



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Larbi Tébessi -Tébessa-

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des êtres vivants

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la nature et de la vie (SNV)

Filière : Sciences biologiques

Option : Ecophysiologie animale

Thème :

L'impact du glyphosate à l'égard du ver *Aporrectodea caliginosa*

Présenté par :

M^{elle} BEN AIDA Basma

M^{elle} MAKHLOUF Khaoula

Devant le jury :

Mme. BOUABIDA.H

MCA

Université de Tébessa

Présidente

Mr. BOUAZDIA.K

MCB

Université de Tébessa

Promoteur

Mme. ROUACHDIA. R

MAA

Université de Tébessa

Examinatrice

La date de soutenance : 23/06/2019

Note : /20

Année universitaire : 2018/ 2019

Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chères

A mon très cher père

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A ma plus chère du monde

A la femme que je suis fier d'être sa fille, parce qu'elle était mon école, mon enseignante, ma conseillère, mon soutien continué.

J'espère qu'un jour je pourrais leur rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que dieu leur prête bonheur et longue vie.

- ❖ *A mes très chers frères et ma belle sœur qui étaient toujours là pour moi.*
- ❖ *A mes oncles et tantes, à mes cousins et cousines pour leur soutien et les conseils que vous ne cessez de m'apporter.*
- ❖ *A ma chère binôme et tous mes amis de ma promotion.*
- ❖ *A tous ceux que j'aime et qui je respecte*

Basma

Dédicace

Ce mémoire est dédié à

- ❖ *Ma mère la plus belle créature que dieu a créé sur terre, à la source de tendresse, de patience et de générosité*
- ❖ *La mémoire de mon père disparu trop tôt. Puisse dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde*
- ❖ *Mes adorables frères **Takí, Tahar.***
- ❖ *Mes âmes sœurs **Síhem, Ahlem, Hanna, Wissal.***
- ❖ *Les fils de mes sœurs **Mouadh, Abdennour, Abdelmoumen, Islem.***
- ❖ *Toute ma famille, mes tantes et mes cousines.*
- ❖ *Ma binôme **Basma** et à tous mes amis sans exception.*

Zhaoula

Remerciement

*A l'issu de ce travail, nous remercions le **BON DIEU** tout puissant qui nous a donné tant de courage, de volonté, de patience et d'abnégation pour mener à terme ce mémoire.*

*Nous voudrions adresser nos plus chaleureux remerciements à notre encadreur **M. BOUAZDIA. K** pour son encadrement, ses conseils et de nous avoir guidé dans la réalisation de ce travail, qu'il trouve ici l'expression de la plus Profonde gratitude.*

*Nos vifs remerciements s'adressent également aux membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Nous voudrions remercier "**Mme BOUABIDA. H**" qui nous a honoré d'avoir accepté de présider le jury. Nous remercions également "**Mme ROUACHDIA. R**" qui a accepté d'examiner ce travail.*

Nos sincères remerciements vont également à tous nos enseignants pour l'accompagnement et le savoir transmis tout au long de notre parcours universitaire, ainsi qu'à tout le personnel de laboratoire de
Biologie

Nous tenons également à remercier tous ceux et celles qui nous ont aidé dans la réalisation de ce travail et qui nous ont soutenu dans les moments difficiles.

Merci à tous

Table des matières	
Dédicace	
Remerciement	
Table de matière	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste d'abréviations	
Introduction	1
Matériel et méthodes	
I. Généralités sur les lombriciens	4
I.1. Classification	4
I.2. Systématique	4
I.3. Critères morphologiques	5
I.3.1. Le péristomium	7
I.3.2. Le metastomium (soma)	7
I.3.3. Le pygidium	8
I.3.4. Les Soies	8
I.4. Critères anatomiques internes	9
I.4.1. Le tube digestif	9
I.4.2. Le système nerveux	9
I.4.3. Le système circulatoire	10
I.4.4. Le système excréteur	10
I.4.5. Le système reproducteur	10
I.4.6. Le système respiratoire	11
I.5. Classification écologique des vers de terre	11
I.6. Cycle de vie	12
II. Généralité sur les pesticides	14
II.1. Définition des pesticides	14
II.2. Classification des pesticides	14
II.3. Le glyphosate	14
II.3.1. Définition	14
II.3.2. Propriétés physicochimiques	16

II.3.3. Mode d'action	16
III. Dispositif expérimental	18
III.1. Présentation du site de collecte des vers de terre	18
III.2. Matériels utilisés	20
III.3. Travaux sur le terrain	20
III.4. Travaux au laboratoire	21
III.4.1. Rinçage et tri des vers de terre	21
III.4.2. Identification des vers de terre	21
III.5. Présentation du modèle biologique <i>Aporrectodea Caliginosa</i>	23
III.6. Test de comportement	24
III.7. Test de toxicité	25
III.7.1. Conditions Expérimentales	25
III.7.2. Préparation du sol artificiel	25
III.7.3. Traitement	26
Résultats	
I. Test d'évitement des vers de terre	29
II. Identification de la diversité de vers de terre	29
II.1. <i>Aporrectodea rosea</i>	31
II.2. <i>Octodrilus complanatus</i>	31
II.3. <i>Aporrectodea molleri</i>	32
II.4. <i>Aporrectodea caliginosa</i>	32
II.5. <i>Eisenia foetida</i>	33
III. Essais de toxicité des pesticides sur les lombriciens	33
IV. Inhibition de la croissance pondérale	34
Discussion	
I. Identification	37
II. Effet sur le comportement	38
III. Toxicité	39
IV. Effet sur la croissance pondérale	40
Conclusion et perspectives	43
Références bibliographiques	46
Résumé	

Abstract
المخلص

Liste des tableaux

Tableau N°	Titre	Page
01	Principales caractéristiques des trois catégories écologiques de vers de terre.	12
02	Caractéristiques physico-chimiques du glyphosate.	16
03	Comparaison entre les caractéristiques des différentes espèces de vers de terre collectées dans les sites d'étude.	30
04	Effet des concentrations croissantes de l'herbicide glyphon sur le taux de mortalité observé de <i>A. Caliginosa</i> à différents temps d'exposition.	33

Liste des figures

Figure N°	Titre	Page
01	Vue ventrale et dorsale d'un ver de terre.	6
02	Morphologie d'un ver de terre.	6
03	Le prostomium suivi par le péristomium.	7
04	Les segments d'un ver de terre.	8
05	Le pygidium de vers de terre.	8
06	Les soies d'un ver de terre.	9
07	Les zones où vivent les trois grands groupes des vers de terre.	11
08	Cycle de vie d' <i>A.caliginosa</i>	13
09	Structure chimique du glyphosate.	15
10	Le produit utilisé.	15
11	Mode d'action du glyphosate.	17
12	Situation géographique de sites de collecte dans la wilaya de Tébessa.	18
13	Site de collecte de Youkous-Hammamet.	19
14	Site de collecte de Cheria.	19
15	Le matériel utilisé sur le terrain.	20
16	Le matériel utilisé au laboratoire.	20
17	Tri des vers selon leur stade de maturité.	21
18	Identification et prise des critères liés aux vers de terre.	22
19	Schéma des caractères externes observables chez les vers de terre.	22
20	Conservation et étiquetage des vers de terre.	22
21	Le vers de terre <i>A. Caliginosa</i> .	23
22	Schéma du test d'évitement du vers de terre <i>A. Caliginosa</i> .	24
23	Les constituants du sol artificiel.	25
24	Méthodologie de Contamination des vers de terre.	27
25	Distribution des vers adultes d' <i>A. Caliginosa</i> entre le sol artificiel témoin et le sol contaminé par l'herbicide glyphon à différentes concentrations.	29
26	Morphologie d' <i>A. rosea</i> .	31

Liste des figures

27	Morphologie d' <i>O. Complanatus</i>	31
28	Morphologie d' <i>A. molleri</i> .	32
29	Morphologie d' <i>A. caliginosa</i> .	32
30	Morphologie d' <i>E. foetida</i> .	33
31	Effet de l'herbicide glyphon à différentes concentrations sur le taux de croissance pondérale des vers de terre <i>A. caliginosa</i> en fonction du temps.	35

Liste des abréviations

CaCO₃: Carbonate de Calcium.

CL₅₀: Concentration Létale 50.

Cl : chlore.

cm : centimètres.

DL₅₀ : Dose ou concentration létale pour 50% des organismes exposés, par rapport au témoin.

EPSPS : 5-énołpyruvylshikimate-3-phosphate synthétase.

g : gramme.

g/mol : gramme par mole.

g/ml : gramme par millilitre.

g/l : gramme par litre.

h: heure.

ISO: International Organization for Standardization.

Kg : kilogramme.

m : mètre.

mg/kg : milligramme par kilogramme.

mm : millimètre.

MNHN: Muséum National d'Histoire Naturelle.

OC : organochloré.

OCDE: Organisation de Coopération et de Développement Economiques.

OP : organophosphoré.

P : phosphore.

pH: Potentiel hydrogène.

RAD: Radiation Absorbed Dose.

SETAC: Society of Environmental Toxicologie and Chemistry.

UIPP: Union pour la protection des plantes.

μg/kg : microgramme par kilogramme.

μg : Micromètre.

% : pour cent.

Introduction

La population mondiale est passée de 3,7 milliards en 1970 (Domenach, 2007) à environ 7,2 milliards en 2013 (United Nation, 2013). Les conséquences de cette croissance démographique sont nombreuses : besoins alimentaires, eau potable, santé, espace vital, éducation... etc. Les besoins les plus cruciaux sont évidemment, les besoins alimentaires qui font appel à l'augmentation et à l'extension des superficies cultivables. Cette agriculture cesse d'être vivrière pour devenir intensive avec une modernisation qui passe par l'utilisation de pesticides, entre autres, pour augmenter les rendements agricoles (Yesguer, 2015).

Le marché mondial des pesticides représente actuellement 40,475 milliards de dollars. L'Europe est le plus gros consommateur (avec 31,7% du marché) devant l'Asie (23,1%), les Amériques (Sud : 20,8% ; Nord : 20,6%) et l'Afrique (3,8%). L'Algérie est classée parmi les pays qui utilisent de grandes quantités de pesticides, dont l'Association Algérienne pour la protection de l'environnement tire la sonnette d'alarme « L'Algérie est un grand consommateur de pesticides : 30000 tonnes sont épandues chaque année » (Chiali et al., 2013).

Au niveau des cibles des produits, ce sont les herbicides qui sont les plus utilisés mondialement (46,9%) devant les fongicides (25,9%), les insecticides (24,1%) et les divers (rodenticides, molluscicides...) (UIPP, 2009). Les herbicides, les plus utilisés des pesticides en tonnages et en surfaces traitées permettent d'éliminer les mauvaises herbes adventices des cultures (Zeriri, 2014).

On prend comme exemple des herbicides le glyphosate qui est un moyen efficace de lutte contre toutes les mauvaises herbes, même les plus vivaces. Sa consommation mondiale a atteint 825 804 tonnes en 2014. En raison de sa nature non sélective, son utilisation agricole a longtemps été circonscrite à certains moments de l'année afin d'éviter d'endommager les cultures (Benbrook, 2016). Depuis 2015, les débats autour du glyphosate illustrent la dépendance à ces produits, et soulignent les résistances à son interdiction dans le secteur agricole (Barili et al., 2017) suite à sa classification comme "cancérogène probable" par le centre international de recherche sur le cancer.

Le sol contient un des assemblages les plus complexes d'organismes vivants qui interagissent avec les composants organiques et inorganiques d'un sol. Parmi la composante biotique de ce système, les invertébrés terrestres sont des acteurs importants dans ces interactions du sol. De ce fait ils ont un impact majeur au niveau des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol, assurant le maintien de la capacité du sol à délivrer des services écosystémiques (Lavelle, 2002 ; Lavelle et al., 2006). Ces services

écosystémique concernant l'approvisionnement en eau, le cycle de nutriment, la formation du sol, la régulation du climat ou encore le contrôle de l'érosion.

Dans le cadre d'évaluation de la qualité des sols, les démarches physico-chimiques sont essentielles car elles informent sur la présence, la nature et la quantité des contaminants dans les sols. Toutefois, elles ne peuvent renseigner sur les effets de polluants sur les organismes vivants et les écosystèmes. C'est pourquoi et de manière complémentaire, l'utilisation d'indicateurs biologiques est indispensable à l'évaluation de la qualité des milieux (Gueddou et Nedjaa, 2017). Les vers de terre parmi les bioindicateurs les plus connus, qui présentent des avantages indéniables pour l'évaluation de la qualité des sols. Ce sont des organismes importants dans le développement et le maintien de la fertilité des sols, ils transforment les matériaux biodégradables et les déchets organiques en vermicompost riches en éléments nutritifs (Jansirani et al., 2012).

L'espèce modèle actuelle pour les tests standardisés est *Eisenia fetida* ou *Eisenia andrei*. Cependant, ces espèces sont absentes des sols agricoles et souvent moins sensibles aux pesticides que les autres vers de terre trouvés dans les sols minéraux. Pour progresser vers une meilleure évaluation des effets des pesticides sur les organismes non ciblés, il est nécessaire de réaliser des tests a posteriori sur des espèces pertinentes. L'espèce endogée *Aporrectodea Caliginosa* (Savigny, 1826) est représentative des champs cultivés dans les régions tempérées et est suggérée comme espèce test modèle pertinente (Pelosi et al., 2013 ; Bart et al., 2018). De même Van Capelle et al., (2016) ont proposé *A. Caliginosa* en tant qu'organisme du sol non ciblé pour l'évaluation des risques des plantes génétiquement modifiées pour l'environnement. D'autre part, la rare utilisation de l'espèce *A. Caliginosa* est probablement due aux difficultés techniques pour obtenir un nombre suffisant des individus pour l'expérience. En outre, il est reconnu que *A. Caliginosa* présente une grande variation morphologique car il s'agit d'un complexe d'espèces (Bart et al., 2018).

Dans ce contexte, ce travail s'intéresse à évaluer les réponses des populations lombriciennes chez l'espèce de vers de terre la plus répandue dans la région de Tébessa *A. Caliginosa* choisie comme modèle d'étude en raison de leur bénéfique rôle dans le sol à l'impact de glyphosate, l'herbicide fréquemment utilisé par les agriculteurs. Les paramètres étudiés sont la mortalité, la croissance et le comportement d'évitement des vers de terre vis à vis de ce polluant.

Matériels

Et

méthodes

I. Généralités sur les lombriciens

1. Classification

Les vers de terre appartiennent à l'embranchement des Annélides ; autrement dit des « vers segmentés » dont la principale caractéristique évolutive est un corps constitué d'une succession de segments ou d'anneaux, à la sous classe des Oligochètes (porteurs de soies moins abondantes), 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). Les vers de terre représentent jusqu'à 70 % de la biomasse de sol (Zirbes et *al.*, 2011), cinq mille espèces ont déjà été décrites à travers le monde, mais de nombreuses restent à découvrir principalement dans les zones tropicales (Brown et *al.*, 2013).

