



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

Filière: Sciences biologiques

Option: Ecophysiologie animale

Thème :

Effet de la pollution sur les oligochètes terrestres (cas de la mine de l'Oueunza).

Présenté par :

BARHOUM Dalal

BOUGUessa Linda

Devant le jury :

DJELLAB Sihem

MCB

Président

BOUAZDIA Karim

MAA

Rapporteur

YAHIA Hada

MAA

Examinatrice

Date de soutenance : 30/05/2018

26/05/2018

Résumé :

Notre travail a pour but d'évaluer les effets du minerai sur une espèce bioindicatrice de pollution du sol, le vers *A. caliginosa*. Plusieurs aspects ont été déterminés :

Aspect toxicologique : a permis d'établir les concentrations létales, après différents temps de traitement. Le minerai a montré une toxicité à l'égard des adultes de *A. caliginosa* avec une relation dose réponse. Les CL50 après 14 et 28 jours sont de l'ordre de 547,00% (225,4 ; 1325,48) et 2992,13% (1234,80 ; 7250,41) respectivement alors que les CL90 sont 98,03% (84,80 ; 113,3) 133,45% (115,45 ; 154,26) respectivement.

La croissance : Le minerai inhibe de manière significative la croissance des vers de terre *A. Caliginosa* avec un taux de croissance minimal de l'ordre de 0,7%.

Test d'évitement : Le minerai a un effet significatif sur le comportement d'évitement des vers de terre où le pourcentage de vers migrant vers le sol témoin augmente avec l'augmentation de la concentration du contaminant atteignant un maximum de 86,67% à 100% de minerai.

Mots clés : pollution, *Aporrectodea caliginosa*, minerai, comportement, toxicité, croissance.

ويهدف عملنا لتقييم آثار خام على الأنواع مؤشرات بيولوجية للتلوث التربة، إلى *A. caliginosa*. تم تحديد عدة جوانب: الجانب السمي: إنشاء تركيزات مميتة بعد أوقات العلاج المختلفة. أظهر الخام سمية للبالغين من *A. caliginosa* مع علاقة الاستجابة للجرعة LC50 بعد 14 و 28 يوما ومن أجل من 547، 00% (4،225؛ 48،1325) 2992.13 و% (1234.80، 7250.41) على التوالي، في حين LC90 هم 98، 03% (84.80)، 133.45 (113.3% 115.45)؛ (154.26) على التوالي. النمو: إن الركاز يثبط بشكل كبير نمو الديدان *A. caliginosa* مع معدل نمو أدنى يبلغ حوالي 0.7%. اختبار تجنب: خام له تأثير كبير على ديدان الأرض سلوك التهرب حيث بلغت نسبة المهاجرة للسيطرة على الزيادات التربة مع زيادة تركيز الملوثات بلغ حدا أقصى قدره 86.67% ل خام 100%.

The purpose of our work is to evaluate the effects of the ore on a bioindicator of soil pollution, *A. caliginosa* worm. Several aspects have been determined

Toxicological aspect: established lethal concentrations after different treatment times. The ore showed toxicity to adults of *A. caliginosa* with a dose response relationship. The LC50 values after 14 and 28 days are of the order of 547.00% (225.4, 1325.48) and 2992.13% (1234.80, 7250.41) respectively while the CL90s are 98.0%. (84.80, 113.3) 133.45% (115.45; 154.26) respectively.

Growth: The ore significantly inhibits the growth of *A. caliginosa* worms with a minimum growth rate of around 0.7%

Avoidance test: The ore has a significant effect on the avoidance behavior of earthworms where the percentage of worms migrating to the control soil increases with the increase of the contaminant concentration reaching a maximum of 86.67%. 100% ore

المخلص

يهدف عملنا لتقييم أثار المعادن على مؤشرات بيولوجية لتلوث التربة، A . Caliginosa تم تحديد عدة جوانب:

-اختبار السلوك: المعادن لها تأثير كبير على ديدان الأرض حيث زادت نسبة الديدان المهاجرة إلى التربة النقية مع زيادة تركيز الملوثات وبلغت حد أقصى قدره 86.67% تحت تأثير لتركيز 100% من المعادن.

-الجانب السمي: تحصلنا على التركيز المميتة بعد أوقات مختلفة من العلاج.

أبدت المعادن سمية لدى الدود A.CALIGINASA بعلاقة تركيز إجابة المميتة CL50 بعد 14 و 28 يوم هي 547.00% (225.4 , 1325,48) و 2992.13% (7 1234.80 , 250.41) على التوالي. أما فيما يخص CL 90 فهي تساوي 98.03% (84.80 , 133.3) (155.45 , 154.26) على التوالي.

-التأثير على الشكل: لاحظنا أن الديدان المعالجة بأعلى تركيز تبدي لونا مختلف مقارنة مع الديدان الغير معالجة.

النمو: أن المعادن تثبط بشكل كبير نمو الديدان A.Caliginosa مع نمو أدنى يبلغ حوالي 0.7%.

الكلمات المفتاحية: التلوث Aporrectodea caliginosa معادن. السلوك. السمية. النمو.

Abstract

The purpose of our work is to evaluate the effects of the ore on a bioindicator of soil pollution, the earthworm *A.caliginosa*. Several aspects have been determined:

Avoidance test: The ore has a significant effect on the avoidance behavior of earthworms where the percentage of worms migrating to the control soil increases with the increase of the contaminant concentration reaching a maximum of 86.67% at the concentration 100% .

Toxicological aspect: established lethal concentrations after different treatment times. The ore showed toxicity to adults of *A.caliginosa* with a dose response relationship. The LC50 values after 14 and 28 days are of the order of 547.00% (225.4, 1325.48) and 2992.13% (1234.80, 7250.41) respectively while the CL90s are 98.0%. (84.80, 113.3) 133.45% (115.45; 154.26) respectively.

Morphologie :earthworm pigmentation was modified under the highest concentration of the ore ,suggesting to lermee of *A. caliginosa* to the presence of the contaminant.

Growth: The ore significantly inhibits the growth of *A. caliginosa* worms with a minimum growth rate of around 0.7%.

Key words: pollution, *Aporrectodea caliginosa*, ore, behavior, toxicity, growth.



Remerciements

Nous tenons d'abord à remercier le tout puissant, Allah, le Clément et le miséricordieux, de nous avoir donné la clair voyance et La persévérance, pour mener à terme ce travail, prière et salut sur Notre prophète MOHAMED.

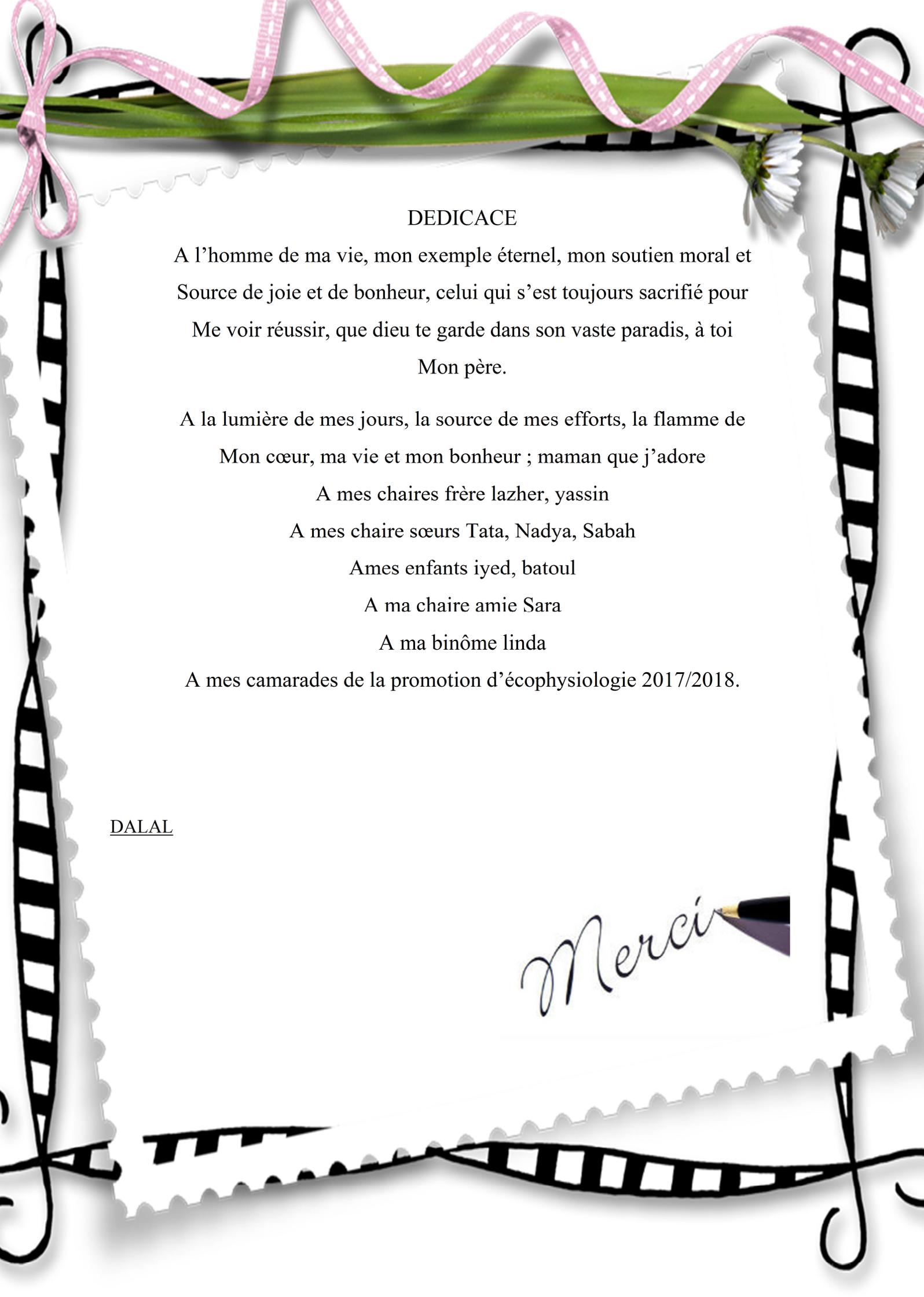
*Mon premier pensé va tout naturellement à mon encadreur " **Bouazdia Karim**" Je profite de l'occasion qui m'est offerte pour adresser mes vifs remerciements pour sa disponibilité et son souci constant pour que ce mémoire se passe dans les meilleures Conditions possibles.*

*J'adresse mes sincères remerciements aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail. Je voudrais remercier " **Me DJELLAB.S**" qui m'a honoré d'avoir accepté de présider le jury. Je remercie également " **Me Yahia H** " qui a accepté d'examiner ce travail.*

J'adresse aussi mes sincères remerciements à tous les enseignants du Département des êtres vivants.

Je tiens particulièrement à remercier les membres de laboratoire de Biologie

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près Ou de loin à la réalisation de ce travail.



