

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI OUZOU

FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ANIMALE ET VEGETALE

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Protection de l'environnement



Thème

**Contribution à l'étude de l'effet d'un herbicide
(Glyphosate) sur une espèce de vers de terre et les
propriétés physico-chimiques du sol**

Présenté par : M^{lle} GUICI Lylia & M^{lle} KHALDI Razika

Devant le jury composé de :

❖ M ^{me} SADOUDI D.	Professeur - UMMTO	Présidente
❖ M ^{lle} DAOUDI H.	Maître-assistant Classe A - UMMTO	Examinatrice
❖ M ^{lle} ALI AHMED S.	Maître-assistant Classe A - UMMTO	Examinatrice

-Encadré par : M^{me} LANDRI G. Maître-assistant Classe A – UMMTO

-Co-encadré par : M^{elle} ARKOUB M. Ingénieur d'Etat au sein du Laboratoire - UMMTO

Le : 04/07/2017

Promotion : 2016 / 2017

Dédicaces

A nos très chers parents et grands parents

A nos chers frères et sœurs

Remerciements

*Arrivé au terme de ce mémoire on tient à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont aidés à le réaliser, spécialement notre encadreur **Mme LANDRI Gh.** qui a fourni toutes les efforts pour qu'on fasse un bon travail et nous a transmis son intérêt pour les vers de terre.*

*Nos sincères gratitudee sont également adressées à **M^{lle} ARKOUB M.** qui nous a fait profiter de son expérience en matière d'expérimentation et nous a assisté durant les mois de travail au laboratoire.*

*Nous exprimons nos sincères remerciements à la présidente de jury **M^{me} SAOUDI D.** pour avoir accepté de présider la soutenance et les membres de jury **M^{lle} ALI AHMED S.** et **M^{lle} DAOUDI H.** d'avoir accepté de juger notre travail et pour leurs conseils et leurs critiques pour le manuscrit.*

*Nous tenons également à remercier nos camarades **IMARAZENE R.** et **GHIDES N.** qui nous ont aidés à réaliser ce travail.*

*Nous remercions les ingénieurs des laboratoires **BA/BV, commun II** et **labo de pédologie** pour leurs aides et soutiens tout au long de l'expérience.*

*Nos vifs remerciements vont également à **SI SALEM A., HESSAD S.** et **KHALDI H.** qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

Enfin, Nous remercions nos familles pour leurs soutiens même à distance, et tous nos amis.

Résumé

Ce travail consiste à étudier l'impact d'un herbicide utilisé couramment en Algérie : le Glyphosate sur un organisme bioindicateur de pollution, le vers de terre.

Dans un premier temps, une étude d'identification des vers de terre collectés de la région de Beni Douala a été effectuée, les résultats de l'étude taxonomique du peuplement lombricien de notre région, a révélé que l'espèce échantillonnée et choisie pour l'étude appartient à la famille des Lumbricidae, au genre lombricien *Nicodrilus*, et à l'espèce *Nicodrilus caliginosus*.

Dans ce travail, nous avons étudiés les effets du Glyphosate sur *Nicodrilus caliginosus* à l'aide de tests toxicologiques où les critères d'évaluation sont, la croissance et le taux de mortalité.

D'un autre côté, les analyses physico-chimiques du sol témoin ainsi que le sol après contamination par les différentes concentrations du Glyphosate ont été effectuées.

Enfin, les analyses statistiques : Test non paramétrique de l'analyse de la variance (Kruskal-Wallis et l'Analyse en Composantes Principales (ACP) ont mis en évidence une toxicité significative confirmée par l'augmentation du taux de mortalité et la diminution du taux de croissance des vers de terre, et un léger changement de l'état physiologique du sol aux plus fortes concentrations.

Mots clés : Glyphosate, Bioindicateur, vers de terre.

Abstract

This work consists in the study of the impact of a weed-killer used fluently in Algeria : Glyphosate on a bioindicator organism of pollution, earthworms (*Nicodrilus caliginosus*).

At first, the identification of the earthworms collected from Beni Douala region has been effected, the sampled and specie belong to the Lumbricidae family, kind earthworms *Nicodrilus* corresponding to one species: *Nicodrilus caliginosus*.

In this work, we have studyied the effects of Glyphosate on earthworms using toxicological tests where the criteria of evaluation are : growth and mortality rates.

On the other hand, the physicochemical analyses of the control soil and the soil contaminated with diferent concentrations of Glyphosate were carried out.

Finally, the statical analyses showed a toxicity confirmed by increasing mortality rates and decreasing the growth rate of earthworms, and a slight change in the physiological state of the soil at the highest concentrations.

Keywords: Glyphosate, Bioindicator, earthworms.

SOMMAIRE

RESUME	
ABSTRACT	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
INTRODUCTION	2
CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	4
1.1. RAPPEL SUR LES ANNELIDS	4
1.2. TAXONOMIE GENERALE DES OLIGOCHETES	7
1.2.1. Morphologie.....	7
1.2.2. Description morphologique.....	7
1.3. DETERMINATION DES ESPECES	12
1.4. BIOLOGIE DES VERS DE TERRE	13
1.4.1. Reproduction et longévité	13
1.4.2. Nutrition	15
1.4.3. Cycle annuel des activités	16
1.4.4. La respiration	16
1.5. FONCTIONS ECO SYSTEMIQUES DES VERS DE TERRE	17
1.6. RELATIONS AVEC LES FACTEURS ABIOTIQUES DU MILIEU	17
1.6.1. Facteurs hydriques	17
1.6.2. pH.....	18
1.6.3. Calcium	18
1.6.4. Salinité	18
1.6.5. Texture	18
1.6.6. Température	19
1.6.7. Les vers de terre et la lumière	19
1.7. RAPPEL SUR LES PESTICIDES	19
1.7.1. Définition du Glyphosate	20
1.7.2. Les propriétés physico-chimiques.....	20
1.7.3. Effet du Glyphosate sur les vers de terre	21
CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE LA STATION D'ECHANTILLONNAGE	22
2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	23

2.2. LES CARACTERISATIONS CLIMATIQUES.....	23
2.2.1. La température	24
2.2.2. Les Précipitations	25
2.2.3. L'humidité.....	25
2.2.4. La végétation.....	26
CHAPITRE 3 : MATERIÉL ET MÉTHODES	27
3.1. METHODES DE PRELEVEMENTS (ECHANTILLONNAGE).....	27
3.1.1. Prélèvement des vers de terre.....	27
3.1.2. Prélèvement du sol	28
3.2. TRAVAIL AU LABORATOIRE.....	28
3.2.1. Identification de l'espèce	29
3.2.2. Etude toxicologique	30
3.2.3. Protocole expérimental	30
3.2.4. Suivi de l'expérience.....	31
3.2.5. Analyse du Sol	34
3.2.6. Analyses statistiques	38
3.2.7. ANOVA de Kruskal-Wallis	38
3.2.8. Analyse en composante principale (ACP)	38
CHAPITRE 4 : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	40
4.1. RESULTATS	40
4.1.1. Description de l'espèce identifiée	40
4.1.2. Effet du Glyphosate sur la survie et la croissance	41
4.1.3. Analyse du Sol	42
4.1.4. Analyses statistiques	43
4.2. DISCUSSION	49
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	51
BIBLIOGRAPHIE.....	
ANNEXE A	
ANNEXE B	
ANNEXE C	
ANNEXE D.....	

Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des caractéristiques de trois groupes écologiques.	5
Tableau 2 : Les propriétés physico-chimiques du Glyphosate (Couture <i>et al.</i> , 1995 ; Baylis, 2000).	21
Tableau 3 : Méthode de prélèvement	37
Tableau 4 : Caractères utilisés pour l'identification de <i>Nicodrilus caliginosus</i> (Baha, 2008).	40
Tableau 5 : Paramètres physico-chimiques du sol témoin.	42
Tableau 6 : Paramètres physico-chimiques du sol après contamination.....	43

Liste des figures

Figure 1 : Les zones où vivent les trois grands groupes de vers de terre.	6
Figure 2 : Anatomie d'un ver de terre (Sims et Gerard, 1999).	8
Figure 3 : Couleurs des groupes écologiques chez les vers de terre (Bouché, 1972).	9
Figure 4 : Dispositions des soies chez les vers de terre (Bouché, 1972).	10
Figure 5 : Schémas des divers types de tête des vers Oligochètes (d'après TETREY, 1939).	10
Figure 6 : (a) Région antérieure de <i>Lumbricus terrestris</i> ; (b) Organes génitaux et système nerveux de <i>Lumbricus terrestris</i>	12
Figure 7 : Les organes reproducteurs (GAUER., 2007).	14
Figure 8 : L'accouplement chez les lombrics (TREMBLAY, 2014).	14
Figure 9 : La reproduction chez le lombric (GAUER, 2007).	15
Figure 10 : Localisation géographique de la station d'échantillonnage (Google Earth ; Google maps.2017)	22
Figure 11 : Communes limitrophes de Beni Douala (Wikipedia).	23
Figure 12 : Températures moyennes mensuelles enregistrés dans la région de Beni Douala (2010-2016) (meteovista.be).	24
Figure 13 : Précipitations moyennes mensuelles enregistrés dans la région de Beni Douala (2010-2016) (meteovista.be).	25
Figure 14 : Variation de moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air dans la région de Beni Douala (meteovista.be).	26
Figure 15 : Etapes de prélèvement des vers de terre	28
Figure 16 : Etapes de prélèvement du sol.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 17 : Schéma récapitulatif du protocole expérimental.	33
Figure 18 : Etapes suivis pour la détermination du taux de la matière organique.	36
Figure 19 : Classement des particules suivant l'échelle d'Atterberg (Riman, 2010).	36
Figure 20 : Taux de mortalité observé chez <i>Nicodrilus caliginosus</i> contaminés par le Glyphosate durant une période de 52 jours	41
Figure 21 : Effet de concentrations croissantes du Glyphosate sur le taux de croissance de L'espèce durant 52 jours	42
Figure 22 : La relation linéaire qui existe entre la mortalité et le temps.	45
Figure 23 : La relation linéaire existante entre la croissance et le temps.	46
Figure 24 : Résultat de l'ACP 1.	47
Figure 25 : Résultat de l'ACP 2.	47

Introduction

La biomasse animale peut être divisée en quatre catégories selon la taille des organismes, où il y a la micro-, méso-, macro- et mégafaune. L'ensemble de la biomasse atteint jusqu'à 20 % de la masse totale de la fraction biologique dans un sol de prairie. Les effets de la faune du sol sont mécaniques macro-brassage, micro-brassage, formation de galeries, fragmentation de la matière organique fraîche, mélange intime entre la matière organique et les minéraux du sol et la formation d'agrégats. Ces activités sont indispensables au développement des qualités agronomiques d'un sol (**CHABALIER et al., 2006**).

Les vers de terre sont l'un des ingénieurs physiques de l'écosystème qui renouvellent la structure du sol (**SAUREL et al., 2010**). Ils jouent un rôle important dans les cycles biogéochimiques (**JANDL et WENZEL, 2011**).

Les herbicides sont les produits phytosanitaires les plus utilisés et sont surtout employés pour maintenir les champs nus ou sur les cultures aux premiers stades de développement afin de limiter leur concurrence. Une grande partie de ces produits arrive au sol. Cette catégorie de pesticides comprend plusieurs familles dont la famille de Glycine à laquelle appartient le produit Glyphosate (**Tissut et al., 2006**).

D'après l'Institut Technique de la Betterave (ITB), la rémanence du glyphosate est faible (**Bizet et al., 2010**). Le glyphosate est rapidement inactivé dans le sol en raison de sa forte adsorption aux particules de sol, sachant que plus un produit s'adsorbe aux particules du sol, plus sa rémanence est faible (**Prata et al., 2003**).

Une autre étude a montré que lorsque le glyphosate atteint le sol, il est immobilisé à travers la chélation des cations : il est donc très stable et il n'est pas facilement dégradé (**Brett et al., 2010**).

Des études portant sur des lombrics exposés au glyphosate ont indiqué une réduction du rythme de leur croissance et une tendance de ces animaux à éviter les endroits traités à cet herbicide, toute atteinte à ces invertébrés risque de compromettre la santé des sols. (**Brack et al., 2010**). Des chercheurs indépendants publient actuellement des études qui prouvent que le glyphosate s'attaque à certaines fonctions clés de la rhizosphère (**Huber et al., 2005**), Et cela peut engendrer des impacts sur l'environnement surtout avec la rémanence de ces molécules toxiques. Après pulvérisation, ils se trouvent réparties entre la plante, le sol et l'atmosphère. (**Beckert et al., 2011**).

Les vers de terre, sont particulièrement atteints par les herbicides via l'eau polluée qui imbibe le sol (**Mamy et al., 2011**).

Dans ce contexte, notre mémoire de fin d'études se propose d'étudier au laboratoire l'impact du Glyphosate sur une espèce de vers de terre *Nicodrilus caliginosus*.

Ce travail est composé de quatre chapitres :

- A la suite d'une introduction générale, la première partie est une revue bibliographique qui consiste en une synthèse des connaissances sur les vers de terre et sur les herbicides particulièrement le glyphosate.
- Le deuxième chapitre consacré à la présentation de la région d'échantillonnage.
- Le troisième chapitre se rapporte aux matériels et méthodes particulièrement le prélèvement des échantillons et les analyses nécessaires.
- Le quatrième chapitre correspond aux résultats dégagés et à la discussion générée.

Le mémoire est enfin complété par une conclusion générale récapitulant les résultats obtenus et les perspectives.

Chapitre 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Rappel sur les annelids

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)** a étudié le vers de terre et donna à cette Famille ses lettres de noblesse en lui consacrant un livre paru en **1881** dans lequel il affirmait qu'il n'existe peut-être aucune autre créature dont le rôle a été aussi important dans l'histoire de la vie sur Terre (**Bogdanov, 1996**).




Les Annélides sont principalement représentés dans les écosystèmes terrestres par les vers de la classe des oligochètes qui représentent une composante majeure de la macrofaune du sol puisque, dans la plupart des écosystèmes terrestres, ils dominent en biomasse. Ils sont également connus comme étant de bons bioaccumulateurs de certains polluants comme les Métaux lourds, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

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 3 600 espèces de vers de terre avaient été recensées dans le monde, auxquelles s'ajoutaient plus de soixante nouvelles espèces chaque année (**Pelosi, 2008**). La première description d'une espèce de vers de terre en Algérie, a été faite par **Gandolphe** en 1861 dans la région d'Annaba. Par la suite, **Beddard (1892)** a signalé la présence de **Microscolex algeriensis**. Dès lors, les travaux ont été interrompus et n'ont été repris qu'en **1987** par **Omodeo et Martinucci** qui a identifié des vers de terre dans les régions Forestières du massif du Djurdjura, de l'Akfadou et du massif de l'Edough. En **1992**, **Baha** a entrepris une étude quantitative et qualitative des vers de terre sur des sols cultivés. En **1997**, **Barra** a identifié les oligochètes des régions d'El Harrach, du Hamma et Birtouta. En **2003**, **Omodeo, Rota et Baha** s'intéressèrent à la biogéographie et aux caractères écologiques des oligochètes du Maghreb.

En France, **Bouché (1972)** a recensé environ 180 espèces de lombriciens. Cet auteur a proposé de classer les vers de terre en trois catégories écologiques, basées sur des critères morphologiques (pigmentation, taille), comportementaux (alimentation, construction de galeries, mobilité) et écologiques (longévité, temps de génération, prédation, survie à la sécheresse). Toujours selon **Bouché (1977)**, **Edwards et Lofty (1977)**, et **Lee (1985)**, on distingue 3 grands groupes écologiques de lombriciens (**Tableau 1**).

Tableau 1: Synthèse des caractéristiques de trois groupes écologiques.

Groupes	Epigés	Endogés	Anéciques
	Espèces qui habitent dans la litière de surface	Espèces qui creusent des galeries horizontales et superficielles	Espèce qui creuse des galeries verticales et profondes
Représentants			
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 (\varnothing 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 des grands débris de plantes dans leurs galeries d'habitation
Multipliation	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 du compost, Ver rouge du marécage	Octolasion lacteum, Allolobophora caliginosa	Lombric, Ver à tête noire

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 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**).

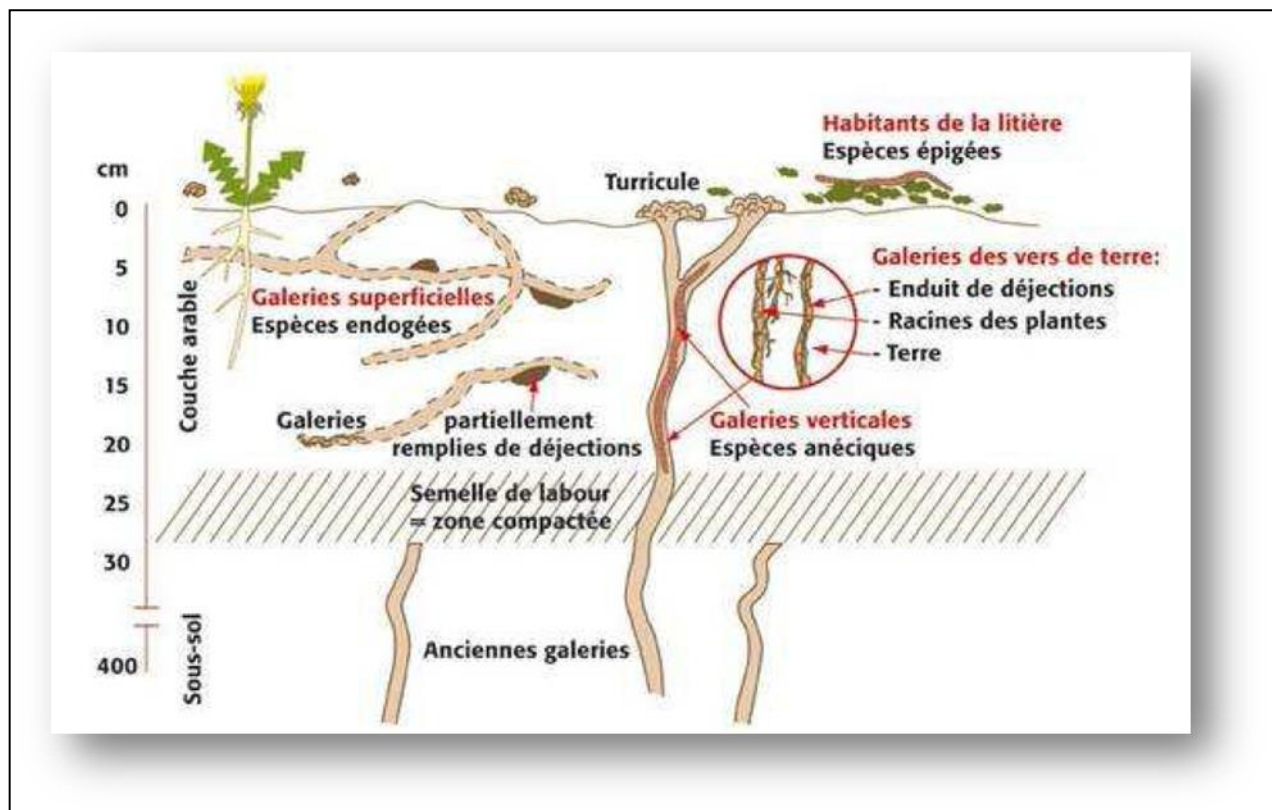


Figure 1 : Les zones où vivent les trois grands groupes de vers de terre.

(<http://www.bioactualites.ch/>)

1.2. Taxonomie générale des Oligochètes

Les lombriciens sont des invertébrés, appartenant à l'embranchement des Annélides (**Lamarck, 1801**), à la classe des Clitellata, sous-classe des Oligochaeta (**Huxley, 1875**), et à l'ordre des Haplotaxida, et se répartissent en plusieurs familles suivant des caractéristiques spécifiques.