2. Systématique

La classification des Annélides Oligochètes, la plus récente, est publiée dans la base de données de la faune d'Europe (Jong et *al.*, 2014) :

Règne	Animalia
Sous-règne	Eumetazoa
Phylum	Annelida
Classe	Oligochaeta
Sous-classe	Diplostesticulata
Super-ordre	Megadrili
Ordre	Opisthopora
Sous-ordre	Lumbricina
Super-famille	Criodriloidea
Famille	Criodrilidae
Super-famille	Eudriloidea
Famille	Eudrilidae
Super-famille	Lumbricoidea
Famille	Ailoscolecidae
Famille	Glossoscolecidae
Famille	Hormogastridae
Sous-famille	Hormogastrinae
Sous-famille	Vignysinae

Sous-famille	Xaninae
Famille	Lumbricidae
Sous-famille	Diporodrilinae
Sous-famille	Lumbricinae
Sous-famille	Spermophorodrilinae
Super-famille	Megascolecoidea
Famille	Acanthodrilidae
Famille	Megascolecidae
Famille	Ocnerodrilidae
Famille	Octochaetidae
Super-famille	Sparganophiloidea
Famille	Sparganophilidae
Sous-classe	Tubificata
Ordre	Tubificida
Sous-ordre	Enchytraeina
Super-famille	Enchytraeidea
Famille	Enchytraeidae
Famille	Propappidae

3. Critères morphologiques

D'après Lavelle et Spain (2001), les vers de terre sont des animaux qui appartiennent au macrofaune du sol. Ils se distinguent par une anatomie allongée et circulaire. Leurs corps sont constitués par une série de nombreux anneaux successifs appelés « métamères » (de 60 à 200), lesquels ont tous une anatomie à peu près semblable et se répétant régulièrement. Chez les Lombricidés et quelques familles, chaque segment du tronc est caractérisé par la présence de quatre paires de soies de positions variables. Il porte également deux pores néphrétiques. Le tout donne un aspect bien caractéristique, vermiforme, ce qui favorise leur pénétration dans le sol.

Les Annélides sont connus pour leur structure métamérique, mais tout ce qui ressemble à un segment n'en est pas toujours réellement un. Ce qui ressemble au premier segment du corps, n'est pas un véritable segment. C'est le prostomium, situé sur la face ventrale de péristomium. L'extrémité postérieure de l'animal est plus renflée et légèrement aplatie porte l'anus qui est entouré du pygidium (Houseman, 2000).

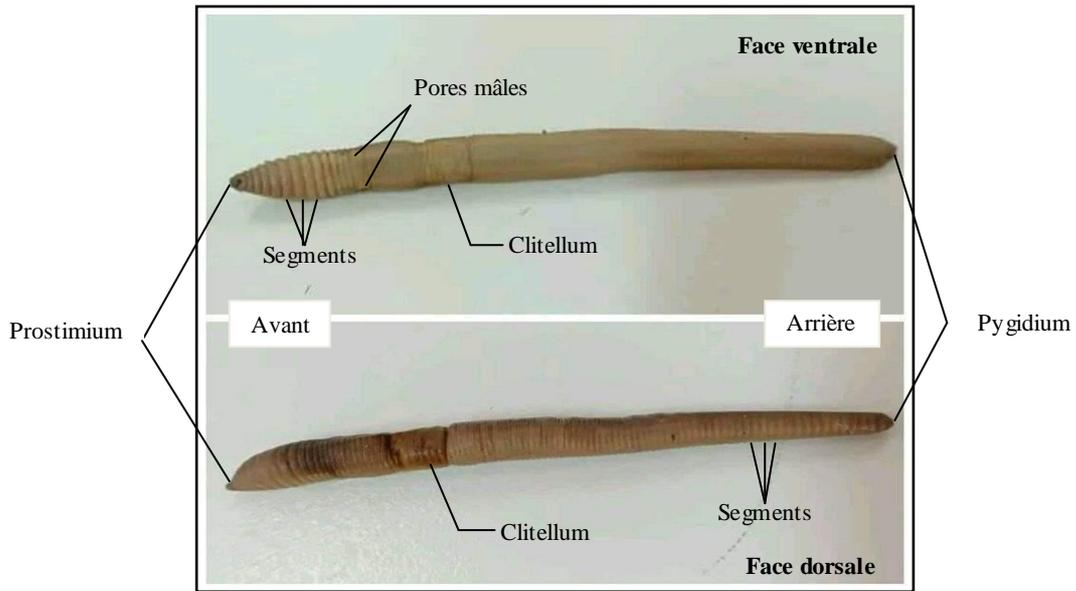


Figure 01 : Vue ventrale et dorsale d'un ver de terre (photo personnelle 03.03.2019).

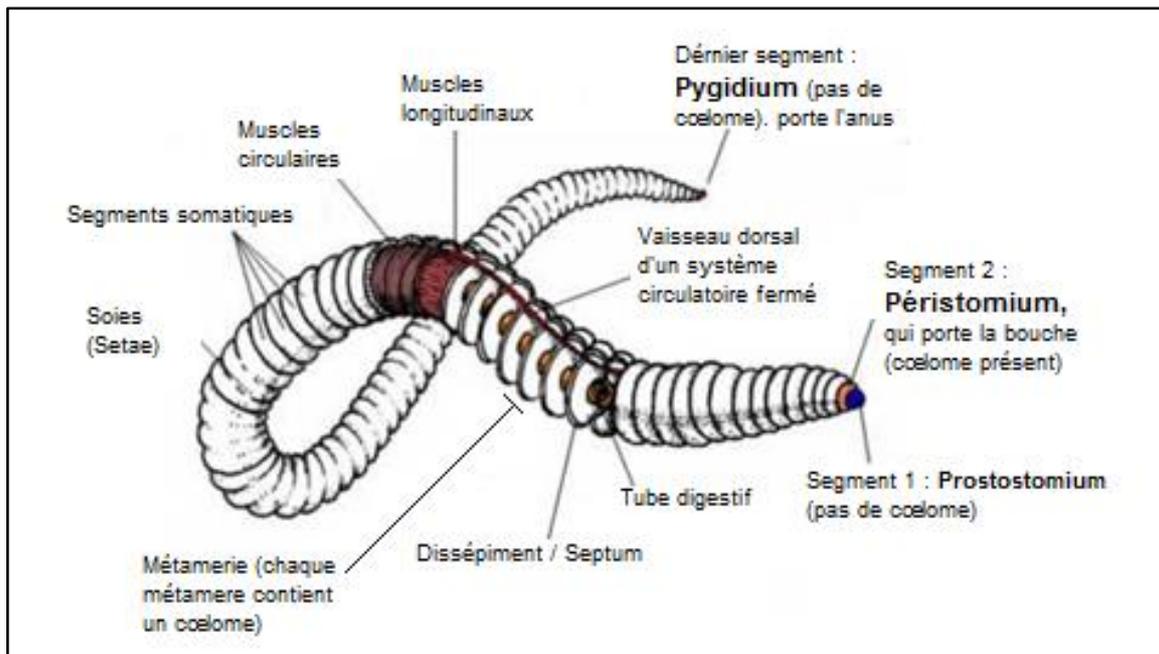


Figure 02 : Morphologie d'un ver de terre (d'après Sims et Gerard, 1999).

3.1. Le Péristomium : est le premier segment qui entoure la cavité buccale ; sur celui-ci se trouve une bosse ou un lobe appelé prostomium dont la forme est un des éléments qui permettent de déterminer l'espèce de ver de terre (Crow, 2012).

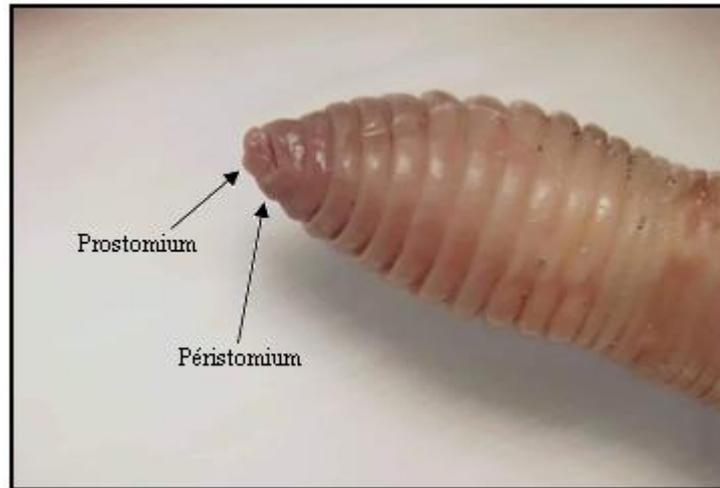


Figure 03 : Le prostomium suivi par le péristomium (photo personnelle 03.03.2019).

3.2. Le metastomium (soma) : Il constitue l'essentiel du corps du ver de terre. La première partie qui délimite l'orifice buccal se nomme « péristomium ». Chez l'adulte le soma peut être divisé par rapport au Clitellum en trois zones (Sims et Gerard, 1999) :

- **La zone antérieure (anté-clitélienne)** : Elle possède une forte densité de cellules sensorielles et contient le cerveau. Sa morphologie est modifiée par le développement musculaire qui a un rôle mécanique important pour la pénétration des vers de terre dans le sol (Sims et Gerard, 1999).
- **Le clitellum** : qui joue deux rôles importants dans la reproduction : il forme la gaine muqueuse qui favorise l'accouplement et il produit le cocon qui protège les œufs fécondés une fois qu'ils sont pondus (Houseman, 2000).
- **La zone post-clitélienne** : Elle se présente comme une succession de segments similaires. Sa fonction est essentiellement mécanique et digestive, elle permet aux vers de terre de s'accrocher à l'orifice du terrier lorsqu'ils explorent la surface du sol (Sims et Gerard, 1999).

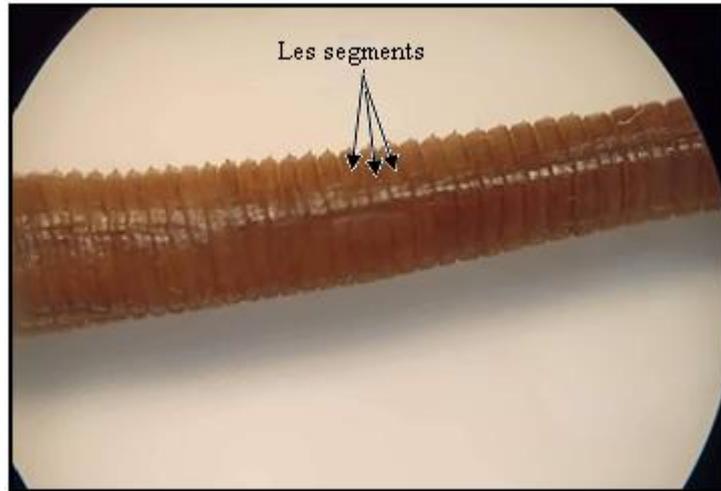


Figure 04 : Les segments d'un ver de terre (photo personnelle 03.03.2019).

3.3. Le pygidium : est le dernier segment du corps ne possède pas ni de soies ni de cavité cœlomique (Sivasankari et *al.*, 2013).



Figure 05 : Le pygidium d'un ver de terre (photo personnelle 03.03.2019).

3.4. Les Soies : sont des poils très fins dont le nombre sur les segments varie selon le segment du corps, les deux premiers segments ne possèdent pas de soies. Ces derniers interviennent dans la locomotion et la copulation (Crow, 2012).

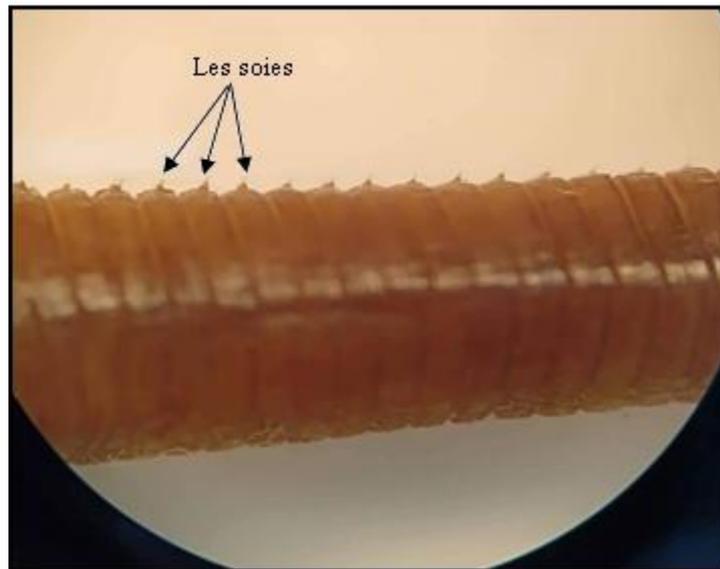


Figure 06 : Les soies d'un ver de terre (photo personnelle 03.03.2019).

4. Critères anatomiques internes

La disposition des organes internes du ver de terre révèle que la quasi-totalité des organes vitaux sont regroupés dans la partie antérieure de l'organisme, qui part de la tête au dernier segment du clitellum (Yesudhason et *al.*, 2013).

L'épiderme externe représente un réseau de muscles circulaires et de muscles longitudinaux, séparés par un fin réseau de tissus nerveux ; une membrane péritoine qui permet de délimiter la cavité coelomique. Il est couvert d'une cuticule non cellulaire, fine et transparente qui couvre l'ensemble du corps. La cuticule réfléchit la lumière, mais elle permet aussi de faire ressortir les couleurs des couches sous cutanées, en laissant traverser la lumière (Siegrist, 2011).

4.1. Le tube digestif

Est constitué d'un tube interne qui parcourt toute la longueur de ver, Le tractus digestif commence par la cavité buccale, qui absorbe les aliments par succion. Il comprend successivement le pharynx, l'œsophage, le jabot, le gésier, puis l'intestin qui se termine au pygidium. Plusieurs pseudo-cœurs entourent la zone de l'œsophage (Crow, 2012).

4.2. Le système nerveux

Le ganglion cérébral (cerveau, ganglion sous-pharyngien) est situé devant le pharynx, mais il peut être partiellement enfoui dans les muscles qui relient le pharynx à la paroi du corps. Des connectifs s'étendent vers l'avant à partir du cerveau et d'autres se dirigent vers le bas et autour du pharynx pour rejoindre le ganglion sous pharyngien, dans la région située

derrière les organes reproducteurs et près du clitellum. Une paire de cordons nerveux ventraux relie les ganglions de chaque segment. À l'intérieur d'un segment, des nerfs issus de chaque ganglion innervent les septums et la paroi du corps. Trois grandes régions claires du côté dorsal de ce cordon sont les axones géants qui courent le long du cordon nerveux. Ils jouent un rôle important dans la réaction de fuite ; lorsque les axones géants se déchargent, tous les muscles longitudinaux de la paroi du corps se contractent, et le ver rentre rapidement dans son terrier pour échapper au danger (Houseman, 2000).

4.3. Le système circulatoire

Le système circulatoire fermé est bien développé et comprend des vaisseaux contractiles et des réseaux de capillaires. Une partie du système circulatoire est imbriquée dans un tissu chlorogène jaunâtre qui intervient dans le métabolisme intermédiaire et la désamination des acides aminés. Le gros vaisseau sanguin rouge sur la surface supérieure du tube digestif est le vaisseau dorsal. Cinq paires de crosses aortiques, aussi appelés cœurs mais qui sont en réalité des vaisseaux latéraux (transversaux) relient le vaisseau dorsal au vaisseau ventral (Houseman, 2000).

4.4. Le système excréteur

Chaque segment sauf les trois premiers possède une paire de tubes sinueux, les tubes urinaires, s'ouvrant chacun à l'extérieur par un orifice excréteur. Cet organe urinaire porte le nom de néphridie sur le dernier segment, le pygidium, s'ouvre un orifice, l'anus. (Yesguer, 2015).

4.5. Le système reproducteur

Le ver de terre est un organisme hermaphrodite qui a besoin d'un partenaire pour se reproduire. Ils juxtaposent leurs organes de reproduction en se positionnant tête-bêche (Morin, 2004). Le ver de terre peut aussi s'auto-coupler lorsqu'il est isolé ou pratiquer la parthénogénèse (Fernandez et *al.*, 2011). Le clitellum permet aux partenaires de rester collés l'un à l'autre. Ils échangent leurs semences males et sécrètent de petits cocons via le clitellum (Morin, 2004).