DEDICACE

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et
Source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour
Me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi
Mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de
Mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore

A mes chaires frère lazher, yassin

A mes chaire sœurs Tata, Nadya, Sabah

Ames enfants iyed, batoul

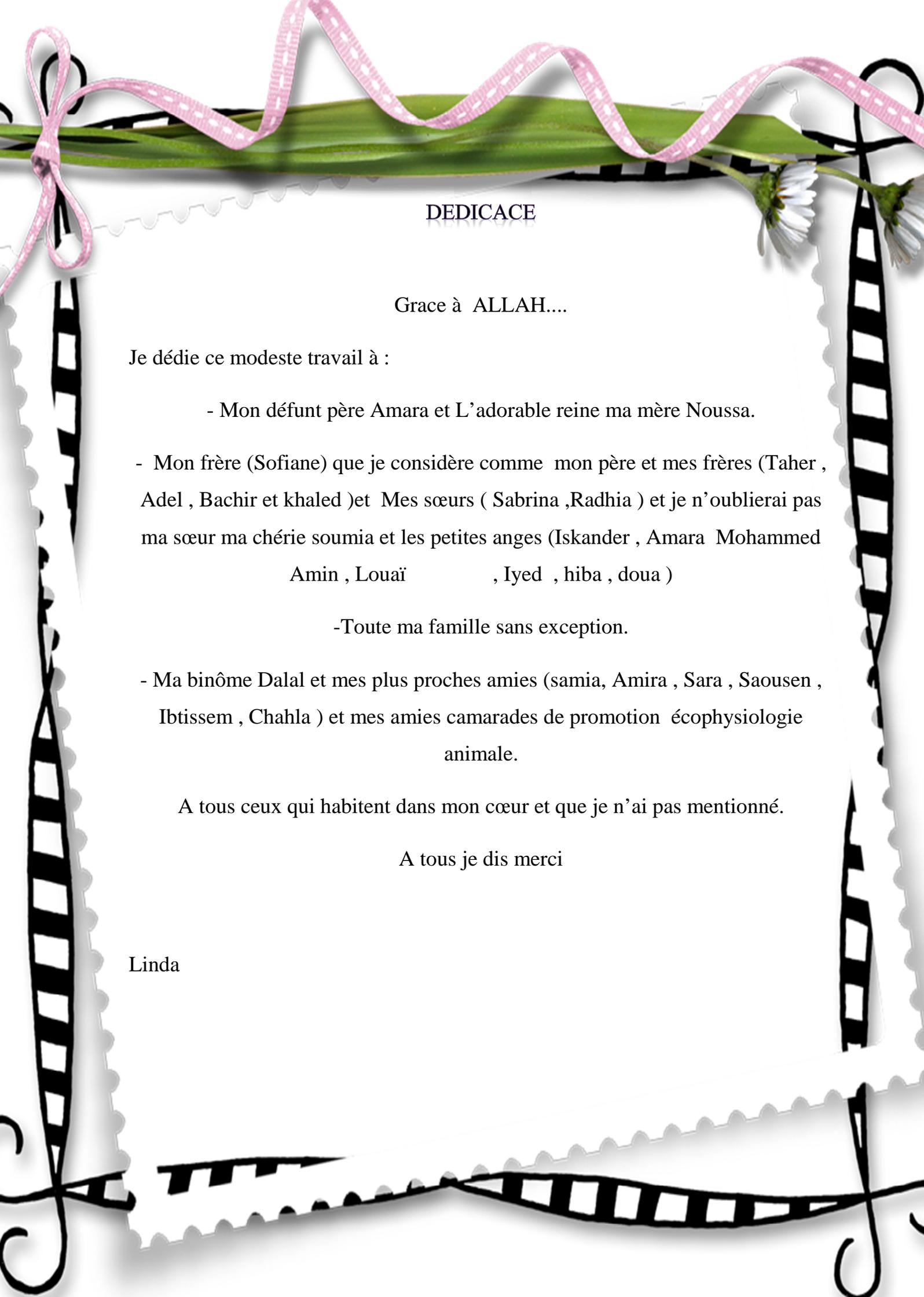
A ma chaire amie Sara

A ma binôme linda

A mes camarades de la promotion d'écophysiologie 2017/2018.

DALAL

Merci 



DEDICACE

Grace à ALLAH....

Je dédie ce modeste travail à :

- Mon défunt père Amara et L'adorable reine ma mère Noussa.
- Mon frère (Sofiane) que je considère comme mon père et mes frères (Taher , Adel , Bachir et khaled)et Mes sœurs (Sabrina ,Radhia) et je n'oublierai pas ma sœur ma chérie soumia et les petites anges (Iskander , Amara Mohammed Amin , Louaï , Iyed , hiba , doua)
- Toute ma famille sans exception.
- Ma binôme Dalal et mes plus proches amies (samia, Amira , Sara , Saousen , Ibtissem , Chahla) et mes amies camarades de promotion écophysiologie animale.

A tous ceux qui habitent dans mon cœur et que je n'ai pas mentionné.

A tous je dis merci

Linda

Table de matières

Table des matières	
Résumés	
ملخص	
Abstract	
Remerciement	
Dédicace	
Table de matière	
Liste des tableaux	
Listes des figures	
Liste des abréviations	
Chapitre I : Introduction	
Chapitre II. Matériel et Méthodes	
I. Matériel :	03
I.1 materiel biologique	03
I.1.1 Généralités	03
I.2 Aperçu morphologique d'un vers de terre :	04
I. 2.1- Le prostomium	05
I.2.2- Le metastomium (soma)	05
I.2.2.1- La zone antérieure (anté-clitélienne)	05
I.2.2.2- Le clitellum	05
I.2.2.3- La zone post-clitélienne	05
I.2.3- Le pygidium	05
I.3 Anatomie interne :	06
I.3.1. Le système nerveux :	06
I.3.2- Le système circulatoire:	06
I.3.3. Le tube digestif:	07
I.3.4- Le système respiratoire :	07
I.3.5- Système d'excrétion:	07
I.3.6- Système de reproduction :	07
I.4 Classification écologique des vers de terre	08
I.5. Le cycle de vie :	09

Table de matières

I.6. Utilisation du ver de terre comme bio-indicateur :	09
I.3Le minerai :	10
I.3.1 Définition	10
I.3.2Généralités sur la production minière en Algérie :	11
II. Méthode	12
II.1 Conditions expérimentales:	12
II.2 . Préparation du sol artificiel :	12
II.3 Test de comportement :	12
II.4 . Essai de toxicité aiguë	13
II.4.1. Tests de toxicité	13
II.4.2. Mortalité observée	14
II.4.3 . Mortalité corrigée	14
II.4.5 . Transformation angulaire	15
II.4.6. Analyse des probits	15
II.4.7. Intervalle de confiance	15
II.5 . Inhibition de croissance	15
II.6 Analyse statistique :	16
Chapitre III. Résultats	
1. Test d'évitement des vers de terre	17
2. Toxicité du minerai	17
2.1. Sensibilité aux différentes concentrations du minerai	17
2.2. Evaluation des concentrations létales CL50 et CL90	18
3. effet sur la morphologie	19
4. Inhibition de la croissance	20
Chapitre IV. Discussion	
1. Effets sur le comportement	21

Table de matières

2. Toxicité	22
3. effet sur la morphologie	23
4.Effet de minerai sur la croissance	23
Conclusion	24
Références bibliographiques	25 - 32

Liste des tableaux

<i>Tableaux</i> <i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
01	Classification des trois catégories des vers de terre	8
02	Effet des concentrations croissantes du minerai sur le taux de mortalité observée de <i>A. Caliginosa</i> à différents temps d'exposition ($m \pm s$, $n=3$).	18
03	Toxicité du minerai. Classement des concentrations à différents temps d'exposition.	18
04	concentrations létales (CL50 et CL90) en % de minerai et leurs intervalles de confiance après 7, 14, 21 et 28 jours d'exposition.	19
05	les différents paramètres statistiques relatifs à l'analyse des probits.	19

Liste des figures

Figures N°	Titre	Page
01	Les différents types de prostomium	05
02	Morphologie d'un ver de terre	05
03	Système nerveux des vers de terre	06
04	Coupe transversale d'un ver de terre	07
05	Coupe transversale d'un ver de terre	08
06	Les zones où vivent les trois grands groupes de vers de terre.	09
07	L'accouplement du vers de terre et la formation du cocon	09
08	Ver de terre l'espèce <i>Aporrectodea caliginosa</i>	10
09	Photo représentant le gisement ferrifère de l'Ouenza 19/01/2018	11
10	Les constituants du sol artificiel	12
11	Schéma du test comportemental de la réaction d'évitement des vers	13
12	Protocole du test de toxicité du minerai vis-à-vis des vers <i>A. Caliginosa</i>	14
13	Distribution des vers adultes d' <i>A. Caliginosa</i> entre le sol artificiel témoin et le sol contaminé par le minerai à différentes concentrations ($m \pm s$; $n=3$)	17
14	Aspect des vers exposés au minerai à la concentration 100%	19
15	Effet du minerai à différentes concentrations sur le taux de croissance des vers de terre <i>A. Caliginosa</i> en fonction du temps	20

Liste des abréviations

LES ABREVIATIONS

CaCO₃: Carbonate de Calcium

C : carbone

CL50: Concentration Létale 50

CL90: Concentration Létale 90

Cu : cuivre

cm : centimètres

h: heure

IC: Intervalle de Confiance

g : gramme

Kg : kilogramme

mm : millimètre

N₂ :gaz d'azote

O₂ :oxygene

P :phosphore

S : soufre

µm : Micromètre

Zn : zinc

Introduction

Introduction

Introduction

Les phénomènes de pollution ont pris une importance de plus en plus grande aux plans environnementaux, sanitaires, économiques et politiques. La pollution entraîne des perturbations au niveau biotiques (faune et flore) et des compartiments abiotiques fondamentaux (eaux, sols, atmosphère).

La plupart des composantes de l'environnement peuvent être affectées lors de la réalisation des activités reliées à un projet minier. L'eau, le sol, l'air, la végétation, la faune et le paysage seront touchés avec plus ou moins d'impact selon la dimension du site. Le gisement ferrifère de la région de l'Ouenza est un exemple. Cette mine est la plus grande d'Algérie avec une réserve de 120 millions de tonnes de minerai d'une teneur de 55% en moyenne de fer.

Les écosystèmes terrestres comportent une variété immense d'organismes vivants. Ces derniers remplissent des fonctions écologiques essentielles. Le sol est caractérisé par différents facteurs microbiologiques, physiques, chimiques et mécaniques, il est donc le support d'une activité biologique intense. En effet, l'activité humaine produit de nombreux polluants de nature différente, qui résulte par conséquent plusieurs types de pollutions : physiques, chimiques et biologiques. La pollution du sol a comme origine principale : les activités agricoles via les engrais, les fertilisants et les pesticides (Frenske *et al.* 2002).