BOUCHE (1970 in BACHELIE, 1978) le même auteur les lombrics sont classés comme suit :

- Embranchement : Annélides
- Classe : Annélides oligochètes
- Ordre : Opisthopores
- Super famille : Lumbricina
- Famille : Lumbricidae
- Sous famille : Eiseninae
- Genre Eisenia
- Sous famille : Lumbricinae englobe 7 genres
- Genre Dendrobaene
- Genre Octoolasiunt
- Genre Bimasfus
- Genre Allobophora
- Genre Eophila (Helodrilus)
- Genre Eiseniella
- Genre Lumbricus

1.2.1. Morphologie

La morphologie externe et l'anatomie interne des oligochètes est détaillée dans des ouvrages généraux tels que **Avel (1959)**. Lorsque les vers de terre ne sont pas pigmentés, ils sont qualifiés d'albiniques (**Bouché, 1972**) quoique leur teinte apparente puisse être assez variée, elle dépend en effet, de la coloration interne des organes, du fluide coelomique, du tube digestif et de son contenu.

Leur corps est mou, toujours humide grâce à un léger mucus. Ils se déplacent en contractant et allongeant alternativement leurs segments. Signalons que les vers de terre ont une odeur caractéristique, généralement assez discrète, mais qui devient relativement forte et désagréable chez *Eisenia fetida* (**Baha, 2008**).

1.2.2. Description morphologique

1.2.2.1. Anatomie externe

Le corps est cylindrique et formé d'une succession de segments semblables compris entre un lobe céphalique (**Prostomium**) et un lobe terminal (**Pygidium**) (**Lavelle et Spain, 2001**). Leur système nerveux se compose d'une chaîne ventrale double comportant une paire de ganglions par

segment. Cette chaîne est reliée à l'avant à des ganglions cérébroïdes dorsaux par un collier périoesophagien (**BACHELIER, 1978**).

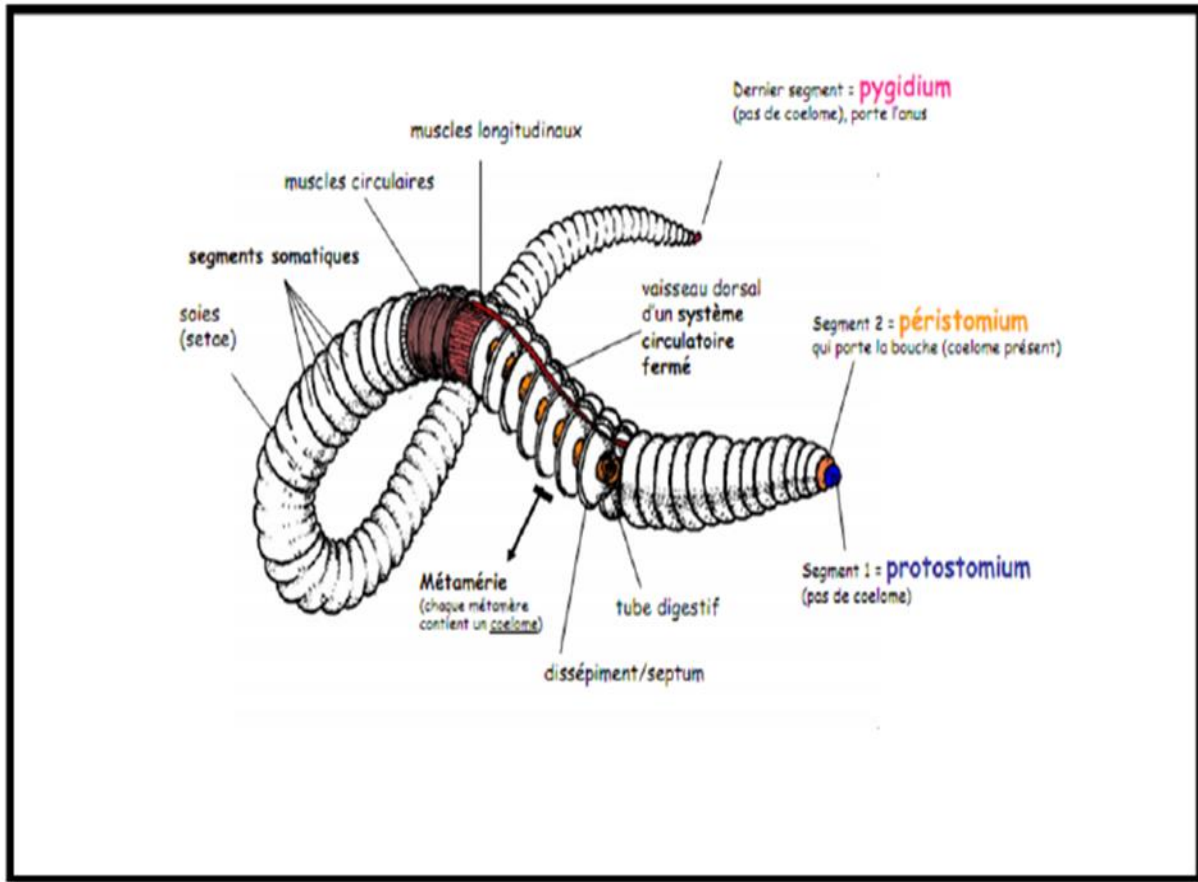


Figure 2: Anatomie d'un ver de terre (Sims et Gerard, 1999).

1.2.2.2. Taille

La longueur des vers peut varier du simple au double et, pour une même espèce, elle est influencée par de nombreux facteurs physiques dont l'humidité du sol.

A l'âge adulte, les quelques vers communs suivants mesurant approximativement :

Espèce	Longueur
<i>Lumbricus rubellus</i>	30-110 mm
<i>Allolobophora caliginosa</i> f. <i>typica</i>	40-100 mm
<i>Eisenia rosea</i>	25-85 mm
<i>Dendrobaena subrubicunda</i>	30-90 mm
<i>Octolasion cyaneum</i>	50-170 mm

Certains vers de terre rares dépassent 50 cm, tels les trios vers trouvés en France par **Bouche (1967a)** :

Eophila occidentalis chicharia	430-750 mm
Eophila velox	500 mm
Hormogaster redii f.gigantes	750 mm

FRANZ (1968) cite que *l'Allolobophora hrabei* présente en Autriche et en Tchécoslovaquie mesure environ 500 mm de largeur.

1.2.2.3. La coloration

Les vers de terre ont une large gamme de couleur. D'après **VIGOT et CLUZEAU (2014)** et **PERES et al. (2011)**, les épigés sont de couleur foncée ; les endogés sont très peu colorés à apigmentés gris, rose ou vert. Les anéciques dont les couleurs varient du rouge au brun, avec couramment un gradient de couleur de la tête vers la queue. Selon **BACHELIER (1978)**, les vers de surface apparaissent plus pigmentés que ceux qui vivent en profondeur. Les vers des régions relativement sèches sont souvent de couleur plus sombre que les vers des régions humides.



Figure 3: Couleurs des groupes écologiques chez les vers de terre (**Bouché, 1972**).

1.2.2.4. Soies

Les vers de terre possèdent des soies rigides, peu nombreuses et de forme peu variée, implantées directement dans les téguments, soit en 8 rangées groupées deux à deux (disposition lombricienne), soit formant au milieu des segments une ceinture presque complète (disposition périchétienne des Megascolecoda). Les soies peuvent être sorties ou rétractées grâce à des

muscles protracteurs et rétracteurs situés à la base des follicules d'où naissent les soies (**Bachelier, 1978**).

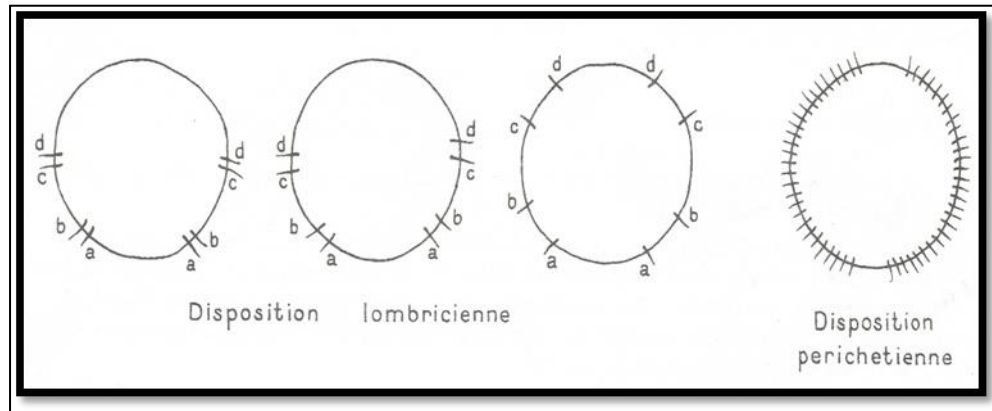


Figure 4 : Dispositions des soies chez les vers de terre (**Bouché, 1972**).

1.2.2.5. Tête

D'après Bachelier (1978), le prostomium constitue l'extrémité antérieure des vers de terre et n'a pas la même signification que les autres segments. Ses rapports avec le premier segment sont utilisés en systématique, chaque disposition ayant reçu un nom particulier.

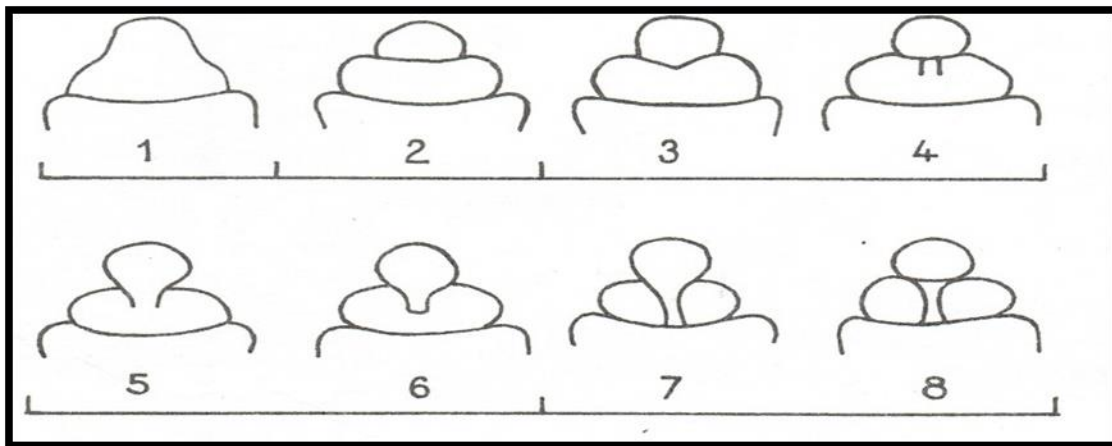


Figure 5: Schémas des divers types de tête des vers Oligochètes (**d'après TETREY, 1939**).

1 – type zygolobe ; 2 – type prolobe ; 3 et 4 – type prolobe-épilobe (fermé en 3, ouvert en 4) ; 5 et 6 – type épilobes (ouvert en 5, fermé en 6) ; 7 – type tanylobe ; 8 – type prolobe – tanylobe.

1.2.2.6. Pores dorsaux

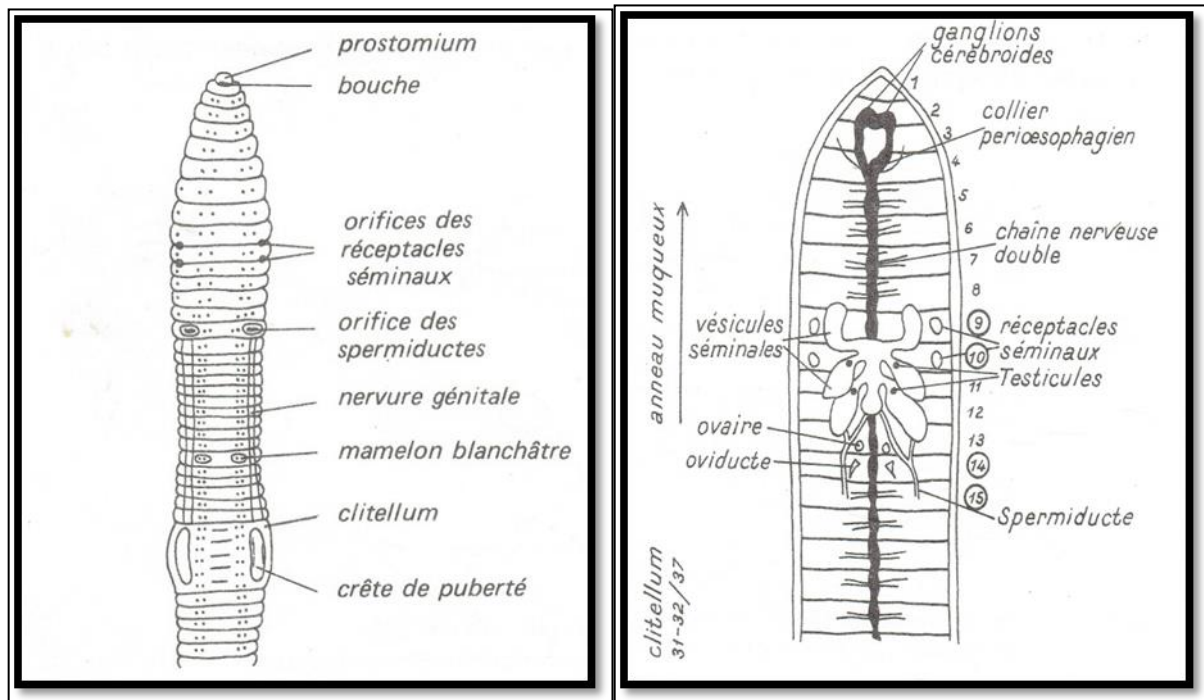
Les pores dorsaux sont de petites ouvertures situées sur les sillons inter segmentaux ou la ligne dorsale et n'apparaissant uniquement que chez les Oligochètes terricoles. Ces ouvertures communiquent avec la cavité centrale et le fluide cœlomique.

En réponse à une irritation mécanique ou chimique, les vers éjectent un fluide cœlomique par ces pores dorsaux ; de même, quand ils sont soumis à des extrêmes de chaleur ou de froid. Quelques espèces peuvent même éjecter ce fluide cœlomique à distance, tel *Megascolides australis* qui éjecte ce fluide à une hauteur de 10 cm et *Didymogaster sylvaticus* (Megascolecidae) à 30 cm ! Ce qui découragerait les éventuels prédateurs (**EDWARDS et LOFTY, 1972**).

1.2.2.7. Caractères sexuels externes

D'après **BACHELIER (1978)**, L'emplacement des orifices mâles, dont les lèvres, épaisses et blanchâtres au moment de la reproduction, constituent un caractère sexuel secondaire bien visible. Par contre, l'emplacement des orifices femelles ne peut pas facilement être déterminé, car ces orifices sont très petits, même aux périodes de ponte. L'emplacement du clitellum, bourrelet qui apparaît sur le corps des vers de terre à maturité sexuelle et qui sécrète le cocon où sont pondus les œufs. Et l'existence éventuelle de nervures génitales qui relient les orifices mâles au clitellum, notamment chez les Lumbricidae. L'existence de crêtes de puberté saillant sur le clitellum et des mamelons blanchâtres sur certains segments antérieurs. Ainsi que l'emplacement des orifices des réceptacles séminaux ou spermathèques, parfois visibles au moment de la reproduction ou *L. terrestris* possède deux paires de pores spermathécaux. Mais d'autres vers en ont davantage, jusqu' à un maximum de 7 paires.

Quelques-uns, au contraire, n'en qu'une paire ou pas du tout. De nombreux Megascolecidae possèdent un ou plusieurs diverticules des conduits spermathécaux (**EDWARDS et LOFTY, 1972**).



(a)

(b)

Figure 6 : (a) Région antérieure de *Lumbricus terrestris* (STEPHENSON in BACHELIER, 1978) ; (b) Organes génitaux et système nerveux de *Lumbricus terrestris* (L.BERTIN et A.BOISSEL).

1.3. Détermination des espèces

La détermination des vers de terre demeure toujours délicate. EDWARDS et LOFTY(1972) donnent une clef détaillée des espèces les plus communes d'Angleterre et éventuellement d'Europe.

BOUCHE (1972) donne une clef détaillée des Lombriciens de France, et selon lui la détermination des vers de terre est basée sur les critères suivants :

La disposition des sois, le nombre de segments avant ou en arrière de clitellum, la forme de prostomium ainsi que la présence ou l'absence des réceptacles séminaux, le nombre des pores, la forme de clitellum, la couleur de la surface dorsale antérieure, le conduit spermatique avec/sans papille distincte, la disposition de crête de puberté et la présence de la bonde transversale.

1.4. Biologie des vers de terre

La biologie des vers de terre est différente aux autres faunes du sol, on va voir la reproduction et longévité.

1.4.1. Reproduction et longévité

Les vers de terre sont hermaphrodites, l'autofécondation a été rarement observée. Les vers de terre se reproduisent en mieux au printemps et en automne, si les conditions de température et d'humidité dans le sol sont favorables (**HERGER, 2003 ; VIGOT et CLUZEAU 2014**).

L'accouplement des vers se fait de nuit à la surface des sols (**BACHELIER, 1978 et HERGER, 2003**). La maturité sexuelle des individus se caractérise par l'épaississement de la peau dans la partie antérieure (clitellum) ; la présence d'un mucus collant et spécial ; des poils clip protègent les côtés du ventre rapprochés et des gamètes qui se produisent dans les ouvertures reproductrices mâles (**HERGER, 2003**). Les organes reproducteurs mâles sont sur les segments 9, 10, 11, 12 et 15 qui portent l'orifice. Les organes reproducteurs femelles sont sur les segments 13 et 14 qui portent l'orifice. Les segments 32-37 forment la gangue muqueuse ; les gonopores des 2 lombrics ne sont pas face à quelque chose de marquant. Les spermatozoïdes migrent le long de l'animal pour arriver dans les réceptacles séminaux (spermathèque). Quand ils sont accouplés, les 2 lombrics sont au stade sexuel mâle ; Dans certains cas, il y a accolement du gonopore mâle sur les réceptacles séminaux. Ensuite on passe. La phase de maturation des organes génitaux femelles. Il y a fabrication de la gangue muqueuse au niveau du clitellum puis l'animal recule pour atteindre le segment 9 (spermathèque) où il y aura fécondation externe, les spermatozoïdes d'un lombric sont déposés sur les organes génitaux femelles de l'autre lombric puis il y a formation d'un cocon (**Figure 7, 8, 9**) (**GAUER, 2007**).

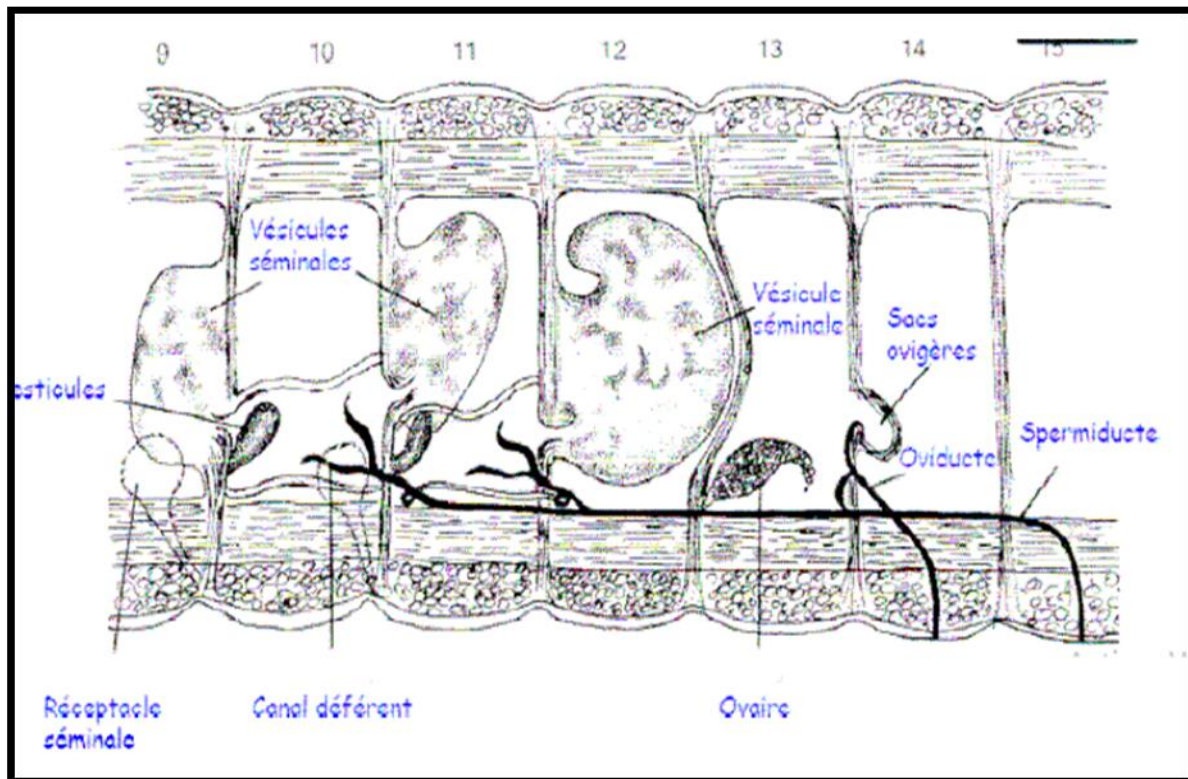


Figure 7 : Les organes reproducteurs (GAUER., 2007).