4.6. 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, ainsi que des (cœurs) latéraux jouant le rôle de pompes (Bouché, 1972).

5. Classification écologique des vers de terre

Plusieurs études ont classé les vers de terre en trois catégories et en cinq familles à travers le monde (Byambas et *al.*, 2017). Les trois groupes écologiques qui regroupent les vers de terre sont :

- les vers épigés qui vivent en surface dans les amas de matières organiques et creusent peu ou pas de galeries dans le sol (Pérès et *al.*, 2011).
- les vers anéciques occupent la couche supérieure du sol autour de 25 cm, ils creusent des galeries verticales dont la longueur peut atteindre plusieurs mètres (Morin, 1999).
- les vers endogés vivent dans les couches plus profondes et creusent des galeries horizontales (Pérès et *al.*, 2011).

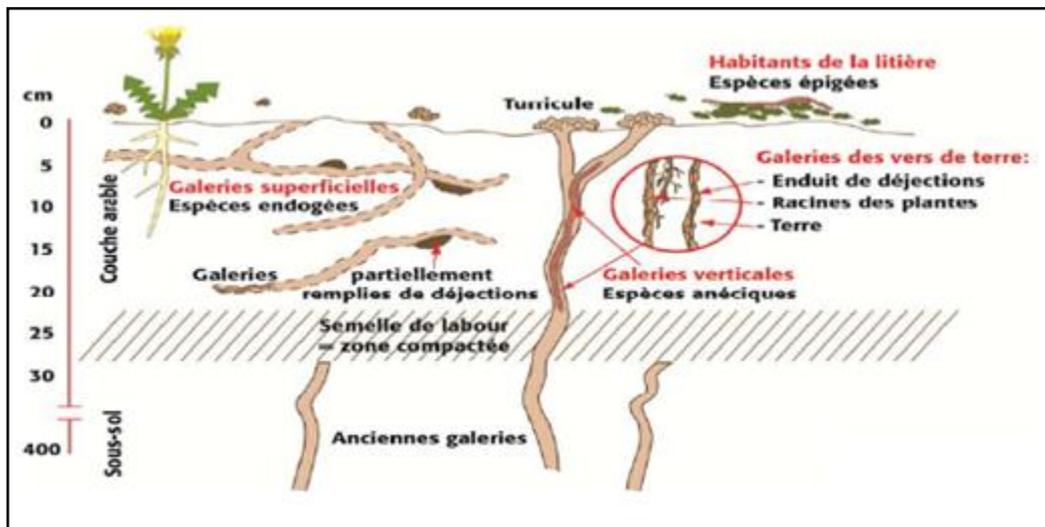


Figure 07 : Les zones où vivent les trois grands groupes des vers de terre (Pffifner, 2013).

Tableau 01 : Principales caractéristiques des trois catégories écologiques de vers de terre (Piffner, 2013).

Groupes	Epigés	Endogés	Anéciques
Description	Espèces qui habitent dans la litière de surface	Espèces qui creusent des galeries horizontales et superficielles	Espèces qui creusent des galeries verticales et profondes
Habitat	Dans la litière de surface, surtout dans les prairies, la forêt et le compost. Se trouvent rarement dans les sols labourés puisqu'il ne peut pas s'y former de couche de litière durable	Couche arable (5-40 cm), sols minéraux humiques. Surtout galeries horizontales et instables, les jeunes vers se trouvent généralement assez haut dans la zone des racines des plantes	Toutes les couches du sol jusqu'à 3-4 m de profondeur, creusent des galeries verticales et stables (8-11 mm) de diamètre où ils séjournent normalement pendant toute leur vie. Importants dans les sols agricoles
Grandeur	Petits, le plus souvent 2-6 cm de longueur	Petits ou jusqu'à 18 cm de longueur	Le plus souvent grands, 15-45 cm de longueur
Alimentation	Petits morceaux de plantes restés à la surface du sol	Débris de plantes mélangés à la terre de la couche arable	Tirent de grands débris de plantes dans leurs galeries d'habitation
Multiplication	Forte	Limitée	Limitée
Durée de vie	Courte : 1-2 ans	Moyenne : 3-5 ans	Longue : 4-8 ans
Sensibilité à la lumière	Faible	Forte	Modérée
Couleur	Globalement rouge-brunâtre	Pâle	Rouge-brun, tête plus foncée
Exemples	Ver de compost, ver rouge du marécage	<i>Octolasion lacteum</i> , <i>Allolobophora caliginosa</i>	Lombric, ver à tête noire

6. Cycle de vie

Les vers de terre sont des hermaphrodites, ils se développent lentement sauf les épigés, ils ne produisent en effet qu'une seule génération par année qui produit au maximum huit cocons (œufs), leur durée de vie atteint entre deux et huit ans selon l'espèce. Les vers de terre qui ont atteint leur maturité sexuelle se reconnaissent à un bourrelet ; un épaissement situé

au tiers antérieur du corps appelé clitellum (Pfiffner, 2013). Le temps de maturation varie beaucoup entre les espèces et dépend des conditions du milieu (température, humidité, nourriture) (Razafindrakoto, 2013). Le clitellum produit le cocon qui glisse le long de la partie antérieure du vers de terre et émis dans le sol sous forme d'une capsule fermée à deux extrémités (Bazri, 2015). Les vers juvéniles vont progressivement acquérir des caractères sexuels secondaires externes liés à l'accouplement comme le puberculum tuberculeux ou les pores sexuels ; ils seront alors au stade sub-adulte (Razafindrakoto, 2013).

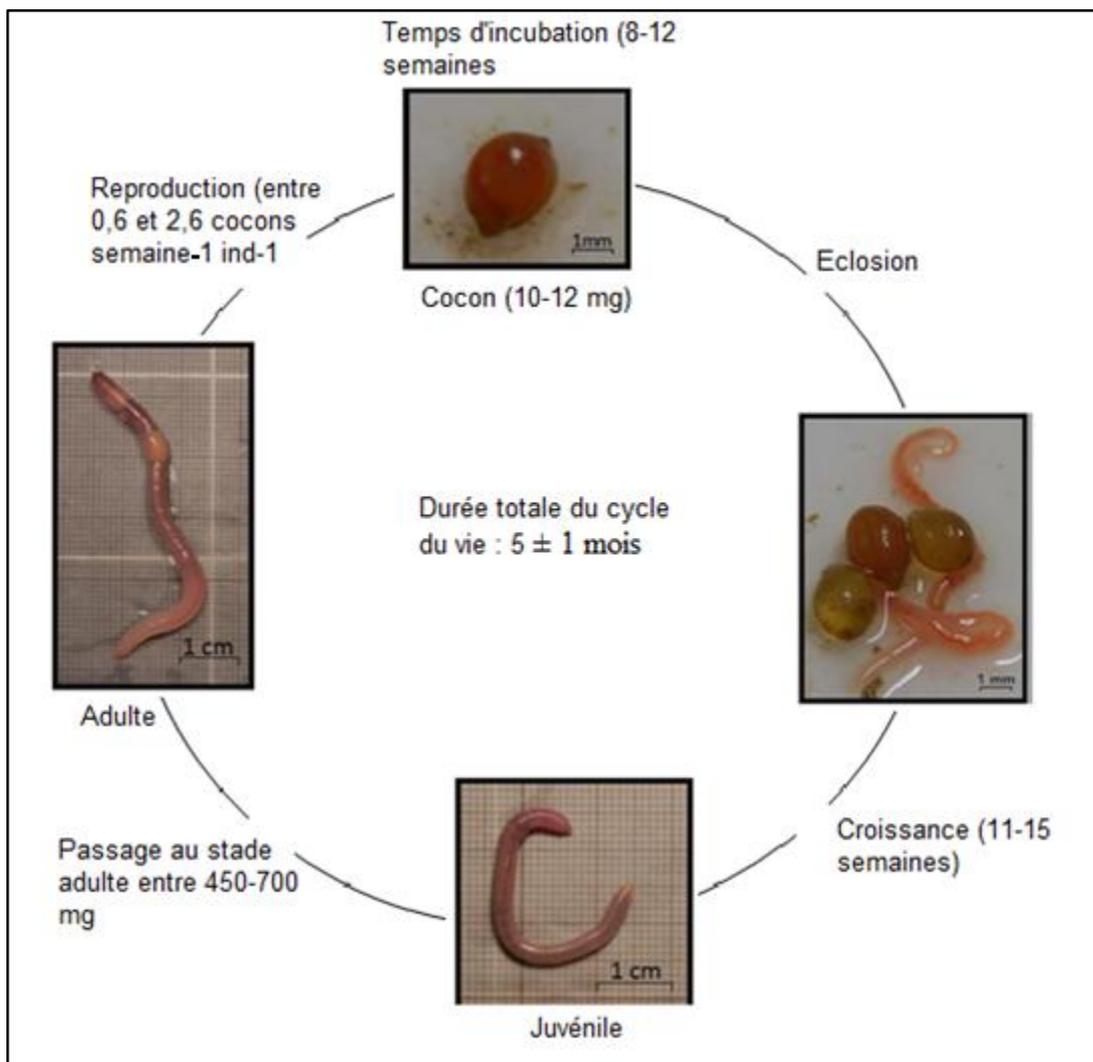


Figure 08 : Cycle de vie d'*A. caliginosa* en laboratoire dans un sol limoneux complété par la bouse de cheval broyée à 1 mm de la nourriture à 15 C°, entre 60 et 70 de la capacité de rétention en eau du sol (Bart et al., 2018).

II. Généralités sur les pesticides

1. Définition des pesticides

Les pesticides sont des produits chimiques utilisés pour détruire, atténuer, prévenir ou repousser les organismes nuisibles tels que les insectes, les souris, les mauvaises herbes, les champignons et les micro-organismes. En raison de leurs propriétés, les pesticides servent à beaucoup d'objectifs utiles et sont couramment employés dans l'agriculture, d'autres usages professionnels ou domestiques. Néanmoins, du moment que ces agents sont biologiquement actifs, de ce fait ils peuvent potentiellement causer des effets néfastes aux humains, à la faune et à la flore (Vopham et *al.*, 2017).

2. Classification des pesticides

Les pesticides sont généralement classés selon :

- La nature des cibles visées ; il existe principalement trois grandes familles : Les *herbicides* : contre les mauvaises herbes (glyphosate). Les *fongicides* : contre les champignons et les moisissures. Les *insecticides* : contre les insectes nuisibles.
- La nature chimique de la substance active qui compose les produits phytosanitaires. On distingue : les *organochlorés (OC)* sont des composés organiques qui possèdent tous en commun un ou plusieurs atomes de chlore (Cl). Les *carbamates* : Les pesticides de cette famille sont des esters dérivés de l'acide carbamique. Les *organophosphorés (OP)* sont des composés possédant au moins un atome de phosphore (P) ils constituent le plus grand groupe d'insecticides vendus dans le monde (Hatcher et *al.*, 2017).

3. Le glyphosate

3.1. Définition

Chimiquement, la substance active glyphosate (N-phosphonométhyl-glycine) est un dérivé de la glycine, un acide aminé naturel sur lequel on a substitué un atome d'hydrogène par un groupement phosphonométhyle au niveau de la fonction amine primaire (R-NH₂) (Fig.09). Il a été commercialisé pour la première fois en 1974 sous le nom de Roundup (Cattani et *al.*, 2014).

3.2. Propriétés physicochimiques

Tableau 02 : Caractéristiques physico-chimiques du glyphosate (Picque, 2016).

Caractéristiques	Valeurs
Nom chimique	N-(phosphonométhyl) glycine
Formule chimique	C ₃ H ₈ NO ₅ P
Aspect physique	cristaux solides blancs inodores
Masse molaire	169,1 g/mol
Densité	1,74 g/ml
Point de fusion	189,5 °C
Solubilité dans l'eau	à 25°C 12 g/L
Solubilité dans les solvants Organiques	Insoluble dans les pluparts des solvants organiques

3.3. Mode d'action

C'est en 1980 que la cible du glyphosate fut identifiée ; il s'agit de la 5-énolpyruvylshikimate-3-phosphate synthétase (EPSPS), une enzyme située majoritairement dans les chloroplastes est essentielle à la synthèse des acides aminés aromatiques (phénylalanine, tyrosine, tryptophane) important pour la synthèse de protéines nécessaires à la croissance de la plante. Puisque cette enzyme n'est pas présente chez les vertébrés, on a longtemps cru que le glyphosate n'affecterait pas les espèces non ciblées dont les mammifères et les humains (Martinez et *al.*, 2018).

Une fois sa cible atteinte, l'herbicide induit une accumulation d'acide shikimique. Il en résulte, une diminution du taux de synthèse protéique et de la formation de certains composés phénoliques. La cessation de la croissance qui en découle est alors suivie de la nécrose des tissus qui aboutit à la mort de la plante (Kouassi Brou et *al.*, 2012 ; Pierre-Louis, 2013).

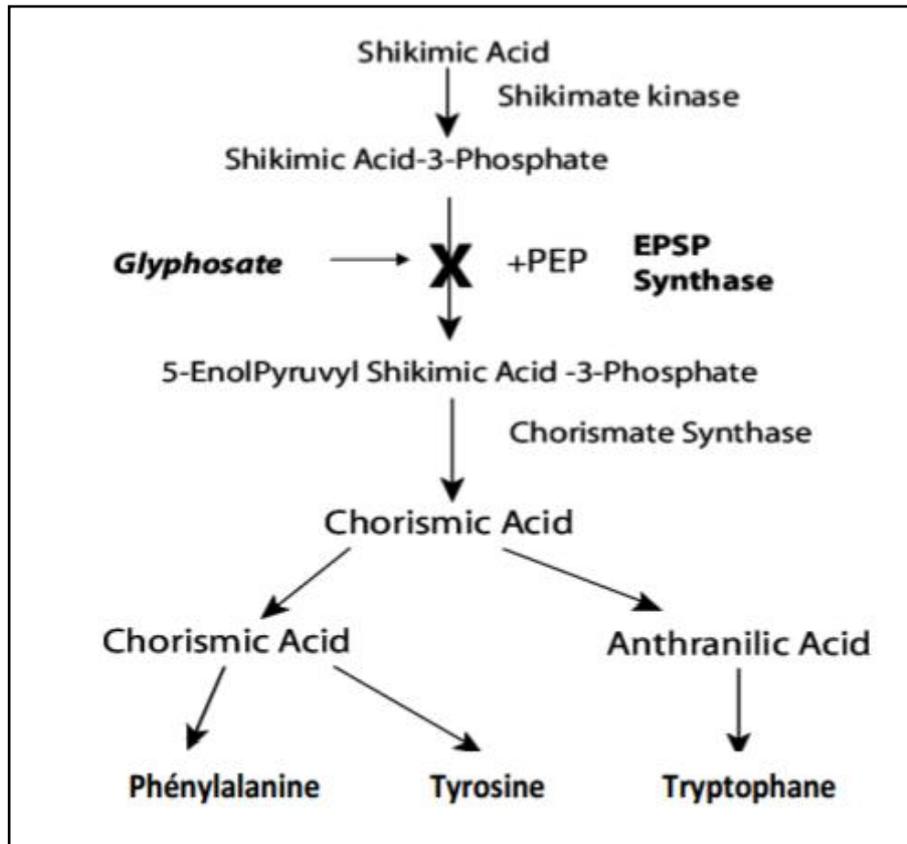


Figure 11 : Mode d'action du glyphosate (Dill, 2015).

III. Dispositif expérimental

1. Présentation du site de collecte des vers de terre

Le travail est réalisé dans la région de Tébessa (Fig.12), dans laquelle nous avons choisi deux sites de collecte Youkous et Cheria ; le choix est soutenu par l'idée que le milieu n'est pas au préalable traité par les pesticides.