La recherche d'outils de surveillance de la qualité des écosystèmes et la mise au point de méthodes d'évaluation du risque environnemental mobilisent d'intenses efforts de la part d'une large communauté scientifique depuis les dernières décennies (Guerlet, 2010). Les méthodes d'analyses physico-chimiques, bien que toujours plus performantes, atteignent leurs limites en tant qu'outils d'aide à la gestion environnementale, car elles ne prennent généralement pas en compte la notion de spéciation ou de biodisponibilité des polluants. Il est donc apparu nécessaire de compléter ces mesures par des données biologiques permettant d'évaluer l'effet potentiel global des substances présentes dans le milieu vivant (Ladhar-Chaabouni *et al.*, 2009).

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 bioindicateurs, 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). Les bioindicateurs sont définis comme espèces ou groupes

Introduction

d'espèces qui, par leur présence et/ou leur abondance, sont significatifs d'une ou de plusieurs propriétés de l'écosystème dont ils font partie (Guelorget et Perthuisot, 1984). D'innombrables travaux ont été publiés sur l'emploi de bioindicateurs tels que les espèces bioaccumulatrices destinées à évaluer la qualité des milieux naturels. En effet, l'accumulation de certains polluants par les organismes bioaccumulateurs facilite leur mise en évidence et leur quantification par des méthodes chimiques et/ou physiques. De plus, les espèces bioaccumulatrices retenues comme bioindicatrices 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 organismes de la faune terrestre, les invertébrés sont utilisés comme bioindicateurs de pollution. Il en est ainsi des mollusques bivalves et des gastéropodes terrestres et aquatiques, certains arthropodes (les crustacés), et les annélides (Polychètes, Achètes) et surtout les oligochètes (Beeby, 2001) objet de notre étude.

Au cours des deux dernières décennies, les problématiques de sols contaminés et de déchets solides ont connu une hausse dans l'ensemble des pays industrialisés, entraînant un besoin d'élaboration de méthodes de caractérisation toxicologique plus performantes. Les invertébrés du sol sont considérés comme de bons indicateurs de la qualité du sol (Lokke & Van Gestel, 1998) et certains d'entre eux, particulièrement les vers de terre, présentent un intérêt particulier, car ils peuvent être exposés aux contaminants par différentes voies (phase aqueuse, phase vapeur et ingestion de la phase solide). Certaines espèces sont ubiquistes et représentatives de la faune indigène tout en étant faciles à élever en laboratoire.

Ces 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 (Hopkin, 1993; Kammenga *et al.* 2000).

Dans ce contexte, notre 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 *Apporctodea caliginosa* choisie comme modèle d'étude en raison de leur bénéfique rôle dans le sol, à l'impact du minerai obtenu du site minier de l'Ouenza. L'objectif de ce travail est l'évaluation de la toxicité globale, la croissance et le comportement d'évitement des vers de terre vis à vis de ce polluant.

Matériels
Et
méthodes

I. Matériel :

I.1 matériel biologique

I.1.1 Généralité

Depuis plusieurs décennies, l'étude du monde vivant du sol a pris de plus en plus d'importance, car plusieurs centaines d'années en arrière le philosophe grec Aristote respectait les vers de terre en tant qu'améliorateurs et garants de la fertilité du sol et les avait surnommé "intestins de la terre" (Charles Darwin., 1809-1882).

Les Lombriciens font partie des animaux terrestres les plus anciens. Ils sont omniprésents dans tous les sols capables de soutenir les plantes. Ils se reproduisent partout, mais rarement dans les déserts, lieux constamment enneigés, les sommets des montagnes et les zones manquant presque ou entièrement en sol et végétation. Ils constituent un composant important de la communauté invertébrée dans la plupart des sols, où ils peuvent dominer l'ensemble de la macrofaune du sol sur le plan densité et biomasse souterraine globale. Ils peuvent atteindre respectivement 1 million d'individus à l'hectare et 2 tonnes par hectare (Lavelle., 1983). Dans les forêts tropicales, les Lombriciens représentent environ 50% de la biomasse de la macrofaune du sol (Fragoso et Lavelle., 1992).

Les vers de terre sont des organismes communs dans le sol et jouent un rôle important au niveau de l'écosystème terrestre en tant que décomposeurs (Edwards et Bohlen., 1996). Ils jouent en effet un rôle essentiel dans la décomposition de la matière organique du sol mais également dans la structuration (agrégats) et dans l'aération du sol en creusant des galeries (Bartlett et *al.*, 2010). Ils ont un rôle important dans la chaîne alimentaire car ils sont une source d'alimentation pour les niveaux trophiques supérieurs.

En 1994, plus de 3600 espèces de vers de terre avaient été recensées dans le monde, auxquelles s'ajoutaient plus de soixante nouvelles espèces chaque année (Pelosi., 2008).

Mais, L'inventaire systématique et la répartition des vers de terre en Algérie sont encore mal connus (Baha et *al.*, 2001 ; Omodeo et *al.*, 2003 ; Kherbouche et *al.*, 2012 ; Zeriri et *al.*, 2013). Par contre, dans la plupart des pays du pourtour méditerranéen, ce travail de base a déjà été effectué.

Les vers de terre sont les premiers récepteurs touchés par la contamination, soit par voie cutanée soit par ingestion. Ils sont plus sensibles aux polluants environnementaux, tels que les métaux lourds et les pesticides que d'autres groupes d'invertébrés (Stürzenbaum et *al.* 1998 ; Xiao et *al.* 2006). Ils sont la proie commune de beaucoup d'espèces vertébrées telles que des oiseaux et des musaraignes et par conséquent, la bioaccumulation de contaminants chimiques

par les vers de terre implique le risque de transfert des polluants vers les niveaux trophiques supérieurs (Marino et *al.* 1992). Ils jouent donc un rôle principal dans le processus de biomagnification de plusieurs polluants du sol et en l'occurrence des effets indirects sur les vertébrés terrestres (Dell'Omo et *al.* 1999). Même si la bioaccumulation des pesticides dans les vers de terre ne peut conduire à des effets significatifs sur l'animal lui-même, elle peut produire des dommages graves à des niveaux trophiques. Les vers de terre ont fait l'objet de nombreuses études tant sur un plan écologique (dénombrement, reproduction, taux de survie...) (Capowiez et *al.* 2003 ; Mosleh et *al.* 2003 ; Ammer et *al.* 2006) qu'en tant que bioindicateurs de la qualité d'un sol (Pattison et *al.* 2008 ; Suthar et *al.* 2008). Enfin, les oligochètes terrestres s'avèrent être également un groupe largement utilisé pour le suivi écotoxicologique de la pollution d'un sol par l'analyse de biomarqueurs enzymatiques et des perturbations de leur état physiologique (Reinecke et *al.*, 2007 ; Brulle et *al.*, 2008a ; Bonnard et *al.*, 2009).

I.2 Aperçu morphologique d'un vers de terre :

Les informations sur la biologie, morphologie et terminologie des oligochètes sont inscrites dans plusieurs recherches telles que celles de Stephenson (1930), Lee (1959), Gates (1972), Reynolds (1977), Sims et Gerard (1999), Blakemore (1994) et Lavelle et Spain (2001).

D'après Lavelle et Spain (2001), les vers de terre sont des animaux qui appartiennent à la 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.

Le corps des vers de terre est donc annelé, composé d'anneaux. Le premier segment est appelé "Prostomium", le second "Peristomium" et le dernier "Pygidium" (Sims et Gerard, 1999).

Comme tous les Oligochètes terrestres les vers de terre n'ont ni yeux, ni tête distincte. Cependant, ils possèdent une forte densité de cellules sensorielles. La région antérieure est plus effilée et porte la bouche; alors que la région postérieure, parfois plus renflée et légèrement aplatie, porte l'anus. D'une manière générale, le corps est composé des parties suivantes :

Matériel et méthodes

I.2.1- Le prostomium : Partie la plus antérieure, située immédiatement en avant de la bouche. Ce n'est pas un véritable segment (métamère) et il ne possède ni soies ni cavité coelomique, il est plus ou moins fusionné avec le péristomium.

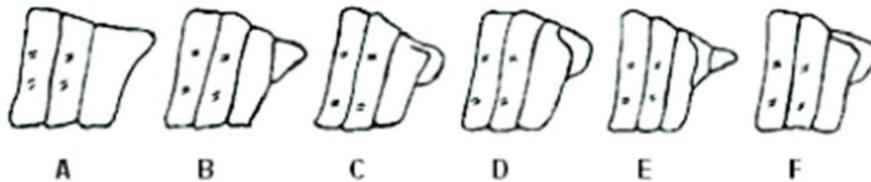


Figure 1 : Les différents types de prostomium (Bouché, 1972).
Prostomiums : zygolobique (A), prolobique (B), épilobique ouvert (C), épilobique fermé (D), subdivisé (E) et tanylobique (F)

I.2.2- 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.

I.2.2.1- 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.

I.2.2.2- Le clitellum : Il est sous forme d'un fer à cheval à annulaire chez quelques familles, il sécrète un cocon qui reçoit les œufs et les spermatozoïdes en période de reproduction.

I.2.2.3- 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.

I.2.3- Le pygidium : Il ne comporte pas de cavité coelomique, donc n'est pas considéré comme un métamère. Il entoure l'anus.

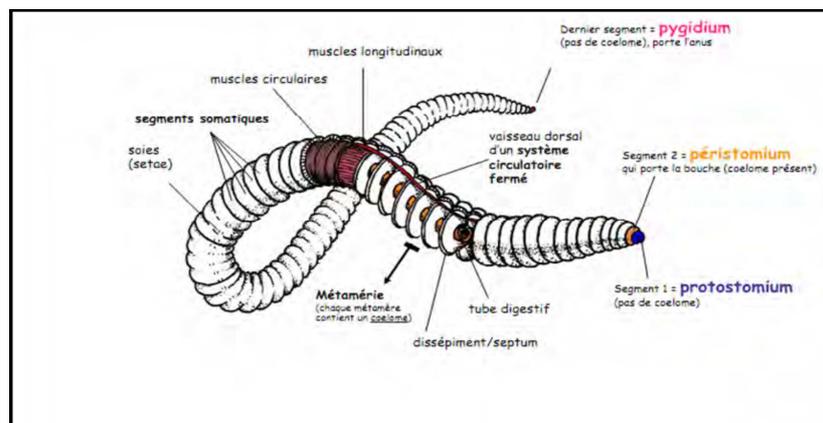


Figure 2 : Morphologie d'un ver de terre (d'après Sims et Gerard, 1999)

I.3 Anatomie interne :

Les vers de terre appartiennent au groupe des coelomates triploblastiques protostomiens. Ce sont des animaux typiquement métamérisés, à symétrie bilatérale. Ils possèdent des cavités coelomiques métamérisées. Ces dernières sont homonomes, c'est-à-dire régulières avec répétition des néphridies et des ganglions et remplie de fluide : le coelome.

La physiologie des Lombriciens a été largement décrite par Laverack (1963), Edwards et Lofty (1977), et Tomlin (1980). 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.

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.

I.3.1. Le système nerveux :

Est formé d'une chaîne nerveuse ventrale et d'un simple Ganglion cérébroïde qui produit des neurosécrétions fondamentales pour la reproduction.

