavoisier, Paris. 1-7.

**Nasr HM, Badawy EL., 2015.** Biomarker Reponse and Biomass Toxicity of Earthworms *Aporetodea caliginosa* Exposed to IGRs Pesticides. *J environ anal toxicol*. 5 :1-7.

**Nicolas S D., 2018.** Beekeeping Research and Information Centre (CARI), Place Croix du Sud 4, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgium.

**Nordström S., et Rundgren S., 1974.** Environmental factors and lumbricid associations in southern Sweden. *Pedobiol.* 14, 1-27.

**Nuutinen V., 1992.** Earthworm community response to tillage and residue management on different soil types in southern Finland. *Soil Tillage Res.* 23, 221-239.

## *Références bibliographiques*

**Obiezue R., Oluah., Ndubuisi S., Nduka N., Ocholor A J., Onuoha E., 2010.** Toxicity And Histopathological Effect Of Atrazine (Herbicide) on the earthworm *Nsukkadrilus mbae* Under Laboratory Conditions.

**OECD., 1984.** guideline for testing of chemicals. "Earthworm, Acute Toxicity Tests"

**OECD., 2003.** Environmental Indicators, Development, Measurement and Use, Reference Paper, OECD, Paris (France). DOI: 10.1787/978926307002-en.

**OECD., 2004.** Guidelines for the Testing of Chemicals : Earthworm reproduction test (*Eisenia fetida*/*Eisenia andrei*). OECD., Paris (France). DOI: 10.1787/9789264070325-en.

**Omodeo P., Rota E., Baha M., 2003.** The megadrile fauna (Annelida : Oligochaeta) of Maghreb: a biogeographical and ecological characterization. *Pedobiologia*. 47: 458 – 465.

**Oste L A., Dolfing J., Ma W C., Lexmond T M., 2001.** Cadmium uptake by earthworms as related to the availability in the soil and the intestine. *Environmental toxicology and chemistry* 20, 1785–1791.

**Ouahrani G., 2003.** Lombrotechniques appliquées aux évaluations et aux solutions environnementales. Thèse de Doc. Etat. Université Mentouri. In Bazri K, Ouahrani G, Gheribi Z, Díaz Cosín D G (2013). La diversité des lombriciens dans l'Est algérien depuis la côte jusqu'au desert. *Ecologia mediterranea* 39 (2) : 230 p.

**Pande S., Saxena P N., Bhushan B., Saxena N., 2014.** Peripheral blood and bone marrow responses under stress of cypermethrin in albino rats. *Interdisciplinary toxicology*, 7(1), 33-40.

**Pande S., Saxena P N., Bhushan B., Saxena N., 2014.** Peripheral blood and bonemarrow responses under stress of cypermethrin in albino rats. *Interdisciplinary toxicology*, 7(1), 33-40.

**Paoletti M.G., Sommaggio D., Favretto M.R., Petruzzelli G., Pezzarossa B., Barbaferi M., 1998.** Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs. *Applied Soil Ecology* 10, 137-150.

**Parmelee R W., Crossley D. A. J., 1988.** Earthworm production and role in the nitrogen cycle of a no-tillage agroecosystem on the Georgia Piedmont. *Pedobiol.* 32, 351-361.

## *Références bibliographiques*

**Peijnenburg W J G M., Jager T., 2003.** Monitoring approaches to assess bioaccessibility and bioavailability of metals: Matrix issues. *Ecotoxicol Environ Saf.* 56:63-77.

**Pelosi C., 2008.** Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre *Lumbricus terrestris* au champ. Contribution à l'étude de l'impact de systèmes de culture sur les communautés lombriciennes. Thèse Doctorat. Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (Agro Paris Tech).

**Pelosi C., Barot S., Capowiez Y., Hedde M., Vandebulcke F., 2014.** Pesticides and earthworms. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 34:199-228.

