

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU
Faculté des Sciences Biologiques et sciences Agronomiques
Département de Biologie

Mémoire



En vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Protection de l'environnement

Présenté par : **GHIDES Nouredine & IMARAZENE Rokia**

Thème

Contribution à l'étude de l'effet des hydrocarbures (gasoil, essence super) sur la croissance des vers de terre et les caractéristiques du sol.

Devant le jury composé de :

- | | | |
|----------------------------------|------------|---------------|
| ❖ M ^{elle} HANNACHI L. | MCCA | Présidente |
| ❖ M ^{me} SADOUDI D. | Professeur | Examinatrice |
| ❖ M ^{me} LANDRI G. | MAA | Promotrice |
| ❖ M ^{elle} ALI AHMED S. | MAA | Co-promotrice |

Soutenu publiquement le 06 juillet 2017

Promotion : 2016 - 2017

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier **M^{me} LANDRI Gh.** qui a accepté d'encadrer ce travail et nous a transmis son intérêt pour les vers de terre.

Notre profonde gratitude s'adresse à **M^{elle} ALI AHMED S et M^{elle} ARKOUB M.** qui nous ont fait profiter de leurs expériences en matière d'expérimentation et nous ont assistés durant les Cinq mois de travail au laboratoire.

Nous remercions les membres du jury ; **Melle HANNACHI L .,** **M^{me} SADOUDI D,** de nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.

Nous tenons également à remercier nos camarades ; **GUICI Lilia** et **KHALDI Razika** qui nous ont accompagnés et aidés lors de notre travail.

Nous remercions les ingénieurs des laboratoires : **labo communs II** et **labo de pédologie, ainsi le labo de génie civil** pour leurs aides et soutiens tout au long de l'expérience.

Enfin, nous remercions nos familles et nos amis pour leur soutien, ainsi que toutes les personnes qui ont contribué à notre travail.

Dédicaces

- A mes parents ; **MOUHEMED & NADIA.**
- A mes **frères** et **sœurs** et leurs **familles.**
- A tous mes amis.
- A ma binôme **ROKIA.**

1. *GHIDES Nouredine*

- A mes parents ; **MADJID & ZAHRA.**
- A mes frères et mes sœurs et leurs familles.
- A tous mes amis.
- A mon binôme **NOUREDINE.**

2. *IMARAZENE Rokia*

Listes des figures et des tableaux

Listes des figures

Figure N° 1 : morphologie des vers de terre.....	7
Figure N° 2 : classification des vers de terre selon bouché 1977.....	9
Figure N° 3 : composition chimiques des hydrocarbures.....	14
Figure N° 4 : Localisation géographique des de la station d'échantillonnage.....	16
Figure N° 5: Diagramme climatique de Bouzeguene.....	17
Figure N° 6 : Méthode de prélèvement des vers de terre.....	18
Figure N° 7 : différents critères d'identifications.....	19
Figure N° 8 : Les différentes phases d'identification de l'espèce.....	20
Figure N° 9 : Schéma représentant le dispositif expérimental.....	22
Figure N° 10 : étapes suivis pour la quantification de la matière organique.....	23
Figure N° 11 : étapes suivis pour la détermination du calcaire total.....	24
Figure N° 12: critères d'identification de <i>Nicodrilus caliginosus</i>	26
Figure N° 13 : Variation du poids des vers de terre à travers le temps.....	29
Figure N° 14 : variation du taux de la mortalité des vers de terre à travers le temps.....	30
Figure N° 15: Résultats de l'ACP (Gasoil).....	31
Figure N° 16 : Variation du poids des vers des terres à travers le temps.....	32
Figure N° 17 : Variation du taux de la mortalité des vers de terre à travers le temps.....	33
Figure N° 18 : Résultats de l'ACP (Essence).....	34

Listes des figures et des tableaux

Figure N° 19 : courbe de la régression de la DL50 (Gasoil).....	35
Figure N° 20 : courbe de la régression de la DL50 (Essence).....	36

Listes des figures et des tableaux

Liste des tableaux

Tableau N°1 : les constituants du sol.....	3
Tableau N°2 : Fractions de particules constituant les agrégats d'un sol.....	25
Tableau N°3 : Paramètres physico-chimique du sol.....	27

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I – Partie bibliographique	3
I. Généralités sur le sol	3
1. Caractérisation du sol de la station d'échantillonnage	3
A. constituants du sol	3
B. Texture du sol	4
C. Structure du sol	4
II. Généralités sur la pollution	4
III. Généralités sur la faune du sol	6
1. Principaux types de faune	6
IV. Généralités sur les vers de terre	7
1. Aspects généraux	7
2. Classification	8
3. Catégories écologiques des vers de terre	8
4. Segmentation	10
5. Taille	10
6. Coloration	10
7. Soies	10
8. Caractéristiques sexuels externes	10
9. Ecologie des vers de terre	11
9.1. Fonctions et services éco systémiques	11
9.2. Interaction sol et vers de terre	12
a. Température et humidité du sol	12
b. La matière organique	12
c. Le pH	13
d. Calcaire totale	13
e. Texture du sol	13
f. Structure du sol	13
V. Généralités sur les hydrocarbures	14
1. Définition des hydrocarbures	14
2. Classification des hydrocarbures	14
3. Les produits raffinés	15
a. L'essence	15
b. Le gasoil	15

Sommaire

Chapitre II - Matériel et méthodes	16
I. Présentation de la région d'échantillonnage	16
1. Situation géographique	16
2. Point d'échantillonnage du matériel biologique	16
3. Végétation	16
4. Situation climatique	17
II. Matériels et méthodes utilisés	18
1. Collecte du matériel biologique	18
2. Matériels utilisés	18
3. Méthodes	18
3.1. Méthodes d'échantillonnage	18
3.2. Méthodes d'identifications	20
3.3. Méthode de contamination	20
3.3.1. Contamination du sol par les hydrocarbures	21
3.3.2. Mise en place de l'expérimentation	21
3.4. Méthodes d'analyses physico-chimiques du sol	22
3.4.1. Potentiels d'hydrogènes	23
3.4.2. Matière organique	23
3.4.3. Calcaire totale	24
3.4.4. Analyses granulométrique	25
Chapitre III - Résultats et discussion	26
I. Résultats	26
I.1. Identification des espèces	26
I.2. Paramètres physico-chimique du sol	26
I.3. Suivis du poids et de la mortalité après contamination	26
I.3.1. Sol contaminée par le gasoil	29
A. Le poids	29
B. Taux de mortalités	29
C. Analyses des composantes principales (ACP)	30
I.3.2. Sol contaminée par l'essence	31
A. Le poids	32
B. Taux de mortalités	32
C. Analyses des composantes principales (ACP)	33
I.3.3. Détermination de la CL 50 pour le gasoil et l'essence	34
A. Gasoil	35
B. Essence	36
II. Discussion	37
Conclusion et perspectives	41
Références bibliographiques	43
Annexes	

INTRODUCTION

Le sol est un système complexe et dynamique responsable de nombreuses fonctions naturelles, en interaction directe avec les autres compartiments de l'écosphère. Cet écosystème est à la fois un support pour les êtres vivants et un réservoir de matières organiques et minérales (Gobat *et al.*, 2003). La couverture pédologique représente une diversité d'habitats par sa composition physique et chimique très variable (Girard *et al.*, 2005). Elle est indispensable à la vie qu'elle abrite et en retour, les organismes vivants participent activement à sa formation (pédogénèse) (Gobat *et al.*, 2003).

La faune du sol, dont les plus importants représentants, les vers de terre, constituent la première biomasse animale terrestre (Gobat *et al.*, 2003). Aujourd'hui, il y a un regain d'intérêt pour les vers de terre conduit par des préoccupations environnementales et économiques, particulièrement dans les domaines de la biodiversité, la systématique et l'évolution, ainsi que la nécessité d'apprécier leurs fonctions en écologie appliquée (King *et al.*, 2008), comprendre leurs rôles dans les secteurs d'agriculture durable, horticoles et forestiers et l'exploitation de leurs potentiels dans la restauration des sols endommagés et le recyclage des déchets organiques (Blakemore, 2000; Lavelle et Spain, 2001).

Le phénomène de la pollution par les hydrocarbures a un impact de plus en plus grand sur les plans environnemental, sanitaire et économique. Cette pollution peut avoir un impact soit direct ou indirect sur la santé humaine et l'équilibre des écosystèmes aussi bien marins que continentaux. La qualité des sols peut également en être altérée (Mbonigada *et al.*, 2009 *in* Boudershem, 2011).

Quelques études ont été menées à travers le monde à propos de l'impact des hydrocarbures sur les vers de terre, mais aucun travail n'a été effectué en Algérie, il y a eu des travaux dans notre labo et c'est dans cette optique que s'inscrit notre étude dont les objectifs principaux sont :

- A. évaluer l'effet des carburants (gasoil et essence super) à différentes concentrations sur une espèce de vers de terre *Nicodrilus caliginosus*.
- B. caractériser les sols contaminés et non contaminés affectées par l'espèce de vers de terre (*Nicodrilus caliginosus*).

Le mémoire est composé de quatre chapitres. Le premier comprend des généralités sur le sol, la pollution du sol par les hydrocarbures, les vers de terre et les hydrocarbures. Le second présente la situation et les caractéristiques climatiques de la région d'échantillonnage.

INTRODUCTION

Le troisième chapitre comporte la méthodologie de travail et le matériel utilisé pour l'expérimentation. Le dernier chapitre expose les résultats de l'étude et leur discussion.