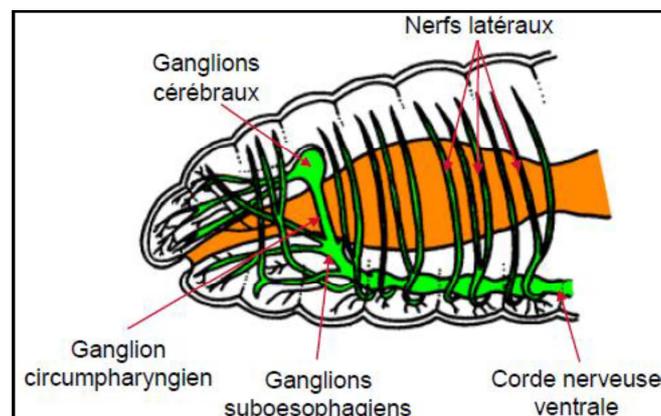


Figure 3: Système nerveux des vers de terre (MORIN et HOUSEMAN, 2002)

I.3.2- Le système circulatoire:

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.

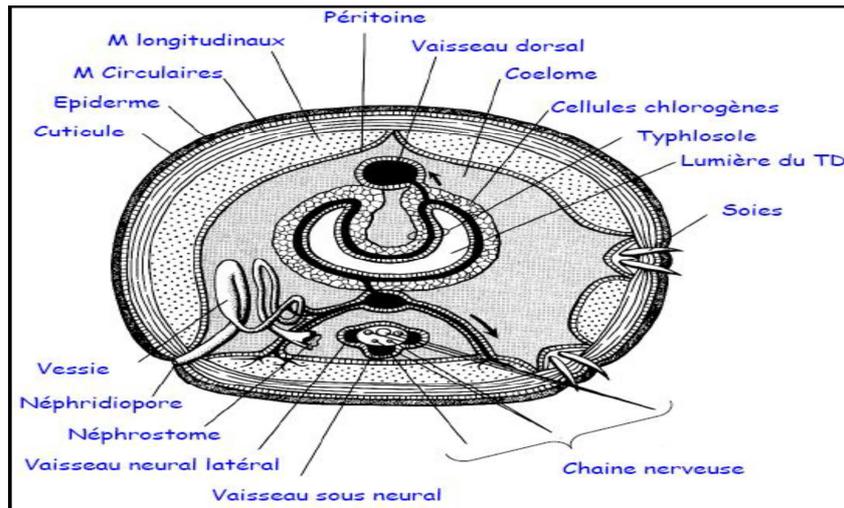


Figure 4: Coupe transversale d'un ver de terre (Gauer, 2007)

I.3.3. 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).

I.3.4- 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.

I.3.5- Système d'excrétion:

Il 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).

I.3.6- Système de reproduction :

La majorité des espèces se reproduisent sexuellement en étant hermaphrodites protandres (Les vers sont mâles avant de devenir femelle). Lors de l'accouplement, les vers de terre échangent des spermatozoïdes (fécondation croisée) (Vigot et Cluzeau, 2014), Les vers de terre produisent des cocons qui contiennent 1 à 7 embryons selon les espèces. Les épigés produisent une centaine de cocons et 300 descendants par an, tandis que les anéciques ne

Matériel et méthodes

produisent qu'une douzaine de cocons et une quinzaine de descendants par an (Vigot&Cluzeau, 2014).

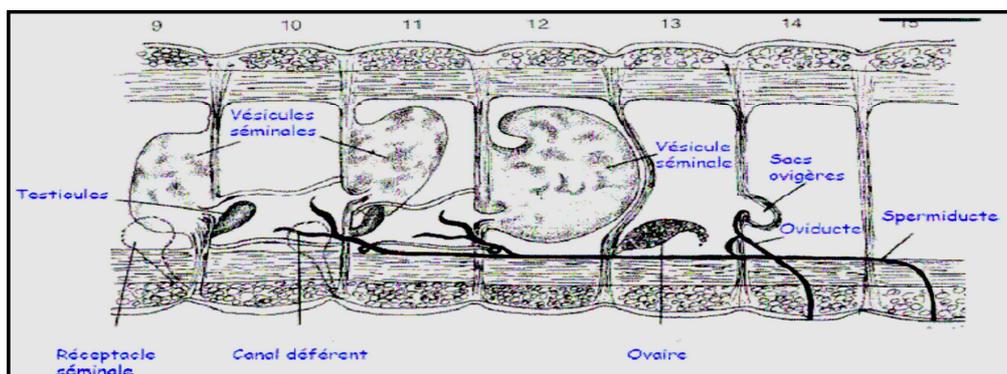


Figure 5 : Les organes reproducteurs (GAUER., 2007)

I.4 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 (tab 1. ; fig 6.).

Tableau 1 : classification des trois catégories des vers de terre

Classe	Description et rôle
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 (Bouché, 1977 ; Lee, 1985).
Les endogées	sont des vers dépigmentés, sans couleurs ou très pâles, de taille variable (1 à 20 cm), vivant généralement dans les premiers centimètres de sol où ils construisent des galeries d'orientation quelconque (Bouché, 1977).
Les anéciques	sont de couleur brune, de taille moyenne à géante (10 à 110 cm), ce sont ceux qu'on appelle les "lombrics". 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 (Bouché, 1977)

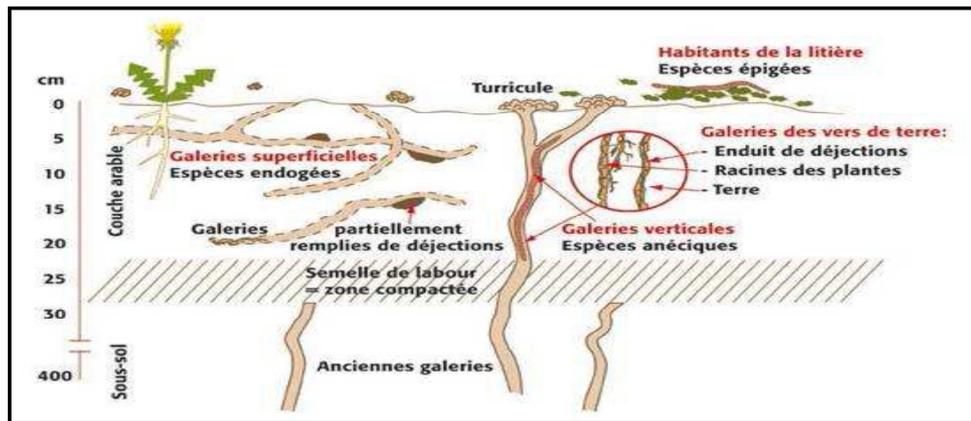


Figure 6 : Les zones où vivent les trois grands groupes de vers de terre.

I.5. Le cycle de vie :

Le cycle de vie dépend des espèces et des conditions climatiques. La durée de vie varie de 3 mois pour les épigés à 5-8 ans pour les anéciques et endogés. Ainsi, le temps de génération est plus rapide pour les épigés (vitesse de recolonisation la plus rapide : 1 à 2 ans) que pour les anéciques et endogés (5 à 7 ans) (Vigot&Cluzeau, 2014).

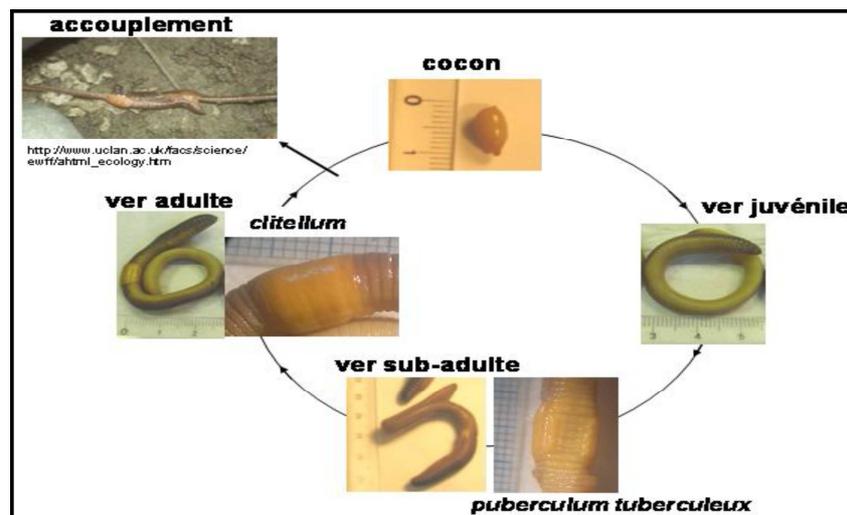


Figure 7 : L'accouplement du ver de terre et la formation du cocon (Pelosi, 2008).

I.6. Utilisation du ver de terre comme bio-indicateur :

En plus de leur vaste distribution et de leur importance écologique, plusieurs éléments font du ver de terre un bon candidat pour l'étude de la contamination de l'écosystème terrestre. Cet organisme est en effet en contact direct et constant avec le sol. La surface externe de son épiderme est très vascularisée, ce qui permet une entrée directe des contaminants présents dans le milieu, lors d'un processus très semblable à l'absorption pulmonaire chez les organismes supérieurs. Son mode alimentaire fournit également une autre porte d'entrée aux

Matériel et méthodes

contaminants via l'ingestion de particules de sol (Lanno et *al.*, 2004). Ces animaux peuvent donc être contaminés par des éléments exogènes suite à une exposition cutanée ou par ingestion (Vijver et *al.*, 2003). Plusieurs études ont démontré que les vers bioaccumulent et bioconcentrent les contaminants (Hopkin., 1989).

Les vers de terre utilisés dans cette étude appartiennent à l'espèce *Aporrectodea caliginosa*, généralement trouvée en abondance dans la région de Tébessa (Bouazdia&Habes, 2017). Les vers ont un poids compris entre à 0,3 et 0,6 mg.

La position systématique d'*A. caliginosa* selon la dernière classification d'après la source d'inventaire national du patrimoine naturel 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 8: Vers de terre *Aporrectodea caliginosa*.(photo personnelle)

I.3Le minerai :

I.3.1 Définition :

Le minerai est une combinaison d'un métal ou plusieurs métaux avec d'autres éléments tels que P, C, S, N₂, O₂...en plus il contient de l'eau d'hydratation, le minerai est une

substance minérale qui baigne dans une substance stérile appelée gangue (Chaussin et Hilly, 1999). Les minerais qu'on rencontre dans la nature sont sous forme d'oxyde(Fe_2O_3), carbonates (CaCO_3),sulfure(PbS)ou silicates($\text{Al}_2(\text{SiO}_4)$). La possibilité d'exploitation économique d'un minerai dépend de la teneur du métal de base,de l'abondance ou de la rareté du métal(Bensaada, 2009).

I.3.2 Généralités sur la production minière en Algérie :

Avant l'indépendance (1962),l'activité minière en Algérie était orientée principalement vers l'exploitation des gisements de Fer et de Plomb-Zinc.Entre les deux guerres mondiales, l'Algérie était un producteur important de minerai de fer dans le monde, sa production a contribué à la prospérité des industries de transformation de plusieurs pays européens, en particulier la France, la Grande-Bretagne et l'Allemagne (Taleb, 2012).