Figure 8 : L'accouplement chez les lombrics (TREMBLAY, 2014).

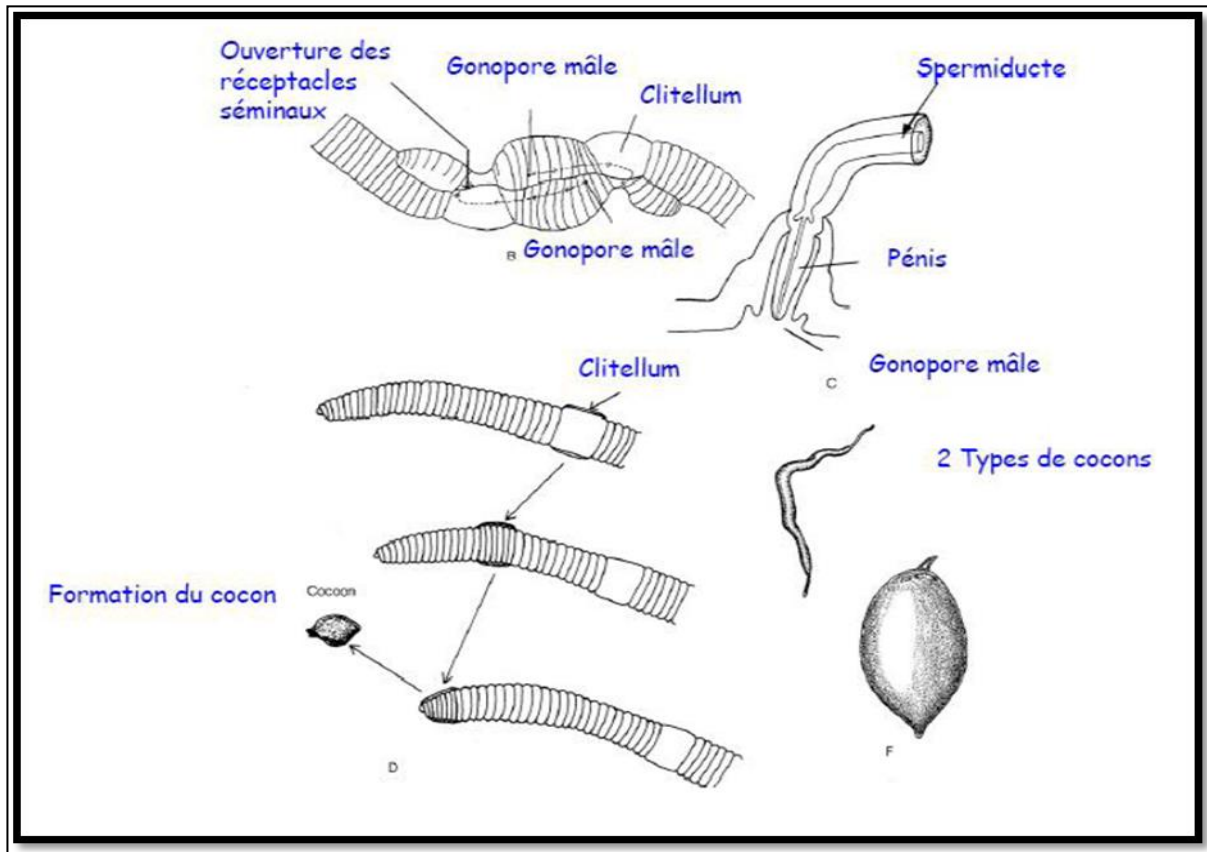


Figure 9 : La reproduction chez le lombric (GAUER, 2007)

Selon **BACHELIER (1978)**, la production des cocons varie selon les espèces, la température, l'humidité et la nourriture. Les vers qui vivent en surface produisent beaucoup plus de cocons que les vers qui survivent en profondeur. Chez l'espèce *Eisenia foetida*, plusieurs cocons peuvent être émis successivement par un même ver et chaque cocon renferme plusieurs oeufs, exception faite des cocons de quelques gros vers qui ne renferment qu'un seul oeuf.

1.4.2. Nutrition

Les vers de terre se nourrissent par les plantes mortes (**PIFFNER et al., 2007 ; SCHMUTZ, 2013**). Ils peuvent manger les feuilles et les résidus de culture, Les bactéries, les algues, les protozoaires et même les champignons mycélium (**HERGER, 2003 ; PELOSI, 2008**), et même les nématodes et les rotifères (**KÖNIG, 2007**).

Selon **BACHELIER (1978)**, les vers peuvent ingérer même le sol avec les résidus de culture. Cette ingestion de terre par les vers varie d'importance selon les espèces, mais aussi les sols, les saisons et la nature des matériaux végétaux.

D'après **DALLERAC (2005) ; DOMINGUEZ et al. (2009) ; MARTIN et al. (2011)**, le régime alimentaire des vers de terres est variable. Il est en fonction du groupe écologique. Les vers

épigés se nourrissent de la litière bien fragmentée préalablement (résidus de feuilles et autres parties végétales mortes), Les endogés consomment la matière organique dispersée dans la partie minérale du sol. Les anéciques viennent se nourrir par les déchets végétaux en surface.

Une litière d'aulne ajoutée à du fumier détermine une forte augmentation en poids des vers, bientôt suivie de leur mort. Une litière mixte composée de feuilles de chêne, de hêtre et de robinier cause d'abord une perte en poids des vers puis leur mort. Le résultat de cette digestion est un terreau plus foncé que le sol ingéré, de pH plus alcalin et à microflore sélectionnée mais plus active (**BACHELIER, 1978**). Donc les vers de terre ingèrent les micro-organismes vivants et du micro et des méso-faunes vivantes ou mortes.

1.4.3. Cycle annuel des activités

Les vers de terre ne peuvent plus réguler leur température corporelle (**HERGER, 2003**). Chaque espèce peut vivre et activer à une gamme des températures bien précises (**BACHELIER, 1978**) Les lombrics travailleront efficacement à des températures allant de 15 °C à 25 °C (**MORIN et al., 2004**).

L'activité et la reproductivité arrivent au maximum au printemps et en automne (**HERGER, 2003**), exactement en mars - avril et en septembre - octobre (**SCHMUTZ, 2013**). Pendant les périodes sèches et chaudes les vers de terre ne peuvent plus résister la survie à la surface (**HERGER, 2003**). Ils se retirent dans les profondeurs du sol et s'enroulent sur eux-mêmes dans une cavité sphérique consolidée donc ils rentrent en estivation (**BACHELIER, 1978 ; SCHMUTZ, 2013**). Egalement en hiver, le gel sévère rend impossible la prise de nourriture et la vie dans la couche supérieure du sol (**HERGER, 2003**). Ils se retirent dans la partie non gelée de leurs galeries et s'installent (**SCHMUTZ, 2013**). Ils réduisent leur surface corporelle, ce qui réduit l'évaporation de leur fluide. Dès que les conditions extérieures sont favorables à nouveau, les vers réveillent à une nouvelle activité (**HERGER, 2003**).

1.4.4. La respiration

Les vers de terre ont une respiration cutanée qui n'est possible que si leur peau est maintenue humide (**BACHELIER, 1978 ; HERGER, 2003**). Les gaz respiratoires sont échangés à travers les vaisseaux sanguins qui se trouvent sous leurs peaux.

Ils peuvent vivre un certain temps en anaérobiose, accumulant des acides qu'ils oxydent ensuite rapidement quand ils disposent à nouveau d'oxygène ; des anaérobies strictes les excréteraient (**AVEL, 1959**).

Dans les cas extrêmes, les vers de terre perdent de l'eau par évaporation, la diurèse et la production de mucus, qui peuvent aller jusqu'à 70% de poids corporel sans avoir été endommagés (**HERGER, 2003**).

1.5. Fonctions éco systémiques des vers de terre

Les vers de terre modifient physiquement leur environnement et changent ainsi la disponibilité des ressources pour les autres organismes (**Lavelle, 1997 ; Edwards 2004**). En creusant les galeries, ils augmentent la macroporosité du sol et contribuent ainsi à son aération (**Lavelle, 1997**) et à l'infiltration de l'eau, ce qui minimise le ruissèlement des eaux de surface et réduit les risques de pollution des sols. Inversement, les galeries accélèrent l'infiltration des produits phytosanitaires vers les nappes phréatiques. Ce transfert rapide à travers les galeries d'anéciques ne laisse pas le temps aux microorganismes pour détoxifier un certain nombre de produits (**Pelosi, 2008**). Ces galeries permettent aussi le mouvement des invertébrés (**Jégou et al., 2002**) et permettent aux microorganismes d'atteindre des ressources auparavant inaccessibles (**Jana, 2009**).

Les vers de terre contribuent également à l'incorporation, au transport et à la distribution de la matière organique dans le sol (**Blouin et al., 2005**). Leurs activités contribuent aux différents cycles des éléments du sol via une ingestion rapide des débris et leur transformation en minéraux (**Bhadauria et al., 2010**). Ils agissent directement ou indirectement sur les systèmes racinaires, ainsi que sur le développement des micro-organismes. **Edward et Bohlen (1996)**, observent que des échantillons contenant des vers de terre un certain temps avaient une population bactérienne 4 à 5 fois plus importante que ceux n'en ayant jamais renfermés.

Les turricules produits par les vers de terre exercent aussi une action positive sur les sols. D'une part, elle leur confèrent une stabilité structurale et deviennent ainsi plus résistants face à l'érosion (**Pelosi, 2008**). D'autre part, ayant une forte minéralisation, les turricules augmentent les teneurs en azote et phosphore minéraux disponibles pour les plantes (**Chapuis-Lardy et al., 1998 ; Barois et al., 1999**).

1.6. Relations avec les facteurs abiotiques du milieu

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

1.6.1. Facteurs hydriques

D'après **HERGER (2003)**, si le sol engorge d'eau ou se dessèche périodiquement, les vers ne peuvent plus vivre. **BACHELIER (1978)** montre que, les vers de terre absorbent continuellement par la peau de l'eau qu'ils rejettent ensuite par les néphridies et l'intestin. La quantité d'eau rejetée par les néphridies atteint à elle seule 60 % du poids du corps par jour, les

vers de terre s'enfoncent dans le sol quand il se dessèche pour ne pas mourir, se roulent en boule puis ils se déshydratent partiellement pouvant perdre jusqu'à la moitié de leur eau ; leur léthargie cesse avec le retour de l'eau et leur réimbibition. Dans des régions, la léthargie va jusqu'à la diapause avec création des cellules d'estivation, la para-diapause est une forme de léthargie déterminée par la déshydratation du milieu et ne modifiant que très faiblement la teneur en eau de l'animal. La diapause dépend d'une régulation interne, vraisemblablement d'origine endocrine. Elle se caractérise par l'arrêt de l'activité génitale, avec réduction des organes sexuels glandulaires et vacuité du tube digestif.

1.6.2. pH

Selon **BACHELIER (1978)** et **HERGE (2003)**, les vers de terre ont une large gamme de pH. Il y a des espèces acidophiles, des espèces basophiles et des espèces ubiquistes ou indifférentes. D'une manière générale, les vers de terre sont peu sensibles au pH, pour autant qu'il ne tombe pas en dessous de pH 4,4.

D'après **HERGE (2003)**, les vers préfèrent les valeurs de pH les plus acides de 3,5 à 7,5. Aux sols tourbeux, les vers sont absents à cause de leurs valeurs de pH qui est plus faible. **CLUZEAU et al. (2004)** montrent que les vers de terre préfèrent les milieux aux valeurs de pH non extrêmes (deux bornes : pH = 4,4 et 11).

1.6.3. Calcium

D'après les études biologiques, l'exigence des vers de terre en calcium sont en fonction d'espèce. De nombreux vers de terre ont aussi besoin de calcium pour leurs glandes de Morren, qui sécrètent du carbonate de calcium sous forme de petites concrétions de calcite expulsées dans le tube digestif (**BACHELIER, 1978**).

1.6.4. Salinité

La sensibilité des vers de terre est variée selon l'espèce et le type de sel. Selon **BACHELIER (1978)**, il y a des espèces euryhalines mais les vers fouisseurs se rencontrent rarement où la salinité de la solution du sol excède 0,4 %. Et d'après **CHAOUI (2010)**, L'ammonium est le principal facteur de salinité. Les vers de terre sont repoussés par une salinité supérieure à 5 mg/g. Par conséquent, si la matière première est pauvre en sel, le fumier des vers (lombricompost) le sera aussi.

1.6.5. Texture

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

1.6.6. Température

D'après **CHAOUI (2010)**, les vers de terre ont besoin d'une température allant de 0°C à 35°C (la température optimale étant de 25°C). Et selon **HERGER (2003)**, les vers de terre peuvent vivre à des températures compris entre 0°et25°C. Mais la plupart des espèces leur température optimale est de 10 à 15 °C où leur activité est optimale. L'espèce *Eisenia foetidaa* a une tolérance à haute température entre 0-30 °C (**NATURLAND, 2010**).

1.6.7. Les vers de terre et la lumière

Les vers de terre possèdent des cellules photo réceptrices dans leur épiderme et leur derme, et plus particulièrement dans l'épiderme de leur prostomium. Leur réponse à la lumière dépend de leur accoutumance, mais d'une manière générale, ils sont photo-négatifs et très sensibles à la lumière bleue ; les ultra-violets semblent leur être fatals (**BACHELIER, 1978**).

1.7. Rappel sur les pesticides

Au cours du siècle dernier, les activités anthropiques, poussées par les avancées technologiques, ont conduit à des augmentations des niveaux de contaminants organiques dans l'environnement. L'agriculture en est une source importante en raison de l'usage généralisé de pesticides pour protéger les cultures et améliorer leur rendement. En effet, depuis les années 40, l'agriculture s'est intensifiée et les pratiques ont profondément changé.

Ainsi, la plupart des pesticides inorganiques (cuivre, arsenic, fer, soufre) ont progressivement été remplacés par des pesticides organiques. Ces derniers regroupent de nombreuses familles chimiques, avec des effets variés aussi bien dans leur action que dans leur devenir dans l'environnement (**Lazartigues, 2010**). La contamination des différentes matrices environnementales (eau, sol), a été largement rapportée dans la littérature (**Tariq et al., 2007 ; Azzouz et al., 2011 ; Benbouzid et al., 2012**).

Devant le nombre considérable de pesticides (plus de 800 matières actives différentes dans près de 7000 formulation commerciales), les fabricants et utilisateurs les classent suivant la nature de l'espèce nuisible contre laquelle ils sont destinés. Les trois principales classes sont :

- **Les insecticides** : d'origine végétale (ex : pyrèthre, roténone, nicotine) ont été parmi les premiers insecticides employés par les agriculteurs mais les insecticides chimiques de synthèse demeurent un important outil de lutte antiparasitaire en agriculture, en foresterie, et dans les habitations et les paysages aménagés (**Kesraoui, 2008**). Un insecticide chimique est un produit issu de la synthèse chimique qui a la propriété de tuer les insectes à court ou à long terme. On peut distinguer trois grandes classes d'insecticides selon leurs mécanismes d'action : action sur le système nerveux, perturbation de la fonction respiratoire ou réduction de la croissance. (**Camard et Magdelaine, 2010 ; Bazzi, 2010**).

- **Les herbicides** : Les herbicides sont les produits phytosanitaires utilisés pour détruire les plantes indésirables dans une culture, appelées encore mauvaises herbes (**Neuweiler, 2009**), cette opération est nommée désherbage.
- **Les fongicides** : servant à combattre la prolifération des champignons phytopathogènes. Ils permettent de lutter contre les maladies cryptogamiques qui causent de graves dommages aux végétaux cultivés. Il existe plusieurs familles de fongicides, les plus importantes sont : carbamates (Carbendazine, Mancozèbe,...), triazoles (Bromuconazole, Triticonazole,...), dérivés du benzène (Chlorothalonil, Quintozène), dicarboximides (Folpel, Iprodione,...).

C'est la catégorie des herbicides qui nous intéresse par rapport au sujet traité. Leur utilisation massive et répétée peut engendrer des conséquences néfastes pour toutes les composantes de l'environnement. Même si la plupart des traitements sont appliqués sur les parties aériennes des plantes, une bonne part atteint toujours le sol où vivent des bactéries, des champignons, des algues et des insectes (**Bordjiba et Ketif, 2009**).

Les plus représentées sont les carbamates (Chlorprophame, Triallate,...), les urées substituées (Diuron, Chlortoluron,...), les triazines (Atrazine, Simazine,...), les chlorophenoxyalcanoïques (2,4-D, MCPA, ...), les amides (Alachlore, Propyzamide,...) et les acides phosphoniques dont le **Glyphosate**, objet de notre étude.

1.7.1. Définition du Glyphosate

C'est un herbicide organophosphoré (**Tsuioishi et al., 2009**), de formule moléculaire (C₃H₈NO₅P), il est appelé par les chimistes N-(phosphonométhyl) glycine. (**Gounari, 2006 ; Hu et al., 2008**).

C'est l'herbicide le plus vendu dans le monde depuis son arrivée sur le marché en 1974 sous la formulation commerciale « Roundup » (Monsanto, Etats-Unis). (**Mazzella et al., 2009**).

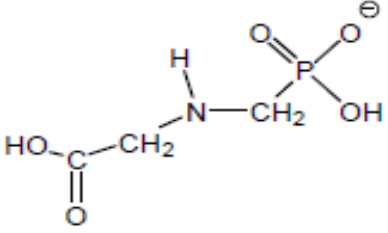
Il figure aujourd'hui sur le marché dans plus d'une dizaine de préparations commerciales (Brex, Glyphos, Roundup, Kalach... etc.). Il s'agit d'un herbicide total, pénétrant par les feuilles, puis transporté de manière systémique jusqu'aux racines. (**Delabays et Bohren, 2007 ; Druart et al., 2011**), le produit le plus courant contient 360 g de glyphosate/litre (**FAO., 1987**).

Le glyphosate seul est peu efficace car elle n'adhère pas aux feuilles ni ne les pénètre facilement. Pour accroître sa solubilité, il est donc habituellement préparé sous forme de sel d'isopropylamine ou bien des additifs ou des surfactants lui sont ajoutés pour le fixer sur les plantes (**Le Mer et al., 2009**).

1.7.2. Les propriétés physico-chimiques

Le glyphosate est très polaire, il est très soluble dans l'eau mais insoluble dans la plupart des solvants organiques. Dans les sols, il est rapidement adsorbé (**Ibanez et al., 2005**). (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Les propriétés physico-chimiques du Glyphosate (Couture *et al.*, 1995 ; Baylis, 2000).