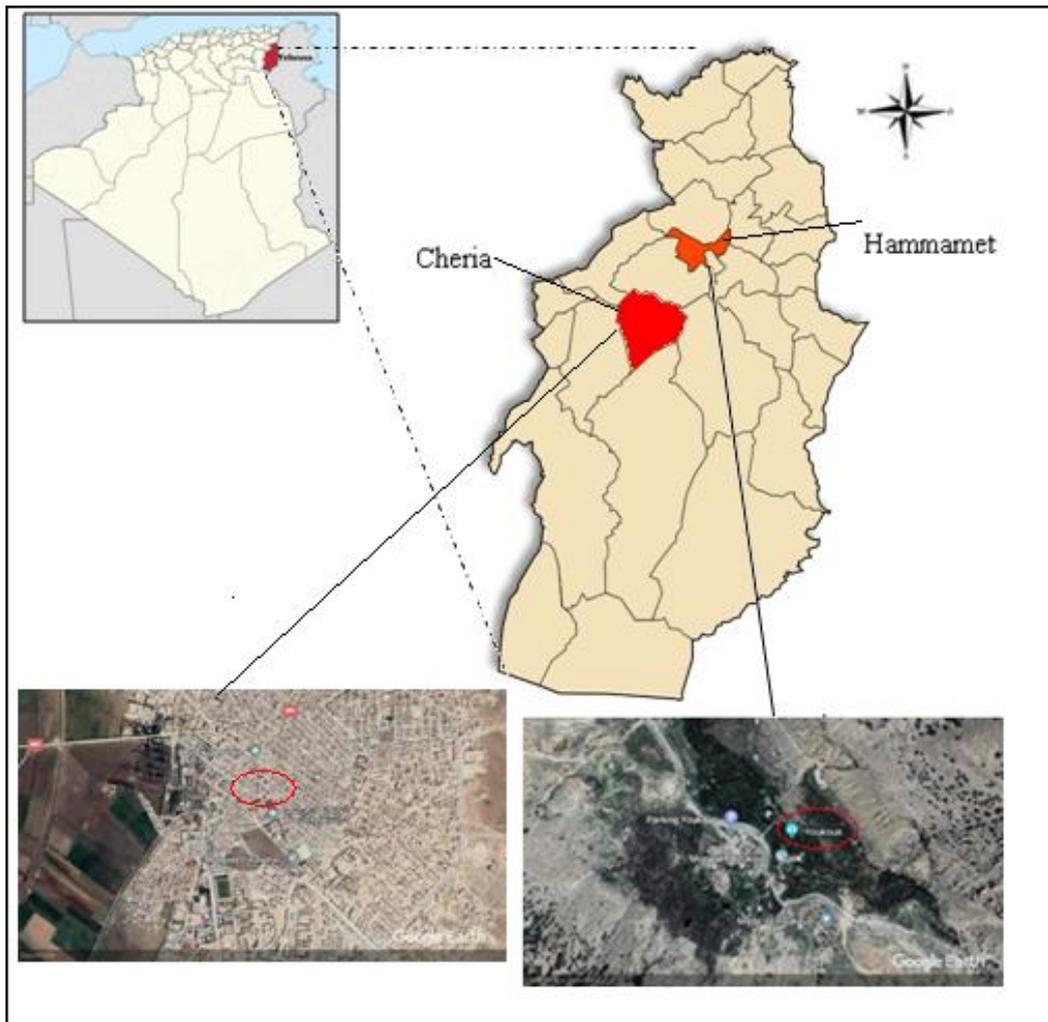


Figure 12 : Situation géographique de sites de collecte dans la wilaya de Tébessa (Google Earth).

➤ Site de Youkous les Bains

Est une source d'eau (Fig.13) située à quatre Kilomètres du chef-lieu de la commune d'El Hammamet près de Tébessa en Algérie. Elle est aussi appelée source de Bouakouz.



Figure 13 : Site de collecte de Youkous-Hammamet (photo personnelle 01.03.2019).

➤ Site de Cheria

Au sein de ce site, le point de collecte s'agit d'un jardin particulier non traité par les pesticides (Fig.14).



Figure 14 : Site de collecte de Cheria (photo personnelle 01.03.2019).

2. Matériels utilisés

Nous avons utilisé dans le cadre de cette étude (qui a été réalisée sur le terrain et au Laboratoire) l'équipement suivant :

➤ Sur le terrain



Figure 15 : Le matériel utilisé sur le terrain : (a) Pelle. (b) Hache. (c) Récipient avec couvercle. (d) Bâche. (photo personnelle 01.03.2019).

➤ Au laboratoire

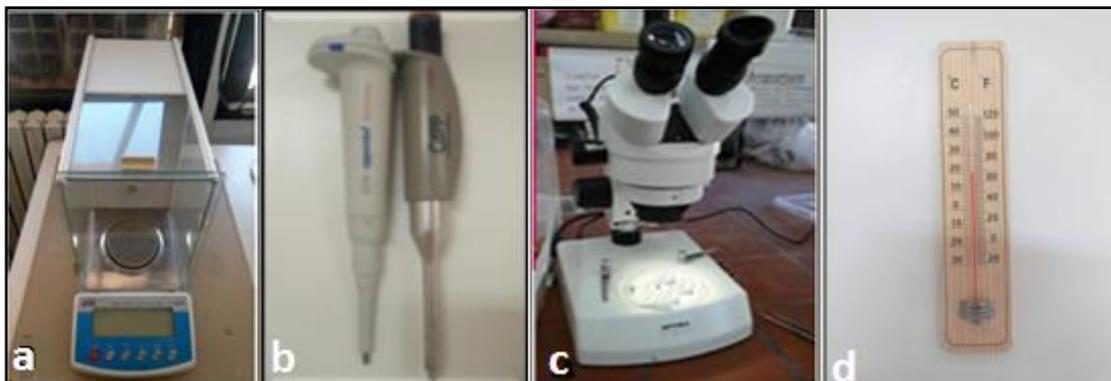


Figure 16 : Le matériel utilisé au laboratoire : (a) Balance de précision. (b) Micro Pipettes. (c) Loupe binoculaire (OPTIKA). (d) Thermomètre. (photo personnelle 01.03.2019).

3. Travaux sur le terrain

❖ Echantillonnage des vers de terre

L'échantillonnage des vers de terre est effectué dans le site cité pendant la durée entre Janvier et Février 2019 où les conditions sont favorables (humidité et la température) pour l'activité des vers de terre. Nous avons utilisé une méthode physique pour extraire les vers de terre du sol (Bouché, 1972) à l'aide d'une pioche, la méthode consiste à creuser le sol jusqu'à une profondeur d'environ 30 cm. Ensuite, nous procédons à la recherche des vers de terre qui

se fait par un tri manuel ; ne pas tirer sur les vers de terre pour ne pas les couper, mais toujours dégager le sol autour de leurs corps.

Les vers de terre collectés sur le terrain sont mis dans des boîtes contenant du sol et des résidus végétaux et transportés au laboratoire, où nous effectuons un tri et une identification

4. Travaux au laboratoire

4.1. Rinçage et tri des vers de terre

Décharger les échantillons sur un bâche, et à l'aide d'une pince on met tous les vers de terre dans un récipient pour les rincer. Puis déplacer les vers sur papier absorbant pour desséchés, les vers collectés sont triés et comptés selon leur stade de maturité

- **Juvéniles** : Sans clitellum ni tubercules pubères.
- **Sub-adultes** : Avec seulement les tubercules pubères.
- **Adultes** : Ayant un clitellum ainsi que des tubercules pubères.

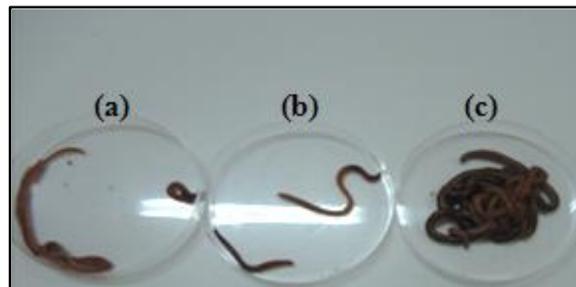


Figure 17 : Tri des vers selon leur stade de maturité : (a) Juvéniles. (b) Sub-adultes. (c) Adultes (Bouazdia, 2019).

4.2. Identification des vers de terre

L'identification des Lombrics est basée sur des critères morphologiques selon les clés de Bouché (1972), Sim et Gerard (1985) et Reynolds (2018). L'identification des espèces est réalisée au laboratoire (Fig. 18), en prenant en compte plusieurs caractères morphologiques externes (Bouché, 1972) : la taille, la couleur, la forme de première segment (prostomium), la répartition des soies et le positionnement et la forme des caractères sexuels (clitellum, puberculum, pores males) (Fig. 19).

Chaque ver de terre a été préalablement individualisé, numéroté, pesé et photographié. La conservation des individus a été faite dans l'alcool absolu (Fig. 20). Par contre, le reste est remis dans le milieu naturel afin qu'ils puissent exercer leurs bienfaits au sol.



Figure 18 : Identification et prise des critères liés aux vers de terre : (a) Prise de paramètres d'identification des vers de terre. (b) Détermination de poids. (c) Détermination de taille. (photo personnelle 03.03.2019).

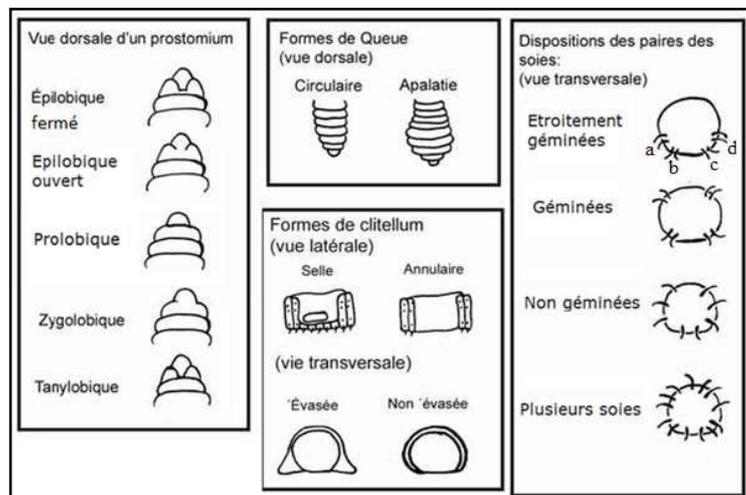


Figure 19 : Schéma des caractères externes observables chez les vers de terre (Bouché, 1972 ; Gates, 1972 ; Baker et Barrett, 1994 ; Sims et Gerard, 1999).



Figure 20 : Conservation et étiquetage des vers de terre (photo personnelle 03.03.2019).

5. Présentation du modèle biologique *Aporrectodea caliginosa*

Cette espèce est synonyme de *Nicodrilus caliginosus* (Savigny, 1826) elle est caractérisée par des individus de taille petite à moyenne (110 à 120 mm de longueur et 3 mm de diamètre), avec une morphologie cylindrique et peu pigmentés (Sims et Gerard, 1999). Appartenant à la catégorie des endogées, ils sont géophages, vivent constamment enfouis dans le substrat et se nourrissent de matières organiques plus ou moins liée à la fraction minérale du sol. Ils construisent des galeries principalement horizontales (Sims et Gerard, 1999). La position systématique d'*A. Caliginosa* selon la dernière classification d'après la source d'inventaire national du patrimoine de France (MNHN, 2006) est la suivante :

- ✚ Règne : Animalia
- ✚ Phylum : Annelida
- ✚ Classe : Clitellata
- ✚ Sous-classe : Oligochaeta
- ✚ Superordre : Megadrili
- ✚ Ordre : Opisthopora
- ✚ Sous-ordre : Lumbricina
- ✚ Superfamille : Lumbricoidea
- ✚ Famille : Lumbricidae Claus, 1876
- ✚ Genre : *Aporrectodea* Örley, 1885
- ✚ Espèce *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826)



Figure 21 : Le vers de terre *A. Caliginosa* (photo personnelle 03.03.2019).

6. Test de comportement

L'essai d'évitement (fig.22) a été établi dans des terrariums. Chaque terrarium a été divisé en deux sections égales à l'aide d'un séparateur vertical en plastique. Au total, chaque boîte reçoit 1 kg de sol d'essai. La moitié de la boîte reçoit 500 g de sol témoin (section B1) et l'autre moitié 500 g de sol contaminé (section B2). Le sol de la section B est préparé selon la concentration choisie (Loureiro et *al.*, 2005). Après avoir enlevé le séparateur, 7 vers de terre *A. caliginosa* ont été placés dans la fente de séparation entre les deux sections. Ensuite, la fente a été fermée en appuyant doucement sur le sol des deux bords de la fente. Pour empêcher les vers de s'échapper des terrariums, chaque boîte a été solidement fermée par un couvercle perforé pour assurer l'échange d'air. Les boîtes ont été conservées à une photopériode 12/12. Enfin d'essai, le séparateur a été remis dans la fente entre les deux sections, et le nombre de vers dans chaque section est compté. Les vers de terre qui ont été coupés en deux parties par la réinsertion du séparateur ont été comptés dans la section où leurs têtes sont dirigées (Loureiro et *al.*, 2005). Parmi les critères de validation de ce test figure la non mortalité des vers (Hund-Rinke & Wiechering, 2001).

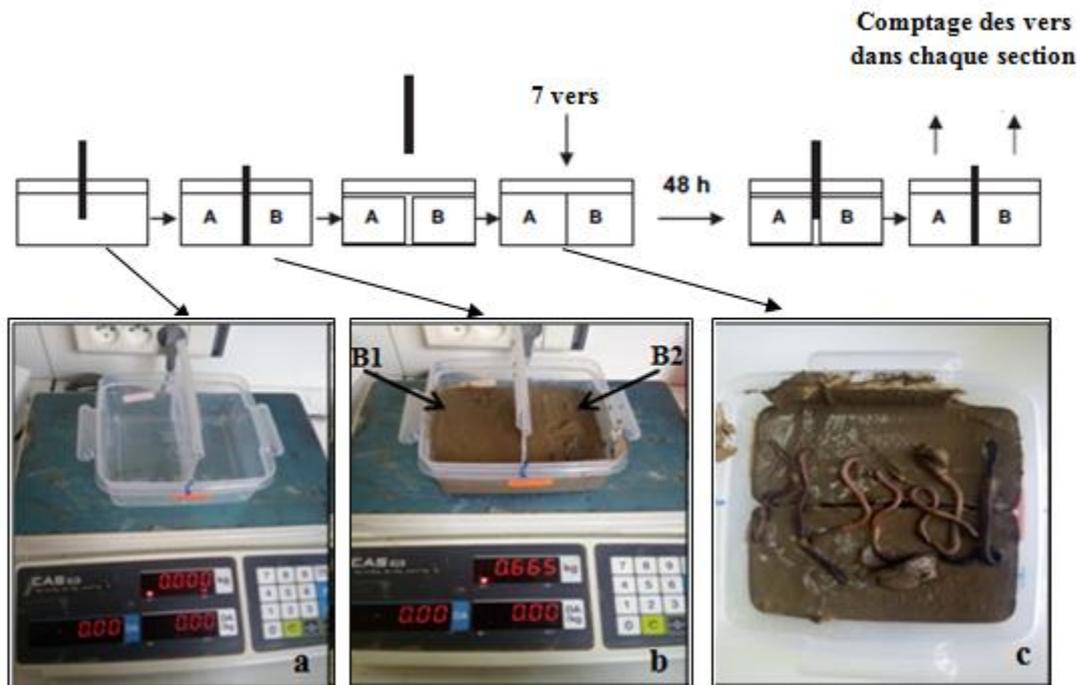


Figure 22 : Schéma du test d'évitement du vers de terre *A. Caliginosa* : (a) Division de boîte en deux sections. (b) La boîte contenant le sol dans les deux sections. (c) Dépôt des sept vers dans la boîte. (photo personnelle le 24.04.2019).