**Péres G., Cluzeau D., Curmi P., Hallaire V., 1998.** Earthworm activity and soil structure changes due to organic enrichments in vineyard systems. *Biol. Fertil. Soils* 27, 417-424.

**Phillipson J., Abel R., Steel J., Woodell S R J., 1976.** Earthworms and the factors governing their distribution in a beechwood. *Pedobiol.* 16, 258-285.

**Pimentel D., 1995.** Amounts of pesticides reaching target pest: environmental impacts and ethics. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* . 8:17-29.

**Pizl V., Josens G., 1995.** Earthworm communities along a gradient of urbanization.

**Privé M :** Déclin des vers de terre, quelles conséquences pour la planète. Disponible sur [www.geo.fr](http://www.geo.fr). publié en 2019.

**Puranik P., Bhate A., 2008.** Animal Forms and Functions: Invertebrata. Sarup & Sons. 299p.

**Rathore HS., Nollet LM., 2012.** Pesticides: evaluation of environmental pollution. CRC Press.

**Reddy NC., Rao JV., 2008.** Biological response of earthworm, *Eisenia fetida* (Savigny) to an organophosphorous pesticide, profenofos. *Ecotoxicol Environ Saf* 71(2):74-582.

**Reinecke A. J., Maboeta M. S., Vermeulen L. A., Reinecke S. A., 2002.** Assessment of lead nitrate and mancozeb toxicity in earthworms using the avoidance response. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* 68 : 779-786.

**Ribera D., Narbonne JF., Arnaud C., Saint-Denis M., 2001.** Biochemical responses of the earthworm, *Eisenia fetida*, *andrei* exposed to contaminated artificial soil, effects of carbaryl. *Soil Boil Biochem.* 33:1123-1130.

## *Références bibliographiques*

**Rice P., Drewes C., Klubertanz T., Bradbury S., Coats J., 1997.** Acute toxicity and behavioral effects of Chlorpyrifos, permethrin, phenol, strychnine, and 2,4-dinitrophenol to 30-days-old Japanese Medaka (*Oryzias latipes*). *Setac. Journals*, 16: 696-704.

**Roark JH., Dale JL., 1979.** The effect of turf fungicides on earthworms. *Ark Acad Sci Proc* 33:71–74.

**Robinson R. et Sutherland W., 2002.** Post-war Changes in Arable Farming and Biodiversity in Great Britain. *Journal of Applied Ecology*. 39,157–176.

**Roriguez-Campos J., Dendooven L., Alvarez-Bernal D., Contreras-Ramos SM., 2014.** Potential of earthworm to accelerate removal of organic contaminants from soil: a review. *Appl Soil Ecol* 79:10–25.

**Sanchez-Hernandez J C., Narvaez C., Sabat P., Martínez M S., 2014.** Integrated biomarker analysis of chlorpyrifos metabolism and toxicity in the earthworm *Aporrectodea caliginosa*. *Science of the Total Environment* 490 (2014) 445–455.

**Sarkar M., Sankhjit R., Kumar Kole R., Chowdhry A., 2001.** Persistence et métabolisme de l'imidaclopride dans différents sols du Bengale occidental.

**Satchell J E., 1967.** Lumbricidae. In: A. Burges & F. Raw (eds), *Soil Biology*. Academic Press, London.

**Saxe IK., ImpeJitteri C A., Peijnenburg W J G M., 2001.** Allen, RE. A novel mode describing heavy metal concentrations in the earthworm, *Eisenia andrei*. *Environ Sci Technol*. 35: 4522-4529.

**Saxena P.N., Gupta S.K., Murthy R.C., 2014.** Comparative toxicity of carbaryl, carbofuran, Cypermethrin and fenvalerate in *Metaphire posthuma* and *Eisenia fetida*--A possible mechanism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol100, page 218-225.