Enfin une conclusion ponctuée de perspectives ouvrant la voie aux recherches à venir dans le domaine de l'étude des vers de terre et de la pollution des sols.

I. Généralités sur le sol

1. Caractérisation du sol de la station d'échantillonnage :

Le sol, à l'échelle de la planète, une très mince couche de terre recouvrant les roches émergées. Cependant, c'est un système complexe responsable de nombreuses fonctions naturelles, en interaction directe avec les autres compartiments de l'écosphère, il est à la fois un support pour les êtres vivants, un réservoir de matières organiques et minérales, un régulateur des échanges et des flux dans l'écosystème, un lieu de transformation de la matière organique et un système épurateur de substances toxiques (Gobat et al., 2003).

A. Constituants du sol :

Le tableau ci après résume les caractéristiques et les constituants du sol.

Tableau N°1 : les constituants du sol (Baize, 1989)

	Constituants solides		Constituants liquides (solution du sol)	Constituants gazeux (atmosphère du sol)
	Minéraux	Organiques		
Origine	Désagrégation physique et altération biochimique des roches.	Décomposition des être vivants.	Précipitations, nappes, ruissellement	Air hors sol, matières en décomposition, respiration
Critères de classement	Taille (granulométrie) Qualité (minéralogie)	Etat (vivant, mort) Qualité chimique (originelle, transformée).	Origine (météorique, phréatique) Etat physique (potentiel hydrique) qualité chimique	Origine (aire, organisme) Qualité chimique
Catégories	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Selon la granulométrie : - Le squelette (>2mm) - Terre fine (<2mm) ❖ Selon la minéralogie : - Quartz - Minéraux silicatés Min. Carbonatés. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Organismes vivants ❖ Organismes morts ❖ Matières organiques héritées : Cellulose, lignine, résine ❖ Matières organiques humifiées : acides flaviques et humiques, humines. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Eau ❖ Substances dissoutes : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Glucides, ▪ Alcools, ▪ Acides, ▪ Organiques, ▪ Minéraux ▪ Cations ▪ Anion. 	Gaz de l'air : N ₂ , O ₂ , CO ₂ Gaz issu de la respiration et de la décomposition des organismes : CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , NH ₃ .

B. Texture du sol :

C'est le mode d'assemblage des particules. Elle s'établit selon la proportion de particules de sable, de limon et d'argile dont il est constitué. Ces particules sont classées en fonction de leurs diamètres ; les particules de sables sont les plus grosses et les particules d'argile sont les plus petites (Ponge, 1996).

C. Structure du sol :

La structure du sol désigne la taille et la disposition des particules qui les composent. Les informations concernant la structure du sol peuvent être utilisées pour délimiter la forme et la distribution des contaminants dans le sol, elle peut aussi affecter le transport et la rétention des contaminants (Sharma et Reddy, 2004).

II. Généralités sur la pollution :

La pollution par les hydrocarbures est présente partout dans l'environnement, d'une part, à cause de leur stabilité importante et, d'autre part, en raison de la multiplicité de leurs sources (brûlage de combustibles, industries diverses, incinération des déchets...). Ils sont considérés comme des contaminants prioritaires des écosystèmes tant terrestres que marins pour leurs potentialités cancérigène et mutagène. Leurs toxicités résultent de la formation des métabolites (époxydes, diols) par les organismes, qui se lient à l'ADN et entraînent des dysfonctionnements. (Pelletier, 2015).

Des études ont été menées pour déterminer les effets des hydrocarbures sur l'environnement, les organismes marins et terrestres :

➤ Une étude a été faite par Jacques Bouchard sur les effets produits chez trois espèces de criquets par l'ingestion d'hydrocarbures, il a conclu que les hydrocarbures sont toxiques chez les criquets au bout de trois jours, il en meurt le quart après absorption de 0,015 mg ou la moitié si ils ingèrent 0,06 mg.

➤ J.L. Martin-J. Haure, et al, ont fait des études sur les impacts des déversements des hydrocarbures sur l'écophysiologie des huîtres sur la baie de Bourgneuf après le naufrage de l'ERIKA en 1999 et l'étude a conclu que les hydrocarbures ont un impact direct sur la croissance et la forme des huîtres comparé à la moyenne de croissance nationale, l'étude a aussi montré que les huîtres de la baie de Bourgneuf ont une baisse des défenses immunitaires, les sensibilisant à l'action de pathogènes opportunistes.

➤ Degranges. P., et al, ont fait une étude sur l'impact des hydrocarbures sur la composition chimique du sol en 1977 et ils ont conclu qu'il y a peu de différences de composition chimique entre un sol témoin et un sol pollué par les hydrocarbures, en ce qui concerne les éléments majeurs : l'apport des hydrocarbures en ce qui concerne ces éléments est négligeable devant les teneurs du sol.

➤ Jean-francois ponge à étudier l'Effets des composées organiques sur la faune du sol et la perturbation des communautés et recolonisation des substrats pollués. Il a pu observer que le fonctionnement d'un écosystème contaminé par des composés organiques persistants a mis en évidence un impact de la pollution sur la composition du peuplement de Collemboles et plus généralement sur le fonctionnement de l'écosystème. Sur la station polluée, l'analyse micro morphologique met en évidence une faible dégradation de la matière organique, basée essentiellement sur l'activité de la microflore fongique et des enchytréides. L'activité bactérienne serait réduite voire inhibée sur cette station par la présence du polluant.

➤ Vaclav. P, et al ont étudié les effets des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des métaux lourds Sur les annélides terrestres dans les sols urbains dans les parcs urbains, à Brno,. Au printemps et en automne 2007, des annélides ont été recueillis et des échantillons de sol prélevés dans des pelouses le long de transects, à trois distances différentes (1, 5 et 30 m). Des rues avec des trappes lourdes c. Dans les deux saisons, deux parcs avec deux transects ont été échantillonnés. Les concentrations d'hydrocarbures aromatiques polycycliques étaient plutôt faibles, diminuant avec La distance de la rue au printemps mais pas en automne. Les concentrations de métaux lourds n'ont pas diminué de manière significative avec une distance croissante. La densité des annélides n'a pas été significativement différente entre les distances, bien qu'il y ait eu une tendance de l'augmentation du nombre de vers de terre avec une distance croissante. Il n'y avait pas de corrélations significatives entre Teneur en sol des hydrocarbures aromatiques polycycliques ou des métaux lourds et des densités de vers de terre ou d'enchytrae.

III. Généralités sur la faune du sol :

1- Principaux types de faune :

Le sol constitue l'habitat permanent d'une multitude d'êtres vivants, dont le nombre de représentants connus augmente d'année en année, bien que très variable d'un sol à un autre et d'une saison à une autre (Bachelier, 1978). On compte plus de 260 millions d'individus par m² sur sol de prairie (Gobat et al., 2003). Il s'agit majoritairement d'invertébrés. Ils se localisent essentiellement dans les premiers centimètres du sol selon l'importance du potentiel énergétique et alimentaires et des apports organiques (Soltner, 2005).

On reconnaît que les habitants du sol sont regroupés en plusieurs catégories, en raison de leurs tailles et de leur mode d'affinité pour l'eau. Plusieurs auteurs ont établi la même classification (Bachelier, 1963 et 1978 ; Coineau, 1974 ; Duchaufour, 1997), la faune du sol est alors classée en quatre catégories :

❖ **La microfaune :** Constituée d'espèces de diamètre inférieur à 0,2 mm, elles vivent généralement dans un film d'eau. Ce sont des espèces hydrophiles ; et protozoaires, quelques espèces de rotifères terrestres et des tardigrades résistant à la sécheresse (Bachelier, 1978).

❖ **La mésofaune :** Composée par des invertébrés entre 0,2 et 4 mm, constituée d'espèces hydrophiles et d'espèces xérophiles. Il s'agit d'acariens, de collemboles, de pseudoscorpions, de protoures, de diploures, de petits myriapodes, ces groupes se rassemblent sous le terme "micro-arthropodes", de nématodes de plus grande taille et d'enchytréides (Bachelier, 1978).

❖ **La macrofaune :** est composée des animaux entre 4 et 80 mm. La macrofaune joue un rôle clé dans la régulation des propriétés physiques des sols et de la biodiversité des organismes plus petits (Lavelle et Spain, 2001).

Les lombriciens (Annélides, Oligochètes) représentent une composante majeure de la macrofaune du sol puisque, dans la plupart des écosystèmes terrestres, ils dominent en biomasse (Pelosi, 2008).

❖ **La Mégafaune :** renferme les animaux de grande taille, mesurant de 80 mm à 1 m 60, dont l'activité pédologique se limite essentiellement à une remontée des matériaux correspondant à la confection des terriers.

IV. Généralités sur les vers de terre

Les lombriciens (Annélides, Oligochètes) représentent une composante majeure de la macrofaune du sol puisque, dans la plupart des écosystèmes terrestres, ils dominent en Biomasse. En effet, ils ont une importance primordiale dans la production primaire ; puisque qu'ils jouent un rôle essentiel dans la formation et l'entretien des sols fertiles et de leurs effets sur le recyclage des éléments nutritifs, le maintien de la fertilité et la structure des sols (Lee, 1985 ; James, 1991 ; Bohlen et al., 1997).