7. Test de toxicité

7.1. Conditions expérimentales

Tous les essais ont été effectués sur des vers de terre appartenant à l'espèce *A. Caliginosa*, adultes avec un clitellum bien développé, dans les conditions suivantes :

- ✓ Photopériode : 12h de lumière/ 12h d'obscurité.
- ✓ Température : $20,29 \pm 2,28^\circ\text{C}$.
- ✓ PH : ajusté à 6
- ✓ Humidité : 35%
- ✓ Boîtes en plastique : de dimensions (26 x 16,5 x 12 cm).

7.2. Préparation du sol artificiel

Dans cet essai, on utilise un sol artificiel (OCDE., 1984 ; ISO., 1996) composé comme suit (en poids secs, séchés jusqu'à obtention d'un poids constant) :

- 70% de sable séché à l'air, composé en majorité de sable fin (plus de 50% des particules mesurant entre 50 et $200\mu\text{m}$).
- 20% d'argile.
- A noter que le pH du sol peut varier légèrement dans les jours suivant l'ajustement du taux d'humidité ; il doit être réajusté à l'aide de carbonate de calcium CaCO_3 à une concentration d'environ 0.1% pour obtenir un pH de $6,0 \pm 0,5$ (SETAC., 1998 ; ISO., 1996).
- 1% de fumier (OCDE., 2010) ; pour nourrir les vers de terre pendant les essais de toxicité. Selon Heimbach, (1984), on remplace le fumier chaque semaine (Fig.23).

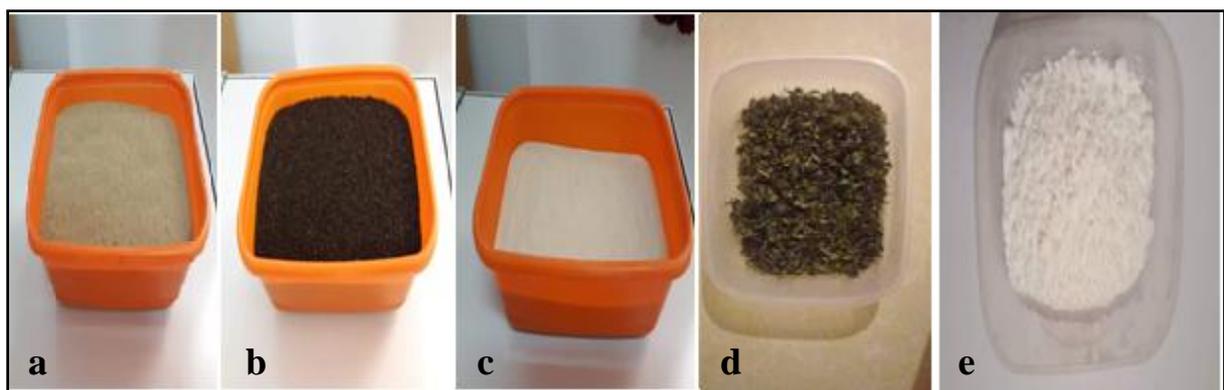


Figure 23 : Les constituants du sol artificiel : (a) argile (b) tourbe (c) sable (d) fumier (e) carbonate de calcium CaCO_3 (photo personnelle 21.03.2019).

7.3. Traitement

Pour assurer un maximum d'exposition des organismes à l'herbicide, ce dernier a été incorporé au sol artificiel à des concentrations comprises entre $\frac{1}{4}$ - 4 fois la concentration recommandée aux agriculteurs (Recommended Agriculture Dose (RAD)). Ainsi, les concentrations sont 2,95 ; 5,90 ; 11,81 ; 23,62 et 47,24 mg/kg de sol sec.

Tous les vers de terre ont préalablement été nettoyés avec de l'eau, séchés et pesés. Ils ont ensuite été mis sur du papier filtre dans des boîtes de pétri pendant 24 heures. L'objectif est de vider leur tube digestif du sol ingéré.

Après les 24 heures, on pèse les vers de terre et on dépose chaque dix individus mature en bonne santé avec un clitellum bien développé et de taille et poids proches dans chaque boîte. Pour une meilleure exploitation des résultats nous avons fait quatre répétitions pour chaque concentration. Les boîtes sont recouvertes d'un couvert de plastique perforé pour permettre l'aération (Fig.24). Par conséquent 240 vers de terre de l'espèce *A. Caliginosa* sont utilisés dans le test de toxicité.

La durée de l'essai est de 28 jours ; la mortalité est évaluée aux 7^{ème}, 14^{ème}, 21^{ème}, et le 28^{ème} jour, en vidant le sol sur plateau ou une plaque de ver. Tous les symptômes comportementaux ou pathologiques observés doivent être consignés. Pour vérifier l'humidité du sol, on pèse les boîtes au début de l'essai puis une fois par semaine ; la perte de poids est compensée par l'ajout d'une quantité équivalente d'eau distillée.

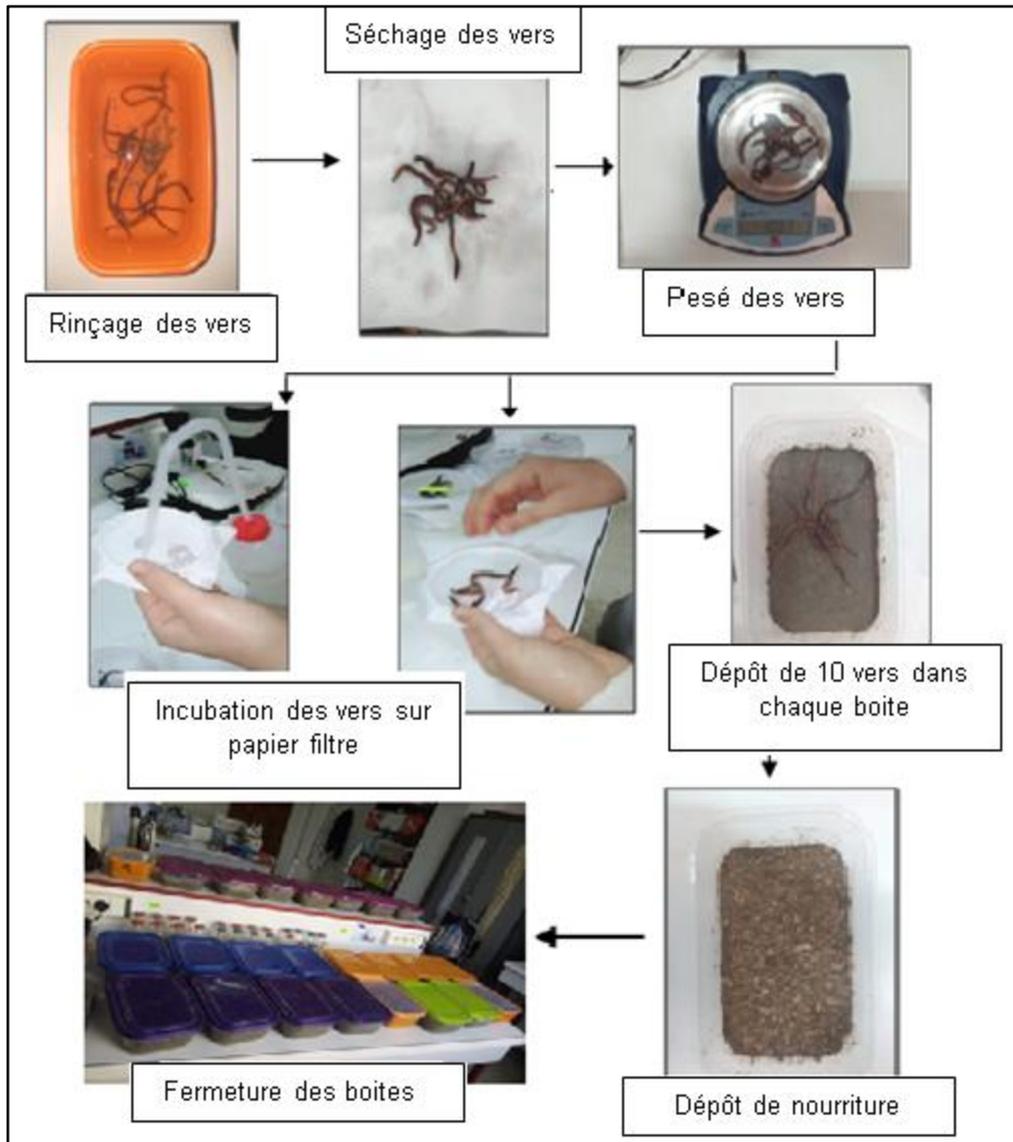


Figure 24 : Méthodologie de Contamination des vers de terre (photo personnelle 21.03.2019).

Résultats

1. Test d'évitement des vers de terre

La figure (25) représente la distribution des individus adultes d'*A. Caliginosa* enfin du test d'évitement. La partie bleue de chaque barre représente le pourcentage d'individus dans le sol témoin, et la partie marronne représente le pourcentage d'individus dans le sol contaminé par l'herbicide glyphon à différentes concentrations.

Aucune mortalité n'a été enregistrée dans le test d'évitement effectué. Les séries témoins dans lesquels les boîtes avaient un sol témoin dans les deux côtés, n'ont montré aucun signe de préférence significatif ou agrégation d'un côté. Au regard des résultats obtenus après l'exposition au glyphon, il apparaît que les vers de terre *A. Caliginosa* ont présenté des réponses d'évitement non significatives à différentes concentrations ; en préférant la section traitée à la concentration 11,81 mg/kg où 76,19 % des vers de terre ont migré. Les concentrations de 23,62 mg/kg et 47,24 mg/kg provoquent un léger comportement d'évitement.

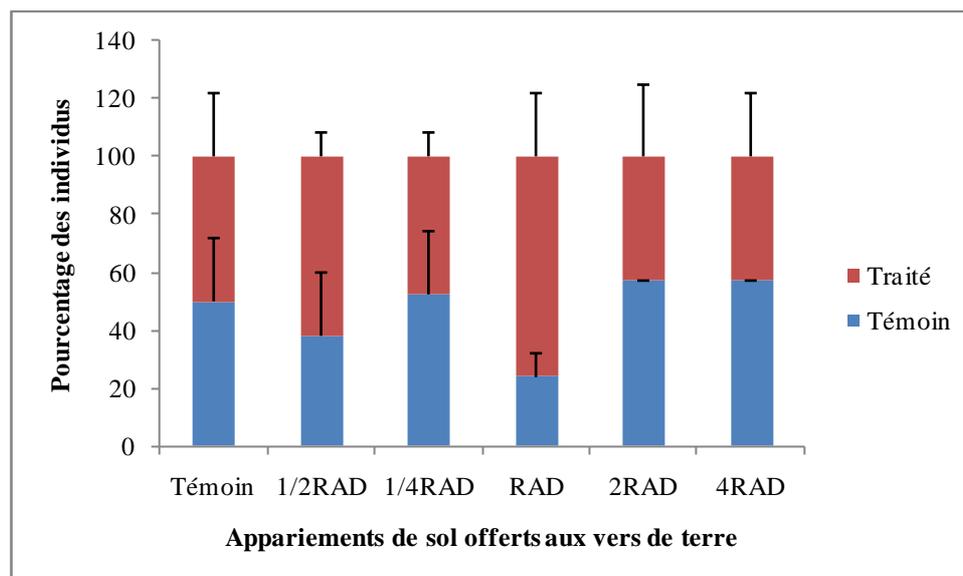


Figure 25 : Distribution des vers adultes d'*A. Caliginosa* entre le sol artificiel témoin et le sol contaminé par l'herbicide glyphon à différentes concentrations ($m \pm s$; $n=3$).

2. Identification de la diversité des vers de terre

Parmi les individus adultes collectés, on a pu identifier cinq espèces de lombriciens. Ces espèces sont les suivantes : *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea molleri*, *Octodrilus complanatus* et *Eisenia foetida*. Chaque espèce a ses propres caractéristiques (Tab : 03). Ainsi, *O. complanatus* est l'espèce ayant la plus grande taille

contrairement à *E. foetida* qui a la plus petite taille avec une longueur de 90 mm. D'autre part, la couleur des différentes espèces varie de rouge, vert au marron.

Tableau 03 : Comparaison entre les caractéristiques des différentes espèces de vers de terre collectées dans les sites d'étude.

Espèces	<i>Octodrilus complanatus</i>	<i>Aporrectodae molleri</i>	<i>Aporrectodae rosea</i>	<i>Aporrectodae caliginosa</i>	<i>Eisenia foetida</i>
Caractères					
Longueur (mm)	230 ; 300	130	130	130	80
Largeur (mm)	8 ; 9	4	6	3	3
Poids (mg)	9,87	1,21	2,68	0,32	0,78
Nombre de Segments	177 ; 188	143	147	130	90
Forme	Cylindrique aplatie au niveau caudal	Cylindrique	Cylindrique	Cylindrique, queue plate ou trapézoïdale	Cylindrique avec aplatissement caudal léger
Pigmentation	Brune	Vert	Rougeâtre	Brune	Marron, avec des zones inter segmentaires plus pâles
Prostomium	Epilobique	Etroitement épilobique	Epilobique	Epilobique	Epilobique
Soies	P.L géminées P.V écartées	P.L écartées	P.L géminées P.V écartées	P.L/V géminées	P.L/V géminées
Clitellum	28-37	49-58	29-34	27-34	26-32
Pores males	-	Segment 15	Segment 15	Segment 15	-
Tubeicules de la puberté	28-39	-	29-34	29-34	28-30

La majorité des individus sont prélevés dans le site de Youkous ; les espèces *O. complanatus*, *A. molleri*, *A. rosea* sont répertoriées dans le site de Youkous tandis que l'espèce *E. foetida* est retrouvée uniquement dans le site de Cheria, *A. caliginosa* est retrouvée dans les deux sites.

2.1. *A. rosea*

On a remarqué la présence de cette espèce dans le site de Youkous. Cette espèce est caractérisée par une couleur rougeâtre. En plus, *A. rosea* a un clitellum compris entre le 29^{ème} et 34^{ème} segment et des tubercules pubères entre le 29^{ème} et le 34^{ème} segment (Fig.26).

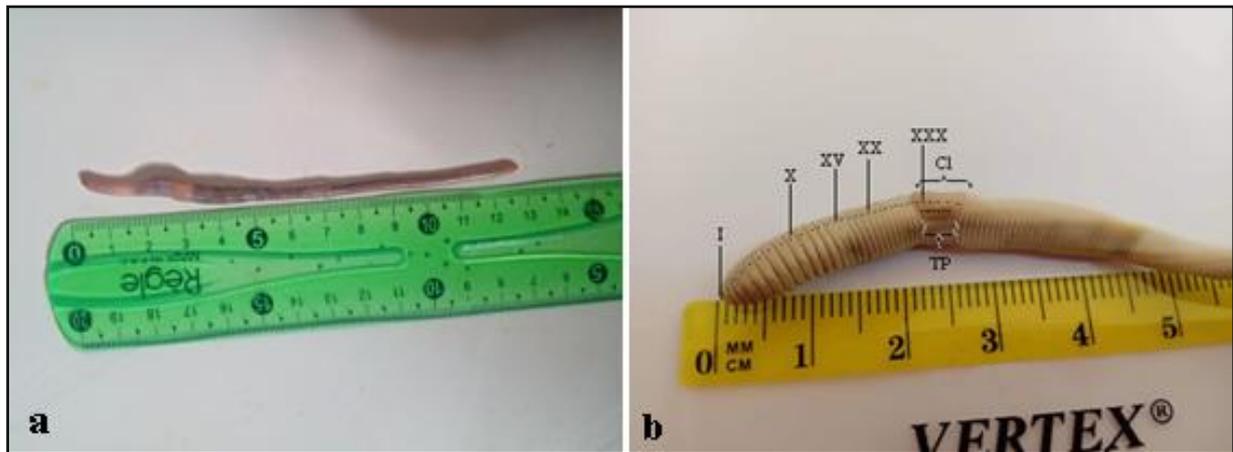


Figure 26 : Morphologie d'*A. rosea* : (a) aspect général, (b) région clitellienne (photo personnelle 01.03.2019).