**Sayeed I., Parvez S., Pandey S., Bin-Hafeez B., Haque R., Raisuddin S., 2003:** Oxidative.

**Scholtz M.T., Voldner E., McMillan A.C. et Van Heyst B.J., 2002.** A pesticide emission model (PEM) Part I: model development. *Atmospheric Environment* 36, 5005-5013.

## Références bibliographiques

**Schronbrunn E., Eschenburg S., Shuttleworth W A., Schloss J V., Amrhein N., Evans J N S., Kabsch W., 2001.** Interaction of the herbicide glyphosate with its target enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase in atomic detail. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 98: 1376-1380.

**Scott-Fordsmand J., Stevens D., McLaughlin M., 2004.** Do earthworms mobilize fixed zinc from ingested soil? Environ Sci Technol. 38:3036-3039.

**Seppi :** Glyphosate et vers de terre. Le vermageddon que vous ignoriez jusqu'à présent. Disponible sur : <http://seppi.over-blog.com/>. Publié le 8 Septembre 2015.

**Shi-ping Z., Chang-qun D., Hui F., Yu-hui C., Xue-hua W., Ze-fen Y., 2007.** Toxicity assessment for chlorpyrifos-contaminated soil with three different earthworm test methods. J Environ Sci 19:854–858.

**Sims R W., Gerard B M., 1999.** Earthworms: Notes for the Identification of British Species, Synopses of the British Fauna (New Series) No. 31 (Revised). London, Linnean Society.

**Singh S, Singh J, Vig AP., 2016.** Earthworm as ecological engineers to change the physico-chemical properties of soil: soil vs vermicast. Ecol Eng 90:1–5.

**Smeaton T C., Daly A N., Cranwell J M., 2003.** Earthworm population responses to cultivation and irrigation in a South Australian soil. Pedobiol. 47, 379-385.

**Socorro J., 2015.** Etude de la réactivité hétérogène de pesticides adsorbés sur des particules modèles atmosphériques : cinétiques et produits de dégradation. Thèse de doctorat en Chimie de l'Environnement, Université Aix-Marseille, France, 245p.

**Spurgeon D., Hopkin S., 1996.** Effects of variations of the organic matter content and pH of soils on the availability and toxicity of zinc to the earthworm *Eisenia fetida*. Pedobiologia 40, 80-96.

**Spurgeon D.J., Hopkin S.P., 1999.** Tolerance to zinc in populations of the earthworm *Lumbricus rubellus* from uncontaminated and metal-contaminated ecosystems. Arch Environ Contam Toxicol 37, 332-337.

## Références bibliographiques

- Spurgeon D.J., Svendsen C., Rimmer V.R., Hopkin S.P., Weeks J.M., 2000.** Relative sensitivity of life-cycle and biomarker responses in four earthworm species exposed to zinc. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 19, 1800-1808
- Stenersen J., 2004.** Chemical pesticides: mode of action and toxicology. CRC, New York.
- Stringer A., Wright M A., 1973.** The effect of benomyl and some related compounds on *Lumbricus terrestris* and other earthworms. *Pestic. Sci.* 4:165-170.
- Stürzenbaum, S.R., Kille, P., Morgan, A.J., 1998.** The identification, cloning and characterization of earthworm metallothionein. *FEBS Letters*, 431(3), 437- 442.
- Tebrügge F., Düring R A., 1999.** Reducing tillage intensity - a review of results from a long-term study in Germany. *Soil Tillage Res.* 53, 15-28.
- Tomé H.V.V., Martins G.F., Lima M.A.P., Campos L.A.O., Guedes R.N.C., (2012).** Imidacloprid-induced impairment of mushroom bodies and behavior of the native *stingless bee Melipona quadrifasciata anthidioides*. *PLoS ONE* 7, e38406.
- Tomlin AD., 1980.** La biologie du ver de terre, 10 p.
- Tomlin C., 1994.** The pesticide Manual: A World Compendium. 10<sup>e</sup> éd., Incorporating the Agro chemicals Handbook. British Crop Protection Council et Royal Society of Chemistry, Thornton Heath, GB.
- Van Der Werf H M G., 1996.** Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 60:81-96.
- Van Haluwyn C., Cuny D., Garrec J P., 2011.** Introduction générale – Définitions, concepts et enjeux généraux de la biosurveillance de la qualité de l'air. *Pollution Atmosphérique*, Numéro spécial : 7-13.
- Van Rhee J A., Nathans S., 1973.** Ecological aspects of earthworm populations in relation to weather conditions. *Rev. Ecol. Biol. Soil* 10, 523-533.
- Venkateswara Rao J., Kavitha P., 2004.** Toxicity of azodrin on the morphology and acetylcholine esterase activity of the earthworm *Eisenia fetida*. *Environmental Research* 96 (2004) 323–327.