Molécule	Formule	Propriétés physico-chimiques
Glyphosate		<p>Poids moléculaire [g/mol]= 169.1.</p> <p>Pression de vapeur [Pa] 1.31.10⁻⁵ (T = 25°C)</p> <p>Coefficient d'adsorption : (Koc) [L/kg] = (884-60000)</p> <p>Constante de dissociation (pKa)</p> <p>pKa1= 2.34 à 20°C (acide phosphate)</p> <p>pKa2= 5.73 à 20°C (amine secondaire)</p> <p>pKa3= 10.2 à 20°C (acide carboxylique)</p> <p>Solubilité (eau) = 12 g/L à 25°C</p> <p>Stabilité :</p> <p>Eau : DT50 = 2 à 91 jours, (photodégradation) ;</p> <p>Sols : DT50 =3 à 174 jours,</p> <p>Kd = 61 g/m³ (coefficient d'adsorption très élevé)</p> <p>Point de fusion=200°C</p>

1.7.3. Effet du Glyphosate sur les vers de terre

Selon les études effectuées en laboratoire, le glyphosate a un impact limité sur les microorganismes du sol, de plus, Les essais réalisés en milieu naturel démontrent plutôt que les microorganismes augmentent dans les sols traités au glyphosate suggérant ainsi l'utilisation du glyphosate comme substrat (Couture *et al.*, 1995 ; Milon et Vernez, 2006).

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

Chapitre 2 : Présentation de la station d'échantillonnage

La récolte des vers de terre est effectuée au niveau d'une station dans la wilaya de Tizi-Ouzou ; Commune de Beni Douala village Ait-Mesbah.

La région d'étude prise en considération est représentée dans la figure ci-dessous :

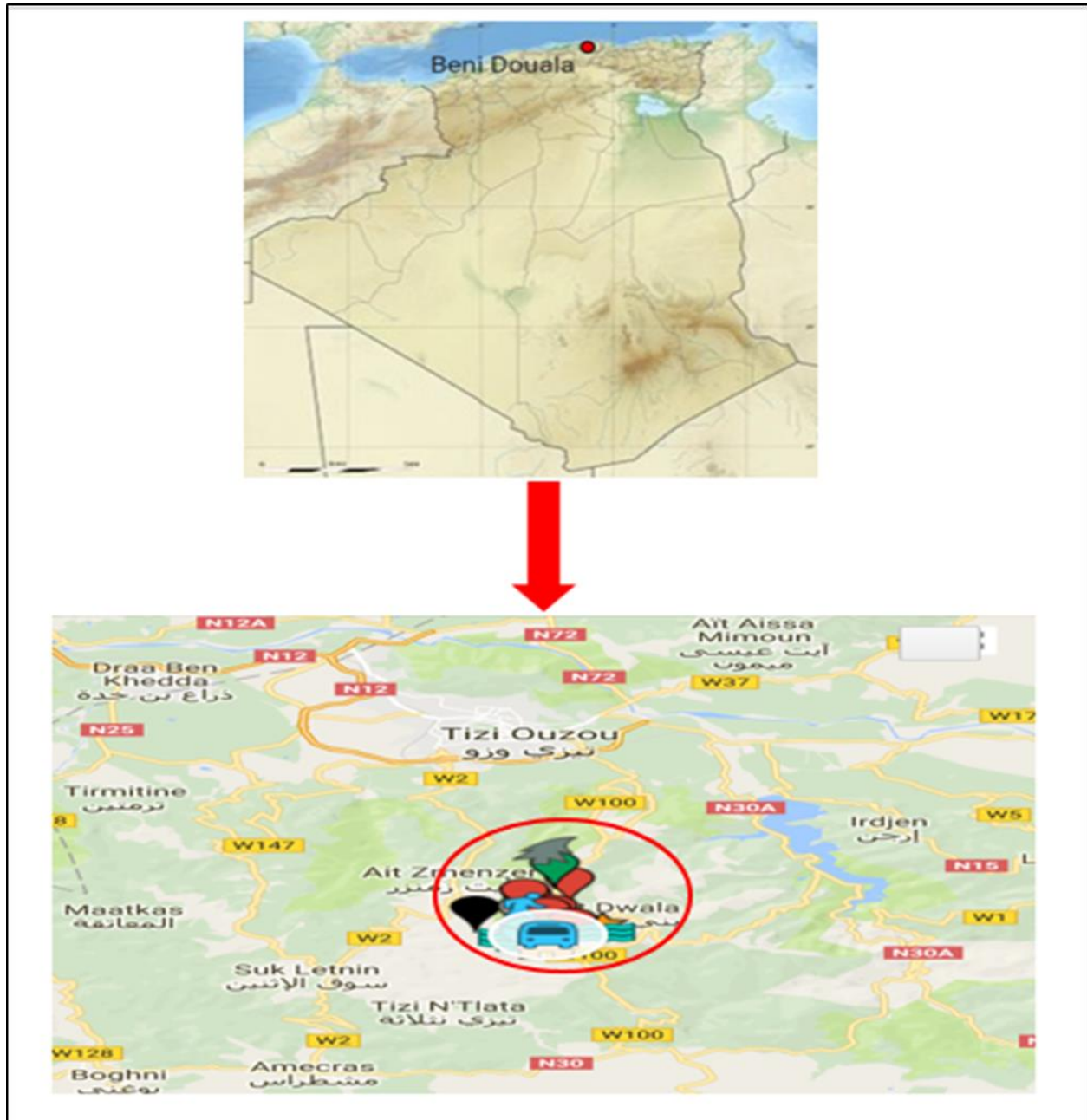


Figure 10 : Localisation géographique de la station d'échantillonnage (Google Earth ; Google maps. 2017).

2.1. Situation géographique

Ath Douala, est une commune située à 17km au sud-est du chef-lieu de la Wilaya de Tizi-Ouzou et à 55km de la mer Méditerranée ; ses coordonnées géographiques sont : 36° 37' 00" nord, 0° 04' 00" est, et environ 850m d'altitude.

La commune de Beni Douala s'étend sur une superficie de 35.09 km² et bordée par Beni Zmenzer à l'Ouest, Ait Mahmoud à l'Est, Ouadhia au sud au nord Beni Aïssi (**Figure 11**).



Figure 11 : Communes limitrophes de Beni Douala (**Wikipédia**).

2.2. La caractérisation climatique

Le climat est un facteur déterminant car il a une influence directe sur l'atténuation ou l'augmentation d'une pollution et sur la disponibilité des eaux. Il a une grande influence sur l'environnement et dépend de nombreux facteurs en l'occurrence, la température, les précipitations et l'humidité.

Ainsi il est considéré comme l'un des paramètres le plus importants qui ont une influence directe et/ou indirecte sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols ; il joue également un rôle important dans la répartition et la survie des êtres vivants.

Le climat de Beni Douala est dit tempéré chaud. La pluie dans cette région tombe surtout en hiver, avec relativement peu de pluie en été. Selon la classification de Koppen-Geiger, le climat est de type Csa (**meteovista.be**).

2.2.1. La température

La température est un facteur très important en écologie, car il intervient dans l'étude hydro-climatique d'une région (**LAKROUF, 1995**).

La température contrôle aussi l'ensemble métabolique et conditionne la répartition des êtres vivants dans la biosphère (**RAMADE, 1984**).

Les variations et les changements de températures en une influence sur les propriétés d'un sol et principalement sur le comportement et la biodiversité des microorganismes du sol (**DAVET, 1996 in DAID, 2010**).

Les moyennes des températures de la période 2010 à 2016 sont représentées dans la **Figure 12**.

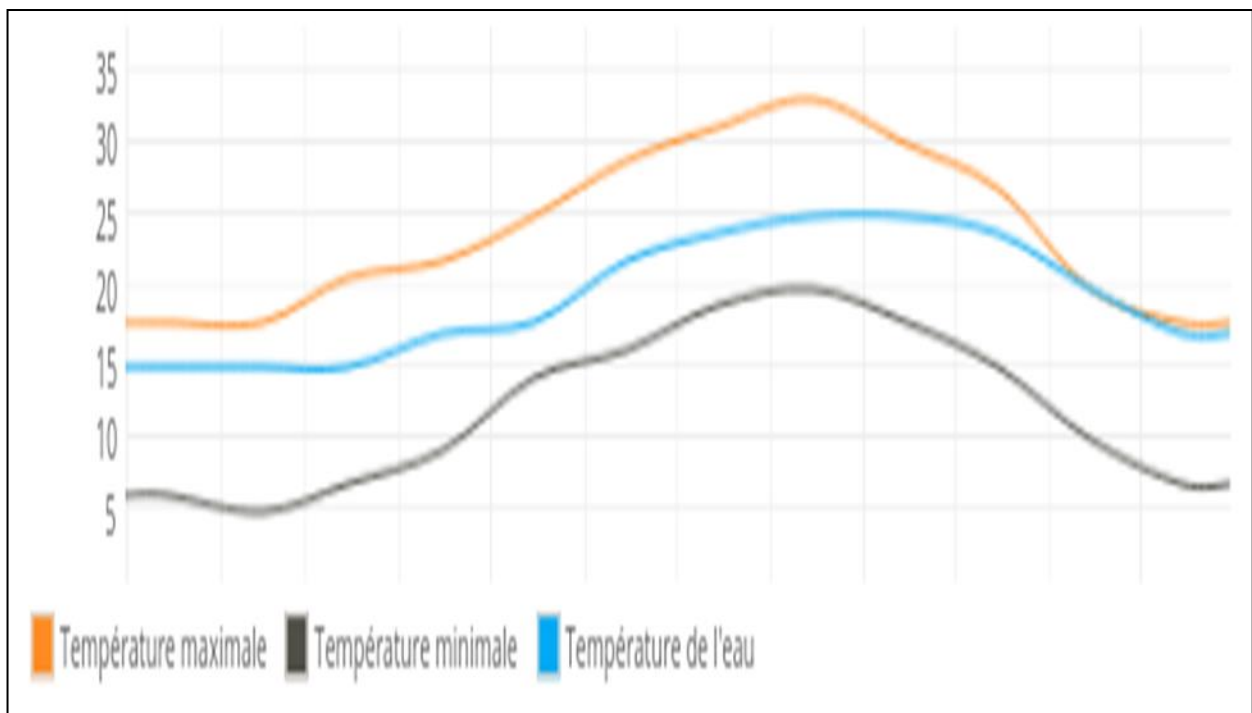


Figure 12 : Températures moyennes mensuelles enregistrés dans la région de Beni Douala (2010-2016) (meteovista.be).

La figure ci-dessus montre que pour la région de Beni Douala que le mois d'Aout est le plus chaud de l'année. La température moyenne est de 26.4 °C à cette période. Au mois de janvier, la température moyenne est de 7.7°C. Janvier est de ce fait le mois le plus froid de l'année. Une différence de 18.7 °C existe entre la température la plus basse et la plus élevée sur toute l'année.

2.2.2. Les Précipitations

Les précipitations sont des facteurs prépondérants pour la détermination d'un climat.

Les valeurs des précipitations mensuelles sont représentées par la **Figure 13**.

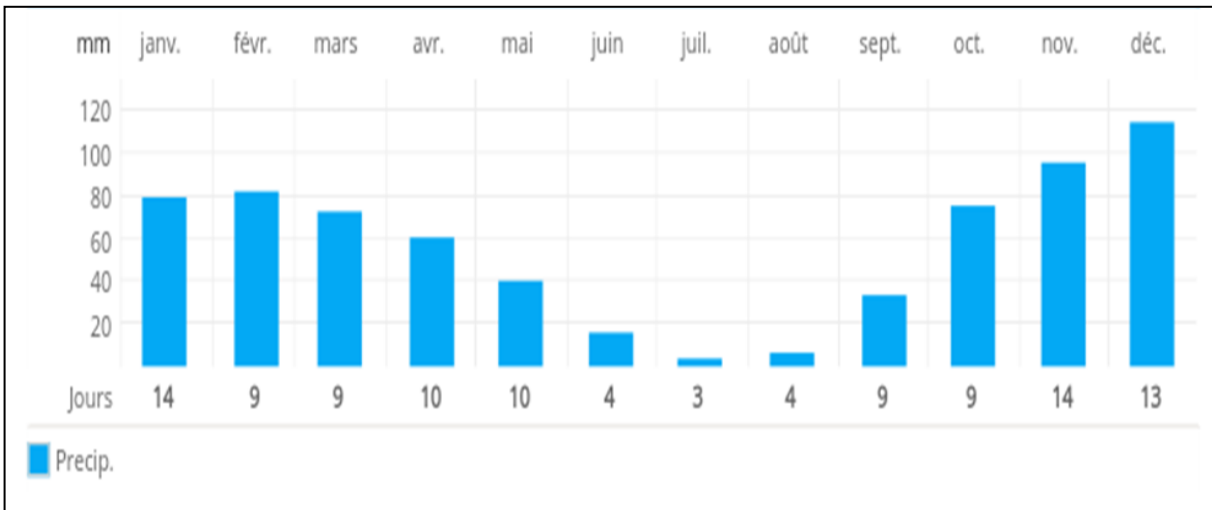


Figure 13: Précipitations moyennes mensuelles enregistrés dans la région de Beni Douala (2010-2016) (meteovista.be).

L'histogramme ci-dessus montre que les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en juillet avec 3 mm seulement. Le mois de janvier, avec une moyenne de 168 mm, affiche les précipitations les plus importantes. Une différence de 165 mm est enregistrée entre le mois le plus sec et le mois le plus humide.

2.2.3. L'humidité

Les moyennes mensuelles d'hygrométrie en (%) sont consignées dans la figure suivante.

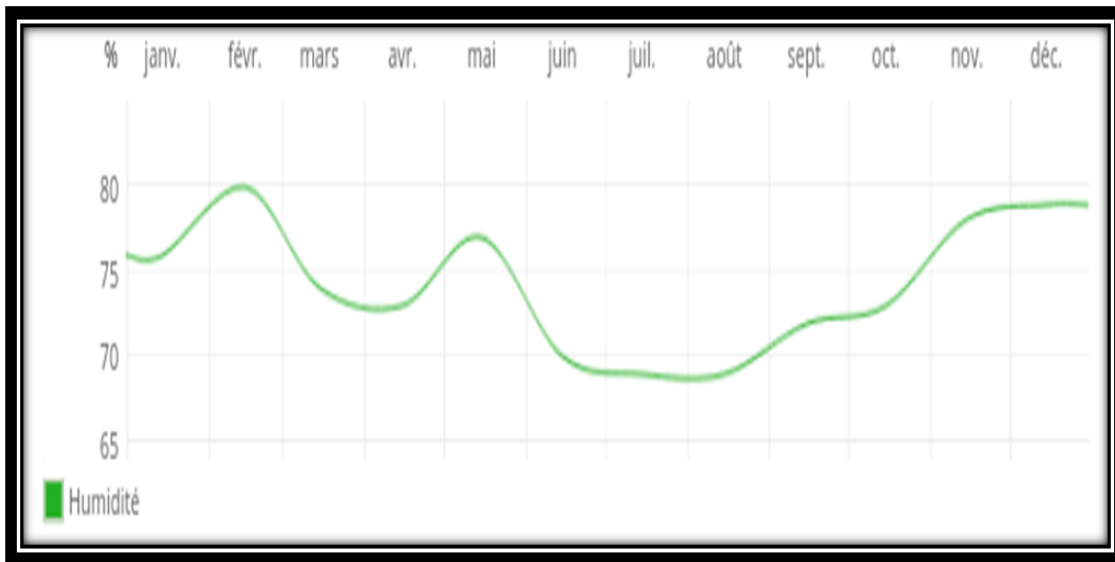


Figure 14 : Variation de moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air dans la région de Beni Douala (meteovista.be).

La **Figure 14**, montre que l'humidité relative maximale est enregistrée durant le mois de janvier avec une valeur de 85%, et la plus basse est enregistrée durant le mois d'août avec la valeur de 70%.

2.2.4. La végétation

La végétation dans cette région est le fruit d'une longue implantation de l'homme. Elle est caractérisée par une strate arborescente, représentée principalement par l'olivier (*Olea europea*) et les arbres fruitiers ; oranger, pommier, cerisier. On y trouve aussi quelques espèces sauvages incrustées qui constituent les maquis bas telles que le ciste (*Cistus triflorus*) et les genêts (*Genis tatricupidata*). Une strate herbacée ou domine la famille des composées, exemple du trèfle, cette dernière est fauchée en été pour servir de fourrage. On y trouve également le figuier de Barbarie (*Opencia ficus*).

Chapitre 3 : MATÉRIÉL ET MÉTHODES

Dans le but d'évaluer l'effet des herbicides tel que le Glyphosate sur les vers de terre, un essai a été mené au niveau du laboratoire.

L'étude consiste à introduire une espèce de vers de terre dans un sol contaminé par différentes concentrations du Glyphosate.

3.1. Méthodes de prélèvements (Echantillonnage)

3.1.1. Prélèvement des vers de terre

La collecte s'est déroulée pendant la saison d'activité des vers de terre de décembre 2016 à février 2017 au cours de plusieurs sorties sur le même terrain, particulièrement durant les jours pluvieux pour choisir l'espèce la plus abondante.

Pour extraire les vers de terre, nous avons utilisé une méthode physique de **Bouché (1972)** qui consiste à :

- Désherber le sol sur le point de prélèvement.
- Remonter le sol, jusqu'à obtention d'une cavité d'une profondeur de 30 cm.
- Récolter les individus qui émergent du sol et sélectionner les individus adultes.
- Trier soigneusement le sol et collecter les vers de terre qu'il contient.
- Mettre les individus dans des terrariums.

Ainsi une espèce abondante dans le milieu est choisie pour l'étude au laboratoire (**Figure 15**).



Figure 15 : Etapes de prélèvement des vers de terre.

3.1.2. Prélèvement du sol

45 kg du sol sont prélevés au niveau du même terrain où nous avons prélevé les vers de terre. Transférer au laboratoire puis tamiser à 2 mm et enfin collectés dans 45 cosmes de 1kg.

3.2. Travail au laboratoire

Ce travail est partagé en trois parties principales : l'identification de l'espèce, contamination des sols et suivi de la croissance des vers de terre après contamination et enfin l'analyse physico-chimique du sol.

3.2.1. Identification de l'espèce

3.2.1.1. Méthodologie

10 vers de terre sont d'abord sélectionnés et étudiés morphologiquement, à l'état vivant (avant fixation) en notant la longueur du corps, la couleur du tégument, et le gradient de coloration. Les individus sont ensuite fixés avec du formol à 4%, puis observés sous loupe binoculaire en vue d'une identification basée sur des caractéristiques externes selon **Bouché (1972)**.

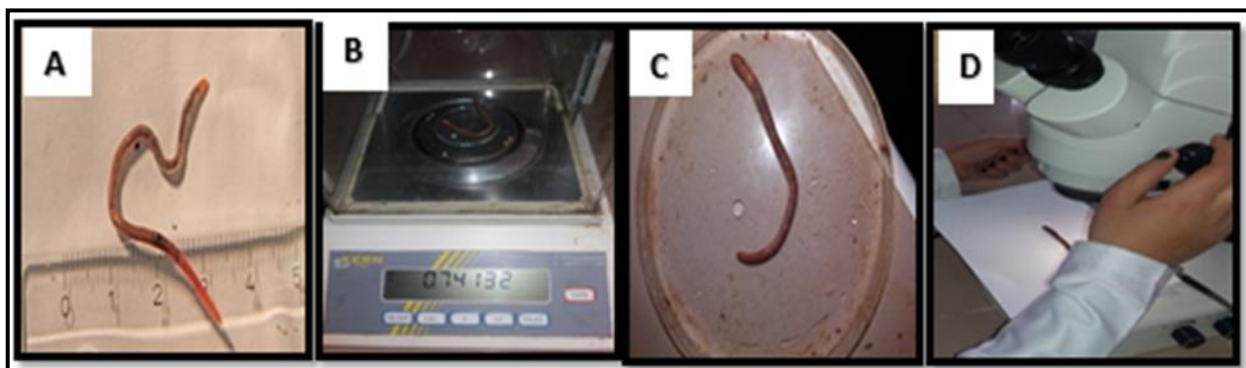


Figure 16 : Étapes d'identification des vers de terre .

3.2.1.2. Critères d'identification

L'identification est effectuée selon la méthode établie par **Bouché (1972)**, basée sur des critères morphologiques variables selon les espèces, dont plusieurs concernent les organes sexuels, d'où l'intérêt de sélectionner des adultes.