2.2. *O. complanatus*

Cette espèce est présente dans le site de Youkous à un clitellum compris entre le 28^{ème} et 37^{ème} segment et des tubercules pubères entre le 28^{ème} et le 39^{ème} segment (Fig. 27).



Figure 27 : Morphologie d'*O. Complanatus* : (a) aspect général, (b) région clitellienne (photo personnelle 01.03.2019).

2.5. *E. foetida*

Echantillonnée seulement dans le site de Cheria, à un clitellum compris entre le 26^{ème} et 32^{ème} segment et des tubercules pubères entre le 28^{ème} et le 30^{ème} segment (Fig. 30).

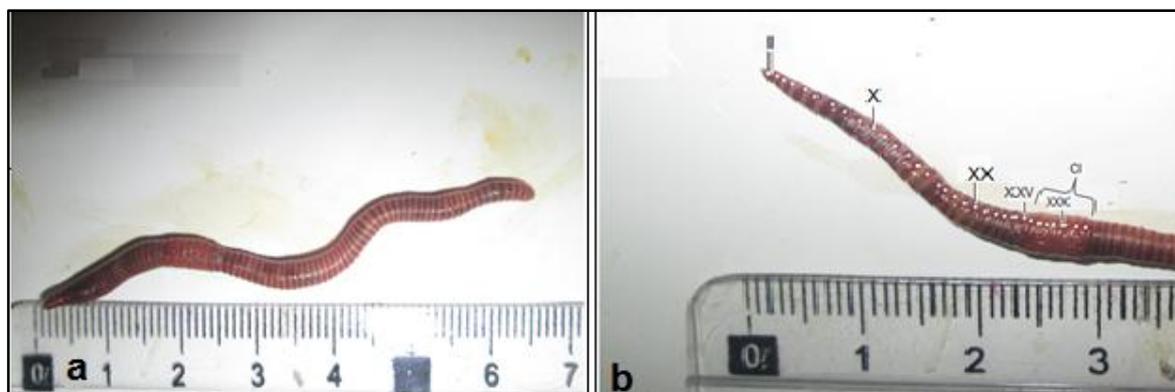


Figure 30 : Morphologie d'*E. foetida* (photo personnelle 01.03.2019).

3. Essais de toxicité des pesticides sur les lombriciens

L'efficacité d'un pesticide est appréciée dans le temps par la détermination de la mortalité des individus.

❖ Effet du glyphosate

Les taux observés de mortalité des vers de terre en fonction des concentrations de glyphosate après quatre semaines d'exposition sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 04 : Effet des concentrations croissantes de l'herbicide glyphon sur le taux de mortalité observé de *A. Caliginosa* à différent temps d'exposition (m±s, n=4).

Traitement \ Temps (jours)	Temps (jours)			
	7	14	21	28
Témoin	0,00	0,00	0,25	0,50
2,95 mg/kg	0,25	0,75	2,00	2,25
5,90 mg/kg	0,50	1,00	1,25	2,00
11,81 mg/kg	0,00	0,00	0,50	0,50
23,62 mg/kg	0,00	0,25	0,50	0,50
47,24 mg/kg	0,00	0,25	0,50	0,50

Les résultats du test nous montrent une faible mortalité variable selon la concentration. Après une semaine d'exposition on a enregistré un taux de mortalité de l'ordre de $0,00 \pm 0,00$ % chez les séries témoins et une faible mortalité pour les deux suivantes concentrations.

Aucune mortalité n'est observée pour les trois fortes concentrations. La deuxième semaine est marquée par une mortalité légèrement supérieure à la semaine précédente, et augmente chez les séries traitées après 21 et 28 jours d'exposition. La plus forte mortalité est notée pour la concentration 2,95 mg/kg, après 28 jours. D'autre part, les séries traitées avec la plus forte concentration montrent un faible taux de mortalité pendant la période d'étude.

Après quatre semaines d'exposition des vers aux différentes concentrations, les résultats obtenus à travers ce test révèlent que le glyphosate a provoqué une mortalité inférieure à la moitié de la population des vers de terre expérimentés. La détermination de la CL₅₀ n'est pas possible dans un essai de toxicité dans le cas où n'a pas obtenu une mortalité supérieure ou égale à 50 %.

4. Inhibition de la croissance pondérale

La figure (31) met en évidence l'évolution du taux de croissance des vers de terre en fonction du temps et en présence de concentrations croissantes de glyphosate. Ainsi, après la première semaine on a constaté une inhibition significative du taux de croissance des vers exposés à 11,81 mg/kg et 47,24 mg/kg. A l'opposé après 2 et 3 semaines il n'y a eu ni augmentation ni perte significative de masse chez les vers de *A. Caliginosa*. De manière relative, après 28 jours les vers de terre exposés à 5,90 mg/kg et 11,81 mg/kg ont une inhibition significative du taux de croissance.

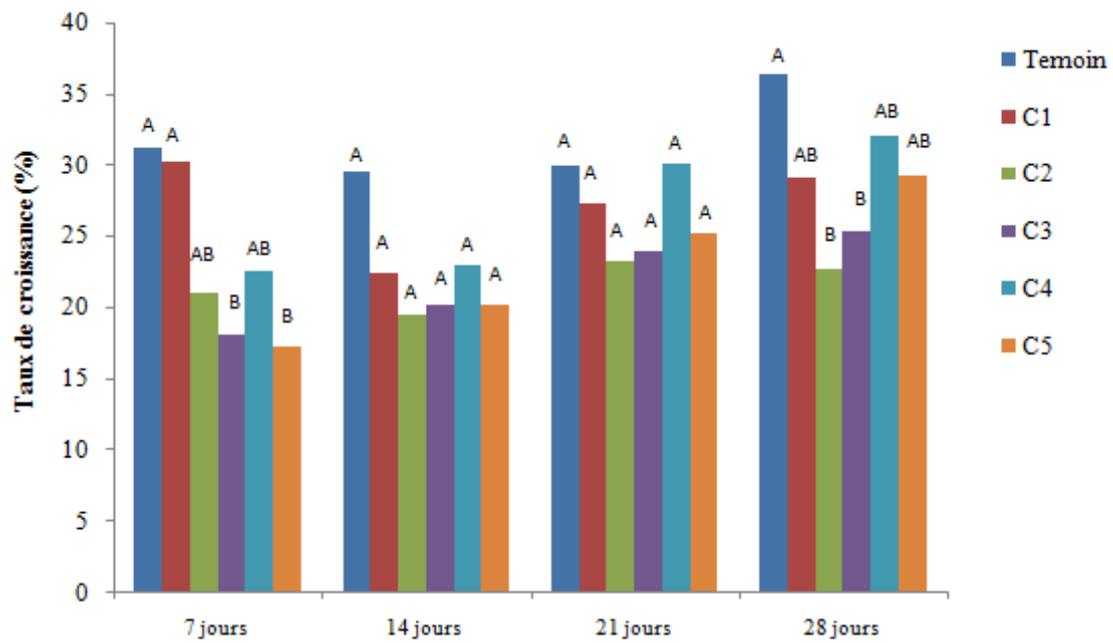


Figure 31 : Effet de l'herbicide glyphon à différentes concentrations sur le taux de croissance pondérale des vers de terre *A. caliginosa* en fonction du temps (les lettres différentes indiquent une différence significative entre les différentes concentrations au sein d'une même période (Test de Tukey HSD)).

Discussion

Discussion

La préservation de la qualité des sols est devenue au même titre que la protection des milieux aquatiques. Pour cela il est indispensable d'utiliser des espèces bioindicatrices qui reflètent la qualité des sols en utilisant les invertébrés terrestres, qui font l'objet de plusieurs recherches; ces derniers ont une forte sensibilité aux variations physicochimiques de leur milieu (Markert, 2007), c'est le cas des vers de terre utilisés souvent pour mesurer les effets des substances polluantes par l'étude de leur survie, de leur croissance, de leur reproduction et de leur comportement en contact de ces produits (Godet, 2010).

Le choix d'*A. Caliginosa* est justifié d'une part pour sa dominance dans la région de Tébessa (Bouazdia et Habes, 2017) et d'autre part pour leur abondance et sa facilité d'échantillonnage. Ces critères permettent son utilisation comme modèle biologique dans la bioindication (Godet, 2010).

1. Identification

Omodeo et al, (2003) estiment que la biodiversité est faible sur l'ensemble du territoire Maghrébin (Maroc, Algérie et Tunisie). En effet, ils n'ont signalé que 38 espèces dont 24 se trouvent en Algérie. Ainsi, dans le secteur algérois, Baha (1997) a recensé 11 espèces. Dans le Constantinois, Ouahrani (2003) a déterminé 11 espèces et dans la vallée du Soummam dans la Kabylie, Kherbouche et al., (2012) ont signalé 5 espèces (*Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea*, *Allolobophora chlorotica*, *Octodrilus complanatus* et *Microscolex dubius*).

A travers l'échantillonnage des vers de terre effectué dans les deux sites, nous avons déterminé 5 espèces : *Octodrilus complanatus*, *Aporrectodea molleri*, *Aporrectodea rosea*, *Eisenia foetida*, *Aporrectodea caliginosa*.

L'espèce *A. caliginosa* ou *Nicodrilus caliginosus*, l'espèce la plus commune et dominante dans la région de Tébessa (Bouazdia et Habes, 2017), elle a été trouvée dans les deux sites de collecte. Elle est fréquente dans les sites de El Merdja (Litim et Zoughlami, 2015), Hammamet et El Malabiod (Labchakin et Mrah, 2016) ainsi que Negrine et Gourigueur (Saadi et Menasria, 2017). Kherbouche et al., (2012) ont signalé la présence de cette espèce dans la région de Bejaia, El-Okki et al. (2013) dans l'Oued El kebir, Baha (1997) dans la plaine de Metidja, Bazri (2015), Zeriri et al, (2013) dans la région de Annaba ainsi que Kourtel et al, (2017) dans le Nord Est de la Wilaya de Batna. Smith (1917), Stephenson (1930) et Omodeo (1948) l'ont caractérisé comme l'espèce de vers de terre la plus communément trouvée.

Le taxon *A. rosea*, échantillonnée uniquement dans le site de Youkous, a été signalé dans le site de Negrine par Saadi et Menassria (2018), par Litim et Zoughlami (2015) dans le site d'El-Merdja à Tébessa et par Labchaki et Merah (2016) dans les deux sites d'El Malabiod et El Hammamet. Ce résultat est comparable à celui de Bazri (2015) qui constatait que cette espèce est fréquente dans les zones semi arides et arides, dans les points où il y a suffisamment d'eau.

Pour *A. molleri*, l'échantillonnage décente la présence de cette espèce dans la région de Youkous. Elle a été répertoriée dans le climat semi-aride, il se localise préférentiellement dans les points humides (notamment au bord des oueds) (Bazri, 2015). Elle est observée seulement dans quelques points en Portugal et dans la partie Atlantique de Galice (Monroy et al., 2007), indiquant une connexion entre les environnements maghrébines et ibériens. Il se pourrait que son arrivée en Afrique du Nord est liée à la géodynamique et le mouvement des plaques Rif-Bétiques.

L'espèce *O. complanatus* est présente dans le site de Youkous. Cette espèce a été signalé dans la région de Bejaia (Kherbouche et al., 2012) car cette zone se caractérise par un sol riche en débris végétaux et en fumier de bovin (Yesguer, 2015), en accordant avec (Monroy et al., 2007) qui ont montré que *O. complanatus* est présente dans les sols agricoles et aux bords des forêts principalement aux milieux des arbres clairsemés dans les substrats organiques humides.

E. foetida, échantillonnée seulement dans le site de Cheria. La richesse du sol de jardin en fumier qui contient des déchets organiques (litières de feuilles) justifie la présence de cette espèce. En effet elle est connue sous le nom du ver de fumier. Trouvée dans le climat semi-aride (Bazri et al., 2013) et dans les endroits chauds et secs (Zeriri et al., 2013).

2. Effet sur le comportement

Le test comportemental des vers de terre peut servir d'indicateur rapide de la toxicité des contaminants et peut être utilisé comme test complémentaire d'évaluation de risque des zones polluées (Sisino et al., 2006).

A partir des résultats qu'on a obtenus, il apparait que le sol traité n'a pas été significativement évité par les vers de terre de l'espèce *A. Caliginosa*. Nos résultats sont en accord avec ceux de (Santos et al, 2011) qui ont constaté que le glyphosate n'a pas un effet remarquable sur le comportement des vers *E. andrei*, même en fortes concentrations, mais ces résultats sont loin à ceux de (Casabé et al., 2007) qui ont montré que les vers de terre *E. andrei* exposés aux sols traités au glyphosate ont cependant présenté des réponses d'évitement

significatives en préférant les sols non traités. Bien que le glyphosate se soit révélé non toxique pour *Pontoscolex corethrurus* ; un comportement d'évitement significatif à concentration de $47 \times 10^3 \mu\text{g/kg}$ a été signalé (Buch et al, 2013). D'autres travaux (Salvio et al, 2015) ont indiqué un comportement d'évitement d'*O. cyaneum* exposé au glyphosate à $249 \mu\text{g/kg}$.

Les vers de terre, en ayant des chimiorécepteurs et des tubercules sensoriels, présentent une grande sensibilité aux produits chimiques dans les sols (Reinecke et al., 2002), cependant certains produits peuvent ne pas être détectés par les vers terre, et ils peuvent mourir dans le test de sol sans essayer de s'échapper (Garcia et al., 2004).

3. Toxicité

Dans la présente étude, l'expérience est élaborée sur une espèce lombricienne sur le principe dose-réponse. Au vu des résultats de la toxicité aigüe, aucun effet important du glyphosate sur le taux de mortalité des vers *A. caliginosa* a été signalé.

Peu d'études traitent la toxicité du glyphosate pour les invertébrés terrestres puisque le glyphosate est rapidement absorbé aux particules de sol et n'est plus disponible biologiquement (Ciséle et al., 1995). Correia & Moreira, (2010) ont constaté que le glyphosate n'a pas tué les vers *E. fetida* dans plusieurs tests. D'autre part, GKK Kpan et al, (2018) ont montré que la faible toxicité du glyphosate envers *Eudrilus Eugeniae* pourrait s'expliquer par l'absence d'affinité entre cette molécule et les systèmes biologiques des animaux. En effet la cible du glyphosate est une enzyme appelé 5-enolpyruvyl-shikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) qui n'est présente que chez les plantes et certaines bactéries. Monsanto (fabricant de Roundup) et plusieurs chercheurs indépendants ont menés des études dans lesquelles aucun effet indésirable n'avait été observé lorsque les vers de terre étaient exposés à des résidus de glyphosate dans le sol à des taux égaux ou supérieurs aux taux étiquetés (Giesy et al., 2000).

Le glyphosate a été classé 0 sur une échelle de zéro (relativement non toxique) à 4 (extrêmement toxique) (Giesy et al., 2000). Ainsi, la toxicité de cet herbicide serait probablement causée par les co-formulants ou adjuvants qui présentent des toxicités variables suivant les organismes (Howe et al., 2004 ; Cox et Sorgan, 2006). En revanche, la sensibilité des vers de terre aux polluants est variable et peut être expliquée par (1) les différences écologiques des différentes espèces et leurs habitudes alimentaires (catégories écologiques) et (2) les caractéristiques physiologiques spécifiques à chaque espèce (Nahmani et al., 2003).