## *Références bibliographiques*

- Vermeulen LA., Reinecke AJ., Reinecke SA., 2001.** Evaluation of the fungicides manganese-zinc ethylene bis (dithiocarbamate) (mancozebe) for sublethal and acute toxicity to *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Ecotoxicol. Environ Saf* 48:183-189.
- Viel J.F., Challier B., Pitard A., Pobel D. (1998).** Brain Cancer Mortality among.
- Villeneuve F., Desire C., 1965.** Zoologie Bordas. 40 p.
- Vyas N B., Thiele L A., Garland S C., 1998.** Possible mechanisms for sensitivity to organophosphorus and carbamate insecticides in eastern screech-owls and american kestrels. *Comp. Biochem. Physiol.*, 120 : 151-157.
- Wang K., Pang S., Mu X., Qi S., Li D., Cui F., Wang C., 2015.** Biological response of earthworm, *Eisenia fetida*, to five neonicotinoid insecticides. *Chemosphere* 132:120–126.
- Wang Y, Cang T, Zhao X, Yu R, Chen L, Wu C, Wang Q (2012).** Comparative acute toxicity of twenty-four insecticides to earthworm, *Eisenia fetida*. *Ecotoxicol Environ Saf.* 79:122-128.
- Whalen J K., Benslim H., Vanasse A., 2012.** Insecticides (dimethoate and lambda-cyhalothrin) for soybean aphid control are they toxic to earthworms? Evidence from laboratory and field bioassays. *Can. J. Soil Sci.* 92: 751-758.
- Whalen J K., Parmelee R W., 1999.** Growth of *Aporrectodea tuberculata* (Eisen) and *Lumbricus terrestris* L. under laboratory and field conditions. *Pedobiol.* 43, 1-10.
- Wolfe N., Mingelgrin U., Miller G., 1990.** Abiotic transformations in water, sediments and soils. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Wu RSS., Siu WHL., Shin PKS., 2005.** Induction, adaptation and recovery of biological York. 426 p.
- Wyss E., Glasstetter M., 1992.** Tillage treatments and earthworm distribution in a Swiss experimental corn field. *Soil Biol. Biochem.* 24, 1635-1639.
- Xiao H., Zhou Q. X., Liang J. D., 2004.** Single and joint effects of acetochlor and urea on earthworm *Eisenia foetida* populations in phaeozem. *Environmental Geochemistry and Health.* 2004; 26:277-283.

## *Références bibliographiques*

**Xiao N., Bobin J., Feng G., Xianghui L., 2006.** Le devenir de l'herbicide acétochlore et sa toxicité pour *Eisenia fetida* dans des conditions de laboratoire.

**Yesguer S., 2015.** Evaluation de l'écotoxicité de certains pesticides sur les sols par l'utilisation d'un biotest : cas des lombricidés. Mémoire en Ecologie et Environnement, Université AMIRA-BEJAIA, Algérie, 88p.

**Yuguda AU., Abubaker ZA., Jibo AU., Abdulhameed A., Nayaya AJ., 2015.** Assesment of toxicity of some agricultural pesticides on earthworm ( *Lumbricus Terrestris*) Am Eurasian j sustain agric.9;49-59.