Le clitellum est un critère primordial pour l'identification. En effet, sa forme (annulaire ou en selle), ainsi que sa couleur et sa position sur le corps du lombric sont propres à chaque espèce. Sur sa face ventrale, on peut observer plus au moins distinctement un puberculum de formes différentes selon les espèces. La position des pores mâles est également un bon critère d'identification, et dans une moindre mesure la position des tumescences génitale qui ne sont pas aussi facilement observables que les organes mâles.

Outre ces critères clés, d'autres caractéristiques morphologiques facilement relevables intègrent le protocole d'identification. La couleur et la forme du corps renseignent sur les catégories écologiques des vers observés. Le nombre de segments est aussi à prendre en compte, sur la totalité du corps ainsi que sur les différentes parties de l'animal ; zone anticitellienne (tête-clitellum), zone clitellienne (clitellum) et zone post-clitellienne (clitellum-anus).

La forme du prostomium (qui précède le péristomium, premier segment corporel) peut être épilopique, zygalobique ou tanylobique. Le pigydium qui se présente sous forme arrondie ou

aplatie. Enfin, la disposition des soies est également notée, celles-ci peuvent suivre une distribution en paire rapprochées, éloignées ou séparées.

3.2.2. Etude toxicologique

Cette partie consiste à étudier l'impact d'un herbicide (Glyphosate) sur l'espèce de ver de terre.

3.2.2.1. Matériel chimique

Notre choix s'est porté sur le Glyphosate, qui est un herbicide systémique appartenant à la famille des amino-phosphanates (acides aminés). Son nom scientifique est :

Acide 2-[(phosphonométhyl) amino] acétique, sa formule moléculaire : **(C₃ H₈ N O₅ P)**, et son poids moléculaire de 169.1 g/mol.

3.2.2.2. Matériel biologique

Les individus adultes (225 individus) de l'espèce en bonne forme sont choisis du terrarium.

3.2.2.3. Matériel du laboratoire

Loupe binoculaire, éthanol, balance de précision, boîte de pétrie, pince, règle, craillan, fiche d'identification, pipettes et 45 boîtes.

3.2.3. Protocol expérimental

Les vers de terre sont pesés avant de les mettre dans des boîtes contenant 1 kg du sol. La contamination est effectuée par pulvérisation du Glyphosate sur le sol contenant des vers de terre, la durée de contamination est de 4, 8, 12 jusqu'à 52 jours (**Figure 19**).

-Neuf concentrations de glyphosate sont déterminées selon la procédure suivante :

Le glyphosate : herbicide à toxicité aiguë de 360g/l, sa dose agronomique est de 4-6l/ha → 6L/ha

- On doit chercher combien de glyphosate dans cette dose

Alors nous avons : 1L → 360g de glyphosate

$$6L \rightarrow X = 6 * 360 = \mathbf{2160 \text{ g de glyphosate}}$$

Donc pour 6L de produit nous avons besoin de 2160g de glyphosate.

-Sachant ainsi que :

1 hectare équivalent de 750 000 kg du sol sur une épaisseur de 5cm.

$$\text{Alors : } 750\,000 \text{ kg} \rightarrow 2160 \text{ g du glyphosate}$$

$$1 \text{ kg} \rightarrow X = 2\,160\,750\,000 = \mathbf{0.00288 \text{ g}}$$

Donc : pour 1 kg du sol nous avons besoin de 0.00288 g de glyphosate.

1kg du sol \rightarrow **2.88 mg du glyphosate**

- Calcul de la quantité du produit dont nous avons besoin pour **1kg** du sol :

$$1\text{L du produit} \rightarrow 360\,000\text{mg du glyphosate}$$

$$X \text{ L} \rightarrow 2.88 \text{ mg}$$

$$X = 2.88/360\,000 = \mathbf{0.008 \text{ ml du produit}}$$

Pour 1 kg du sol, il faut **0.000008 L** du produit qui égale à 8 microlitre de glyphosate ainsi 9 concentration sont déterminées comme suit

- C0=0
- C10= 8*10 = **80 microlitre /kg sol**
- C30= 8*30 =**240 microlitre /kg sol**
- C60= 8*60 = **480 microlitre /kg sol**
- C90= 8*90 = **720 microlitre /kg sol**
- C120=8 *120 =**960 microlitre /kg sol**
- C150= 8*150 = **1200 microlitre /kg sol**
- C180= 8*180 = **1440 microlitre /kg sol**
- C210=8 *210 =**1680 microlitre /kg sol**

\rightarrow 8 boites sont contaminés avec chaque concentration et cinq répétitions pour chaque concentration, ce qui fait 40 boites contaminés.

3.2.4. Suivi de l'expérience

1. Taux de Mortalité

Le taux de mortalité a été déterminé en comptant le nombre de vers de terre morts.

2. Taux de Croissance

Les vers de terre sont retirés des terrariums après une durée de **04 jours**, rincés à l'eau distillée, comptés et pesés, notons aussi que ces vers de terre sont pesés avant le début de la contamination.

Le taux de croissance est déterminé en utilisant l'équation de **Martin (1986)** :

$$\text{Taux de croissance relatif} = \ln \frac{P_t}{P_0} \times 100$$

- **P₀**: est le poids moyen des vers de terre au début de l'exposition et poids.
- **P_t** : est le poids moyen des vers de terre après la durée d'exposition.

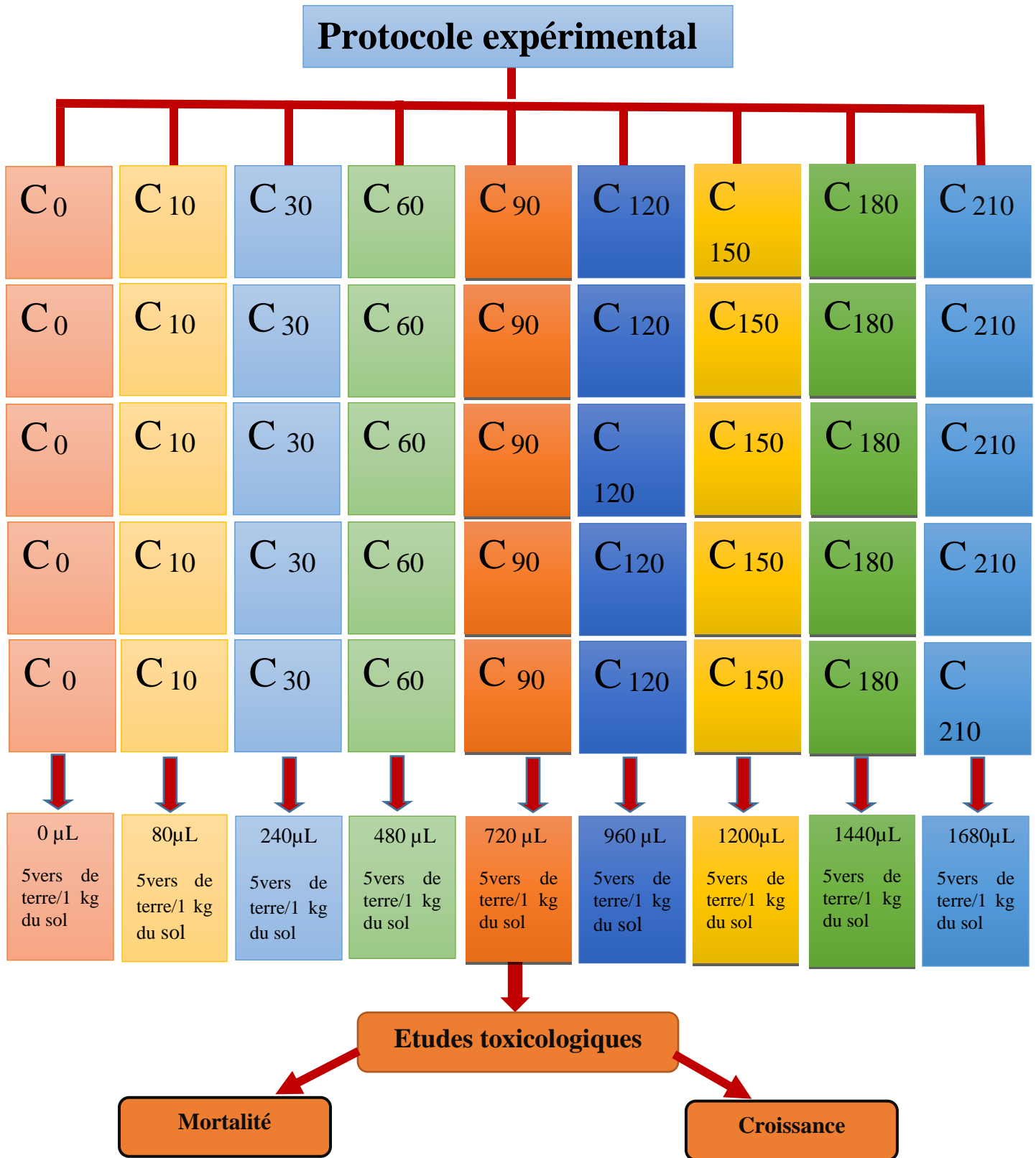


Figure 17 : Schéma récapitulatif du protocole expérimental.

3.2.5. Analyses du Sol

Les analyses du sol nous permettent de connaître les constituants physico-chimiques du sol.

L'opération consiste à prélever de chaque boîte de différentes concentrations 200g du sol contaminé, le laisser sécher puis le tamiser à l'aide d'un tamis à mailles de 2mm de diamètre. Ils sont par la suite, conservés dans un endroit sec. La terre fine obtenue de chaque concentration constitue la partie du sol sur laquelle sont basée la série d'analyses physico-chimiques, principalement le pH, le taux de matière organique, le calcaire total et la granulométrie.

3.2.5.1. Analyses chimiques

a- La mesure du pH :

Les sols ont une réaction neutre, acide ou basique. Leur degré d'acidité ou de basicité est exprimé par le pH. La mesure du pH constitue le test le plus sensible aux modifications survenant dans l'évolution d'un sol. L'acidité du sol est déterminée par la concentration en ion H^+ : on oppose l'acidité effective qui correspond à la concentration en ion H^+ libre existant dans la solution du sol (c'est le pH-eau) à l'acidité titrable (c'est le pH-Kcl) qui est représentée par les ions H^+ échangeables, fixés par les colloïdes et constituant une réserve non disponible. (Duchaufour, 1991).

• Principe :

- Peser 20g de terre fine dans un bécher de 500ml.
- Ajouter 50ml de l'eau déminéralisée.
- Agiter pendant 2h avec un agitateur magnétique
- Laisser reposer pendant 10mn.
- Transvaser dans des béchers de 100ml.
- Agiter et plonger l'électrode dans le mélange sol-eau et prendre la lecture après stabilisation du pH-mètre. (Duchaufour, 1991).

b- Dosage du calcaire total :

Le calcaire peut se trouver dans le sol à l'état de fragments de dimensions quelconques depuis les blocs et les graviers jusqu'à la taille des colloïdes argileux. Dans le sol, le calcaire est la source la plus fréquente du calcium, celui-ci étant fixé constitue le calcium échangeable du sol ; il est donc fourni au complexe par les solutions du sol dans lesquelles il se trouve à l'état de bicarbonate mais aussi de sulfate et parfois de nitrate.

• Principe

- Peser 1g de terre fine dans un bécher de 250 ml
- Ajouter 20ml d'acide chlorhydrique (HCL) à N.
- Ajuster jusqu'à 100 ml de l'eau distillée.

- Porter le bécher sur le bain de sable à 60°C et agiter de temps à autre (pendant 45 mn) et laisser bouillir pendant quelques minutes.
- Laisser refroidir quelques minutes.
- Transvaser le liquide à travers un filtre dans une fiole de 250 ml.
- Ajuster jusqu'à 250 ml avec de l'eau distillée.
- Prélever 100ml du filtrant et verser dans un bécher de 500 ml.
- Ajouter quelques gouttes de phénophtaléine à 2%.
- Titrer le reste de l'acide chlorhydrique par la soude à N jusqu'à persistance de la couleur rose.

c- Dosage de la matière organique

Le carbone organique (%) est dosé par la méthode de ANNE, dont il est oxydé par du bichromate de potassium en excès, en milieu acide. L'excès de bichromate non réduit par le carbone organique et alors titré par une solution de sel de Mohr (qui réduit les bichromate) en présence de diphénylamine.

• Principe

- Peser 2 g de terre fine passée au tamis de 0.2mm, introduire la prise dans un bécher de 300-500 ml.
- Ajouter 10 ml de bichromate de potassium 1 N, agiter légèrement pour disperser le sol dans la solution.
- Ajouter 15 ml d'acide sulfurique concentré, agiter vigoureusement pendant 1 minute et mettre à ébullition modérée pendant 5mn à compter de l'apparition de la première goutte de condensation.
- Laisser refroidir.
- Transvaser dans une fiole jaugée de 250 ml et laver le bécher avec 150 ml d'eau distillé, compléter au volume.
- Prélever 20 ml à la pipette, introduire dans un erlenmeyer de 250 ml, diluer à 150ml, ajouter 4 gouttes de la solution indicatrice de diphénylamine.
- Ajouter 1.5 g de fluorure de sodium (NAF) en poudre.
- Titrer, en agitant, avec la solution de sel de Mohr 0.2 N, la couleur passe du bleu foncé au bleu vert.

Soit n le nombre de ml versés.

Procéder à un témoin en remplaçant la terre 1g par de sable calciné. Soit n' le nombre de ml de sel de Mohr versés (**Delaune et al., 1991**).

- La teneur en carbone organique pour 100gde sol est : $C\%=(n'-n) \times 0.9975 \times 0.1$

- **Le taux de matière organique est : $MO\% = C\% \times 1,724$**

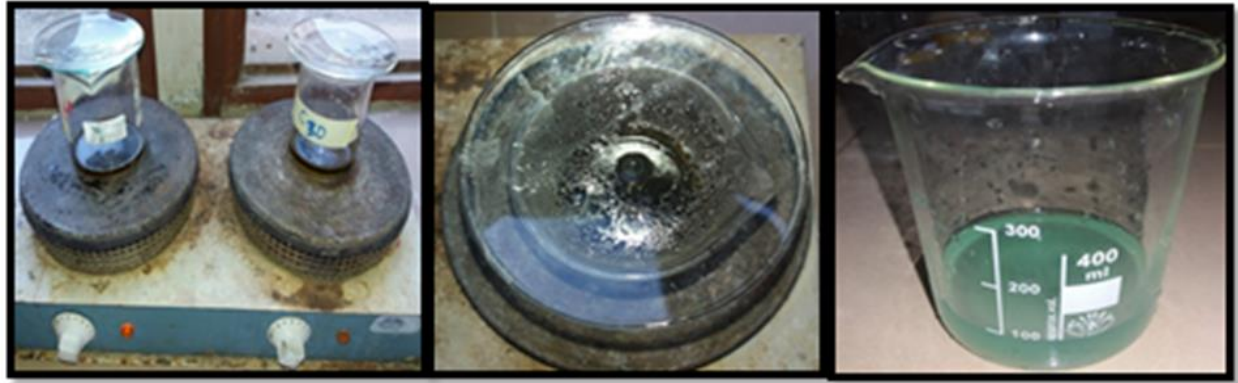


Figure 18: Etapes suivies pour la détermination du taux de la matière organique (Photos : Guici et Khaldi, 2017).

d- Analyse granulométrique du sol

L'analyse granulométrique a pour but de quantifier les particules minérales élémentaires groupées en classes, et de définir la composition granulométrique de nos sols. Elle permet de classer les particules minérales constitutives des agrégats en un certain nombre de fractions par catégorie de diamètre. On suppose que ces particules minérales sont sphériques. En effet, la taille des particules a une influence sur de nombreuses caractéristiques du sol et donc sur le comportement des polluants par les phénomènes d'infiltration et de rétention des éléments. (Richer de Forges *et al.*, 2008).



Figure 19 : Classement des particules suivant l'échelle d'Atterberg (Riman, 2010).

• Principe

→ Destruction de la matière organique (MO)

- Verser 50 ml d'eau oxygénée à 20 volumes sur la prise d'essai de 15 g de terre séchée à l'air, passée sur tamis à mailles de 2 mm et placée dans un bécher de 500 ml ; Une mousse apparaît et sera d'autant plus abondante qu'elle contient une quantité importante de matière organique.
- Agiter fréquemment le bicher pour descendre la mousse en y ajoutant au besoin quelques gouttes d'alcool éthylique pour faciliter la destruction et laisser reposer une nuit.
- Porter au bain de sable (Chauffer doucement) ; une réaction parfois importante peut se produire avec production de CO₂ (attaque à chaud) ; Faire bouillir la solution pour éliminer

l'excès de peroxyde d'hydrogène ; Si la mousse monte, il faut l'éliminer par de petites additions d'environ 5 ml d'éthanol ;

- C'est la décoloration de la suspension (virage vers le marron clair) et l'absence de dégagement de mousse qui indiquent la fin de l'opération (attaque à chaud) ;
- Le traitement peut demander plusieurs heures et nécessite de nouvelles additions d'eau oxygénée si la terre est très humifère, l'échantillon doit rester toujours mouillé (**Mathieu et Peltain, 2003**).

→ Dispersion

- Faire passer la terre dans un flacon en verre et bien récupérer les particules restantes sur la paroi en rinçant avec l'eau déminéralisée.
- Agiter en milieu alcalin (40 ml d' hexamétaphosphate de sodium) pendant 4 h à l'agitateur mécanique ;
- Transvaser dans une éprouvette de sédimentation de 1000ml et bien rincer le flacon d'agitation pour entraîner la totalité des particules dans l'allonge, ajuster au volume avec de l'eau déminéralisée et couvrir l'allonge avec un film alimentaire.
- Placer un thermomètre dans une éprouvette de 1 litre contenant 40 ml d'examétaphosphate de sodium et compléter au volume avec de l'eau distillée.

-

→ Manipulation

Cette analyse est basée sur la loi de Stokes dans des conditions bien déterminées de temps et de température. Le prélèvement est effectué comme suit :

On prélève à une profondeur donnée (10 cm) après un temps de chute donné à une température donnée (22°C par exemple), des particules de diamètre supérieur connu. Pour une même allonge et dans l'ordre, on prélève après agitation (agiter la dispersion énergiquement de manière que tout le dépôt qui ait pu se faire au fond de l'allonge soit entièrement en suspension). Comme le montre le **Tableau 3**.

Tableau 3 : Méthode de prélèvement

Température (°C)	Particules de 0.002 mm de diamètre			Particules de 0.02 mm de diamètre	
	Temps de chute pour 10cm en heures- minutes	Profondeur de décantation ou de prélèvement en cm après			Temps de chute pour 10 cm en minutes et en secondes
		8h	7h	6h	
22	7h 37mn	10.5	9.2	7.9	4,34

- **Argile+Limons :**

- Au bout de à 22°C, on prélève à 10 cm de profondeur une partie (20 ml) de la fraction argile +Limons. Il est nécessaire de toujours commencer par le prélèvement de cette fraction pour que le deuxième prélèvement, celui de l'argile, corresponde à 1/50 de l'argile totale.
 - Vider lentement son contenu dans une capsule tarée de 50 ml à 100 ml.
 - Placer celle-ci à l'étuve à 55 °C pendant une nuit, après séchage, la capsule avec le résidu sec est pesée.
- **Argile :**
 - Après une nouvelle agitation vigoureuse, opérer exactement de la même façon après repos de 7h à 22°C. Suivant la température moyenne de la suspension, modifier à l'aide du tableau le temps de sédimentation, ou si celui-ci ne convient pas, adopter la profondeur correspondant au temps choisie.
 - **Sable :**
 - Faire passer tout le contenu de l'allonge sur deux tamis de maille égale (0.04mm et 0.2mm) et lavant les sables sur le tamis par courant d'eau ordinaire
 - Verser le contenu de chaque tamis dans les capsules tarées à l'aide d'un jet de pissette d'eau distillée.
 - Evaporer et sécher à 55 °C pendant une nuit. Le lendemain, on les laisse refroidir puis on les pèse (**Mathieu et Pielain, 2003**).