Les herbicides présentent généralement une faible toxicité vis-à-vis des vers de terre, bien qu'il existe quelques exceptions (Zarea, 2010), la mortalité des vers de terre dans les sols et l'utilisation excessive d'herbicide sont encore floues (Zarea et Karimi, 2011). Lors de l'exposition du vers de terre *Perionyx Sansibaricus* à l'herbicide Butachlor, aucune mortalité a été observée ; pas même à des doses plus élevées (Muthukaruppan et al., 2005). Mosleh et al, (2003) ont rapporté qu'aucun effet mortel de l'herbicide Isoproturon sur les vers de terre *Lumbricus Terrestris* n'a été observé même à la concentration la plus élevée testée (1,4 g/kg de sol) après 60 jours. A l'opposé, le résultat de la toxicité de l'atrazine (herbicide) sur *Nsukkadrilus mbae* a montré que cet herbicide avait un effet significatif sur la population de vers de terre qui variait de 37,8 à 80 %. Ceci est comparable aux résultats d'une étude dans laquelle la mortalité du ver de terre *E. fetida* traités à l'acétochlore et à l'urée étaient respectivement de 0,867% et 100% (Oluah et al., 2010).

Lors de ce test de toxicité, on n'a pas pu déterminer la DL50 du glyphosate à cause de sa faible toxicité. Par ailleurs, la DL50 de ce produit a été déterminé sur d'autres espèces de vers de terre. Dans ce texte GKK Kpan et al, (2018) ont caractérisé la toxicité aiguë et déterminer les effets à long terme d'une formulation à base de glyphosate sur *Eudrilus Eugeniae*. La concentration létale (CL50) a été $7,80 \pm 0,29$ g/l pour 327 g de sol, soit $3578 \pm 14,22$ mg de glyphosate/kg de sol sec. L'origine et l'historique des organismes testés semblent ainsi jouer un rôle important dans la détermination des concentrations létales pour cette espèce.

4. Effet sur la croissance pondérale

Dans la présente étude, l'effet du glyphosate sur la croissance pondérale a été évalué sur des vers *A. caliginosa* adultes. Ainsi, on a enregistré une réduction significative du taux de croissance chez les séries traitées par rapport au témoin. Nos résultats sont en concordance avec ceux de Correia et Moreira (2010) qui ont montré une réduction progressive du poids moyen des vers *E. fetida* où l'effet était observé à toutes les concentrations d'essai par rapport aux sols non traités. Le pourcentage de perte de poids à la fin de l'expérience était d'environ 50% de pesée de base. Ainsi, Springett et Gray (1992) ont enregistré une réduction de la croissance d'*A. Caliginosa* après application du glyphosate à plusieurs reprises sur des cultures de laboratoire à intervalles de deux semaines à un taux inférieur à celui du commerce recommandé. A l'opposé, aucun effet n'a été signalé chez les adultes d'*A. caliginosa* dans une autre expérience où le produit chimique a été mélangé avec le sol (Martin, 1982). Similairement, Doliner (1991) a rapporté que, lors d'une étude en laboratoire, aucun effet

important n'a été observé sur la croissance des vers de terre *A. caliginosa* exposés à des concentrations allant jusqu'à 100 mg/kg dans un sol de Nouvelle-Zélande. Aussi, Zhou et al, (2013) ont constaté l'absence de différence significative entre la biomasse d'individus de l'espèce *E. fetida* exposés à différentes concentrations de glyphosate et celle des individus cultivés dans un milieu non contaminé, sur une période de 28 jours. De la même façon, GKK Kpan et al, (2018) ont montré l'absence d'effet de l'herbicide glyphosate sur la biomasse des vers *E. Eugeniae*. La différence entre ces résultats et les nôtres revient, peut-être, premièrement à la différence d'espèce utilisée comme modèle biologique dans l'essai. Deuxièmement, cette différence pourrait être dû au fait que le stade de développement (stade adulte) des vers de terre utilisés pour le test serait trop avancé pour révéler une variation significative de la biomasse des vers de terre en présence de la solution de glyphosate employée dans la présente étude.

Conclusion

Conclusion et perspectives

Le contrôle de la qualité des sols en elle-même est une problématique, même s'il existe des techniques appropriées à ce genre d'analyse, les résultats restent incomplets. Dans l'évaluation des risques environnementaux dus aux pesticides, l'estimation des effets toxiques de substances utilisées sur les espèces lombriciennes à partir des données de toxicité aiguë est souvent nécessaire. Notre objectif s'est focalisé sur la détermination de la toxicité d'un herbicide (glyphosate) sur un bioindicateur de la pollution des sols.

Le collecte des vers de terre établi dans deux sites (Youkous et Cheria) nous a permis de recenser cinq espèces de vers de terre : *Octodrilus complanatus*, *Aporrectodea molleri*, *Aporrectodea rosea*, *Eisenia foetida*, *Aporrectodea caliginosa*. Parmi l'ensemble des espèces présentés, le choix est porté sur l'espèce de vers de terre *A. caliginosa* ; l'espèce dominante dans la région de Tébessa. Pour cela, les travaux expérimentaux engagés au cours de cette étude ont consisté à l'exposition de la population de vers de terre au glyphosate à différentes concentrations pendant une durée de 28 jours.

Cette démarche écotoxicologique révèle que le glyphosate engendre une toxicité faible causant une mortalité inférieure à 50 % de la population expérimentée. D'autres paramètres pris en dehors de l'indice de mortalité ont été étudiés au cours du test aigue de glyphosate ; la mesure du poids chez les vers de terre révèle que cet herbicide inhibe significativement le taux de croissance des vers exposés, après 7 jours et 28 jours, aux concentrations de 11,8 ; 47,24 mg/kg et de 5,90 ; 11,81 mg/kg respectivement.

Les vers exposés aux différentes concentrations de glyphosate ont présenté des réponses d'évitement non significatives où les concentrations les plus élevées de 23,62 mg/kg et 47,24 mg/kg provoquent un léger comportement d'évitement.

Pour compléter nos initiatives et mettre en évidence les mécanismes de toxicité de ce pesticide, il est intéressant en perspectives :

- De faire des tests toxicologiques sur d'autres espèces des vers de terre afin de mieux reproduire ce qui se passe réellement en culture.
- D'effectuer des études histologiques sur les différents organes.
- De développer des recherches par le dosage des enzymes de détoxification comme le cytochrome P450 chez *A. caliginosa* afin d'obtenir des informations complémentaires sur l'action des pesticides.
- D'utiliser des animaux à différents stades de développement pour voir si l'âge influence sur le degré de toxicité du glyphosate.

- De réaliser des tests de toxicité *in situ* qui peaufineront les travaux expérimentaux au laboratoire.

Références

bibliographiques

Références bibliographiques

B

- **Baha, M., 1997.** The earthworm fauna of Mitidja, Algeria. *Trop. Zool.*10: 247-254.
- **Baker, G; Barrett, V., 1994.** Earthworm identifier, CSIRO Australia, 91p.
- **Barilli, E; Jeuffroy, MH; Gall, J de tourdonnet S; Médiène, S., 2017.** Weed reponse and crop growth in winter wheat-lucerne intercropping: a comparison of conventional and reduced soil-tillage conditions in northern France. *Crop and Pasture Science* 68 (11): 1070-1079.
- **Bart, S; Amossé, J; Christopher, N. Lowe,Ch; Mougin, Ch; Péry, A RR; Pelosi, C., 2018.** *Aporrectodea caliginosa*, a relevant earthworm species for a posteriori pesticide risk assessment: current knowledge and recommendations for culture and experimental design. *Environmental Science and Pollution Research*25 (34).pp 25:33867–3.
- **Bazri, K., 2015.** Étude de la biodiversité des lombriciens et leurs relations avec les propriétés du sol dans différents étages bioclimatiques, dans l'est algérien Thèse de Doc. Etat. Université. *Université Constantine1* 169 p.
- **Bazri, K., 2015.** Etude de la biodiversité des lombriciens et leurs relations avec les propriétés du sol dans différents étages bioclimatiques, dans l'Est Algérien. *Thèse doctorat*, 188p.
- **Bazri, K; Ouahrani, G; Gheribi-Aoulmi Z; Diaz Cosin, D., 2013 (a).** La diversité des Lombriciens dans l'Est algérien depuis la côte jusqu'au désert. *ecologia mediterranea*. Vol. 39.
- **Bazri, K; Ouahrani, G; Gheribi-Aoulmi Z; Trigo, DJ; Diaz Cosin D., 2013 (b).** Soil factors and earthworms in Eastern Algeria. *Sciences &Technologie C*. 37: 22-31 pp.
- **Benbrook, CM., 2016.** Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*, 28(3), doi : 10.1186/s12302-016-0070-0.
- **Bouazdia, K; Habes, D., 2017.** Earthworm Species Identified in the Region of Tebessa (Eastern Algeria). *International Journal of Zoological Research*. 13(1): 38-44.
- **Bouché, M ., 1972.** Les Lombriciens de France. *Ecologie et systématique*, Ann. Zool. Ecol. Anim., INRA, n° spécial, 72-2, 671 p.

- **Brown, GG; Callaham, MA; Carla Niva, C; Feijoo, A; Sautter KD; Wooster James, S; Fragoso, C; Pasini, A; Schmelz, R., 2013.** Terrestrial oligochaete research in Latin America: the importance of the Latin American meetings on oligochaete ecology and taxonomy. *Appl. Soil Ecol.*, 69, 2-12.
- **Buch, AC; Brown, GG; Niva, CC; Sautter, KD; Sousa, JP., 2013.** Toxicity of three pesticides commonly used in Brazil to *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857) and *Eisenia andrei* (Bouche, 1972). *Appl Soil Ecol* 69:32–38.
- **Byambas, P; Lemtiri, A; Hornick, JL; Bengone Ndong, T; Francis, F., 2017.** Rôles et caractéristiques morphologiques du ver de terre *Eudrilus Eugeniae* (synthèse bibliographique) *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 21(2), 160-170.

C

- **Casabé, N; Piola, L; Fuchs, J; Oneto, ML; Pamparato, L; Basack, S; Giménez, R; Massaro, R; Papa, JC; Kesten, E., 2007.** Ecotoxicological Assessment of the Effects of Glyphosate and Chlorpyrifos in an Argentine Soya Field. 7(4): 232-239.
- **Cattani, D; Cavalli, VLLO; Rieg, CEH; Domingues, JT; Dal-Cim, Th; Tasca, CI; Silva, F; Zamoner, A., 2014.** "Mechanisms underlying the neurotoxicity induced by Glyphosate-based herbicide in immature rat hippocampus: involvement of glutamate excitotoxicity." *Toxicology* 320: 34-45.
- **Chiali, FZ; Merzouk, H; Merzouk, SA; Medjdoub, A; Narce, M., 2013.** Chronic low level metribuzin exposure induces metabolic alterations in rats. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. Vol. (106): 38–44.
- **Correia, FV; Moreira, JC., 2010.** Effects of Glyphosate and 2,4-D on Earthworms (*Eisenia foetida*) in Laboratory Tests *Bull Environ Contam Toxicol.* 85:264–268.
- **Cox, C; Surgan, M., 2006.** Unidentified inert ingredients in pesticides: implications for human and environmental health. *Environmental Health Perspectives*, 114 (12): 1803- 1806.
- **Crow, WT., 2012.** Earthworm, suborder *Crassicitellata*, cohort *Terrimegradili* (Jamieson, 1988), [http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN94600.pdf,\(25/03/2014\)](http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN94600.pdf,(25/03/2014))

D

- **Dill, GM., 2005.** "Glyphosate-resistant crops: history, status and future." *Pest management science* 61(3): 219-224.

- **Doliner, LH., 1991.** Emploi avant récolte du glyphosate (Roundup MD), Document de travail, Agriculture Canada, Direction des pesticides, 107 p.
- **Domenach; H., 2007.** Démographie et environnement : vers une régulation planétaire. La Jaune et la Rouge, 1: 11- 17. Disponible sur : http://www.xenvironnement.org/index.php?option=com_content&view=article&id=51%3Asept-2007&catid=36%3Ajaune-rouge&Itemid=41&limitsstart=3.

E

- **Edwards, CA ; et Bohlen, PJ., 1996.** Biology and Ecology of Earthworms 3rd ed. Chapman and Hall, London, 426 pp.
- **El-Okki, M-EL; Sahli, L; Rached, O., 2013.** Conference: *6th International Oligochaeta Taxonomy Meeting, Palmeira de Faro (Portugal), 22th to 25th April.*

F

- **Fernández, R; Bergmann, P; Almodóvar, A; Heethoff, M; Diaz Cosin, DJ., 2011.** Ultra structural and molecular insights into three populations of Aporrectodea trapezoides (Dugés, 1828) (Oligochaeta, Lumbricidae) with different reproductive modes. *Pedobiologia*, 54, 281-290.

G

- **García, M; Forster, B; Römbke, J; Welp, G; Martius, C., 2004.** Effects of pesticides on soil fauna. Development of ecotoxicological test methods for the tropics. *ZEF news* 15, 4-5.
- **Gates, GE., 1972.** Burmese earthworms. An introduction to the systematic and biology of megadrile oligochaetes with special reference to Southeast Asia. *Transaction of American Philosophical Society* 62.
- **Giesy, JP; Dobson, S; Solomon, KR ., 2000.** Ecotoxicological risk assessment for Roundup herbicide. *Reviews of Environmental Contamination* 167, 35-120.
- **Gisèle, C; Jean, L; Robert, L., 1995.** Évaluation des impacts du glyphosate utilisé dans le milieu forestier. Ministère des Ressources naturelles. Dépôt légal, Bibliothèque nationale du Québec. ISBN 2-550-24870-8.
- **GKK, Kpan; Ehouman, MN; Toure, M; Brou, LY; Tiho, S; Traore, SK;**

Dembele, A., 2018. Toxicité d'un Herbicide à base de Glyphosate sur le ver de Terre *Eudrilus Eugeniae* KINBERG, 1867 (Oligochaeta, Eudrilidae), pp. 285-298.

- **Godet, JP., 2010.** Intérêt des isopodes terrestres dans l'évaluation de la qualité des sols : Recherche de paramètres indicateurs de la pollution par les éléments traces métalliques et contribution à la mise au point d'un outil écotoxicologique de terrain. Thèse de doctorat : Université de Lille 1, p. 1-14

H

- **Hatcher, JM; Pennell, KD; Miller, GW., 2017.** "Parkinson's disease and pesticides: a toxicological perspective.":HHS Public Access 29(6): 322–329
- **Houseman, JG., 2000.** Cours, Les annélides. Département de biologie, Université d'Ottawa BIO 2521. 73-86 p.
- **Howe, CM., 2004.** Toxicity of glyphosate-based pesticides to four North American frog species. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23:1928–1938.
- **Hund-Rinke, K; Wiechering, H., 2001.** Earthworm avoidance test for soil assessments—an alternative for acute and reproduction tests. *J Soil Sediments* 1(1):1520

J

- **Jansirani, D; Nivethitha, S; Singh, MVP., 2012.** Production and utilization of vermicast using organic wastes and its impact on *Trigonella foenum* and *Phaseolus aureus*. *Int J Res Biol Sci* 2(4):187–189
- **Jong, Y; Verbeek, M; Michelsen, V; De Place Bjørn, P; Los, W; Steeman, F; ... Penev, L., 2014.** Fauna Europaea - all European animal species on the web. *Biodiversity Data Journal*, 2,[e4034]. DOI:10.3897/BDJ.2.e4034

K

- **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.
- **Kouassi, Brou G., Denezon Dogbo, O., N'Zué, B., Akhanovna, J; Yves-Alain Békro, Y., 2012.** Effet du glyphosate sur la biosynthèse des constituants phénoliques de *Manihot esculenta* Crantz. *Revue de génie industriel, Laboratoire de Biologie et*

Amélioration des Productions Végétales (LBAPV), Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Abidjan, Cote d'Ivoire, p32-43.