Depuis la création de la société minière d'état et de la prospection, (SONAREM), en 1967, certains minerais ayant une haute teneur en minéraux de fer,de phosphate, de mercure,et de zinc, (DMEM,2010).

La production du minerai de fer réalisée à partir de cinq mines de fer, dont quatre sont localisées à l'Est et une au Centre du pays (GTZ ,2001). Parmi ces mines figure le complexe minier de djebel l'Ouenza (fig 9.). La principale activité de la société est la production du produit marchand de ce minerai et leurs commercialisations par chemin de fer vers le complexe sidérurgique d'El Hadjar de la Wilaya de Annaba. La mine d'el Ouenza (fig9) est la plus grande mine d'Algérie avec une réserve de 120 millions de tonnes de minerai d'une teneur de 55% en moyenne. C'est une unité de production de EN FERPHOS (entreprise nationale du fer et du phosphate) créée par le décret 82-448 du 16juillet 1983(CHAIN, 2006).



Figure 9 : Photo représentant le gisement ferrifère de l'Ouenza 19/01/2018(photo personnelle)

II. Méthode

II.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 :

***Photopériodes** : 12 h de lumière / 12 h d'obscurité

***Température** $20,3 \pm 1,52^{\circ}\text{C}$;

***Le pH** : ajusté sur $6,0 \pm 0,5$

***L'humidité** : de $37,60 \pm 7,69$ %

***Boîtes en plastique** : de dimension ($26 \times 16,5 \times 12$ cm) (Heimbach., 1984).

II.2 . Préparation du sol artificiel :

Dans cet essai, on utilise un sol artificiel (fig10) composé comme suit :

- ✓ 70% de sable (selon la quantité de CaCO_3 nécessaire) séché à l'air, composé en Majorité de sable fin (plus de 50% des particules mesurent entre 50 et 200 μm).
- ✓ 20% d'argile (taux de kaolinite de préférence supérieur à 30%).
- ✓ 10% de tourbe (pH aussi proche que possible de 5,5-6,0, pas de résidus visibles de plantes, finement broyée, séchée jusqu'à atteindre un taux d'humidité donné).
- ✓ 0,3 à 1,0% de carbonate de calcium pour obtenir un pH initial de $6,0 \pm 0,5$. (SETAC., 1998; ISO., 1996).
- ✓ $\leq 1\%$ de fumier (OCDE., 2010).

Selon Heimbach, (1984) on remplace le fumier chaque semaine.

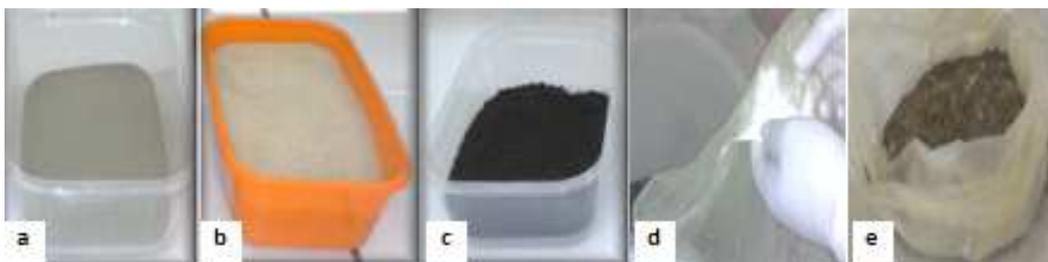


Figure10 :Les constituants du sol artificiel : (a) argile (b) sable (c) tourbe (d) carbonate de calcium CaCO_3 (e) fumier. (photo personnelle)

II.3 Test de comportement :

L'essai d'évitement (fig. 11) 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 A) et l'autre moitié 500 g de sol contaminé (section B). Le sol de la section B est préparé selon la

Matériel et méthodes

concentration choisie. Après avoir enlevé le séparateur, 10 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 leur tête est dirigée (Loureiro et al., 2005).

Parmi les critères de validation de ce test figure la non mortalité des vers (Hund-Rinke & Wiechering, 2001).

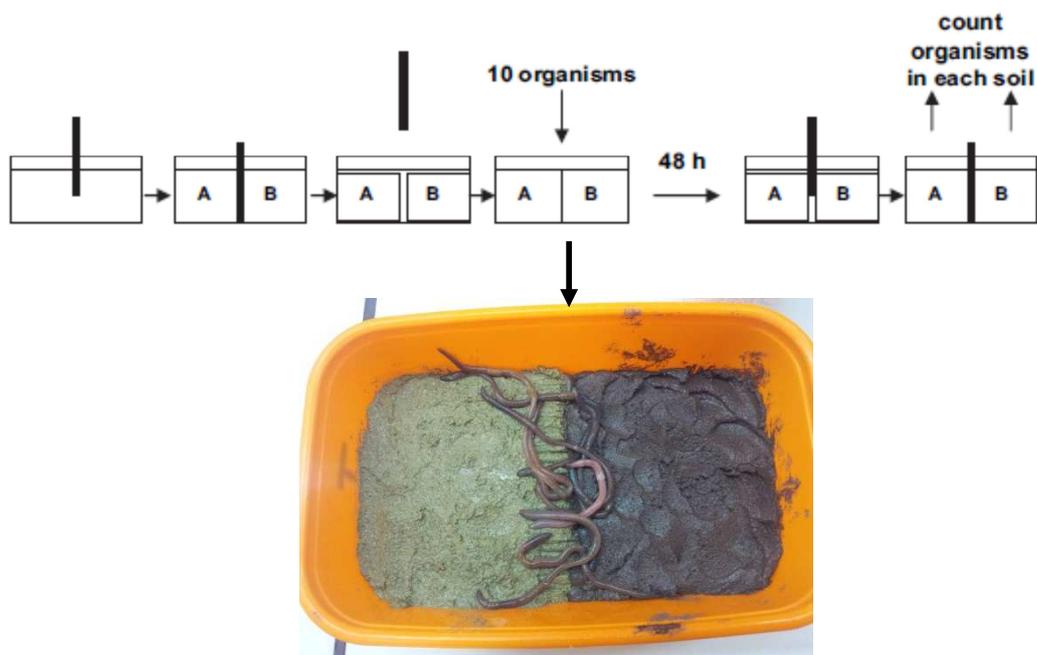


Figure 11 : Schéma du test comportemental de la réaction d'évitement des vers(photo personnelle)

II.4 . Essai de toxicité aiguë

II.4.1. Tests de toxicité

Le but de ces essais est de préciser les doses létales 50 et 90 de minerai à l'égard des vers adultes.

Le minerai obtenu à partir de la mine d'El Ouenza, est séché à l'air l'ombre et tamisé (<2 mm). Ensuite, le minerai est mélangé avec le sol artificiel à cinq concentrations

Matériel et méthodes

0, 25, 50, 75 et 100 % (p/p) (fig12.). Les essais sont conduits avec 3 répétitions comportant 10 individus chacune. La durée d'exposition est de quatre semaines (OECD, 1984).

Les adultes ont été enlevés du sol 24 h avant l'utilisation. Ensuite, les vers de terre sont rincés avec de l'eau, séchés avec du papier absorbant. Ils ont ensuite été mis sur du papier filtre, dans des boîtes de Pétri pendant 24 heures. Après les 24 heures, on pèse les vers de terres un par un et on dépose chaque 10 individus de poids proche dans une boîte.

Chaque semaine, on répète ces étapes de la même manière sans vider l'estomac. D'autre part, on pèse les terrariums, chaque semaine, afin de remplacer l'humidité perdue en ajoutant de l'eau distillée. La mortalité a été comptée chaque semaine en enlevant le sol artificiel.

Des vers de terre sont considérés morts quand ils ne réagissent pas à un stimulus mécanique au niveau de la région antérieure de leur corps (Abbott, W. S., 1925).



Figure12 : Protocole du test de toxicité du minerai vis-à-vis des vers *A. caliginosa* (photo personnelle)

II.4.2. Mortalité observée

Le pourcentage de mortalité observée chez les vers de terre traités par le minerai à différentes concentrations ainsi que les témoins est déterminé selon la formule suivante:

$$\text{Mortalité observée} = \frac{\text{Nombre de vers de terre morts après traitement}}{\text{Nombre total de vers de terre traités}} \times 100$$

II.4.3 . Mortalité corrigée

Le pourcentage de mortalité observée est corrigé par la formule d'Abbott (1925) qui permet d'éliminer la mortalité naturelle.

$$\text{Mortalité corrigée} = \frac{\text{Mortalité observée chez les traités} - \text{mortalité observée chez les témoins}}{100 - \text{mortalité observée chez les témoins}} \times 100$$

II.4.5 . Transformation angulaire

Les pourcentages de mortalité corrigée subissent une transformation angulaire selon Greenberg (1980)., cité par Fisher & Yates (1957). Les données normalisées font l'objet d'une analyse de la variance à un critère de classification; suivie par le classement des concentrations par le test de Tukey.

II.4.6. Analyse des probits

Les pourcentages de mortalité corrigée subissent une transformation en probits (Fisher & Yates, 1957). Le logarithme décimal des concentrations en fonction du probit nous permet de déterminer la droite de régression à partir de laquelle les CL₅₀ et CL₉₀ sont estimées (Finney, 1975).

II.4.7. Intervalle de confiance

La méthode de Sloop et *al.* (1966) précise l'intervalle de confiance (IC) avec une probabilité de 95 % :

-Limite supérieure = CL₅₀ x FCL₅₀

-Limite inférieure = CL₅₀ / FCL₅₀

Aussi deux paramètres sont nécessaires:

-Le 1^{er} paramètre est le S (Slope), donné par la formule suivante:

$$S = (CL_{84} / CL_{50} + CL_{50} / CL_{16}) / 2$$

-Le 2^{ème} paramètre est la FCL₅₀ donnée par la formule suivante:

$$FCL_{50} = \text{Anti log } C$$

$$C = \log S \times 2, 77 / \sqrt{N}$$

S: Slope

N : Nombre total des vers de terre testés(CL16_CL84).

II.5 . Inhibition de croissance

Après chaque période de traitement, les vers de terre sont retirés des terrariums, rincés à l'eau distillée, comptés et pesés. Le taux de croissance est déterminé en utilisant l'équation suivante (Martin, 1986) :

$$C_n = \ln \frac{P_t}{P_0} \times 100$$

Où :

C_n : est le taux de croissance pour la concentration n.

P_t : est le poids après t jours d'exposition.

P_0 : est le poids au jour 0.

II.6 Analyse statistique :

Pour déterminer les différences entre les moyennes des traitements, l'analyse de variance a été effectuée à l'aide du logiciel Minitab (Version 16, Penn State College, PA, USA). En cas de différences significatives, le test de Tukey (HSD) a été utilisé pour séparer les moyennes des différents traitements. Tous ces paramètres ont été analysés au seuil de signification de 5%.