**Zeriri et al., 2013.** Contribution to the identification of Oligochaeta: Lumbricidae in the region of Annaba in eastern Algeria. Laboratory of Cellular Toxicology, Department of Biology, Faculty of Sciences, Badji Mokhtar Annaba University,

**Zhou Q X., Zhang Q R., Liang J D., 2006.** Toxic effects of acetochlor and methamidophos on earthworm *Eisenia fetida* in phaiozem, northeast China, Journal of Environmental Sciences, 18(4), 741–745.

### **Site:**

[www.ecobiosoil.univ-rennes1.fr](http://www.ecobiosoil.univ-rennes1.fr)

<https://aminoapps.com/>

[www.futura-sciences.com](http://www.futura-sciences.com)

## Résumé

L'utilisation croissante des pesticides a eu des impacts délétères sur la santé humaine et l'environnement. L'objectif principal de la thématique de ce mémoire est de faire une synthèse bibliographique de tous les travaux effectués sur l'impact des pesticides sur les lombricidés, les études basées sur des bio-essais de toxicité, des tests aigus et chroniques, ont montré que le degré de toxicité est classé selon les familles chimiques. Les organophosphorés, les carbamates et les néonicotinoïdes semblent être les familles les plus toxiques dont la plupart sont des insecticides qui ont un effet neurotoxique en inhibant l'acétylcholinestérase induit à la mort de l'animal, ils affectent aussi la reproduction, la croissance et le comportement du ver de terre. La recherche en littérature montre que les insecticides ont des effets négatifs plus marqués sur les espèces de vers de terre étudiées que les herbicides et les fongicides qui semblent moins toxiques.

**Mots clés :** vers de terre, pesticides, toxicité, biosurveillance

## ملخص

كان للاستخدام المتزايد لمبيدات الآفات آثار ضارة على صحة الإنسان والبيئة. الهدف الرئيسي من موضوع هذه الأطروحة هو تجميع ببليوغرافي لجميع الأعمال التي تم تنفيذها حول تأثير مبيدات الآفات على ديدان الأرض ، والدراسات القائمة على الاختبارات الحيوية للسمية والاختبارات الحادة والمزمنة ، أظهرت أن الدرجة من السمية مصنفة حسب العائلات الكيميائية. يبدو أن الفورات العضوية والكاربامات والنيونيكوتينويد هي أكثر العائلات سمية ، ومعظمها عبارة عن مبيدات حشرية لها تأثير سام على الأعصاب عن طريق تثبيط إنزيم أستيل كولينستراز عند موت الحيوان ، كما أنها تؤثر على التكاثر والنمو و سلوك دودة الأرض. تظهر الأبحاث الأدبية أن المبيدات الحشرية لها تأثيرات سلبية ملحوظة على أنواع ديدان الأرض التي تمت دراستها من مبيدات الأعشاب ومبيدات الفطريات التي تبدو أقل سمية.

**الكلمات المفتاحية:** ديدان الأرض، المبيدات الحشرية، السمية، الرصد الحيوي

## Abstract

The increasing use of pesticides has had deleterious impacts on human health and the environment. The main objective of the theme of this thesis is to make a bibliographical summary of all the work carried out on the impact of pesticides on earthworms, studies based on bioassays of toxicity, acute and chronic tests , showed that the degree of toxicity is classified according to chemical families. organophosphorates, carbamates and neonicotinoids seem to be the most toxic families, most of which are insecticides which have a neurotoxic effect by inhibiting the acetylcholinesterase induced at the death of the animal, they also affect reproduction, growth and behavior of the earthworm. literature research shows that insecticides have more marked negative effects on the earthworm species studied than herbicides and fungicides which appear to be less toxic.

**Key words:** earthworms, bioindicator, pesticides, toxicity, biomonitoring