3.2.6. Analyses statistiques

3.2.7. ANOVA de Kruskal-Wallis

Le test de Kruskal-Wallis est une alternative non-paramétrique à l'ANOVA d'ordre Un (inter-groupes). Il est utilisé pour comparer au moins trois échantillons, et tester l'hypothèse nulle suivant laquelle les différents échantillons à comparer sont issus de la même distribution ou de distribution de même médiane. Ainsi, l'interprétation du test de Kruskal-Wallis est très similaire à une ANOVA paramétrique d'ordre Un, sauf qu'il est basé sur les rangs au lieu des moyennes (**Siegel et Castellan, 1988**).

3.2.8. Analyse en composante principale (ACP)

Proposée en **1989** par **Robert**, c'est une méthode essentiellement descriptive des données quantitatives qui permettent de représenter, sous forme de graphiques, le maximum d'information

contenus dans un tableau de données tout en minimisant les pertes d'informations (**Saporta, 1996**).

L'utilisation de cette méthode permet de mettre en évidence des corrélations entre la mortalité des vers de *Nicodrilus caliginosus* et les paramètres physico-chimiques du sol après contamination.

Chapitre 4 : RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1. Résultats

4.1.1. Description de l'espèce identifiée

Nicodrilus caliginosus est une espèce cosmopolite, son aire de répartition géographique est assez vaste. Signalée en Algérie dans la petite et la grande Kabylie (**Omodeo et Martinucci, 1987**), au niveau de la Mitidja (**Baha, 1997**) et dans le Nord algérien (**Omodeo et al., 2003**).

Les caractères utilisés pour identifier l'espèce sont ceux de **Baha (2008)**.

Tableau 4 : Caractères utilisés pour l'identification de *Nicodrilus caliginosus* (**Baha, 2008**).

Espèce Critères	<i>Nicodrilus caliginosus</i>
Catégorie écologique	Endogés
Forme	Assez fin, petit à moyen enroulement post-mortem
Pigmentation	Non pigmenté, corps rose-pâle à gris rosé, partie antérieure très rosée
Longueur	36-168 mm
Diamètre	2,8-5 mm
Poids	0.6–1.0 g
Nombre de segments	76-150
Prostomium	Epilobique ½ ouvert dans certains individus 1/3 fermé
Clitellum	(25) 26-31 (33) Partie ventrale aplatie. Jaune clair, orange ou marron
Puberculum	29-30 (31) en 2 bandelettes
Pores mâles	En 15. Ronds avec point dedans
Soies	Etroitement géminées

4.1.2. Effet du Glyphosate sur la survie et la croissance

L'évaluation de la toxicité potentielle de l'herbicide (Glyphosate) à travers le suivi de deux paramètres tels que le taux de mortalité et le taux de croissance des vers de terre.

4.1.2.1. Evaluation du taux de Mortalité

L'effet des concentrations croissantes du Glyphosate (C10, C30, C60, C90, C120, C150, C180, C210) sur le taux de mortalité de *Nicodrilus caliginosus* a été observé durant 52 jours.

Nous remarquons aucune mortalité durant la période d'exposition (4, 8, 12, 16, 20 jours) par rapport aux témoins et cela pour toutes les concentrations testées.

A partir du 24^{ème} jour, nous remarquons que chez les vers de terre traités par la concentration la plus élevée (C210), le taux de mortalité tend à augmenter **Figure 20**.

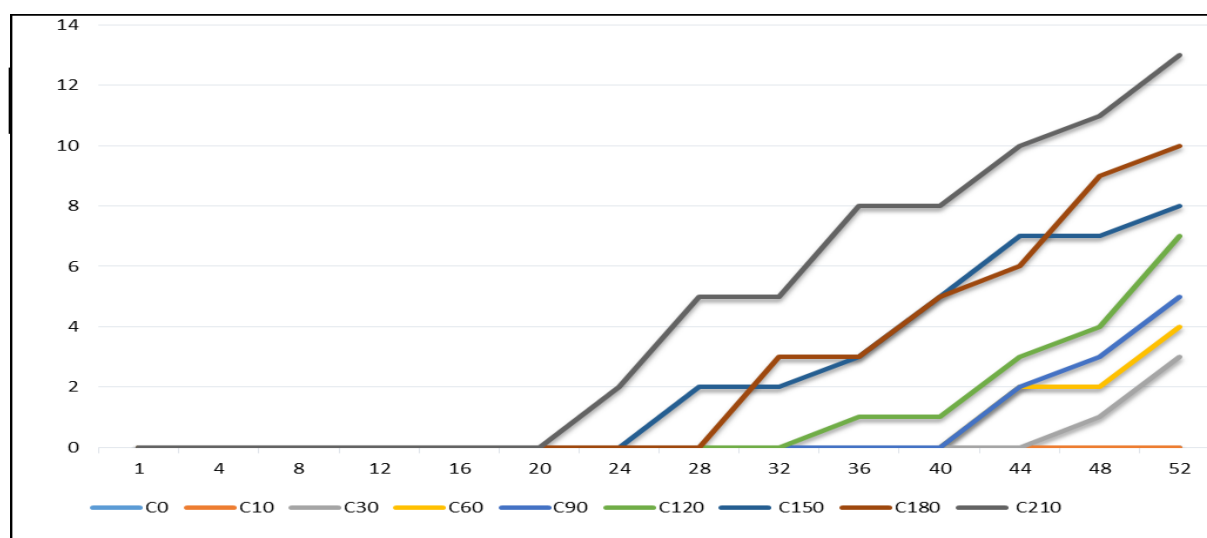


Figure 20 : Taux de mortalité observé chez *Nicodrilus caliginosus* contaminés par le Glyphosate durant une période de 52 jours

4.1.2.2. Evaluation du taux de croissance

L'évolution du taux de croissance exprimé par le poids des vers de terre en fonction du temps et en présence de concentrations croissantes du Glyphosate a révélé que chez tous les vers de terre, le taux de croissance tend à augmenter en fonction du temps. Ainsi, pour la concentration (C210) le taux de croissance est de l'ordre de (0,74) par rapport aux témoins et ce après 12 jours de contamination.

Nous constatons une diminution du taux de croissance à partir du 16^{ème} jour pour la concentration (C60).

En revanche, la croissance des vers de terre contaminés par la concentration (C210 de Glyphosate), diminue dès le 12^{ème} jour de contamination par rapport aux témoins.

Le taux de croissance est affecté par les concentrations croissantes du Glyphosate, il est de l'ordre de (0,7) chez les témoins et il n'est que de l'ordre de (0,4) chez les traités avec les plus fortes concentrations (C120, C150, C180, C210) (Figure 21).

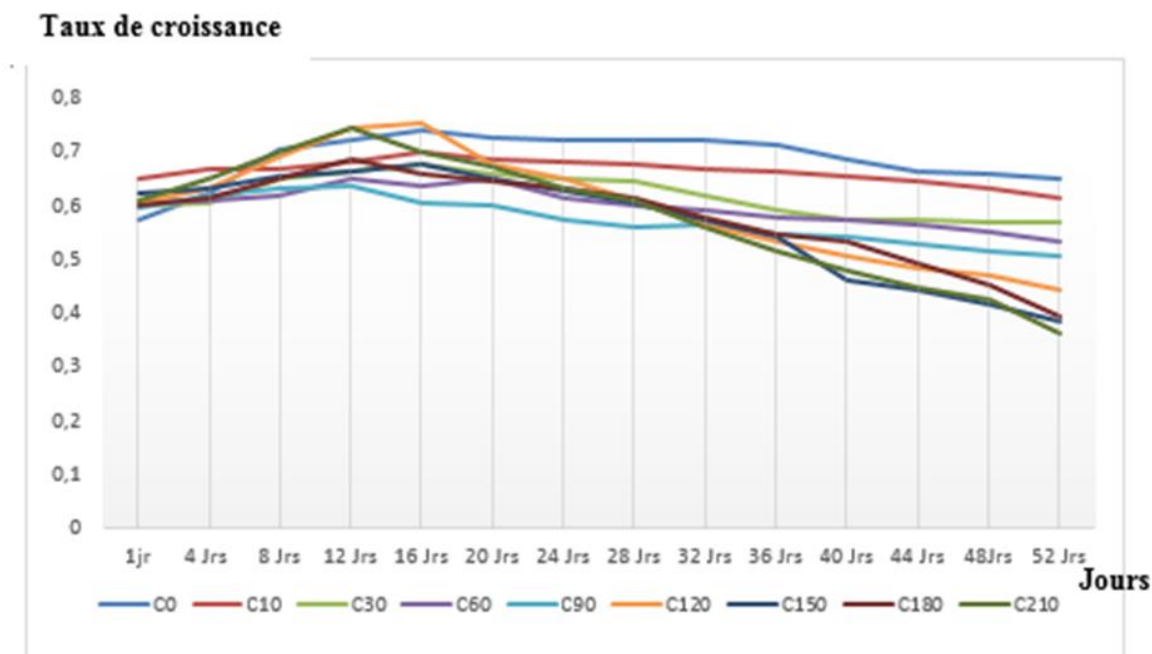


Figure 21 : Effet des concentrations du Glyphosate sur le taux de croissance de L'espèce *Nicodrilus caliginosus* durant 52 jours

4.1.3. Analyse du Sol

Dans cette partie, nous avons étudié les paramètres physico-chimiques du sol échantillonné (Témoin), ainsi que les sols contaminés par les différentes concentrations du Glyphosate (C10, C30, C60, C90, C120, C150, C180, C210).

4.1.3.1. Paramètres physico-chimiques du sol témoin

Tableau 5 : Paramètres physico-chimiques du sol témoin.

Sol	Témoin
Paramètres	
Argiles (< 2µm)	53,33
Limons (2 – 50 µm)	19,33
Sables (50 – 2000 µm)	26,05
pH	6,06
Matière organique (%)	4,85
Calcaire total (%)	5

D'après le guide des analyses pédologiques (Texture, pH, taux de matière organique calcaire total) de **Baize (1989) (Voir ANNEXE A)**, le sol de la station d'échantillonnage est de texture argileuse, présente une teneur élevée en matière organique (4,85) et un pH faiblement acide (6,06).

4.1.3.2. Paramètres physico-chimiques du sol après contamination

Le Tableau 6 montre les paramètres physico-chimiques du sol après contamination par les concentrations croissantes du Glyphosate (**C10, C30, C60, C90, C120, C150, C180, C210**).

Tableau 6 : Paramètres physico-chimiques du sol après contamination

Concentrations Paramètres	C 10	C30	C 60	C 90	C 120	C 150	C 180	C 210
Argiles (< 2µm)	46,74	42	42,83	40	39,21	45,33	40,19	41,66
Limons (2 – 50 µm)	30,10	36,76	37,04	38,99	37,85	48,56	48,43	50,33
Sables (50 – 2000 µm)	23	23	20,09	19,40	22,36	8	9.84	7.32
	A	A	A	A	A	AL	AL	AL
pH	6	5,82	6,83	6,07	6,20	6,90	6,22	6,75
Matière organique (%)	5,50	4,65	5,18	4,75	5,18	4,44	4,18	4,32
Calcaire total (%)	3,75	4	7,5	8,75	7,5	2,5	3,25	7,5

D'après les résultats, nous remarquons que la contamination n'a pas affectée la texture du sol aux concentrations (C10, C30, C60, C90 et C120) par rapport aux témoins, et nous constatons un léger changement de texture d'Argileuse à Argilo-limoneuse des sols contaminés par les concentrations les plus élevées du Glyphosate (C150, C180, C210).

Nous remarquons que les sols ont une teneur faible en calcaire et cela quelque soit la concentration du contaminant par rapport aux témoins.

Le pH des sols contaminés varie entre faiblement acide (6) pour (C10, C30, C90, C180 et C210) et neutre pour (C60, C120, C150).

Une teneur élevée en matière organique pour les sols contaminés par les concentrations (C10, C30, C60, C90 et C120), avec une légère diminution dans les sols contaminés par (C150, C180, C210).

4.1.4. Analyses statistiques

4.1.4.1. Effet des concentrations croissantes du Glyphosate sur la mortalité de l'espèce de vers de terre

a) Test de Kolmogorov-Smirnov (Normalité)

Pour la variation de la mortalité en fonction des concentrations croissantes du Glyphosate, nous avons : **p-value** < **α** , donc la variable ne suit pas une loi normale.

Dans ce cas on opte pour le test non paramétrique de l'analyse de la variance (**Kruskal-Wallis**) (**Annexe D**).

b) Test non paramétrique de l'analyse de la variance (Kruskal-Wallis)

D'après les résultats du test sur R nous remarquons que **p-value=0.0004964** < **$\alpha=0.05$** (**Annexe D**).

On conclue que les différentes concentrations du Glyphosate (**C0, C10, C30, C60, C90, C120, C150, C180, C210**) ont un effet négatif sur la survie de l'espèce *Nicodrilus caliginosus*.

4.1.4.2. Effet des concentrations croissantes du Glyphosate sur la croissance de l'espèce des vers de terre**a) Test de Kolmogorov-Smirnov (Normalité)**

Les résultats du test sur R nous montre que la normalité dans ce cas n'est pas vérifiée (p-value=0.0001628), donc le test non paramétrique de l'analyse de la variance (Kruskal-Wallis) est le plus approprié (**Annexe D**).

b) Test non paramétrique de l'analyse de la variance (Kruskal-Wallis)

Les résultats de l'analyse de la variance (Kruskal-Wallis) analysant l'effet du Glyphosate sur l'espèce *Nicodrilus caliginosus* montre que p-value inférieure à $\alpha=0.05$, ce qui précise que les concentrations du Glyphosate ont un effet significatif sur la croissance de l'espèce de vers de terre *Nicodrilus caliginosus*.

4.1.4.3. La mortalité en fonction du temps**➤ Corrélation, régression linéaire**

Nous constatons qu'il existe une relation linéaire positive entre la mortalité des vers de terre et le temps d'exposition au Glyphosate qui est défini par la droite de régression Y.

D'après ce résultat, nous constatons que la mortalité augmente en fonction du temps (**Figure 22**).

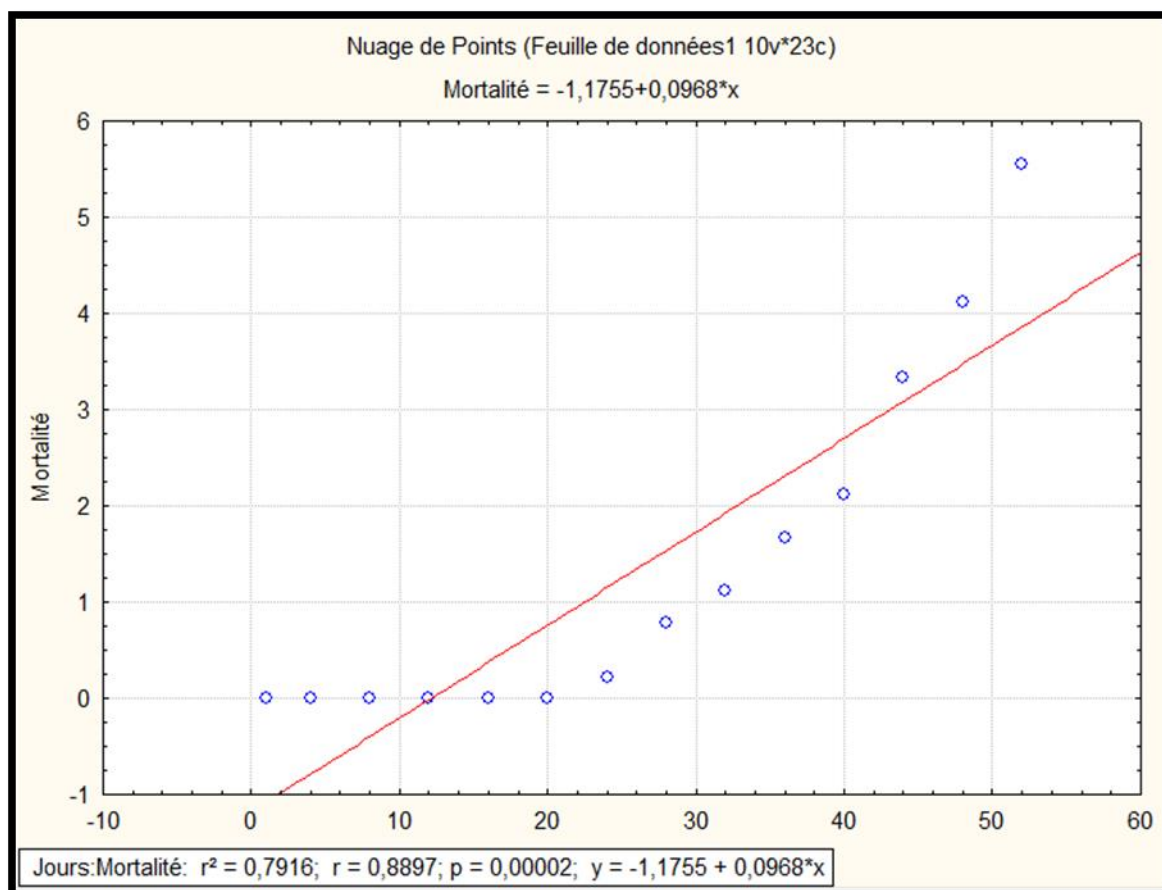


Figure 22 : La relation linéaire entre la mortalité et le temps.

4.1.4.4. La croissance en fonction du temps

➤ Corrélation, régression linéaire

Nous constatons qu'il existe une relation linéaire négative entre la croissance des vers de terre et le temps, cela est défini par la droite de régression Y.

Ainsi, nous relevons que la croissance de l'espèce *Nicodrilus caliginosus* diminue en fonction du temps (**Figure 23**).

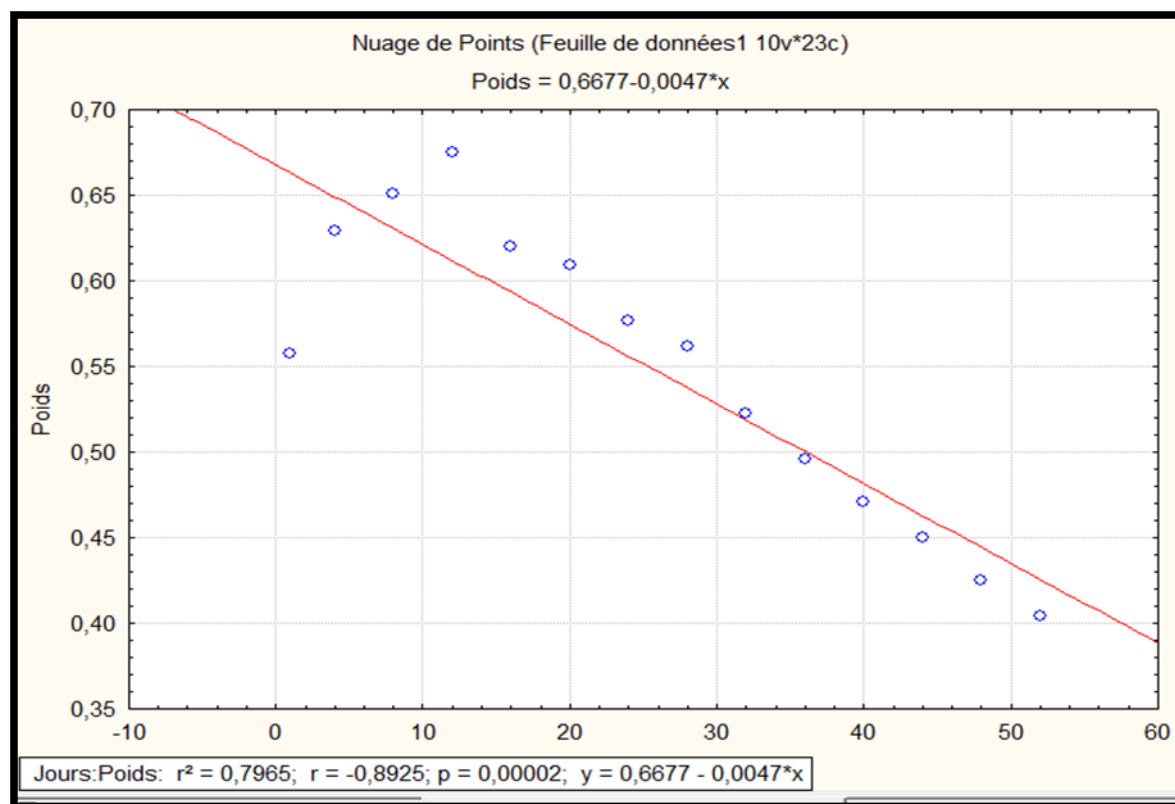


Figure 23 : La relation linéaire entre la croissance et le temps.