Pour le calcul des concentrations létales, les données obtenues sont traitées par le logiciel Prism (GraphPad software, La Jolla California, USA).

Résultats

Résultats

1. Test d'évitement des vers de terre :

La figure (13) représente la distribution des individus adultes d'*A. Caliginosa* après du test d'évitement. La partie grise foncée de chaque barre représente le pourcentage d'individus dans le sol témoin, et la partie grise claire représente le pourcentage d'individus dans le sol contaminé au minerai avec différentes concentrations (25, 50,75 et 100%).

Le pourcentage des vers migrant vers le sol témoin augmente avec l'augmentation de la concentration du minerai atteignant un maximum de 86,67% à 100% de minerai.

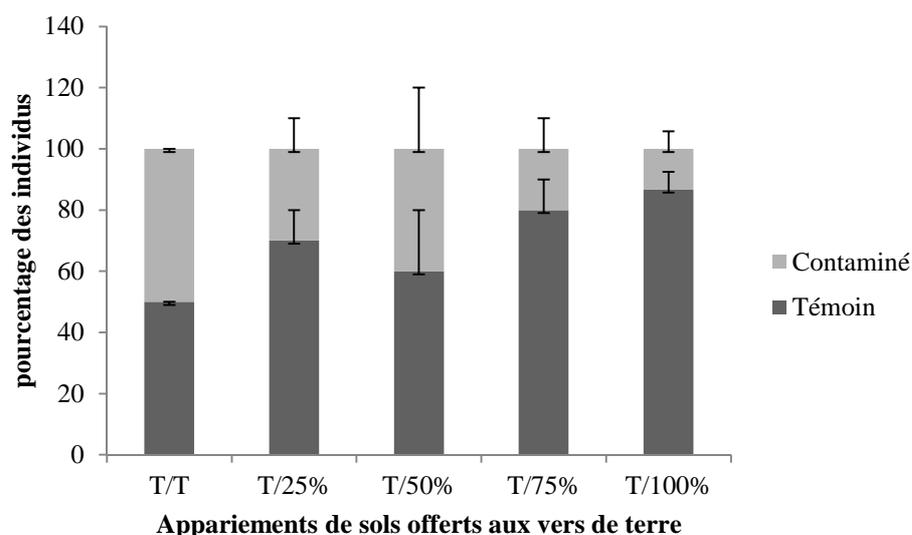


Fig13 : Distribution des vers adultes d'*A. Caliginosa* entre le sol artificiel témoin et le sol contaminé par le minerai à différentes concentrations ($m \pm s$; $n=3$)

2. Toxicité du minerai :

2.1. Sensibilité aux différentes concentrations du minerai:

Après traitement avec le minerai à différentes concentrations (25 ; 50 ; 75 et 100 %), nous avons mentionné dans le tableau(2) le taux observé de mortalité à différent temps d'exposition. est de l'ordre de $3,3 \pm 5,8$ % chez les séries témoins et augmente chez les séries traitées jusqu'à $56,7 \pm 20,8$ % pour la concentration la plus élevée après 28 jours d'exposition. D'autre part, les séries traitées avec la plus faible concentration montrent un faible taux de mortalité pendant la période d'étude.

Résultats

Tableau 2: Effet des concentrations croissantes du minerai sur le taux de mortalité observée de *A. Caliginosa* à différents temps d'exposition ($m \pm s$, $n=3$).

Temps (jours) Traitement	7	14	21	28
Témoin	3,3±5,8	3,3±5,8	3,3 ±5,8	3,3 ±5,8
25%	0,00±0,00	0,00±0,00	3,3 ±5,8	3,3 ±5,8
50%	0,00±0,00	0,00±0,00	3,3 ±5,8	3,3 ±5,8
75%	10,00±0,00	10,00±0,00	13,3±5,8	16,7 ±5,8
100%	10,00±10,00	13,3±5,8	33,3 ±11,5	56,7 ±20,8

Le tableau(3) représente le classement des concentrations du minerai, par la méthode de la plus petite différence significative, après son application dans le sol artificiel à différents temps.

Tableau 3 : Toxicité du minerai. Classement des concentrations à différents temps d'exposition.

Temps (jours) Concentration (%)	7	14	21	28
25	A	A	A	A
50	A	A	A	A
75	A	A	A	AB
100	A	A	A	B

2.2. Evaluation des concentrations létales CL50 et CL90 :

L'étude de l'effet léthal induit par le minerai après son application a été résumée dans le tableau(4). Les résultats indiquent que les valeurs des CL50 tendent à diminuer au cours du temps passant de 547% après 14 jours à 98,03 % après 28 jours. De la même façon, les valeurs des CL90 sont en nette décroissance passant de 2992,13% après 14 jours à 133,45% après 28 jours.

Résultats

Tableau 4: concentrations létales (CL50 et CL90) en % de minerai et leurs intervalles de confiance après 7, 14, 21 et 28 jours d'exposition.

Temps d'exposition (jours)	CL50 [limite inférieure ; limite supérieure]	CL90 [limite inférieure ; limite supérieure]
7	ND	ND
14	547,00 (225,74 ; 1325,48)	2992,13 (1234,80 ; 7250,41)
21	122,05 (96,29 ; 154,70)	198,61 (156,69 ; 251,75)
28	98,03 (84,80 ; 113,31)	133,45 (115,45 ; 154,26)

ND : Non Déterminé

Le tableau (5) résume les différents paramètres statistiques liés à l'analyse des probits. Les valeurs des coefficients de régression sont égales à 1 indiquant une forte liaison entre la concentration du minerai et le taux de mortalité.

Tableau 5: les différents paramètres statistiques relatif à l'analyse des probits.

Temps d'exposition (jours)	Equation de régression	Coefficient de régression (R^2)
7	ND	ND
14	$y = 1,74x + 0,25$	1
21	$y = 6,06x - 7,65$	1
28	$y = 9,57x - 14,05$	1

3.Effet sur la morphologie

On a constaté que les vers traités à la plus forte concentration manifestent une pigmentation différente à celle des vers témoins (fig14).



Figure 14 : Aspect des vers exposés au minerai à la concentration 100%(photo personnelle)

4. Inhibition de la croissance:

La figure (15) met en évidence l'évolution du taux de croissance des vers de terre en fonction du temps et en présence de minerai. Ainsi, après la première semaine d'exposition, les vers de terre témoins et traités avec les différentes concentrations sont des taux de croissance similaires. A l'opposé, après 2, 3 et 4 semaines on a constaté une inhibition significative du taux de croissance des vers adultes exposés à la plus forte concentration avec un taux minimal égal à 0,07.

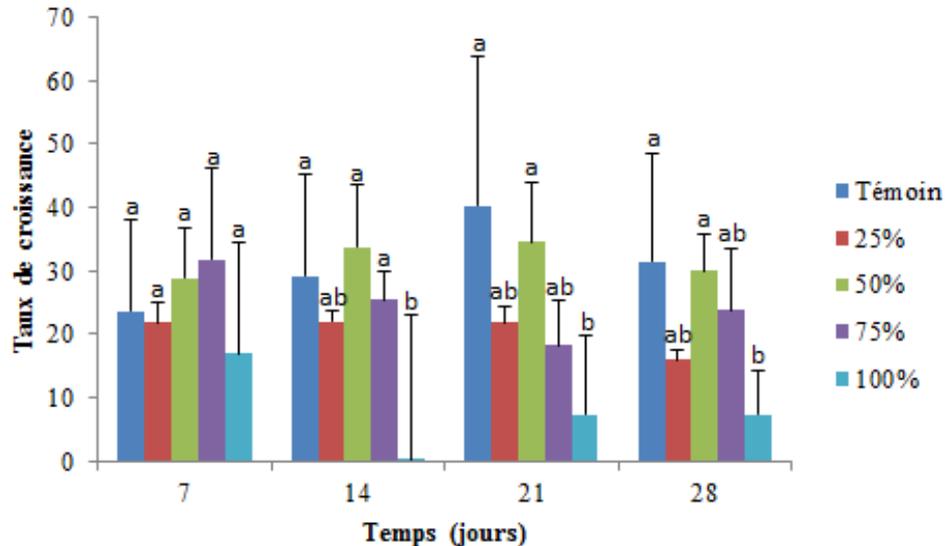


Figure15 : Effet du minerai à différentes concentrations sur le taux de croissance des vers de terre *A. Caliginosa* en fonction du temps (les lettres différentes indiquent une différence significative entre les différentes concentrations au sein d'une même période (Test de Tukey HSD)).

Discussion

Discussion

Malgré la richesse et la biodiversité de la faune, les oligochètes ont été très peu étudiés jusqu'à présent. Selon Cox et *al.* (2004), la pollution environnementale provoque une perte de la qualité du sol en entraînant la disparition d'espèces d'oligochètes non encore répertoriées. En effet, la connaissance des Oligochètes apportera une meilleure contribution à la conservation des sols en les utilisant comme des bio-indicateurs de pollution.

L'utilisation de bio-indicateurs en toxicologie et écotoxicologie est une pratique courante dans le monde entier. Parmi les bioindicateurs, les vers de terre, les escargots et les microorganismes du sol sont largement utilisés car ils sont la cible immédiate des produits phytosanitaires. Les vers de terre sont utilisés comme bioindicateurs pour évaluer la santé du sol en raison de leur disponibilité, facilité de manipuler et leur capacité d'améliorer la structure et la fertilité du sol (Mahajan et *al.* 2007 ; Curry et *al.* 2008 ; Muthukaruppan et Ganasekaran, 2010).

À ce jour, un certain nombre d'essais normalisés utilisant la mortalité, la reproduction et le comportement des vers de terre sont disponibles (Little, 1990 ; Doving, 1991 ; Scherrer, 1992).

Dans cette étude, nous nous sommes concentrés sur les effets du minerai sur les vers de terre à l'aide d'une approche de sol artificiel en laboratoire où les critères d'évaluation sont le comportement, la mortalité et la croissance.

Le comportement des vers de terre en présence de différentes concentrations du minerai, est le premier paramètre abordé.

1. Effets sur le comportement :

La réaction d'évitement des vers de terre aux sols contaminés par des substances nocives a été proposée comme le plus simple, sensible, valable et faisable test d'évaluation de la toxicité du sol.