1. Aspects généraux :

La morphologie (figure1) d'un vers de terre se présente comme suit :

- un corps mou, segmenté sous forme d'anneau (classe des annélides).
- chaque anneau possède 8 petits poils (soies) qui permettent d'avancer dans le sol (sous-classe des oligochètes).
- une bague (clitellum) qui permet d'identifier les adultes.
- Symétries bilatérales et a cavités générale libre (coelomates).
- Possèdent un appareille circulatoire clos, parfois a sang rouge.
- Leurs systèmes nerveux se composent d'une chaine ventrale double comportant une paire de ganglion par segment.
- Leurs systèmes excréteur est constitué par des néphridies, en général au nombre d'une paire par segment.
- Le tube digestif est complet avec bouche et anus.

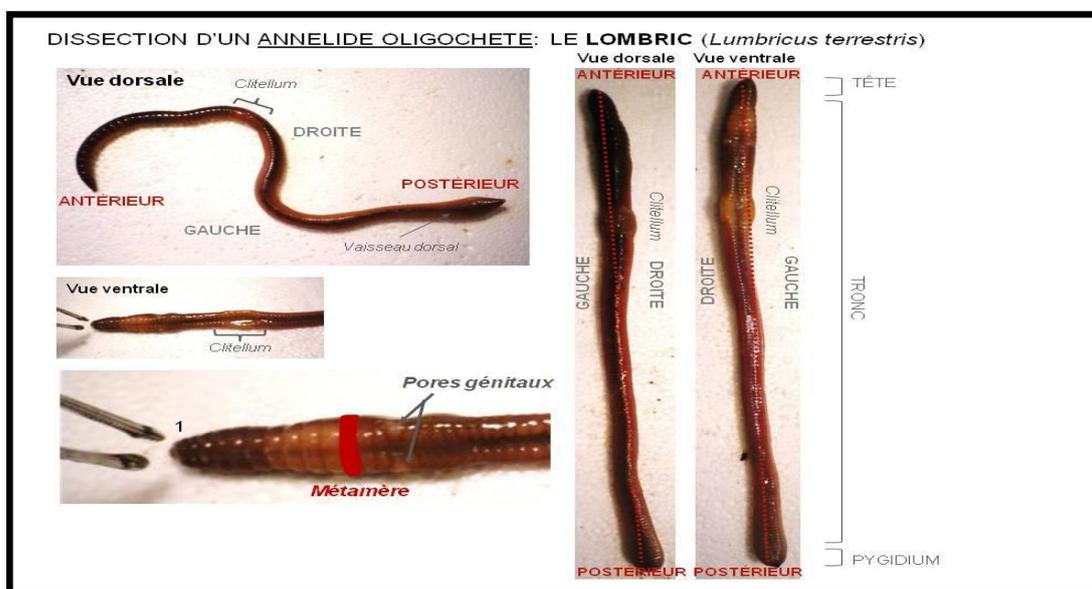


Figure 1 : morphologie des vers de terre (Bouché 1972)

2. classifications :

La classification des vers de terre selon Bouché 1972 se résume ainsi :

- + Règne.....Animalia
- + Phylum.....Annelida
- + ClasseClitellata
- + Sous-classeOligochaeta (Oligochètes)
- + OrdreHaplotaxida
- + Sous-ordre.....Lumbricina

3. Catégories écologiques des vers de terre :

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

Les catégories écologiques des vers de terre sont en fonction de leurs comportements, Morphologique et d'habitat. Ces catégories sont divisées par divers auteurs, notamment Lee (1959, 1985, 1987) et Bouché (1972, 1977). Lee a proposé des catégories facilement interprétables et largement applicables à plusieurs familles lombriciennes, elles sont équivalentes d'une manière générale à la classification adoptée par Bouché ,1977 qui est la suivante :

a) Les Epigés : se sont des vers pigmentés (couleur foncée) pour se protéger des rayons du soleil. de petite taille (10 à 30 mm). Ils vivent généralement dans les couches de surface, principalement la litière, et se nourrissent des matiers organiques en décomposition. (Bouché 1977 ; Lee, 1985).

b) Les Anéciques : Les anéciques sont généralement des vers de terre de grande taille (pouvant atteindre plus d'1m). Seule leur tête est pigmentée (rouge à noir). Ils ont une durée de vie relativement longue.

Les anéciques sont des espèces qui vivent en permanence dans des galeries verticales qu'ils creusent dans le sol. Ces galeries sont connectées à la surface du sol. Ces vers de terre prélèvent la matière organique à la surface du sol, ils l'enfouissent dans leur galerie, la laisse se décomposer sous l'action des microorganismes avant de l'ingérer avec du sol. Ils rejettent leurs déjections soit à la surface du sol, à l'ouverture de leurs galeries, soit dans leurs galeries où elles tapissent leurs parois (Figure 2).

c) **Les Endogées** : Sont des vers de terre qui vivent en permanence dans le sol. Ils se déplacent dans le sol en creusant des galeries et en ingérant la terre dont ils assimilent une partie de la matière organique qu'il contient. Les déjections sont rejetées dans la terre, rebouchant ainsi partiellement les galeries qu'ils ont creusées. Certains endogés vivent justes sous la surface du sol ou au contact des racines où le sol est plus riche en matière organique, d'autres peuvent vivre profondément dans le sol (à plusieurs dizaines de cm sous la surface).

Ils sont généralement dépigmentés n'ayant pas à se protéger des rayons lumineux et sont majoritairement de couleur rose pâle. Les endogés ont des tailles très variables de quelques centimètres à près d'un mètre de long pour certaines espèces tropicales (Figure 2).



Figure 2:classification écologique des vers de terre selon (Bouché 1977)

4. Segmentation :

Les vers de terre possèdent un corps cylindrique formé d'une succession de segment extensibles et semblables compris entre un lobe céphalique (prostomium) et un lobe terminal appelé pygidium (Lavell et Spain, 2001).les segment sont pourvue de pores dorsaux par lesquelles les vers de terre peuvent éjecter un fluides coelomique en réponse à une perturbation mécanique ou chimique (Bachelier, 1978) .

5. Taille :

La taille des vers de terre est variable aux seins d'une même espèce suivant les conditions de vie des individus, par exemple l'humidité du sol (Bachelier, 1978).

- A l'âge adulte, les vers commun mesurent approximativement en 30 à 300 mm
- Certains vers plus rares dépassent les 50 centimètres, tel que *Hormogaster redii f.gigantes* (Bouché ,1977).

Cependant, il existe dans les régions tropicales des vers géant qui varient entre 2 à 3 mètres avec un diamètre de 3 à 5 cm.

6. Coloration :

- ✓ Les vers de surface (épigés) sont plus pigmentés que ceux qui vivent en profondeurs (endogés).
- ✓ Ceux qui vivent en milieu des litières en décomposition sont de couleur rouge ou avec des bandes alternées de couleurs brune et chamois et facilement reconnaissable.
- ✓ Ceux qui vivent plus en profondeurs et ingèrent d'avantage de matières minérales sont de couleur gris a gris bleuté, et d'autres de couleur verdâtre avec un clitellum bien rose.

7. Soies :

Les vers de terre possèdent des soies rigides, peu nombreuses et des formes peu variée, implantées directement dans les téguments, elles interviendraient dans le déplacement (Bachelier, 1978).

8. Caractères sexuels :

Tous les vers de terre sont originalement hermaphrodites, mais nombreuses espèces sont parthénogénétiques Díaz Cosín, (2011). Certaines espèces sont obligatoirement bi-parentales, comme *L. terrestris* alors que d'autres peuvent se reproduire sans accouplement, par autofertilisation ou parthénogénèse « La parthénogénèse est une reproduction monoparentale à partir d'un seul gamète » (Sims et Gerard, 1999 ; Diaz Cosín, et al., 2011; Fernandez et al.,2012).

Les caractères sexuels externes sont observés chez les individus adultes, et jouent un rôle essentiel dans l'identification des espèces.

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

Les orifices males qui constituent un caractère sexuels secondaire bien visible comparé aux pores femelle dont l'emplacement ne peut être facilement déterminé. Les orifices de réceptacles séminaux, disposés par paire, dont le nombre varie selon les espèces (Bouché, 1972).

9. Ecologie des vers de terre :

9.1. Fonctions et services écosystémiques :

Le terme de « fonction » est ici utilisé dans le sens « d'utilité » ; il désigne les rôles que jouent les vers de terre dans l'agrosystème. Les services écosystémiques désignent les bénéfices que la société tire du fonctionnement des écosystèmes (Eric Blanchart et Pascal Jouquet, 2010) et plus précisément ici, les bénéfices tirés de la présence de lombricides dans les écosystèmes cultivés. Ils ont un rôle important dans la formation, la dynamique et la fertilité des sols à travers plusieurs fonctions :

La pédogenèse et les processus d'altération, la différenciation d'horizons du sol et la formation de terre végétale à travers un brassage répétés du sol et l'incorporation de matière organiques, l'effet du fouissage et du rejet des turricules (bioturbation) sur la fertilité du sol et la croissance des plantes, l'enfouissement de matières organiques et l'enrichissement du sol en éléments minéraux, le cycle global érosion avec des transferts hydriques et aériens de fines particules de sol remmener en surface par les vers de terre et la protection par enfouissement des vestiges archéologiques (Feller et al., 2003).

Les lombriciens pratiquent un labour biologique des sols profonds. Ils assurent un brassage de la matière minérale et la matière organique du sol et améliorent aussi la structure du sol. Ils réduisent ainsi par une action mécanique et chimique, la taille des particules organiques du sol. Cette dégradation conduit à la libération des éléments nutritifs assimilables par les végétaux chlorophylliens. Ils sont également considérés comme indicateurs de la qualité des sols et différents travaux ont montré qu'ils pouvaient, selon les milieux, augmenter ou diminuer l'érosion des sols (Blanchart et al., 2004).