- **Kourtel, GN; Kribaa, M; El-Okki M-EL., 2017.** Interaction between Soil Physicochemical Parameters and Earthworm Communities in Irrigated Areas with Natural Water and Wastewaters. Applied and Environmental Soil Science Volume different biomarkers 2017, Article ID 5808945, 16p.

L

- **Labchaki, H et Merah, M., 2016.** Exploration des oligochètes terrestre 2sites el d'El Malabiod et El Hammamet. Master, Université de Tébessa, 63p.
- **Lavelle, P., 2002.** Functional domains in soils. Ecol. Res., 17, 441-450.
- **Lavelle, P; Decaëns, T; Aubert, M; Barot, S; Blouin, M; Bureau, F; Margerie, P; Mora, P; Rossi, JP., 2006.** Soil invertebrates and ecosystem services. European Journal of Soil Biology 42, S3–S15
- **Lavelle, P et Spain, A., 2001.** Soil Ecology, Kluwer Scientific Publications, ISBN 0-7923
- **Litim, H. et Zoughlami, N., 2015.** Contribution à l'étude systématique des oligochètes terrestres dans la région d'El-Merdja –Tébessa. Master. Université de Tébessa, 52p.
- **Loureiro, S; Soares, A MVM; Nogueira, AJA. 2005.** Terrestrial avoidance behavior tests as screening tool to assess soil contamination Environmental Pollution 138: 121-131.

M

- **Markert, B., 2007.** Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 21, 77-82
- **Martin, NA., 1982.** The effects of herbicides used on asparagus on the growth rate of the earthworm *Allobophora caliginosa*. In: Proceedings of the 35th New Zealand Weed and Pest Control Conference, pp 328–331.
- **Martínez, M-A; Ares, I; Rodriguez, J-L; Martínez, M; Martínez-Larranga, MR; Anadón, A., 2018.** "Neurotransmitter changes in rat brain regions following Glyphosate exposure." Environmental research 161: 212-219.
- **MNHN., 2006.** Inventaire du patrimoine naturel. Muséum d'histoire naturel de

France. https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/199912/tab/taxo.

- **Monroy, F; Aira, M; Gago, JA; Domínguez, J., 2007.** Life cycle of the earthworm *Octodrilus complanatus* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Comptes Rendus Biologies*. Vol. 330: 389-391.
- **Morin, E., 2004.** Lombricompostage, une façon écologique de traiter les résidus organiques. In: *Eco-quartier Peter-McGill P.*, éd. Guide pratique. Montréal, Canada: Ministère de l'Environnement du Québec..
- **Morin, R., 1999.** Exploitation et élevage des vers de terre pour le marché des appâts vivants. In: Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, éd. Document d'information DADD-20. Québec, Canada: Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.
- **Mosleh, YY; Paris-Palacios, S; Couderchet, M; Vernet, G., 2003.** Effects of the herbicide isoproturon on survival, growth rate, and protein content of mature earthworms (*Lumbricus terrestris L.*) and its fate in the soil. *Applied Soil Ecology* 23, 69-77.
- **Muthukaruppan, G; Janardhanan, S; Vijayalakshmi, GS., 2005.** Sublethal Toxicity of the Herbicide Butachlor on the Earthworm *Perionyx sansibaricus* and its Histological Changes. *JSS – J Soils & Sediments* 5 (2) 82 – 86.

N

- **Nahmani, J; Lavelle, P; Lapied, E; van Oort, F., 2003.** Effects of heavy metal soil pollution on earthworm communities in the north of France. *Pedobiologia* 47, 663–669.

O

- **Oluah, NS; Obiezue, RNN; Ochulor, AJ; Onuoha, E., 2010.** Toxicity and histopathological effect of atrazine on the earthworm *Nsukkadrilus mbae* under laboratory conditions. *Ani. Res. Int.*; 7(3): 1287-1293.
- **Omodeo, P; Martinucci, GB., 1987.** Earthworms of Maghreb. On earthworms. A.M. Bonvicini Paglia I. & P. Omodeo (eds). *Selected Symposia and Monographs U.Z.I.*, 2, Mucchi, Modena, 235-250.
- **Omodeo, P; Rota, E; Baha, M., 2003.** The megadrile fauna (Annelida: Oligochaeta) of Maghreb: a biogeographical and ecological characterization. *Pedobiologia*. 47: 458-

465.

- **Ouahrani, G., 2003.** Lombritechniques appliquées aux évaluations et aux solutions environnementales. Thèse de Doc. Etat. Université Mentouri. 230 p.

P

- **Pérès, G; Vandebulcke, F; Guernion, M; Cluzeau, D; Galsomies, L; Grand, C; Bispo, A; Richar, A; Piron, D; Houot, S; Douay, F; Beguiristain; Hedde, M ., 2011.** Earthworm indicators as tools for soil monitoring, characterization and risk assessment. An example from the national bioindicator programmers (France). *Pedobiologia*, 54, 77-87.
- **Pfiffner, L., 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.
- **Picque, A., 2016.** Évaluation des impacts du glyphosate sur la santé humaine. Thèse doctorat n° 3042. Université de Picardie Jules Verne. 66 p.
- **Pierre-Louis, R., 2013.** Evaluation des risques a long terme des herbicides a base de glyphosate sur la sante humaine, Thèse de doctorat, Université de Limoges, p 39-45.

R

- **Razafindrakoto, M., 2013.** Etude des annélides oligochètes de Madagascar : taxonomie, distribution et écologie. th.Doc.Univ D'ANTANNRIVO. 174 p.
- **Reinecke, A; Maboeta, M; Vermeulen, L; Reinecke, S., 2002.** Assessment of lead nitrate and mancozeb toxicity in earthworms using the avoidance response. *Bull Environ Contam Toxicol* 68, 779–786.
- **Reynolds, JW., 2018.** Preliminary Key to Algerian Megadriles (Annelida, Clitellata, Oligochaeta), based on external characters, insofar as possible. *Megadrilogica* 24(1): 1-16.

S

- **Saadi, ML; Menasria, Said., 2018.** Contribution à l'étude des oligochètes terrestres Tébessa. Master. Université de Tébessa. 48p.
- **Salvio, C; Menone, ML; Rafael, S; Iturburu, FG; Manetti, PL., 2015.** Survival, Reproduction, Avoidance Behavior and Oxidative Stress Biomarkers in the

Earthworm *Octolasion cyaneum* Exposed to Glyphosate 96(3):314-9.

- **Santos, MJG; Morgado, R; Ferreira, NGS; Amadeu MVM; Soares; Loureiro, S., 2011.** Evaluation of the joint effect of glyphosate and dimethoate using a small-scale terrestrial ecosystem *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74:1994–2001.
- **Siegrist, M., 2011.** Le Lombric sort de l'ombre, <http://www.terrenature.ch/jardin/16062011-1214-le-lombric-sort-de-l-ombre> (15/03/2014).
- **Sims, RW; Gerard, BM., 1985.** Earthworms: keys and notes for the identification and study of the species. Brill and Backhuys, London 171 p.
- **Sims, RW; Gerard, BM., 1999.** Earthworms: Notes for the Identification of British Species, 53, pp: 65-70.
- **Sisino, CLS; Bulus, MRM; Rizzo, AC; Moreira, JC., 2006.** Ensaio de comportamento com minhocas (*Eisenia fetida*) para avaliação de áreas contaminadas: resultados preliminares para contaminação por hidrocarbonetos. *J Braz Soc Ecotoxicol* 1:137–140.
- **Sivasankari, B; Indumathi, S; Anandharaj, M., 2013.** A study on life cycle of earthworm *Eudrilus Eugeniae*. *Int. J. Res. Pharm. Life Sci.*, 1, 64-67.
- **Smith, F., 1917.** North American earthworms of the Family Lumbricidae in the collections of the United States Natural History Museum. No. 2174. *Proceedings of the United States Natural Museum* 52, 157-182.
- **Springett, JA; Gray, RAJ., 1992.** Effect of repeated low doses of biocides on the earthworm *Aporrectodea caliginosa* in laboratory culture. *Soil Biol Biochem* 24:1739–1744.
- **Stephenson, J., 1930.** The Oligochaeta. Clarendon press, Oxford University.

U

- **United Nation., 2013.** World Population Policies. United Nations publication Sales No. E.14.XIII.2. 47p.

V

- **Van Capelle, C; Schrader, S; Arpaia, S., 2016.** Selection of focal earthworm species as non-target soil organisms for environmental risk assessment of genetically modified plants. *Sci Total Environ* 548-549 : 360–369.
- **VoPham, T; Bertrand, K; Hart, JE; Laden, F; Brooks, MM; Yuan, J-M; Talbott,**

EO; Ruddell, D; Ho. Chang, CC; Weissfeld, JL., 2017. "Pesticide exposure and liver cancer: a review." *Cancer Causes & Control* 28(3): 177-190.

Y

- **Yesguer, S., 2015.** Evaluation de l'écotoxicité de certains pesticides sur les sols par l'utilisation d'un biotest: cas des lombricidés. mémoire de Magister. Université de Bejaia. 98 p.
- **Yesudhasan, BV; Jegathambigai, J; Thangasamy, PA; Lakshmanan, DD; Selvan Christyeaj, JR; Sathya Balasingh Thangapandi, EJ; Krishnan, M; Sivasubramaniam., 2013.** Unique phenotypes in the sperm of the earthworm *Eudrilus Eugeniae* for assessing radiation hazards. *Environ. Monit. Assess.* 185, 4745-4752.

Z

- **Zarea, MJ., 2010.** Conservation tillage and sustainable agriculture in semi-arid dryland farming. In: Lichtfouse E (Ed) *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture*, Springer Science+Business Media B.V., The Netherlands, pp 195-232.
- **Zarea, MJ; Karimi, N., 2011.** Effect of Herbicides on Earthworms *Dynamic Soil, Dynamic Plant* 6 (Special Issue 1), 5-13
- **Zeriri, I., 2014.** Toxicité potentielle d'un insecticide sur un invertébré de la famille des coelomates (55).
- **Zeriri, I; Tadjine, A; Belhaouchet, N; Berrebbah, H; Djebar, M; Baha, M., 2013.** Contribution to the identification of Oligochaeta: Lumbricidae in the region of Annaba in Eastern Algeria. *European Journal of Experimental Biology*, 2013, 3(6):229-232.
- **Zhou, CF; Wang, YJ; Li, CC; Sun, RJ; Yu, YC; Zhou, DM., 2013.** Subacute toxicity of copper and glyphosate and their interaction to earthworm (*Eisenia fetida*). *Environmental Pollution*, 180: 71-77.
- **Zirbes, L; C Mescher, M; Vrancken, V; Wathelet, JP; Thonart, PH; Haubruge, E., 2011.** Earthworms use odor cues to locate and feed on microorganisms in soil. *PLoS One*, 6, 219-227.

Résumé

Le travail que nous avons effectué a pour but d'évaluer les effets d'un herbicide le plus couramment utilisé en agriculture : le glyphosate, sur un modèle biologique faisant partie des Lumbricidae ; le ver de terre *Aporrectodea Caliginosa* considéré comme un bioindicateur de la pollution du sol. Plusieurs aspects ont été déterminés :

Identification des vers de terre : l'étude taxonomique des vers de terre dans les deux sites de collecte nous a révélé l'existence de 5 espèces : *Octodrilus complanatus*, *Aporrectodea molleri*, *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea Caliginosa* et *Eisenia foetida*

Test d'évitement : les vers de terre *A. Caliginosa* ont présenté des réponses d'évitement non significatives, en préférant le sol traité par le glyphosate où le pourcentage de vers migrant atteint 76,19 % à la concentration 11,81 mg/kg

Aspect toxicologique : après l'exposition des vers de terre aux différentes concentrations, à différents temps de traitement, le glyphosate a montré une faible toxicité à l'égard des adultes du ver *A. Caliginosa*. La détermination de la DL50 n'est pas possible car le glyphosate a provoqué une mortalité inférieure à la moitié de la population des vers de terre expérimentés.

La croissance : Le glyphosate inhibe significativement le taux de croissance des vers exposés, après 7 jours et 28 jours, aux concentrations de 11,8 ; 47,24 mg/kg et de 5,90 ; 11,81 mg/kg respectivement.

Mots clés : *Aporrectodea Caliginosa*, glyphosate, identification, comportement, toxicité, croissance.

Abstract

The purpose of the work we have done is to evaluate the effects of an herbicide most commonly used in agriculture: the glyphosate, on a biological model that is part of Lumbricidae; the earthworm *Aporrectodea Caliginosa*, considered as a bioindicator of soil pollution. Several aspects have been determined:

Identification of earthworms: the taxonomic study of earthworms in both collection sites revealed the existence of 5 species: *Octodrilus complanatus*, *Aporrectodea molleri*, *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea Caliginosa*, *Eisenia foetida*.

Avoidance test: earthworms *Aporrectodea Caliginosa*, presented insignificant avoidance responses, preferring glyphosate-treated soil where the percentage of migrating earthworms reached 76, 19 % at 11.81 mg / kg.

Toxicological aspect: after exposure of earthworms to different concentrations at different times of treatment, glyphosate has shown low toxicity to worm adults of *A. Caliginosa*.

The determination of DL50 is not possible because glyphosate caused less than half mortality of the experienced worm population.

Growth: Glyphosate significantly inhibited the growth rate of the treated worms, after 7 and 28 days, at 11.81, 47.24 mg / kg and at 5.90, 11.81 mg / kg respectively.

Key Word: *Aporrectodea Caliginosa*, glyphosate, identification, behaviour, toxicity, growth.

المخلص

يهدف العمل الذي قمنا به لتقييم آثار مبيد الأعشاب الأكثر استخداماً في الزراعة الغليفوسات على نموذج بيولوجي ينتمي إلى عائلة Lumbricidae; الدودة الأرضية *A. Caliginosa*, الذي يعتبر مؤشراً حيويًا لتلوث التربة. تم تحديد عدة جوانب:

التعرف على ديدان الأرض: أظهرت الدراسة التصنيفية لديدان الأرض في موقعي الجمع عن وجود 5 أنواع: *Octodrilus complanatus*, *Aporrectodea molleri*, *Aporrectodea rosea*, *Aporrectodea Caliginosa*, *Eisenia foetida*.

اختبار التجنب: قدمت ديدان الأرض استجابات تجنب ضئيلة مفضلة التربة المعالجة بالغليفوسات حيث تصل النسبة المئوية للديدان المهاجرة إلى 76,19% عند 11.81 مغ / كغ.

الجانب السمي: بعد تعرض ديدان الأرض لتراكيز مختلفة في أوقات مختلفة من العلاج، أظهر الغليفوسات سمية منخفضة للديدان البالغة. تحديد DL 50 غير ممكن لأن الغليفوسات تسبب في قتل أقل من نصف مجموع الديدان المستعملة.

النمو: قام الغليفوسات بتنشيط معتبر لنمو الديدان المعرضة للغليفوسات بعد 7 أيام و 28 يوماً عند 11.81؛ 47.24 مغ / كغ وعند 5.90؛ 11.81 مغ / كغ على التوالي.

الكلمات المفتاحية: *Aporrectodea Caliginosa*, الغليفوسات، التعرف، السلوك، السمية، النمو