Dans notre étude, le pourcentage de vers migrant vers le sol témoin augmente avec l'augmentation de la concentration du minerai atteignant un maximum de 86,67% à 100% de minerai. Nos résultats sont en accord avec ceux de Tuomas & Jari (2004) qui ont constaté que le sol contaminé par les rejets d'une usine de Cuivre-Nickel a un effet évident sur le comportement d'évitement des vers *A. Tuberculata*. Dans la même étude, trois différentes espèces (*Lumbricus rubellus* ; *Dendrobaena octaedra* et *Aporrectodea tuberculata*) ont été exposées à différentes concentrations de la mixture Cu-Zn. Les auteurs ont constaté que les différentes espèces évitent le sol contaminé différemment. *D. octaedra* a été la plus sensible en

Discussion

réagissant à la plus petite concentration. Alors que, l'espèce *L. rubellus* était la moins sensible en ne réagissant qu'à la plus forte concentration. Simultanément, Loureiro et al. (2005) ont constaté que le sol hautement contaminé par les métaux lourds a un effet remarquable sur le comportement des vers *E. andrei* qui migrent vers le sol témoin avec des proportions allant jusqu'à 80%. Par contre, Marques et al. (2009), ont étudié la distribution des vers *E. Andrei* entre trois types de sols : un sol standard (L), un sol de terrain cultivé de maïs (C) et un sol de terrain cultivé de riz (R). Les deux terrains cultivés sont traités par différentes formulations d'herbicides. Les vers manifestaient une préférence au sol R par rapport aux deux autres sols. Cette préférence n'est pas due simplement à la richesse du sol R en matière organique, mais aussi à la qualité des fractions organiques et inorganiques du sol.

Les vers de terre sont sensibles à la présence des produits chimiques dans le sol à cause des chémorécepteurs distribués à la surface de leurs corps (Reinecke et al. 2002). Cette caractéristique associée à leur habilité de locomotion, les permet d'éviter les aires contaminées où l'habitat a été influé (Reinecke et al. 2002; Yearley et al. 1996).

Cette différence de comportement des vers de terre, vis-à-vis les différents types de sol, peut rendre des espèces plus accessibles aux toxiques que d'autres.

2. Toxicité:

Des essais de toxicité sur des individus adultes d'*A. caliginosa* exposés au minerai à différentes concentrations (25, 50,75 et 100%) ont été effectués afin d'estimer les concentrations létales 50 (CL50) et 90 (CL90) ainsi que leurs intervalles de confiance à 95% à différents temps d'exposition. Les concentrations létales exprimées en pourcentage de minerai sont de l'ordre 577,00 et 98,03 après 14 et 28 jours respectivement pour les CL50 alors que celles des CL90 correspondent à 2992,13 et 133 respectivement. On constate que nos résultats sont nettement supérieures à ceux de Ma et al. (2002) où les CL50 des résidus miniers après 14 et 28 jours, chez l'espèce *Pheretima* sont 89,1 et 78,4% respectivement ainsi que chez l'espèce *pheretima guillelmi* dont les CL50 sont de l'ordre de 101 et 83,6% respectivement. D'autre part, nos résultats contrarient ceux de Qiu et al. (2011) qui trouvaient que la mortalité des vers *A. caliginosa* exposés à la mixture cadmium/zinc diminue avec l'augmentation des concentrations des deux métaux.

D'autre part, Luz et al. (2011) ont montré que les sols, récemment, contaminés par le chrome, cuivre, nickel, et le zinc sont moins toxiques vis à vis le vers *E. andrei* par rapport au collembole *Folsomia candida*. Ainsi, Langdon et al. (2001) ont constaté que la toxicité des résidus miniers vis à vis le vers *L. rubellus* est faible. Ainsi, Shin et al. (2007) ont constaté que

Discussion

les résidus miniers, obtenus de trois sites différents, provoquent une mortalité chez les vers traités. Cette différence de toxicité est peut-être due à la différence d'espèces utilisées et le type de contaminant.

3. Effet sur la morphologie

On a constaté que les vers traités à la plus forte concentration manifestent une pigmentation différente à celle des vers témoins. Ce résultat est en accord avec celui de Pearce *et al.* (2002) qui ont trouvé des vers *L. rubellus* de couleur jaune dans une mine. Cette différence de pigmentation est associée à la tolérance aux métaux lourds. Cette tolérance est due à la faculté des vers de terre à transformer les métaux lourds, dans leurs tissus, à des formes moins toxiques quand l'accumulation est de longue durée.

4. Effet de minerai sur la croissance :

La mesure de la mortalité et du changement de la biomasse d'un organisme sont des tests couramment utilisés pour déterminer l'impact des écotoxiques sur les vers de terre. Le changement de biomasse est la différence entre la masse initiale du ver de terre et sa masse à la fin de la période d'exposition au contaminant. Elle est exprimée en pourcentage de la masse initiale et est comparée à un témoin (Leveque, 2014).

Le troisième paramètre mesuré dans notre étude est le taux de croissance des vers de terre. Il ressort de nos résultats que le minerai inhibe significativement le taux de croissance de *A. caliginosa* après 2, 3 et 4 semaines d'exposition. Ce résultat est en accord avec les travaux de Nakashima *et al.* (2008) qui ont constaté que le cadmium, contrairement au Nickel, inhibe la croissance des vers *E. fetida*. Aussi les travaux de Spurgeon *et al.* (2000) ont prouvé l'effet inhibiteur du zinc sur la croissance de *lumbricus rubellus* ou encore ceux de Svendsen et Semaines (1997) qui ont rapporté un effet inhibiteur du cuivre sur la croissance de *L. rubellus*. Ainsi, Shin *et al.* (2007) ont confirmé que les résidus miniers, obtenus de trois sites différents, provoquent un changement significatif du poids chez les vers traités.

Conclusion

Conclusion et perspective

Les vers de terre sont des organismes dont le rôle est primordial, non seulement dans l'environnement en général, mais également dans l'agriculture. Plusieurs espèces de vers de terre sont devenues des organismes modèles pour la recherche en écologie, toxicologie, physiologie ou encore la biologie reproductrice.

L'étude expérimentale, concernant l'impact du minerai sur l'espèce de ver de terre *Aporrectodea caliginosa* l'espèce dominante dans la région de tebessa, qui a été menée au niveau du laboratoire de biologie animale ; nous a permis de tirer quelques conclusions sur la nocivité de ce polluant sur : L'évitement, la toxicité, et la croissance.

L'application du minerai sur les adultes d'*A. Caliginosa*, a permis d'établir les concentrations létales, CL50 et CL90. Les vers exposés aux différentes concentrations du minerai manifestent un comportement d'évitement qui devient de plus en plus accentué avec l'augmentation de la concentration. D'autre part le minerai manifeste une toxicité modérée avec une relation dose réponse et une perturbation de la croissance des adultes d'*A. Caliginosa*.

A partir de ces résultats on peut dire que ce travail nous a permis de mieux comprendre le mécanisme de réponse des vers de terre vis-à-vis du minerai.

A l'avenir, il serait judicieux de :

- Détermine l'impact du minerai sur la survie et la croissance des juvéniles des vers de terre.
- Détermine l'impact du minerai sur la reproduction des vers de terre.
- Réalise une étude histologique.
- Faire des études physiologiques et biochimiques en dosant des biomarqueurs enzymatiques et métaboliques.
- analyse des différents métaux lourds contenant du minerai.

Références

bibliographiques

Bibliographie

A

- **Amiard, J.C., Berthet, B., Metayer, C., 1989.** Importance relative des fluctuations analytiques, biologiques et écologiques dans la détermination de stratégies d'échantillonnage adaptées aux études de bioaccumulation des métaux, *J. Rech. Océanogr*, **14**, 1-2, 53-57.
- **Ammer, S., Weber, K., Abs, C., Ammer, C., Prietzel, J., 2006.** Factors influencing The distribution and abundance of earthworm communities in pure and converted Scots pine stands. *Applied Soil Ecology*, **33**, 10-21.

B

- **Bensaada.S**, Elaboration des métaux ferreux (fontes et aciers), 2009, P 6 ,50-53
- **Bouché, M. B., 1977.** Stratégies lombriciennes. *In: Lohm, U. et Persson, T. (eds), Soil organisms components of ecosystems. Biol. Bull. (Stockolm)*, pp. 122-132.
- **Bouché M.B., 1972.** *Lombriciens de France, Ecologie et systématique.* Inst. Nat.Rech. Agronomique, Paris. 671 p
- **BOUCHE 1977 , Lee 1985** Présence d'oeufs de crocodiliens dans le Rognacien inférieur (Maastrichtien supérieur) du bassin d'Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône, France). Note préliminaire
- **Brulle, F., Cocquerelle, C., Mitta, G., Castric, V., Douay, F., Leprêtre, A., Vandebulcke, F., 2008a.** Identification and expression profile of gene transcripts differentially expressed during metallic exposure in *Eisenia fetida* coelomocytes. *Developmental & Comparative Immunology*, **32**, 1441-1453
- **Bonnard, M., Eom, I.C., Morel, J.L., Vasseur, P., 2009.** Genotoxic and reproductive Effects of an industrially contaminated soil on the earthworm *Eisenia Fetida*. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, **50(1)**, 60-67.
 - **Baha, M., Berra, S., 2001.** *Proselodrilus doumandjiin. sp.*, a new lumbricid from Algeria. *Tropical Zoology*, **14**, 87-93.
 - **Bartlett, M.D., Briones, M.J.I., Neilson, R., Schmidt, O., Spurgeon, D., Creamer, R.E., 2010.** A critical review of current methods in earthworm ecology: from individuals to populations. *Eur. J. Soil Biol.* **46**, 67-73.
 - **Beeby, A., 2001.** What do sentinels stand for? *Environmental Pollution*, **112**, 285-298.

Bibliographie

C

- **Capowiez, Y., Rault, M., Mazzia, C., Belzunces, L., 2003.** Earthworm behaviour as a biomarker – a case study using imidacloprid. *Pedobiologia*, 47, 542-547.
- **Chaussin.C, Hilly.G, Métallurgie** élaboration des métaux, Edition Dunod, Paris, 1999.P 6-10
- **Chain R., 2006.** Influence des travaux de forage et de tir sur la stabilité des talus et des gradins des mines a ciel ouvert (cas: mine de fer de l'Ouenza), option; exploitation des mine. Thèse doctorat d'état. Université Badji Mokhtar (Annaba). Algérie. 145g.
- **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
- **Curry, J.P., Doherty, P., Purvis, G., Schmidt, O., 2008.** Relationship between earthworm populations and management intensity in cattle-grazed pastures in Ireland. *Applied Soil Ecology*, 39(1), 58-64
- **Catarina Marques, Ruth Pereira & Fernando Gonçalves (2009).** Using earthworm avoidance behavior to assess the toxicity of formulated herbicides and their active ingredient son natural soils. *J Soils Sediments* (2009) 9:137–147 DOI 10.1007/s11368-009-0058-0

D

- **Doving, K.B., 1991.** Assessment of animal behaviour as a method to indicate environmental toxicity. *Comp. Biochem. Physiol*, 100(C), 247–252.
- **Darwin**, 1809-1882, *The Autobiography*, edited by Nora Barlow, New York, Londres, Norton & C°, 1993
- **Djenna A.** 2014 Etude de la nichécologique de la cigogne blach dans nouvel environnement dans la région d'El Mardja (Tébessa)-Mém de Master, université de Tebessa, 63pages
- **Documents du ministère** de l'énergie et des mines(DMEM),2010
- **Dell'Omo, G., Turk, A., Shore, R.F., 1999.** Secondary poisoning in the common shrew (*Sorex araneus*) fed earthworms exposed to an organophosphate pesticide *Environ. Toxicol.Chem*, 18, 237-240.