Cependant, ils accumulent les contaminants et sont alors un chaînon important du transfert des substances toxiques vers leurs prédateurs. Ils peuvent être comme de bons indicateurs de contamination du sol (Abdul, 1994)

Ces « ingénieurs de l'écosystèmes » accumulent ainsi dans le sol par leurs activités mécaniques des agrégats et des pores qui constituent leurs domaines fonctionnels : la drilosphère des vers de terre, la termitosphère des termites, la myrmécosphère des fourmis, auxquelles s'ajoute la rhizosphère des racines.

12.1. Interaction sol et vers de terre :

a) Température et humidités du sol :

La température et l'humidité sont parmi les facteurs du milieu qui gouvernent fortement la présence des communautés lombriciennes dans les différents biotopes (Lofs-Holmin, 1982 ; Whalen et Parmelee, 1999), Et 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).

L'eau forme 80 à 90% du poids du corps des vers de terre lorsqu'ils sont pleinement hydratés (Bachelier, 1978 ; Lee, 1985), et même s'ils peuvent supporter des pertes en eaux, ils demeurent très vulnérables aux faibles humidités (Pelosi, 2008).

De même, les vers de terres ne régulent pas leur température corporelle et sont par conséquent très sensibles aux variations de température. Les conditions optimales de température se situent en général entre 10 et 20°C pour les espèces de régions tempérées et entre 20 et 30°C dans les zones tropicales. Peu d'espèces survivent à des températures inférieures à 0°C ou supérieures à 28°C (Lee, 1985 ; Curry, 1998). ainsi que Evan et guild (1948) in Bachelier (1978) rapportent que la production de cocons par les lombrics devient quatre fois plus importante quand la température s'élève de 6° à 16°C.

b) La matière organique :

Les populations lombriciennes se nourrissent de matière organique plus ou moins décomposée, à la surface ou dans le sol.

La plus part des vers de terres ingèrent de la matière organiques sous forme de matériaux végétaux (racine, feuilles, grains), des plantes en décomposition (racine morte, herbe tendue, feuilles fraîchement tombées au sol, et litières de feuilles), de microorganismes ou d'animaux microscopique (larve de nématode, acarien), de fèces d'animaux surtout herbivores ainsi que de champignon, de bactéries et de levures (Sims et Gerard 1999 in Celine, 2008).

La quantité, la qualité et la localisation des matières organiques sont des facteurs importants pour les vers de terre, et dépendent surtout, dans les parcelles agricoles, de l'espèce cultivées (Pelosi, 2008).

De nombreuses études ont montrés une corrélation positive entre la biomasse des vers de terre et la matière organique du sol. De plus la croissance de certaines espèces dépendait non seulement du type de nourritures disponible mais aussi de la taille des particules ingérées.

c) Le pH :

Il existe un pH optimal pour chaque espèce (Edwards et bohlen, 1996). Mais la plupart des vers de terre préfèrent un ph neutre (autour de 7).et stachelle(1955) propose une classification des lombricidés selon les valeurs du pH.

Les vers de terre sont généralement absents dans des sols très acides ($\text{pH} < 3.5$) et sont peu nombreux dans les sols à $\text{pH} < 4.5$ (Curry, 1998).

d) Calcaire totale :

Pour leurs besoins physiologiques, de nombreux vers de terre préfèrent des milieux relativement riche en calcium. Ces besoins seraient justifiés par le fonctionnement des glandes de Morren, qui sécrètent des carbonates de calcium sous forme de petites concrétions de calcaire, expulsées dans le tube digestif (Bachelier, 1978).

e) Texture du sol :

Herger (2003), rapporte que les vers de terre préfèrent les sols argileux riches en matières organiques. Bachelier (1978), note que les vers de terre sont plus abondants dans les sols limoneux, argilo-limoneux et argilo-sableux que dans les sables, les graviers et les argiles.

f) Structure du sol :

La distribution des vers de terre s'appuie en partie sur la texture du sol, tandis que leurs activités modifient leurs environnements, notamment la structure du sol. Des expériences ont montré que l'introduction des lombriciens dans les sols dégradés (isolément ou en combinaison avec les plantes), augmente la porosité et la stabilité de la structure. (McColl et al., 1982 ; Aina, 1984 ; Shaw & Pawluk, 1986 ; Stewart et al. 1988 ; Springett et al., 1992 ; Zhang et Schrader, 1993 ; Clements et al., 1991).

V. Généralités sur les hydrocarbures :

1) Définition des hydrocarbures :

Les hydrocarbures sont les molécules organiques les plus simple, aux origines multiples et qui ont un caractère ubiquiste dans l'environnement, et ils sont exclusivement composées de carbone et d'hydrogène. Ils peuvent être saturés, ils sont alors appelés alcanes, ou insaturés (alcènes, alcynes et composés aromatiques), tout en présentant une structure linéaire, ramifiée ou cyclique.

Ces composés sont issus notamment des activités humaines et en particulier des processus industriels de pyrolyse et de combustion. Ils présentent une faible solubilité et, en conséquence, tendent à s'accumuler dans les sols. Ils interviennent dans 80% des cas de la pollution du sol (Denys et Rollin, 2005 in Zerrouki et ouhada 2013).

Les hydrocarbures, ou huiles minérales regroupent différents produits pétroliers (pétrole raffiné, kérosène, essence, fuels, lubrifiants, huiles à moteurs) (Lumière et al.,2001)

Les hydrocarbures sont inflammables, à l'image du pétrole et du gaz naturel, deux carburants importants. Par ailleurs, ils ne se mélangent pas à l'eau.

La formule brute des hydrocarbures s'exprime sous la forme C_nH_m , où n et m sont des nombres entiers naturels. Par exemple, la formule brute de l'octane est C_8H_{18} (les atomes de carbone sont en noir et ceux d'hydrogène en blanc).

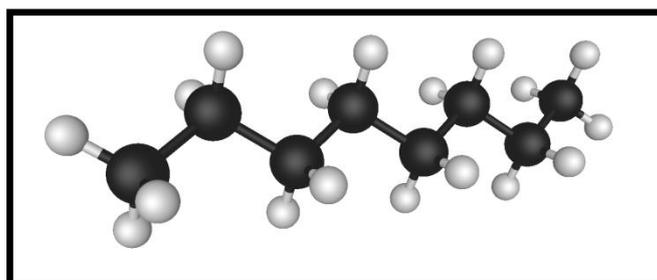


Figure 3 : composition chimiques des hydrocarbures (*Wikimedia Commons, DP*)

2) Classification des hydrocarbures :

Trois catégories d'hydrocarbures sont distinguées : les hydrocarbures aliphatiques qui sont des molécules linéaires ou ramifiées à longues chaînes, les hydrocarbures aromatiques comme le benzène et homologues supérieurs qui sont constitués de cycles dont le squelette moléculaire renferment un nombre différent d'atome de carbone et ils sont complexes (Ramade, 1992).

3) Les produits raffinés :

Les produits raffinés sont issues du raffinage du pétrole qui désigne l'ensemble de traitements et de transformation (physiques et chimiques) visant à tirer le maximum de produits à haute valeur commerciale.

La modification de la formule chimique du pétrole, aboutit essentiellement, à des produits lourds (fuel-oil, bitume), des distillats (gasoil) et des produits légers (essence) (Bebeg, 2008).

a) L'essence :

L'essence est produite à partir du pétrole brut par raffinage. Il est constitué d'un mélange de plus de 230 hydrocarbures différents, dont le nombre d'atome de carbone varie entre 4 et 12. Ce produit est un liquide incolore ayant une odeur caractéristique, mais parfois il peut être coloré en jaune.

L'utilisation généralisée de cet hydrocarbure, largement commercialisé, engendre une pollution très fréquente et peut provoquer des risques d'explosion en cas d'accumulation (Bebeg, 2008).

➤ Caractéristiques

$\rho = 0,72$ à $0,78$ Kg/dm

3 à 15°C

Très volatile (hydrocarbures légers)

T° d'ébullition 30 à 190°C .

b) Le Gasoil :

Le gazole est comme l'essence, il est produit à partir du pétrole brut par raffinage. Il contient 2000 à 4000 hydrocarbures différents, dont le nombre d'atomes de carbone varie entre 11 et 25. Les Gazoles sont composés de produit moins volatils et sont plus lourds que les essences. Ils ne contiennent pas d'alcène et sont majoritairement constitué de n-alcane et de cycloalcanes (Saada et al., 2004).

➤ Caractéristiques

$\rho = 0,82$ à $0,85$ Kg/dm

3 à 15°C

Peu volatile (hydrocarbures lourds)

T° d'ébullition 180 à 360°

I. Présentation de la région d'échantillonnage :

1. Situation géographique :

L'étude est réalisée au niveau de la station de Bouzeguene, située à l'extrême Est de Tizi-Ouzou, à environ 70 km. Elle a pour collectivités voisines, à l'Est les communes de Chemini et Ouzelaguene (Bejaia), au nord, la forêt Akfadou, à l'Ouest Idjeur, au sud Illoula et sud Est Beni Zikki (figure 4).