4.1.4.5. Relation entre toutes les variables (Texture, pH, MO, Calcaire et Mortalité)

Pour mettre en évidence la relation entre la texture, pH, MO, calcaire du sol après contamination et le taux de mortalité, nous avons utilisé une analyse statistiques multivariables.

➤ Analyses en composantes principales ACP

Une analyse en composante principales des différentes variables d'études en fonction des concentrations de l'herbicide est réalisée, les résultats sont donnés sous forme de graphes : un graphe de variables et un graphe d'individus. Le graphe des variables est donné par le cercle des corrélations permet de voir quelles variables sont expliquées par les axes factoriels. Le graphe des individus est lu simultanément avec celui des variables, il permet de déduire l'individu qui donne la meilleure valeur de la variable considérée dans la lecture. Les résultats obtenus sont donnés sur les **Figures 24 et 25**.

1. Projection des Variables

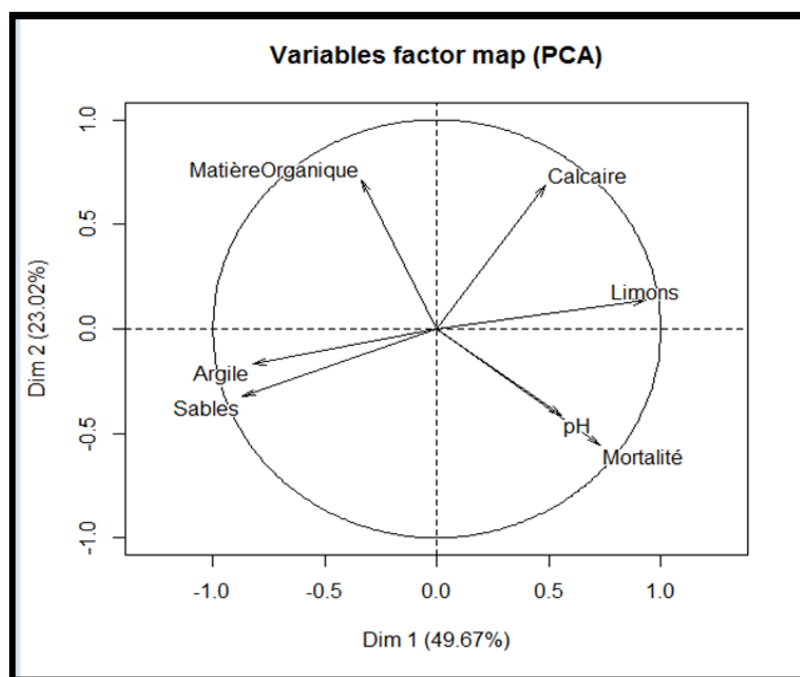


Figure 31 : Résultat de l'ACP 1.

2. Projection des individus

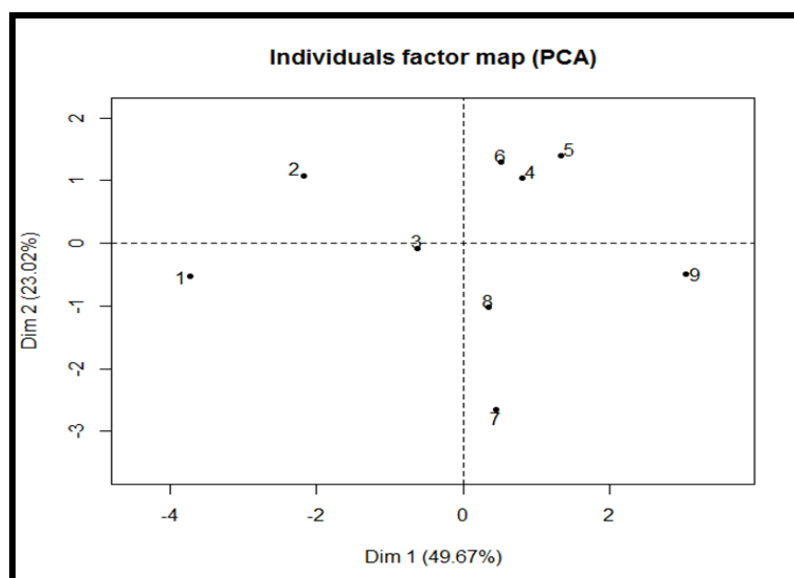


Figure 32 : Résultat de l'ACP 2.

a- Projection sur l'axe factoriel 1→ **Projection des variables**

Sens négatif de l'axe (-)	Sens positif de l'axe (+)
➤ Argile, Sable	➤ Mortalité, limons et pH

→ **Projection des individus**

Sens négatif de l'axe (-)	Sens positif de l'axe (+)
1 (C0) et 2 (C10)	9 (C210)

La mortalité et le pourcentage du limon sont corrélés positivement, ceci explique que la diminution du poids des vers de terre qui entraîne leur mortalité est accompagnée par une augmentation du pourcentage du limon dans le sol, cependant elle entraîne une diminution des taux d'argile et de sable qui sont corrélés négativement avec la mortalité des vers.

Notons que la concentration **9 (C210)** est bien représentée par la mortalité et qui est caractérisée par un taux élevé en limon, contrairement aux concentrations **1 (C0)** et **2(C10)**. Ces dernières sont caractérisées par un pourcentage maximal en sable, argile et un taux faible en limon. Ce qui nous laisse supposer un probable effet ciment entre les particules lié fortement à la matière organique issus de la dégradation des vers de terre morts.

b- Projection sur l'axe factoriel 2→ **Projection des variables**

Sens négatif de l'axe (-)	Sens positif de l'axe (+)
➤ Mortalité	➤ Calcaire et matière organique

→ **Projection des individus**

Sens négatif de l'axe (-)	Sens positif de l'axe (+)
7 (C150)	4 (C60), 5(C90) et 6(C120)

L'axe 2 caractérise une corrélation positive entre le calcaire et la matière organique et confirme la corrélation négative entre ces deux variables et le taux de mortalité obtenue par la projection sur l'axe2. Les concentrations **4 (C60)**, **5 (C90)** et **6 (C120)** ont un taux élevé du calcaire et de matière organique, dans la concentration **7 (C150)** on a une mortalité élevée.

4.2. Discussion

L'utilisation de bio-indicateurs en toxicologie et écotoxicologie est une pratique courante dans le monde entier. Parmi les bioindicateurs, les vers de terre, 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 aux effets du Glyphosate sur les vers de terre à l'aide d'une approche des sols contaminés en laboratoire où les critères d'évaluation de la croissance et la mortalité ont été mesurés.

La mortalité des vers de terre est le premier paramètre abordé. Les résultats montrent que celui-ci est affecté à partir du 24^{ème} jour chez les vers de terre contaminés avec les plus fortes concentrations du Glyphosate (**C120, C150, C180, C210**).

Le second paramètre mesuré dans notre étude est le taux de croissance de l'espèce de vers de terre *Nicodrilus caliginosus* exprimé par le poids. Il ressort des résultats que le Glyphosate réduit le taux de croissance aux plus fortes concentrations (**C120, C150, C180, C210**). Ce résultat est en accord avec les travaux de **Mostert et al. (2000)** qui ont testé l'effet du cinq pesticides (le Cyfluthrine, le Carbaryl, le Chlorpyrifos, le Fipronil et l'Imidaclopride) sur le ver de terre ou encore ceux de **Gomez-Eyles et al. (2009)** qui a testé la toxicité d'une mixture de pesticide et qui signalent que les pesticides diminuent la croissance des vers de terre.

Ce résultat est en accord avec ceux de **Zhou et al. (2006)** qui a montré que la mortalité est un paramètre moins révélateur d'une toxicité chez les vers de terre que le poids beaucoup plus sensible et ce après traitement par l'Acétochlor et le Méthamidophos.

D'un autre côté **Booth et O'Halloran (2001)** et **Zhou et al. (2007)**, ont montré que la croissance des vers de terre est plus sévère au stade juvénile qu'au stade adulte ceci pourrait expliquer les résultats concernant l'effet du Glyphosate qualifier de modéré sur la croissance des vers de terre, car ce présent travail n'a pris en compte que les individus adultes de l'espèce *Nicodrilus caliginosus*.

Les études portant sur des lombrics exposés au glyphosate ayant indiqué une réduction du rythme de leur croissance et une tendance de ces animaux à éviter les endroits traités à cet herbicide, toute atteinte à ces invertébrés risque de compromettre la santé des sols (**Brack et al., 2010**). Des chercheurs indépendants publient actuellement des études qui prouvent que le glyphosate s'attaque à certaines fonctions clés de la rhizosphère, ils ont constatés (**Huber et al., 2005**).

Les analyses physico-chimiques du sol témoin et du sol après contamination nous montrent que : Le sol étudié contient une teneur élevée en matière organique, et ce résultat à changer relativement après contamination avec les concentrations (C150, C180 et C210), cela est en accord avec les travaux de (**Cheah et al., 1997**), qui ont montré que la matière organique joue un rôle important dans la rémanence des herbicides, la rémanence sera faible dans les sols riches en matière organique.

Concernant le pH, les résultats montrent que le pH du sol témoin est faiblement acide et nous remarquons qu'il y'a un changement léger du pH des sols contaminés qui varie entre faiblement acide et neutre (entre 6 – 6.9), ceci adhère aux résultats de (**Hager et Nordby, 2007**), qui ont démontré que le pH joue un rôle important dans la rémanence du Glyphosate, plus le pH sol est faible plus la rémanence du Glyphosate est grande.

Le pH est un élément de grande importance car l'adsorption du glyphosate dans les sols dépend fortement du pH, et la rémanence dépend de l'adsorption, si l'herbicide s'adsorbe, il devient non rémanent. Le glyphosate est fortement adsorbé sur les sols, en particulier les sols à pH neutre ou acide. (**Legris et Couture., 1989 ; Ndjeri-Ndjouhou, 2012**). D'après les moyennes de pH des sols traités, le pH du sol étudié est neutre à faiblement acide, donc le glyphosate s'adsorbe et devient inactif ce qui explique l'effet modéré sur la mortalité des vers de terre.

Globalement, les analyses granulométriques montrent que le sol témoin et le sol après contamination par les concentrations (C10, C30, C60, C90 et C120) ont une même texture qui est Argileuse, ce qui suggère que le glyphosate n'a pas eu d'action persistante dans le sol à faible concentration, Ceci concorde avec les résultats de **Ragab et al., (1985)**, qui ont montré que les herbicides organophosphorés à faible dose n'ont pas d'effets sur la texture du sol. Contrairement aux résultats obtenus aux plus fortes concentrations (C150, C180 et C210) ou on a remarqué un léger changement de la texture des sols de Argileuse à Argilo-limoneuse.

De même, **Mamy et Barriuso (2002)** disent que l'adsorption du glyphosate diminue dans un sol calcaire. D'après les résultats, les sols contaminés sont non calcaires, donc le glyphosate s'adsorbe et devient moins actif, ceci confirme nos résultats.

Conclusion générale

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.

Dans ce travail, il nous est apparu important de commencer par une étude taxonomique qui nous a permis d'identifier l'espèce récoltée et de la classer. Nos résultats ont révélé que les vers de terre que nous avons recensés, appartiennent à la famille des Lumbricidae, un genre lombricien *Nicodrilus* correspondant à une espèce *Nicodrilus caliginosus*.

Très peu de travaux se sont penchés sur le devenir des pesticides et leurs effets sur les vers de terres dans notre région. Dans cette étude, nous nous sommes proposé d'évaluer la toxicité potentielle d'un Glycine, le Glyphosate sur l'espèce *Nicodrilus caliginosus*. Pour cela, nous nous sommes basés sur une approche toxicologique dans laquelle nous avons évalué le taux de Mortalité et le taux de Croissance.

Dans un premier temps, il ressort des résultats que le Glyphosate n'a aucun effet sur la survie des vers de terre aux faibles concentrations. En revanche, aux plus fortes concentrations du Glyphosate (**C120, C150, C180, C210**), nous avons noté une augmentation nette du taux de Mortalité.

D'un autre côté, nos résultats mettent en évidence une forte diminution du taux de croissance aux plus fortes concentrations (**C120, C150, C180, C210**) et cela après le 16^{ème} jour de contamination.

Concernant l'étude des paramètres physico-chimiques du sol témoin et après contamination, les résultats révèlent un léger changement de la texture des sols contaminés par les plus fortes concentrations (**C150, C180 et C210**).

Perspectives

A l'avenir, il serait judicieux de :

- Déterminer l'impact du Glyphosate sur la reproduction, la survie et la croissance des juvéniles des vers de terre.
- Pencher sur l'aspect histologique qui rend compte sur les éventuelles altérations tissulaires chez l'organisme contaminé par le Glyphosate.
- Effectuer une étude approfondie sur les mécanismes de défense anti- radicalaire par le dosage des marqueurs du stress oxydatif comme le : GPX, LDH, SOD, le GSH, le taux de MDA, et les activités enzymatiques GST, CAT, AChE.

Bibliographie

A

Avel M., 1929. Recherches expérimentales sur les caractères sexuels somatiques des Lombriciens. *Bull. Biol. Fr. Belg.*, **63**, 149-318.

Avel, M., 1959. Classe des annelidsoligochaetes (Oligochaeta, **Huxley, 1875**). Traite de Zool. P.P.

Azzouz, Z., Berrebbah, H., Djebbar, MR., 2011. Optimization of *Paramecium tetraurelia* growth kinetics and its sensitivity to combined effects of azoxystrobin and cyproconazole. *African Journal of Microbiology Research*, **5(20)**, 3243-3250.

Azzouz, Z., 2012. Etude des effets toxiques d'un fongicide (AmistarXtra) et d'un herbicide (Glyphosate) sur la biologie et le comportement de *Paramecium tetraurelia*. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba. 141p.

B

Bouché, M.B., 1972. Lombriciens de France. Ecologie et Systématique. *Ann. Zool. Ecol. Anima.* Horssér., 671 pp.

Bouche, M.B., 1977. Stratégies lombriciennes. *Bull. Ecol.*, Paris, 25: 122-132.

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

Baha, M., 1997. The earthworm fauna of Mitidja, Algeria. *Tropical Zoology*, **10**, 247-254.

Baha, M., Berra, S., 2001. *Proselodrilus doumandjiin*. sp., a new lumbricid from Algeria. *Tropical Zoology*, **14**, 87-93.

Beeby, A., 2001. What do sentinels stand for? *Environmental Pollution*, **112**, 285-298.

Blouin, M., Zuily-Fodil, Y., Pham-Thi, A.-T., Laffray, D., Reversat, G., Pando, A., Tondoh, G. et Lavelle, P., 2005. Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites. *Ecol. Lett.* **8**, 202-208.

Baha, M., 2008. Étude bioécologique des oligochètes du Nord de l'Algérie. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique, El-Harrach. 224p.

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 *Eiseniafetidacoelomocytes*. *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 *EiseniaFetida*. *Environmental and MolecularMutagenesis*, **50(1)**, 60-67.

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. SoilBiol.***46**, 67–73.

Benbouzib, H., 2012 : Evaluation et étude de la toxicité d'une famille d'acaricide sur des protistes ciliés. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba. 87p.

C

Couture G., Legris J. et Langevin R., 1995- Évaluation des impacts du glyphosate utilisé dans le milieu forestier. Direction de l'environnement forestier, Service du suivi environnemental, Ministère des Ressources naturelles, gouvernement du Québec, Québec, 199 p.

Cizdziel JV et Hodge VF, 2000. Attics as archives for house infiltrating pollutants: trace elements and pesticides in attic dust and soil from southern Nevada and Utah. *Microchemical Journal* 64, 85-92.

Capowiez, Y., Rault, M., Mazzia, C., Belzunces, L., 2003. Earthworm behaviour as a biomarker –a case study using imidacloprid. *Pedobiologia*, **47**, 542-547.

Cluzeau, D., Blanchart, E., Peres, G., Ablain, F., Cuendet, G., Fayolle, L. et Lavelle, P., 2004. Faune du sol et Lombriciens dans les sols tempérés agricoles. *In*: Girard, M.-C., Walter, C., Rémy, J.-C., Berthelin, J. et Morel, J.-L. (eds), Sols et environnement 2e cycle. Cours, exercices et études de cas. Paris, pp. 386-407.

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.

D

Darwin, C., 1881. The formation of vegetable mould through the action of worms with observations on their habits. Murray, London, 298 pp.

Darwin, C., 1909. On the Origin of Species, New York : P. F. Collier, 552 p.

Doving, K.B., 1991.Assessment of animal behaviour as a method to indicate environmental toxicity.*Comp. Biochem. Physiol*, **100(C)**, 247–252.

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.

Delabays N. et Bohren C., 2007- Le glyphosate : bilan de la situation mondiale et analyse de quelques conséquences malherbologiques pour la Suisse. Revue Revue suisse de viticulture arboriculture horticulture, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Nyon, Vol. 39, p 333-340.

Druart C., 2011- Effets des pesticides de la vigne sur le cycle biologique de l'escargot dans divers contextes d'exposition. Thèse de doctorat, Spécialité : Sciences de la Vie et de l'Environnement, École doctorale : Homme, Environnement, Santé, Université Franche- Comité, 326 p.

Druart C., Delhomme O., De Vaufleury A., Ntchoe E. et Millet M., 2011- Optimization of extraction procedure and chromatographic separation of glyphosate, glufosinate and aminomeylphosphonic acid in soil. *Journal of Analytical and Bioanalytical chemistry*, p 1725-1732.

E

Edwards, C.A., Lofty, J.R., 1977.Biology of earthworms. Chapman and Hall Ltd, Grande Bretagne.333 p.

FAO., 1987- Résidus de pesticides dans les produits alimentaires. Rapport de la réunion conjointeFAO/OMS, Rome Italie, p 14.

Edwards, C.A., Bohlen, P.J., 1996. The biology and ecology of earthworms.Chapman and Hall, NewYork. 426 p.

F

Figueira, R., Tavares, P.C., Palma, L., Beja, P., Sérgio, C., 2009. Application of indicator krigingto the complementary use of bioindicators at three trophic levels.*Environmental Pollution*, **157** : 2689-2696

G

Gandolphe, M., 1861.Lombric phosphorescent.*Revue et Magazine de Zoologie*,**13**, 284-287.

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.

H

HERGER P., 2003- regenwürm. Zentrum für angewandte Ökologie Schattweid, Natur-Museum Luzern. Wolhusen. 49 p.

Hu J.Y., Chen C.L and Li J.Z., 2008- A Simple Method for the Determination of Glyphosate Residues in Soil by Capillary Gas Chromatography with Nitrogen Phosphorus. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing China, Journal of Analytical Chemistry, Vol. 63, N° 4, p 371–375.

J

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

L

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

Little, E.E., 1990. Behavioral toxicology: stimulating challenges for a growing discipline. *Environ. Toxicol. Chem.*, **9**, 1–2.

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

Ladhar-Chaabouni, R., Gargouri, R., Hamza-Chaffai, A., 2007. Effect of cadmium on some biomarkers in the clam *Ruditapes decussatus*: Metallothionein quantification by using two techniques. *Inter. J. Environ. Pollu.*, **30**, 593-601.

Le Mer Ch., Roy R., Pellerin j. et Maltais D., 2009- Effects of chronic exposures to the herbicides atrazine and glyphosate to larvae of the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). Université du Québec à Rimouski, Quebec, Canada, p6.

M

Marino, F., Ligerio, 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.

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

Mathieu C. et Pieltain F., 2003- Analyse chimique des sols, Editions Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 380 p.

Mahajan, S., Kanwar, S.S., Sharma, S.P., 2007. Long-term effect of mineral fertilizers and amendments on microbial dynamics in an alfisol of western Himalayas. *Indian Journal of Microbiology*, **47**(1), 86-89.

Mazzella N., Tran-Thi Nhu-T., Delest B. et Delmas F., 2009- Développement et validation d'une méthode permettant le dosage du glyphosate et de l'AMPA dans les eaux surface par HPLC-ESI-MS/MS. XXIXème congrès du Groupe Français des Pesticides, Toulouse, France, 4 p.