E

Bibliographie

- **Edwards, C. A. et Bohlen, P. J., 1996.** Biology and Ecology of Earthworms 3rd ed. Chapman and Hall, London, 426 pp.

F

- **Figueira, R., Tavares, P.C., Palma, L., Beja, P., Sérgio, C., 2009.** Application of indicator kriging to the complementary use of bioindicators at three trophic levels. *Environmental Pollution*, **157** : 2689- 2696
- **Fensk R A, Kedan G, Lu C Fisker-Andersen J A, Curl C I(2002)**-Assessment of organophosphorus pesticide exposure in the diets of preschool children in Washington State. *J. Exposure Analysis Environ. Epidemiol.* pp.21-28
- **Fisher R.A. & Yates F., 1957.** Statistical tables for biological agricultural and medical research. 5^{ème} edition, Oliver et Boyd. London., pp: 64-66.
- **Finney D.J., 1975.** Probit analysis (3rd edn) Cambridge University Press, London.
- **Fragoso C. and P. LAVELLE. 1992.** Earthworm communities of tropical rain forests. *Soil Biology and Biochemistry*. 24(12):1397-1408

H

- **Hopkin, S. P.1989,** Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates. London (UK) : Elsevier Applied Science, p366.
- **Hopkin SP(1993)**-In situ biological monitoring of pollution in terrestrial and aquatic ecosystems. In: Calow P (Ed). Handbook of ecotoxicology. Blackwell, Oxford, p. 397-427.
- **Hund-Rinke K, Wiechering H (2001)** Earthworm avoidance test for soil assessments—an alternative for acute and reproduction tests. *J Soil Sediments* 1(1):15-20

I

- **ISO/DIS 17512-1.2.** International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- **ISO (1998-2)** - Soil Quality: Effects of Pollutants on Earthworms (*Eisenia fetida*) – Part 2: Method for the Determination of Effects on Reproduction.No. 11268-2. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- **ISO (2008)** - Soil Quality: Avoidance Test for Testing the Quality of Soils and Effects Of chemicals on Behavior – Part 1: Test with Earthworms (*Eisenia fetida* and *Eisenia andrei*). ISO/DIS 17512-1.2.International Organization for Standardization.Geneva, Switzerland.

Bibliographie

G

- **GTZ**, Guide des études d'impact sur l'environnement, projet : renforcement des capacités institutionnelles de l'environnement, ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 2001, P 05
- **Guelorget, O., Perthuisot, J.P., 1984.** Indicateurs biologiques et diagnose écologique dans le domaine paralytique. *Bulletin d'Ecologie*, **15(1)**, 67-76.
- **Guerlet, G., 2010.** La gestion des ports par une entité publique : aspects européens et environnementaux. Thèse de Doctorat, Université de Littoral Côte d'Opale, France. 289p.
- **Greenberg, B. G. (1980).** "Chester I. Bliss, 1899-1979." *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique* 8(1): 135-136.

K

- **Kammenga JE, Dallinger R, Donker MH, Kohler H R, Simonsen V, Triebkorn R, Weeks JM (2000)**-Biomarkers in terrestrial invertebrates for ecotoxicological soil risk assessment. In *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol **164**,93-147
- **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.
- **Kyung-Hee Shin, Ju-Yong Kim & Kyoung-Woong Kim. 2001.** Earthworm Toxicity Test for the Monitoring Arsenic and Heavy Metal-Containing Mine Tailings. *Environmental Engineering Science* VOL. 24, NO. 9

L

- **Lavelle Regina v British Broadcasting Corporation ex parte Lavelle: 1983**
- **Lavelle, P. and Spain, A.V. (2001)** *Soil Ecology*. Kluwer Scientific, Amsterdam.
- **Little, E.E., 1990.** Behavioral toxicology: stimulating challenges for a growing discipline. *Environ. Toxicol. Chem*, **9**, 1-2.
- **Lanno, R, J Wells, J. Conder, K. Bradham et N. Basta. 2004.** « the bioavailability of chemicals in soil for earthworms ». *ecotoxicology and environmental safety*, vol.57, no1, p39-47

Bibliographie

- **Lee K.E, 1985.** Earthworms - Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use". AcademicPress, Sydney. pp 411.
- **Langdon, C.J., Pearce, T.G., Meharg, A. & Semple, K.T. 2001.** Survival and behaviour of the earthworms *Lumbricus rubellus* and *Dendrodrilus rubidus* from arsenate-contaminated and non contaminated sites. *Soil Biol. Biochem.* 33, 1239-1244

M

- **Marino, F., Ligeró, A., Cosin, D.J.D., 1992.** Heavy metals and earthworms on the border of a road next to Santiago. *Soil Biology and Biochemistry*, 24 (12), 1705–1709.
- **Mosleh, Y.Y., Paris-Palacios, S., Couderchet, S., 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.
- **Mahajan, S., Kanwar, S.S., Sharma, S.P., 2007.** Long-term effect of mineral fertilizers and amendements on microbial dynamics in an alfisol of western Himalayas. *Indian Journal of Microbiology*, 47(1), 86-89
- **Muthukaruppan, G., Ganasekaran, P., 2010.** Effect of Butachlor herbicide on earthworm *Eisenia fetida* – its histological perspicuity. *Applied and Environmental Soil Science*, 1-5
- **MNHN., 2006.** Inventaire du patrimoine naturel. Muséum d’histoire naturel de France. https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/199912/tab/taxo

N

- **Nakashima, T.; Okada, T.; Asahi, J.; Yamashita, A.; Kawai, K.; Kasai, H.; Matsuno, K.; Gamou, S.; Hirano, T.** 8-Hydroxydeoxyguanosine generated in the earthworm *Eisenia fetida* grown in metal-containing soil. *Mutat. Res.* 2008, 654, 138-144.
- **Natal-da-Luz, T.; Ojeda, G.; Pratas, J.; Van Gestel, C.A.; Sousa, J.P.** Toxicity to *Eisenia Andrei* and *Folsomia candida* of a metal mixture applied to soil directly or via an organic matrix. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2011, 74, 1715-1720.

O

Bibliographie

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

P

- **Pattison, A.B., Moody, P.W., Badcock, K.A, Smith, L.J., Armour, J.A., Rasiah, V., Cobon, J.A., Gulino, L.M., Mayer, R.,2008.**Development of key soil health indicators for the Australian banana industry.*Applied Soil Ecology*,**40**, 155-164.
- **Pelosi, C., 2008** .Modelisation de la dynamique d'une population de vers de terre Lumbricusterrestrisau champ. Thèse de doctorat. Institut des Sciences et Industries du Vivant et del'Environnement (Agro Paris Tech).141p
- **Pearce, T.G., Langdon, C.L., Meharg, A.A. &Semple, K.T. 2002.** Yellow earthworms: distinctive pigmentation associated with arsenic- and copper-tolerance in *Lumbricus rubellus*. *Soil Biol. Biochem.* 34, 1833-1838.

Q

- **Qiu, H.; Vijver, M.G.; Peijnenburg, W.J.** Interactions of cadmium and zinc impact their toxicity to the earthworm *Aporrectodea caliginosa*. *Environ. Toxicol. Chem.* **2011**, *30*, 2084-2093.

R

- **Reinecke, S.A., Reinecke, A.J., 2007.** Biomarker response and biomass change of earthworms exposed to chlorpyrifos in microcosms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **66**, 92-101.
- **Reinecke AJ, Maboeta MS, Vermeulen LA, Reinecke SA (2002)** Assessment of lead nitrate and mancozeb toxicity in earthworms using the avoidance response. *Bull Environ Contam Toxicol* 68:779–786

S

- **Suthar, S., Singh, S., Dhawan, S., 2008.** Earthworms as bioindicator of metals (Zn, Fe, Mn, Cu, Pb and Cd) in soils: Is metal bioaccumulation affected by their ecological category, *Ecological Engineering*, **32**, 99-107.
- **Stürzenbaum, S.R., Kille, P., Morgan, A.J., 1998.**The identification, cloning and characterization of earthworm metallothionein. *FEBS Letters*, 431(3),437- 442.

Bibliographie

- **Sims R.W. et Gerard B.M., 1999.** *Earthworms: Notes for the Identification of British Species, Synopses of the British Fauna* (New Series) n° **.31** (Revised). London: Linnean Society
- **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.
- **Svendsen, C., Weeks, J.M., 1997a.** Relevance and applicability of a simple earthworm biomarker of copper exposure. I. Links to ecological effects in a laboratory study with *Eisenia andrei*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 36, 72–79.
- **Svendsen, C., Weeks, J.M., 1997b.** Relevance and applicability of a simple earthworm biomarker of copper exposure. II. Validation and applicability under field conditions in a mesocosm experiment with *Lumbricus rubellus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 36, 80–88
- Susana Loureiro *, Amadeu M.V.M. Soares, Anto´nio J.A. Nogueira 2005 Terrestrial avoidance behaviour tests as screening tool to assess soil contamination
- **Schultz, E&Joutti, A. 2007.** Arsenic Ecotoxicity in Soils. Geological Survey of Finland, Miscellaneous Publications, 53 page

T

- Tuomas Lukkari_, Jari Haimi 2004 Avoidance of Cu- and Zn-contaminated soil by three ecologically different earthworm species.
- **Taleb.N.S, thèse de 2ème cycle,** Université Badji Mokhtar, Annaba,(Algérie),2012.

U

- **UBIFRANCE Algérie-Bureau d’Alger,** fiche Marché, le secteur minier en Algérie, 2012.

V

- **Vigot M. & Cluzeau D., 2014.** Guide pratique auxiliaires de cultures : Les vers de terre, © Christine HOTTE : 20 Pages
- **Vijver, M. G. J. P. M. Vink, C. A. M. Van Gestel. 2003.** « Oral sealing using glue : a new method to distinguish between intestinal route and dermal uptake of metals in earthworms». *Soil. Biol. Biochem*, vol, 35, p 125-132.

Bibliographie

W

- **Wu, R.S.S., Siu, W.H.L., Shin, P.K.S., 2005.** Induction, adaptation and recovery of biological responses: Implications for environmental monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, **51**,623- 634.

X

- **Xiao, N., Jing, B., Ge, F., Liu, X., 2006.**The fate of herbicide acetochlor and its toxicity to *Eisenia fetida* under laboratory conditions.*Chemosphere*, **62**, 1366-1373

Y

- **Y. Ma · N. M. Dickinson · M. H. Wong 2002**Toxicity of Pb/Zn mine tailings to the earthworm *Pheretima* and the effects of burrowing on metal availability.
- **Yeardley RB Jr, Lazorchak JM, Gast LC (1996)** the potential of an earthworm avoidance test for evaluation of hazardous waste sites. *Environ ToxicolChem* 15(9):1532–153

Z

- **Zeriri, I., Tadjine, A., Belhaouchet, N., Berrebbah, H., Djebar, M.R., Baha, M., 2013.**Contribution to the identification of Oligochaeta: Lumbricidae in the region of Annaba in eastern Algeria.*European Journal of Experimental Biology*, 3(6), 229-232