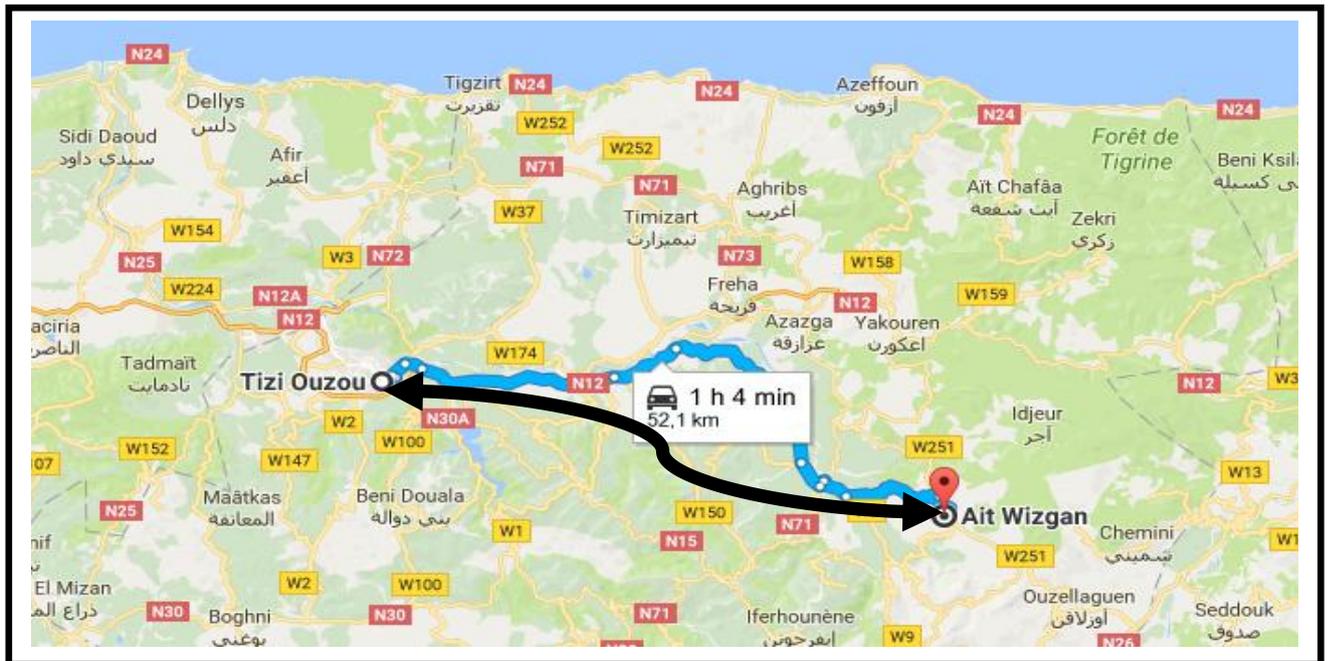


Figure 4: Localisation géographique de la station d'échantillonnage (Bouzeguene) (Google Earth , Google maps.2017)

❖ Coordonnées géographiques sont :

- Latitude: **36.6167**
- Longitude: **4.47985** 36° 37' 0" Nord, 4°28' 47" Est.
- Altitude : 815 m

2. Point d'échantillonnage du matériel biologique :

L'échantillonnage a été mené au niveau d'un domaine agricole non cultivée depuis Cinque ans, situé à l'extrême sud de bouzeguene, d'une superficie d'environ 0.5 hectare.

3. Végétation :

La végétation de la station échantillonnée (Bouzeguene) est caractérisée par une strate arborescente, représentée principalement par l'olivier (*Olea europea*) et les arbres fruitiers ;

oranger, pommier, cerisier, grenadier. 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. On y trouve également le figuier de Barbarie (*Opencia ficus*), une espèce qui constitue les haies pour limiter les propriétés entre elle.

4. Situation climatique :

Le climat joue un rôle essentielle don la détermination de la nature d'un sol il est considéré comme l'un des facteurs les plus importants qui ont une influence directe où indirecte sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol (Faurie *et al.*, 2003).

La station d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen chaud avec été sec selon la classification de Köppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne est de 18.5°C et les précipitations sont en moyenne de 720.1 mm.

Le mois de juillet le mois le plus sec de l'année avec une moyenne de précipitation de 3,6. En mois de novembre (le mois le plus humide), les précipitations sont de 110.7 mm en moyenne annuelle. (Figure5).

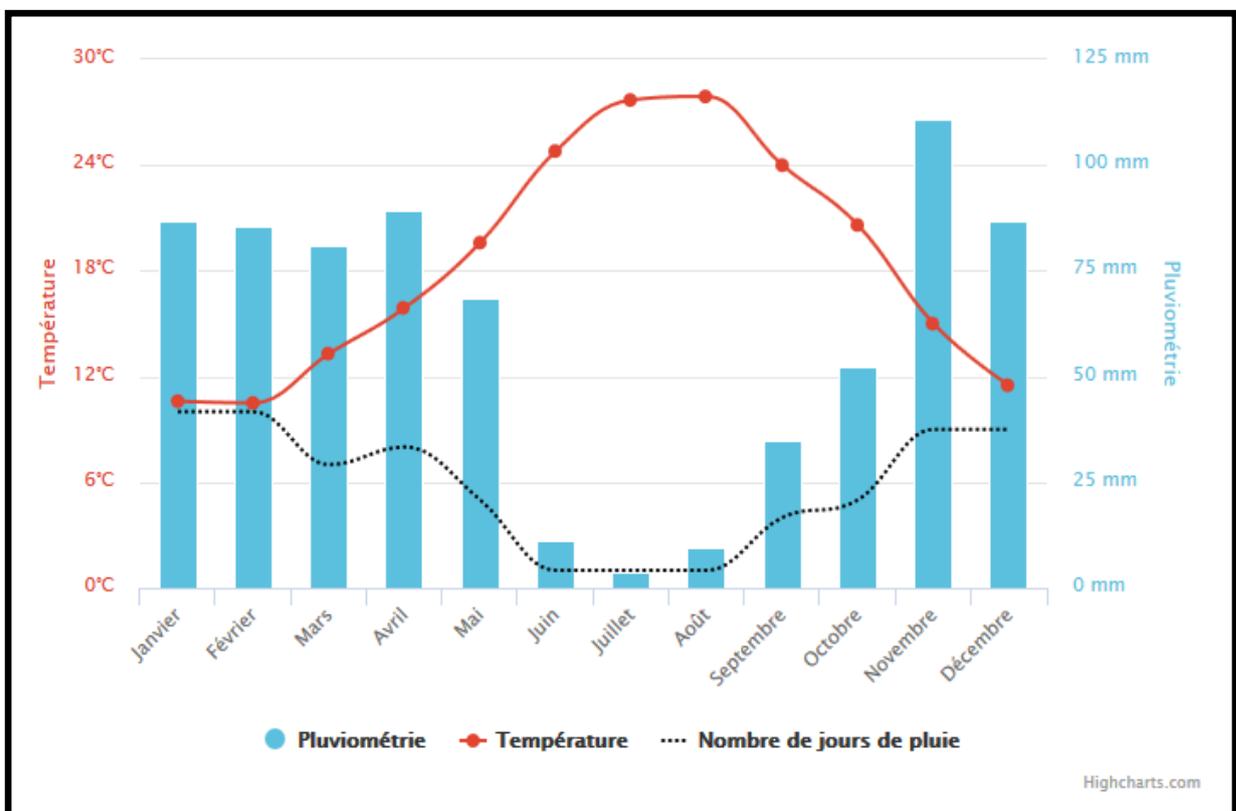


Figure 5. Diagramme climatique de Bouzeguene. Source : ONM Tizi-Ouzou 2016

II. Matériels et méthodes :

1. Collecte du matériel Biologique :

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

2. Matériels utilisés :

Les vers de terre et le sol sont prélevés sur la même parcelle, et le matériel utilisé est :

- ❖ Bêches ; Boîtes ; Gants de protection ; Boîtes de pétri ; Une balance de précision ; de l'éthanol à 70% ; Loupe binoculaire ; 240 individus de vers de terre avec 50 kg de Sol ; plaque chauffante - Bécher - fiole - vers de montre - agitateur thermique - pH mètre - étuve - bain de sable - tamis.
- ❖ Essence super - Gasoil - Bichromate de potassium - acide sulfurique - sel de mohr - diphénylamine - NAF - eau distillée - eau oxygénée - acide chlorhydrique à 1 N - phénophtaléine - NaOH - hexametaphosphate de sodium.

3. Méthodes :

3.1 Méthodes d'échantillonnage :

Le prélèvement des vers de terre est effectué en suivant une méthode de collecte physique de bouché (1972) qui consiste à :

- ❖ Désherber le sol sur le point de prélèvement.
- ❖ Remonter le sol à l'aide d'une bêche, jusqu'à obtention d'une cavité d'une largeur, longueur et profondeur de 20 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 Cosme étiquetée, portant mention de la date ainsi que le nom du point de prélèvement. (Figure 6).



Figure 6 : Méthode de prélèvement des vers de terre (photos : Ghides et Imarazene, 2017)

➤ **Prélèvement du sol :**

Le prélèvement du sol est fait au même point et sur la même profondeur de la parcelle ou les vers de terre sont prélevés, le sol est ramassé dans des sacs et transporté au laboratoire.

➤ **Identification des individus récoltés :**

Une moyenne de 10 individus sur 150 ayant la même morphologie sont pris au hasard et identifier selon la clef de bouché (1972) basée sur les critères suivant. (Figure7) :

- Couleur du Corp.
- Poids – Diamètre – Longueur.
- Forme du dernier segment (extrémité caudale).
- Subdivision du corps (nombre de segments/zone) :
 - ✓ Zone anticitillienne(tête-clitillum) ;
 - ✓ Zone clitillienne (clitillum) ;
 - ✓ Zone postclitillienne (clitillum-anus) ;
- Disposition des soies.
- Position des organes mâles sur le segment.
- Forme du Puberculum (organe situé sur la partie ventrale du clitillum).