Muthukaruppan, G., Ganasekaran, P., 2010. Effect of Butachlor herbicide on earthworm *Eisenia fetida* – its histological perspicuity. *Applied and Environmental Soil Science*, 1-5.

N

Neuweiler R., 2009- Optimisation de la tolérance des cultures aux herbicides, Station de recherche Agroscope Changins- Wädenswil ACW, Département fédéral de l'économie. Confédération Suisse, Information Cultures Maraîchères n° 15, 3 p.

NATURLAND., 2010- Vermikompost hochwertiger Dünger zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, Naturland, Germany. 23 p.

P

Pelosi, C., Bertrand M., Makowski D. et Roger-Estrade J., 2008. WORMDYN: A model of *Lumbricus terrestris* population dynamics in agricultural fields, *Ecol. Model.* Electronic version (DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2008.07.002).

R

Reinecke, S.A., Reinecke, A.J., 2007. Biomarker response and biomass change of earthworm exposed to chlorpyrifos in microcosms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **66**, 92-101.

S

Satchell, J. E., 1967. Lumbricidae. In: Burges, A. et Raw, F. (eds), *Soil Biology*. Academic Press, London, pp. 259-322.

Stürzenbaum, S.R., Kille, P., Morgan, A.J., 1998. The identification, cloning and characterization of earthworm metallothionein. *FEBS Letters*, **431(3)**, 437- 442.

Sims, R. W. et Gerard, B. M., 1999. *Earthworms*. FSC Publications, London, 167 pp.

Schreck E., 2008- Influence des modes d'entretien du sol en milieu viticole sur le transfert des pesticides vers les eaux d'infiltration – Impact sur les lombriciens, Thèse de doctorat, Spécialité : Ecotoxicologie, l'Université Toulouse III – Paul Sabatier, 301 p.

T

Tariq, M.I., Afzal, S., Hussain, I. and Sultana, N. 2007. Pesticides Exposure in Pakistan: A Review, *Environ Intl*, **33**, 1107–1122.

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.

Z

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

Zhou, S.P., Duan, C.Q., Fu, H., Chen, Y.H., Wang, X.H., Yu, Z.F., 2007. Toxicity assessment for chlorpyrifos - contaminated soil with three different earthworm test methods. *Journal of Environmental Sciences*, **19(7)**, 854–858.

Zeriri, I., Tadjine, A., Belhaouchet, N., Berrebbah, H., Djebbar, 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

(<http://www.bioactualites.ch/>)

(meteovista.be).

(www.googleearth.com)

(www.googlemaps2017.com)

Annexe A

Interprétation des valeurs du pH, du calcaire total et de la matière organique

Annexe A.1 : Interprétation des valeurs du pH (Baize, 1989)

<i>Valeurs du pH</i>	<i>Qualification</i>
□4,5	<i>Extrêmement acide</i>
4,6 à 5	<i>Très fortement acide</i>
5,1 à 5,5	<i>Fortement acide</i>
5,6 à 6,75	<i>Faiblement acide</i>
6,75 à 7,3	<i>Neutre</i>
7,4 à 7,8	<i>Légèrement alcalin</i>
7,9 à 8,4	<i>Moyennement alcalin</i>
8,5 à 9	<i>Fortement alcalin</i>
□9,1	<i>Très fortement alcalin</i>

Annexe A.2 : Interprétation des valeurs du calcaire total (Baize, 1989)

<i>% de CaCO_3</i>	<i>Qualification</i>
5 à 12,5	<i>Faiblement calcaire</i>
12,5 à 25	<i>Modérément calcaire</i>
25 à 37,5	<i>Assez fortement calcaire</i>
37,5 à 50	<i>Fortement calcaire</i>
Plus de 50	<i>Très fortement calcaire</i>

Annexe A.3 : Interprétation du taux de la matière organique (Baize, 1989)

Matière organique	Qualification du sol
< 1.4	Très pauvre en M.O
1.4 < M.O < 2	Pauvre en M.O
2 < M.O < 3	Argile < 22 % Bien pourvu en M.O
	22 % < Argile < 30 % Moyennement pourvu
	Argile > 30 % Pauvre en M.O
3 < M.O < 4	Sol bien pourvu en M.O
M.O > 4	Teneur élevée en M.O

Annexe B

Protocole détaillée de l'analyse granulométrique

Le principe de cette méthode consiste à :

- Détruire la matière organique par une attaque à l'eau oxygénée ;
- Disperser les particules par un dispersant énergétique, l'hexamétaphosphate de sodium, et par agitation mécanique ;
- Effectuer des prélèvements à l'aide de la pipette ROBINSON, dans des flacons à sédimentation à des profondeurs et à des moments déterminés en appliquant la loi de stocks.

- Le premier prélèvement correspond au poids de l'argile et limons fins (après 3 minute et 54 secondes de décantation à une température de 29°C et à une profondeur de 10 cm).

- Le deuxième prélèvement correspond au poids de l'argile (après 8 heures de sédimentation à une profondeur qui dépend de la température de la suspension).

- Détermination du facteur de correction dû à l'hexametaphosphate de sodium :

- Agiter l'éprouvette contenant seulement la solution d'hexametaphosphate de sodium et faire un prélèvement à la pipette Robinson.

- Mettre le volume prélevé dans une capsule tarée et faire sécher à l'étuve à 105°C.

- Détermination de la fraction supérieure à 0,05

- Remettre en suspension les particules par agitation

-
- superposer deux tamis de mailles à 0,2 mm et 0,05 mm
 - Récupérer le contenu de chaque tamis dans une capsule tarée à l'aide de jets de pissette et faire sécher à l'étuve à 105°C. Le tamis de maille égale à 0,2 mm contiendra les sables grossiers, le tamis de maille égale à 0,05 mm contiendra les fins.

- Détermination de la fraction inférieure à 0,05 mm (Limons grossier).
- Ajuster au volume de 1000 ml de l'eau distillée la fraction inférieure à 0,05 récupérée après tamisage.
- Agiter l'éprouvette et prélever rapidement cette fraction à la pipette Robinson
- Récupérer le contenu de la pipette à sécher à l'étuve à 105C°.

En considérant que les prélèvements sont de 20 ml, que le poids de la prise d'essai est de 15 g et que le volume total de la suspension est de 1000 ml, ceci en tenant compte du facteur de correction 100/100-H, et par la différence avec le poids de la capsule vide, nous déterminons les poids suivants :

P : Prise d'essai

P1 : poids des argiles, limons fins et l'hexametaphosphate de sodium

P2 : poids des argiles et l'hexametaphosphate de sodium

P3 : Poids d'hexametaphosphate

P4 : Poids de sables fins

P5 : poids de sables grossiers

P6 : poids d'argile, limons fins, limons grossier et l'hexamétaphosphate sodium

U : Volume de la pipette Robinson

V : Volume totale de la suspension soit 1000 ml

MO : Pourcentage de la matière organique

H : humidité résiduelle

CaCO₃ : pourcentage de CaCO₃ de l'échantillon (si la décarbonisation n'a pas été réalisée, CaCO₃ = 0)

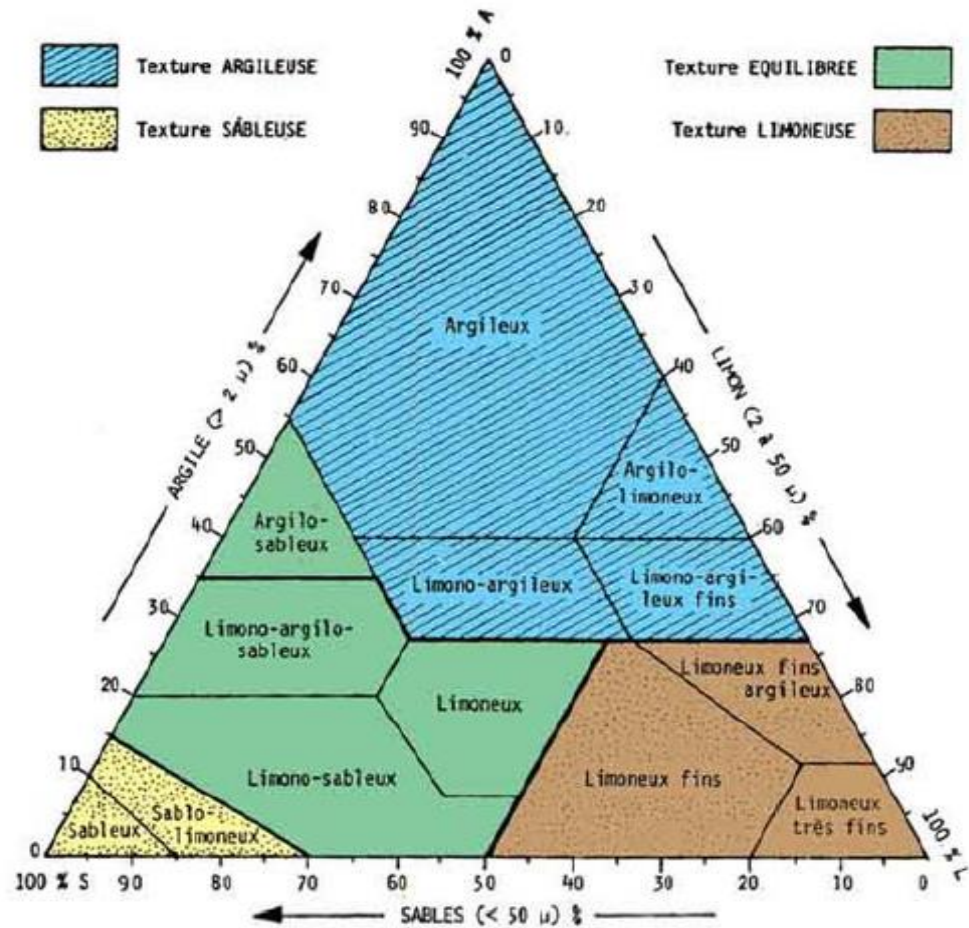
$$\% \text{ d'argile} = \frac{(P2 - P3) \cdot V \cdot 100}{\left(P - \left(\left(\frac{P}{100} \right) \cdot (MO + H + CaCO_3) \right) \right) \cdot U}$$

$$\% \text{ de limons fins} = \frac{(P1 - P2).V .100}{\left(P - \left(\frac{P}{100}\right). (MO + H + CaCO3)\right). U}$$

$$\% \text{ de limons grossiers} = \frac{(P6 - P1).V .100}{\left(P - \left(\frac{P}{100}\right). (MO + H + CaCO3)\right). U}$$

$$\% \text{ de sables fins} = \frac{P4 .100}{\left(P - \left(\frac{P}{100}\right). (MO + H + CaCO3)\right)}$$

$$\% \text{ de sables grossiers} = \frac{P5 .100}{\left(P - \left(\frac{P}{100}\right). (MO + H + CaCO3)\right)}$$



Annexe B : Triangle des textures (Baize, 1989)

Annexe C

Annexe C.1 : Le taux de la croissance des vers de terre en fonction du temps.

CONCETRATION	1jr	4 Jrs	8 Jrs	12 Jrs	16 Jrs	20 Jrs	24 Jrs
C0	0,58208	0,60088	0,6406	0,68004	0,70912	0,7152	0,7308
C10	0,65652	0,65712	0,66756	0,68968	0,69788	0,70508	0,72828
C30	0,60796	0,61224	0,63033	0,6321	0,6431	0,664	0,6794
C60	0,59244	0,59987	0,60532	0,6292	0,64452	0,658	0,66112
C90	0,58608	0,61588	0,60972	0,62568	0,5729	0,57297	0,56872
C120	0,60175	0,6316	0,67072	0,704248	0,74156	0,67516	0,64656
C150	0,61012	0,63236	0,65308	0,6894	0,7064	0,65028	0,5956
C180	0,61796	0,63024	0,65033	0,6922	0,65634	0,642524	0,62838
C210	0,6366	0,65876	0,69772	0,7516	0,6884	0,6468	0,61083
	0,61016778	0,62655	0,64726444	0,67712756	0,67335778	0,65889044	0,64996556

CONCETRATION	28 Jrs	32 Jrs	36 Jrs	40 Jrs	44 Jrs	48Jrs	52 Jrs
C0	0,74376	0,7598	0,73568	0,70064	0,7	0,6974	0,6895
C10	0,72472	0,7139	0,70996	0,69164	0,68156	0,68004	0,67056
C30	0,66392	0,6562	0,63144	0,61268	0,59292	0,59135	0,59079
C60	0,66168	0,64488	0,63612	0,629228	0,61146	0,60059	0,5905
C90	0,55686	0,55615	0,55368	0,54684	0,5484	0,53295667	0,51064
C120	0,61688	0,59252	0,56039	0,54487	0,52833667	0,48401	0,47995667
C150	0,57495	0,53387	0,49971	0,46083667	0,44236667	0,41251667	0,38176667
C180	0,59392	0,57712	0,53515	0,5118	0,49285	0,45178333	0,39366667
C210	0,59609333	0,56103333	0,50281333	0,48333333	0,45645	0,4157	0,38296667

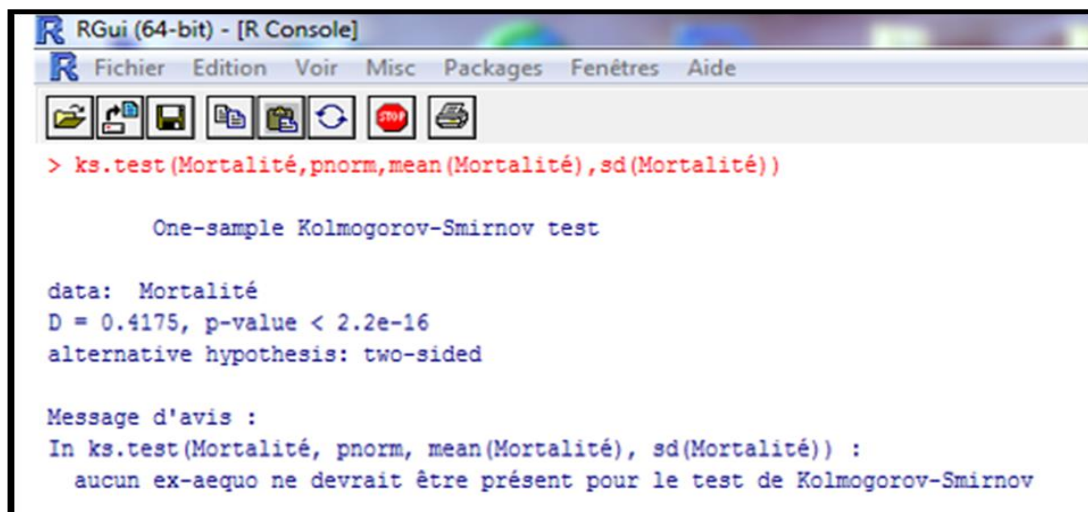
Annexe C.2 : Le taux de mortalité des vers de terre en fonction du temps.

	1	4	8	12	16	20	24
C0	0	0	0	0	0	0	0
C10	0	0	0	0	0	0	0
C30	0	0	0	0	0	0	0
C60	0	0	0	0	0	0	0
C90	0	0	0	0	0	0	0
C120	0	0	0	0	0	0	0
C150	0	0	0	0	0	0	0
C180	0	0	0	0	0	0	0
C210	0	0	0	0	0	0	2
Moyenne	0	0	0	0	0	0	0,22222222

	28	32	36	40	44	48	52	Moyenne
C0	0	0	0	0	0	0	0	0
C10	0	0	0	0	0	0	0	0
C30	0	0	0	0	0	1	3	0,28571429
C60	0	0	0	0	2	2	4	0,57142857
C90	0	0	0	0	2	3	5	0,71428571
C120	0	0	1	1	3	4	7	1,14285714
C150	2	2	3	5	7	7	8	2,42857143
C180	0	3	3	5	6	9	10	2,57142857
C210	5	5	8	8	10	11	13	4,42857143
Moyenne	0,77777778	1,11111111	1,66666667	2,11111111	3,33333333	4,11111111	5,55555556	

Annexe D

Résultats des analyses statistiques



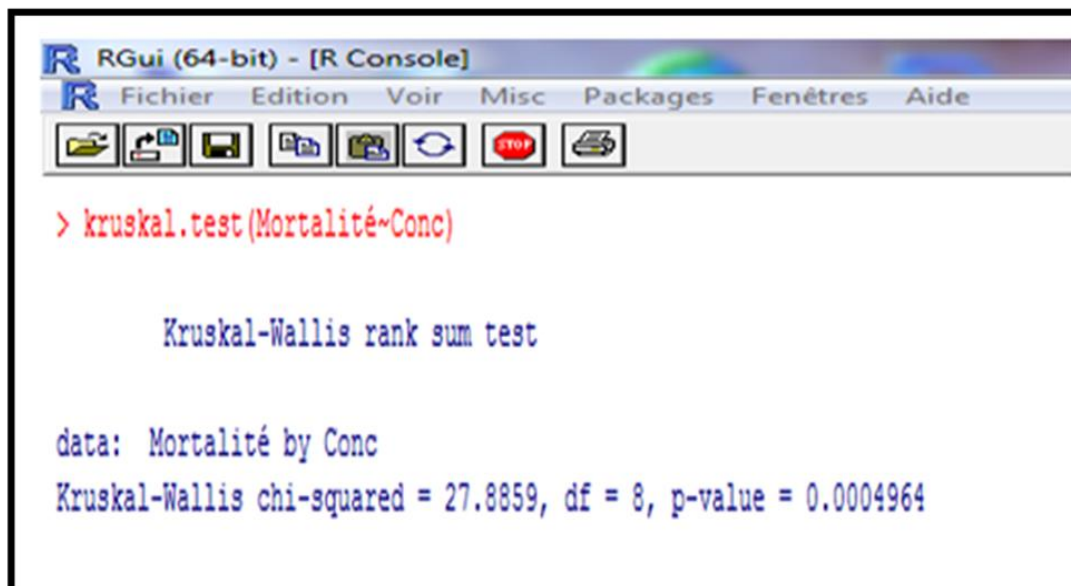
```
RGui (64-bit) - [R Console]
Fichier Edition Voir Misc Packages Fenêtres Aide
> ks.test(Mortalité, pnorm, mean(Mortalité), sd(Mortalité))

One-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: Mortalité
D = 0.4175, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: two-sided

Message d'avis :
In ks.test(Mortalité, pnorm, mean(Mortalité), sd(Mortalité)) :
aucun ex-aequo ne devrait être présent pour le test de Kolmogorov-Smirnov
```

Annexe D.1 : Résultat du Test de Normalité sur R (Pour la Mortalité).



```
RGui (64-bit) - [R Console]
Fichier Edition Voir Misc Packages Fenêtres Aide
> kruskal.test(Mortalité~Conc)

Kruskal-Wallis rank sum test

data: Mortalité by Conc
Kruskal-Wallis chi-squared = 27.8859, df = 8, p-value = 0.0004964
```

Annexe D.2 : Résultat du test non paramétrique de l'analyse de la variance (Kruskal-Wallis) sur R (Pour la Mortalité).

```
RGui (64-bit) - [R Console]
Fichier Edition Voir Misc Packages Fenêtres Aide

> ks.test(Poids, pnorm, mean(Poids), sd(Poids))

One-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: Poids
D = 0.0864, p-value = 0.0001628
alternative hypothesis: two-sided

Message d'avis :
In ks.test(Poids, pnorm, mean(Poids), sd(Poids)) :
aucun ex-aequo ne devrait être présent pour le test de Kolmogorov-Smirnov
```

Annexe D.3 : Résultat du test de Normalité sur R (**Pour la Croissance**).

```
RGui (64-bit) - [R Console]
Fichier Edition Voir Misc Packages Fenêtres Aide

> kruskal.test(Poids~CONC)

Kruskal-Wallis rank sum test

data: Poids by CONC
Kruskal-Wallis chi-squared = 230.8599, df = 8, p-value < 2.2e-16
```

Annexe D.4 : Résultat du test non paramétrique de l'analyse de la variance (**Kruskal-Wallis**) sur R (**Pour la Croissance**).