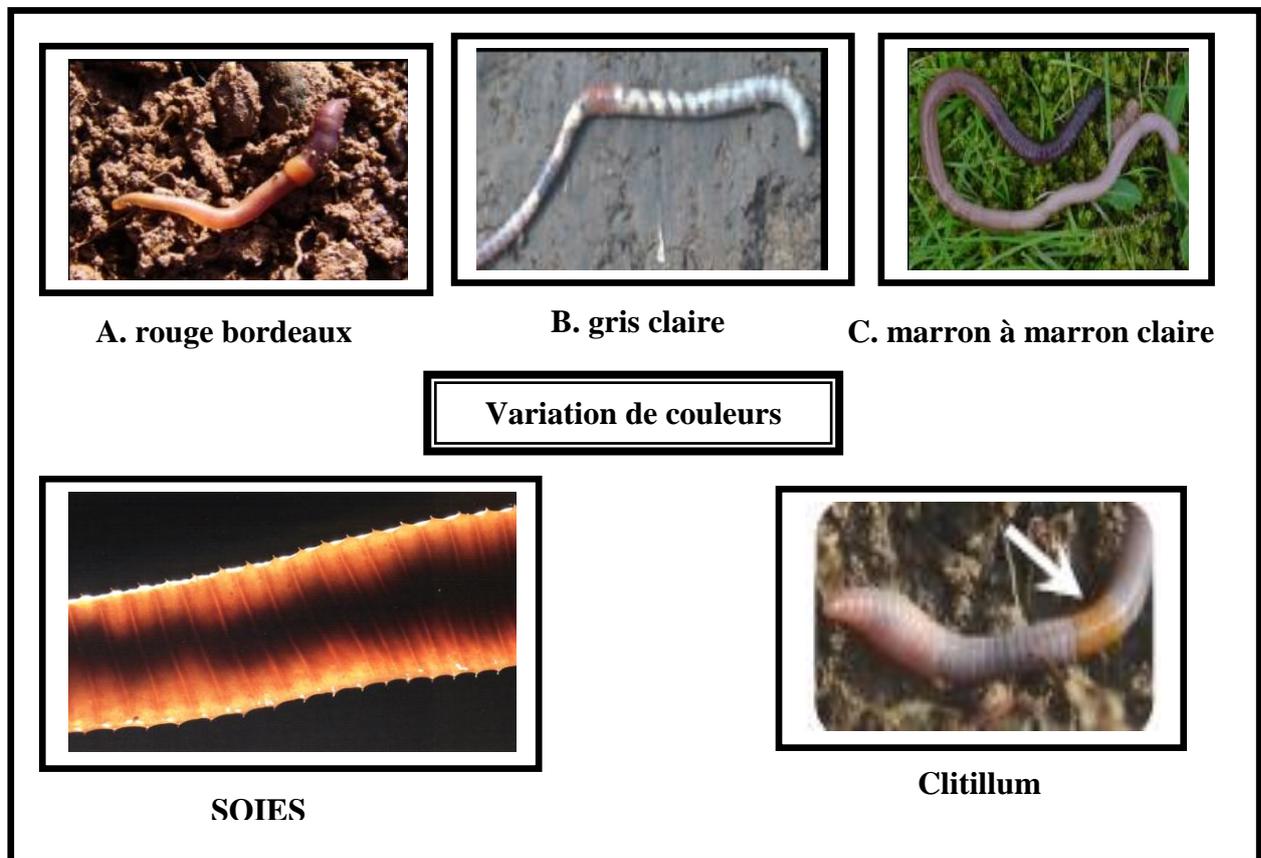


Figure 7 : différents critères d'identifications

3.2. Méthode d'identification :

10 individus sont rincés avec de l'eau douce puis les caractéristiques morphologiques sont relevées à savoir la couleur et la forme du corps, la nature de l'extrémité caudale...etc.

Après avoir pris le poids et la taille de chaque individu, celui-ci est mis dans l'éthanol pour qu'il soit fixé et pour pouvoir le manipuler sous la loupe binoculaire dans le but d'observer les différents critères d'identification restants, sous différents grossissements adaptés (10x2 et 10x4) (Figure 8)

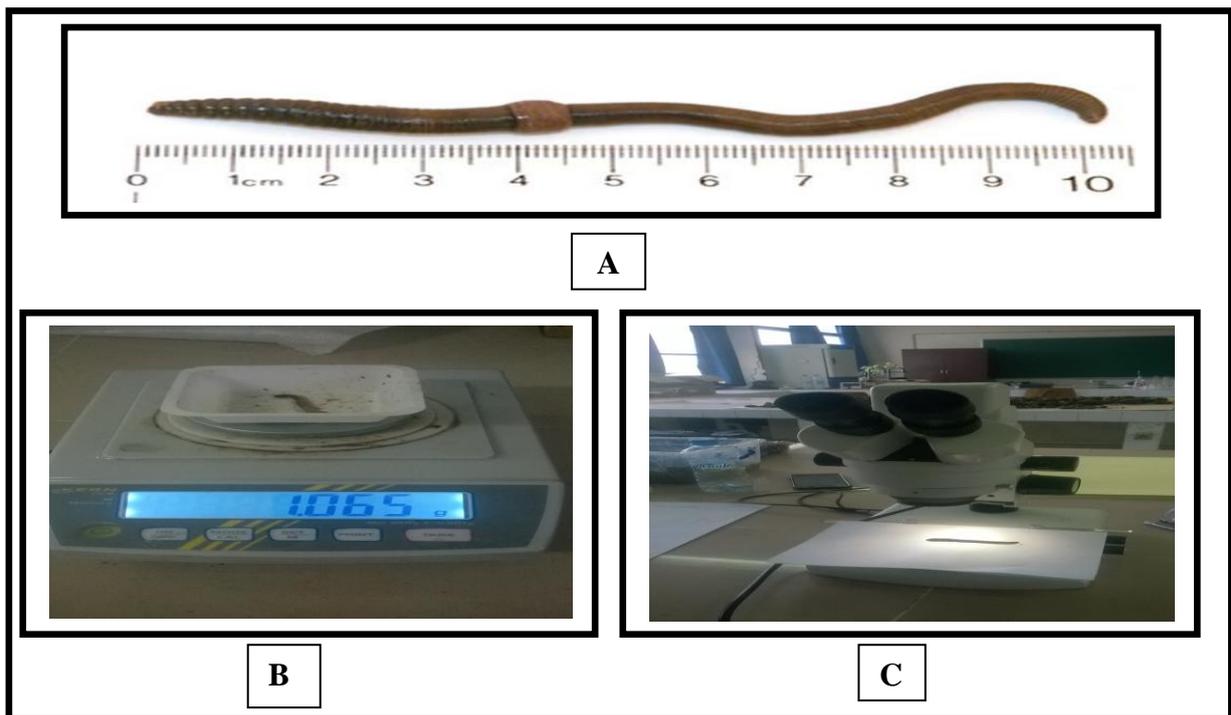


Figure 8 : Les différentes phases d'identification de l'espèce (photos : Ghides et Imarazene, 2017)

- ❖ A : prise de la longueur
- ❖ B : prise du poids
- ❖ C : Observation sous la loupe binoculaire

3.3. Méthodes de contamination :

L'étude consiste en une évaluation de l'effet des hydrocarbures, notamment l'essence super et le Gasoil sur la croissance de l'espèce de vers de terre (*Nicodrilus caliginosus*).

Nous nous sommes intéressées aux indicateurs de croissance suivants : le poids et le taux de mortalité.

Nous avons aussi évalué l'effet des hydrocarbures sur quelques propriétés du sol après contamination tels que le pH, la matière organique, le calcaire total, la granulométrie.

3.3.1. Contamination du sol par les hydrocarbures :

Le sol utilisé pour la contamination est tamisé à l'aide d'un tamis à mailles de 2 mm de diamètre pour être ensuite divisé en deux lots, l'un est contaminé par l'essence et l'autre par le gasoil. Le sol de chaque lot est réparti sur 24 cosmes à raison d'un kg par Cosme.

Chaque lot constitué de 24 cosmes est ensuite divisé en six lots contaminés avec différentes concentrations à savoir 1%, 2%, 3%, 4% et 5% de chaque contaminant et le sixième (non contaminé) sert de témoin avec quatre répétitions pour chaque contaminant.

3.3.2. Mise en place de l'expérimentation :

Les vers de terres sont pesés avant de les mettre dans des Cosmes contenant le sol contaminé et ces deux étapes se font au fur et à mesure comme suit :

Pesé 1 kg de sol pour chaque concentration avec 4 répétitions pour chaque concentration déterminer préalablement, le mettre dans une bassine, ajouter la dose qu'il faut du contaminant, mélanger manuellement pour permettre la dispersion des gouttelettes des carburants afin d'obtenir une contamination homogène. Signalons que les mêmes étapes sont appliquées sur le témoin seulement sans rajout de contaminant.

Mettre 1kg du sol contaminé dans un Cosme qui peut contenir 1 kg de sol, l'imbibé avec une petite quantité d'eau distillé, introduire 5 vers de terre pesée au préalable dans le Cosme, qui sera couvert un couvercle permettant la respiration.

Ranger les Cosmes par concentration, et les mettre sous condition d'aération naturelle.

Suivre le poids et le taux de mortalité des individus chaque deux jour. (Figure 14)

➤ Un diagramme récapitulatif du protocole expérimental est détaillé dans la Figure 9.

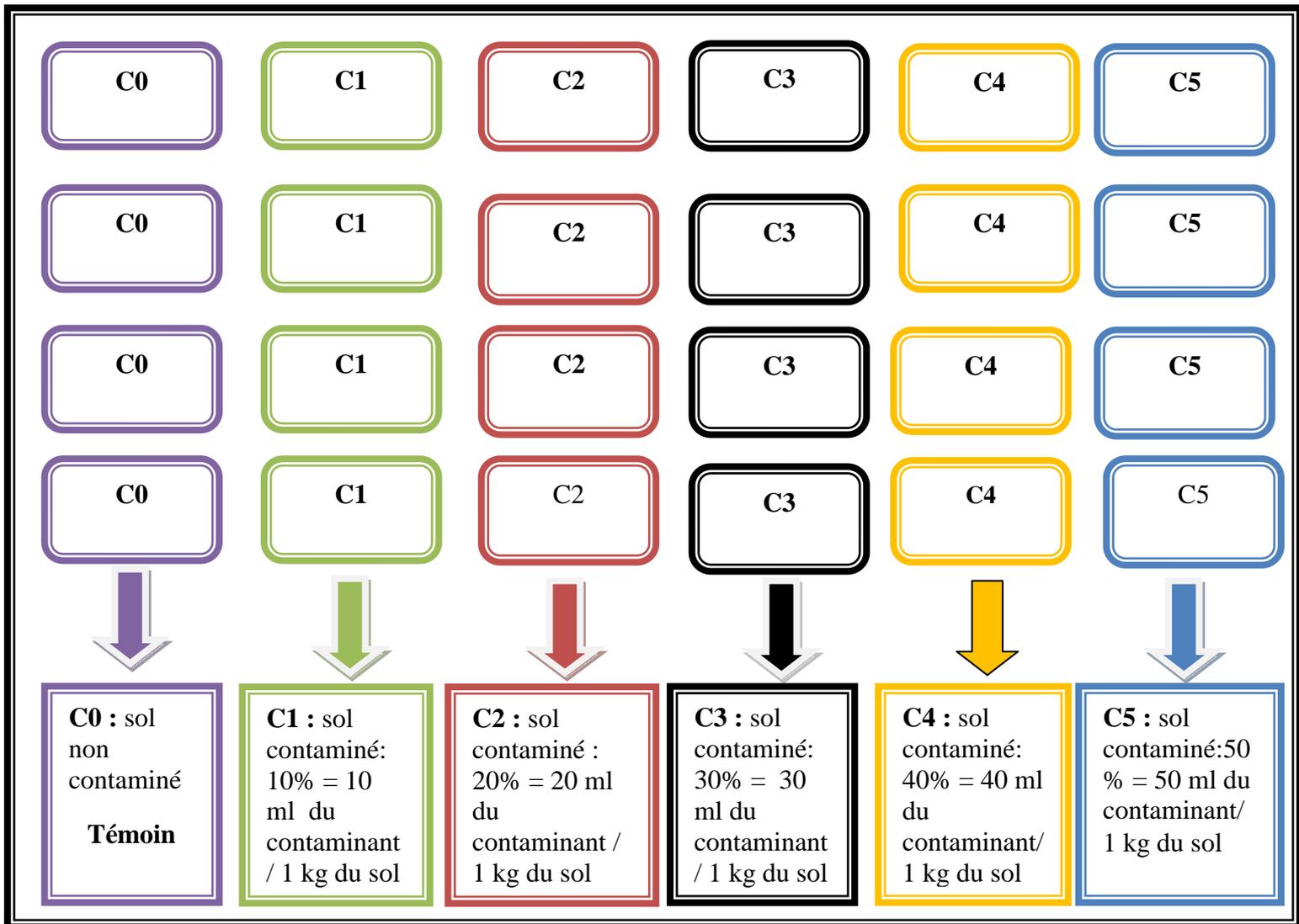


Figure 9 : Schéma représentant le dispositif expérimental

3.4.Méthodes d'analyses physico-chimiques du sol :

Ces analyses nous permettent de connaître les constituants physico-chimiques du sol contaminé et non contaminé, de comparer entre eux et déduire l'effet des hydrocarbures sur le sol après contamination.

L'opération consiste à prélever un échantillon de sol de 300 gramme de chaque cosme contaminé à différentes concentrations, pour les deux lots contaminés par l'essence et le gasoil.

Les paramètres analysés sont : le pH, le taux de matière organique, le calcaire total et la granulométrie.

Des échantillons de sol contaminés à différentes concentrations prélevés pour les analyses sont séchés à l'air libre puis tamisés (après avoir effrité les mottes) à l'aide d'un tamis à mailles de 2 mm de diamètre.

3.4.1. Potentiels d'hydrogènes :

Le pH est déterminé selon la norme AFNOR X 31-103 (AFNOR, 1994) par la mesure du pH d'une suspension de sol dans l'eau à 2/5 (rapport masse/volume) après 2 heures d'agitation avec un agitateur magnétique. Le pH est mesuré à l'aide d'un pH mètre.

3.4.2. Le carbone et la matière organiques :

➤ Le principe :

Le carbone organique(%) est dosé par la méthode ANNE qui se base sur le fait que le carbone organique constitue 58% de la matière organique. Donc le taux de carbone est déterminée par l'oxydation à chaud du carbone de la matière organique a la présence d'un puissant oxydant : le bichromate de potassium au milieu sulfurique, puis l'excès du bichromate est titré par un réducteur : le sel de mohr en présence de diphénylamine et le NAF. La solution titrés passe de la couleur du brun violacée au bleu-verte (Figure 10)

❖ Le taux de la matière organique est obtenu par la formule suivante :

$$\% \text{ de la matière organique} = 100/58 \times \%C = 1,72 \cdot C\%$$

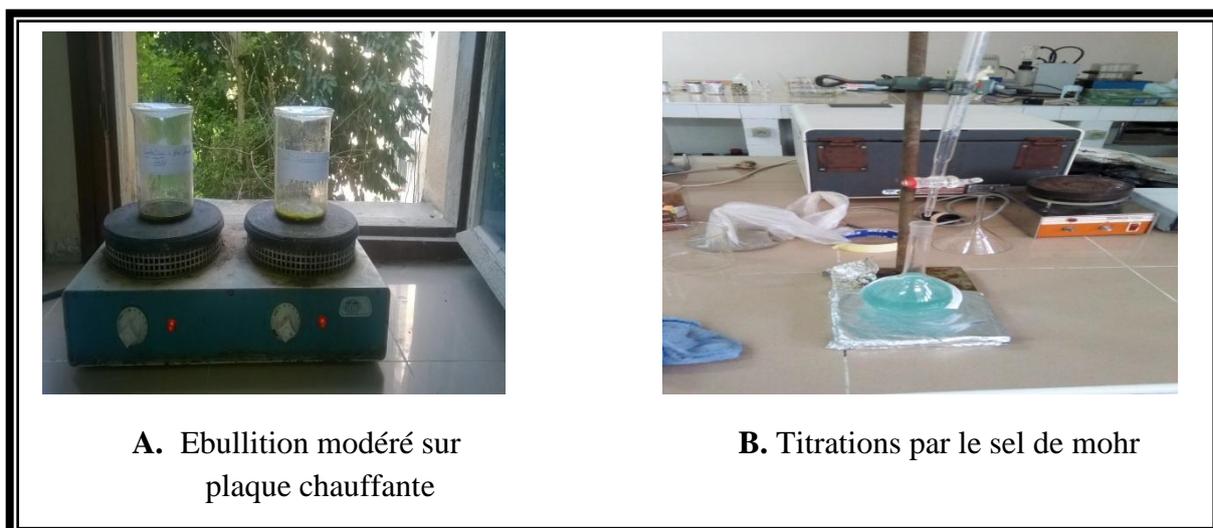


Figure 10 : étapes suivies pour la quantification de la matière organique (photos : Ghides et Imarazene, 2017)

3.4.3. Calcaire totale :

Représente l'ensemble de calcaire présent dans le sol. L'échantillon à analyser est acidifié en milieu fermé par une solution d'acide chlorhydrique (HCl). En présence de carbonates, il y a dégagement de dioxyde de carbone (CO₂) dont on mesure le volume. En tenant compte de la masse de la prise d'essai, on convertit le volume en teneur de CaCO₃ exprimée en g/kg (figure 11).

Le protocole utiliser suit les étapes ci- dessus :

- Peser 1g de terre fine dans un Bécher de 250 ml. Ajouter 20ml d'acide chlorhydrique à N. Ajuster jusqu'à 100 ml d'eau distillée.
- Porter le bécher sur bain de sable à 60° et agiter de temps à autre (pendant 45 minutes).et laissé bouillir pendant quelques minutes.
- Décanté sur filtre dans une fiole de 250ml, laisser refroidir et bien laver la terre.
- Prélever 100 ml du filtrat, porter dans un bécher de 400 ml puis ajouter quelques gouttes de phénophtaléine a 2%.
- Titrés le reste d'acide chloridrique par la soude a 1 N

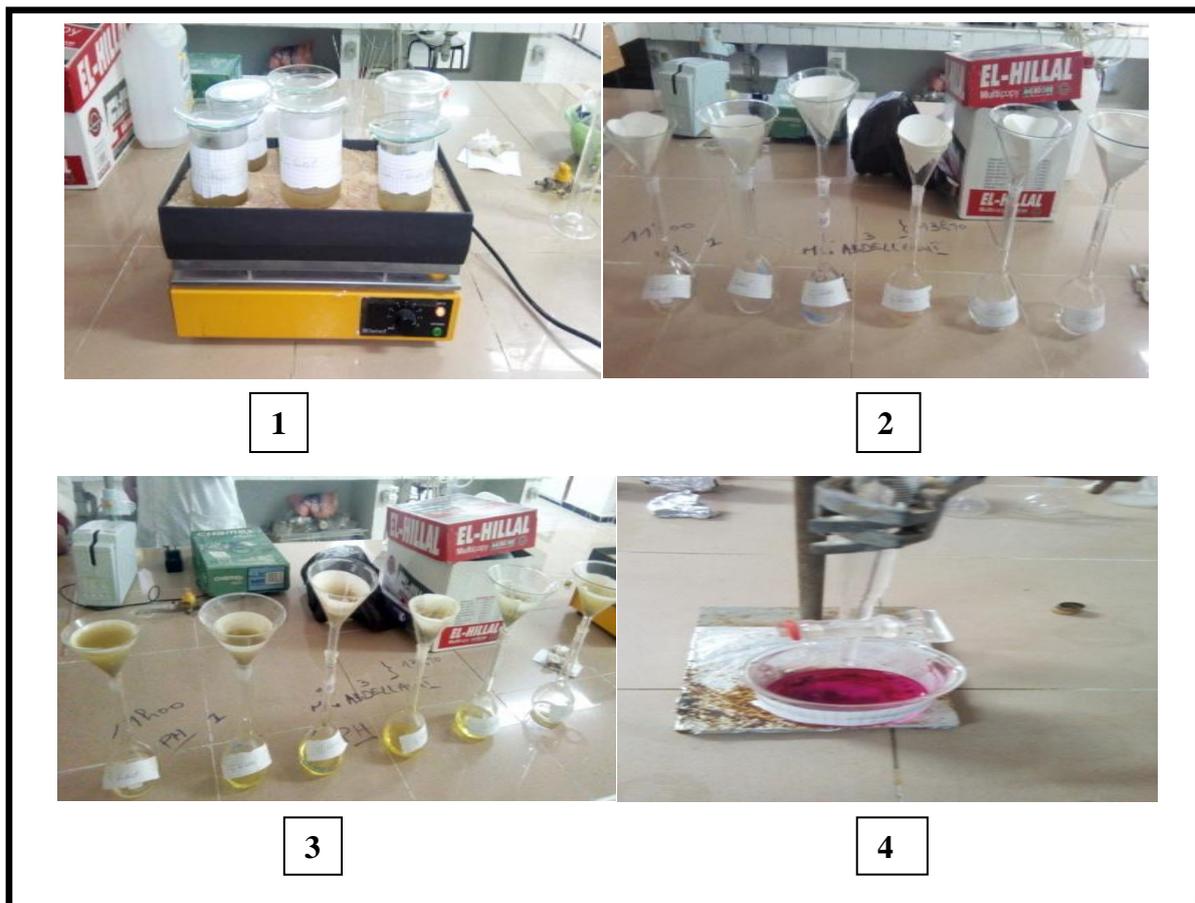


Figure 11 : étapes suivis pour la détermination du calcaire total (photos: Ghides et Imarazene, 2017)

3.4.4. Analyses granulométriques :

Nous avons utilisé la méthode internationale de la pipette de ROBINSON (Baize, 1989). l'analyse granulométrique se fait sur une prise de terre fine et elle a pour but de déterminer le pourcentage des différentes fractions de particules constituant les agrégats à savoir : L'argile, les limons fins, les limons grossiers et le sable : (Tableau 2)

Tableau 2. Fractions de particules constituant les agrégats d'un sol

Terre fine					Eléments grossiers	
< 2 μ	2 μ - 20 μ	20 μ - 50 μ	50 μ - 200 μ	200 μ - 2mm	2mm - 2cm	>2cm
argiles	limons fins	limons grossiers	sables fins	sables grossiers	graviers	cailloux

➤ Principe :

- ❖ Peser 15 g de terre fine, les mettre dans des bouteilles en verre, celle qui peut contenir un litre.
- ❖ Ajouter 10 ml d'eau oxygéné et laisser reposer 24 h.
- ❖ Mettre sur bain de sable à 60° dans le but de la destruction de la matière organiques à la présence de l'eau oxygéné sur la dispersion de la mousse (cette étape prend environ 3 h).
- ❖ Ajouter de l'héxametaphosphate et effectuer 4 h d'agitation mécanique en but de but de dispersé les particules.
- ❖ Faire les prélèvements (six prélèvements) en respectant le temps nécessaire.
- ❖ Mettre les deux premiers prélèvements dans l'étuve jusqu'à séchage.
- ❖ Le reste des prélèvements se font à l'aide des tamis de 5ml et 2ml superposer.

I. Résultats :

I.1. Identification de l'espèce :

L'identification, basée sur les critères morphologiques de reconnaissance selon la clef d'identification de Bouché (1977) a montré qu'il s'agissait de l'espèce nommée *Nicodrilus caliginosus*.

Cette espèce est présente dans le terrain avec une densité qui varie entre 40 à 50 individus/m², et selon Bouché (1977) c'est une espèce Anécique. Les caractères morphologiques utilisés pour l'identification sont résumés dans la figure 21.

Clés d'identification



- Couleur brune (marron foncée) qui devient claire vers l'extrémité.
- Poids du vers de terre est entre 0.6 - 1.19 g.
- Diamètre entre 0.3-0.5 cm.
- La longueur est entre 8 - 13 cm.
- Nombre total des segments est entre 120-166.
- Position des organes mâles sur le segment entre 9-15, (les organes mâles sont bien visibles).
- Un prostomium tanylobique.
- La queue est circulaire.
- Des soies disposées en paires éloignées.

Figure 12: critères d'identification de *Nicodrilus caliginosus* selon Bouché (1977).

I.2. Paramètres physico-chimique du sol :

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols étudiés sont dressés dans le tableau 2, en se référant aux normes d'interprétation internationales selon le guide des analyses pédologiques de Baize (1989) pour la texture, le pH, le taux de matière organique et le calcaire total (annexes 2 et 3).

Tableau N°3 : Résultats des analyses physico-chimique du sol contaminé et le sol témoin de la station de Bouzeguene 2017

Type du sol Paramètres	GASOIL						ESSENCE SUPER					
	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Texture (% de sol fin)												
➤ Argile (< 2 µm)	30.66	33.52	35.33	33.33	35.66	38.66	30.66	31.5	45.94	41	41.43	40.89
➤ Limon (2 – 50 µm)	36.08	41.08	35.51	39.47	43.72	42.01	36.08	61.99	49.99	51.33	47.99	49.33
➤ Sable (50 – 2000µm)	32.73 LA	25.39 LA	29.16 LA	27.2 LA	20.62 LA	19.33 A	32.73 LA	6.51 LA	4.07 AL	7.67 AL	9.58 AL	9.78 AL
Calcaire totale(%)	8.75	6.25	13.75	8.75	6.25	16.25	8.75	10	3.75	7.5	7.5	2.5
pH	6.05	7.10	7.49	7.02	7.23	7.26	6.05	7.73	7.78	7.79	7.8	7.65
Matière organiques(%)	6.34	5.50	8.03	8.56	8.56	8.56	6.34	5.95	5.92	5.923	5.81	5.85

1. L'analyse du sol montre que le sol témoin (C0) de la station de Bouzeguene est de texture limono-argileuse.

A. Pour le sol contaminé par le gasoil, nous remarquons la même texture que le sol témoin pour les quatre premières concentrations (C1, C2, C3, C4). Un changement de texture a été constaté pour la cinquième dose qui est devenue argileuse.

B. Pour le sol contaminé par l'essence nous remarquons que la première concentration (C1) n'a pas affectée la texture par rapport au sol témoin (limono-argileuse) par contre un changement de texture est constaté à partir de la deuxième concentration (C2, C3, C4, C5) où la texture est devenue argilo-limoneuse.

C. Nous pouvons conclure que l'essence a affecté la texture du sol et cela même à faible concentration par rapport au gasoil qui semble l'avoir affectée seulement à de fortes concentrations.

2. Le sol témoin est faiblement calcaire.

A. La teneur en calcaire des sols contaminés par le gasoil varie de faiblement calcaire à modérément calcaire.

B. Les sols contaminés par l'essence possèdent une faible teneur en calcaire.

C. Ce qui montre que les contaminants n'ont pas affectée la teneur en calcaire du sol.

3. Le pH du sol témoin est faiblement acide.

A. Par contre nous avons constaté un changement dans les valeurs du pH pour le sol contaminé par le gasoil, la première et la deuxième concentration sont moyennement et faiblement alcalines mais à partir de la troisième concentration (C3, C4, C5) le pH du sol devient neutre.

B. Pour le sol contaminé par l'essence, le pH est légèrement alcalin.

C. Notons ainsi un effet net des deux contaminants sur le pH du sol.

4. une teneur élevée de la matière organique du le sol témoin et des sols contaminés, avec une augmentation de la teneur du sol contaminé par le gasoil et une légère baisse dans le sol contaminé par l'essence.

A. Relevons ainsi l'impact et l'effet inverse des deux contaminants sur la teneur en matière organique des sols.

I.3. Suivis du poids et de la mortalité après contamination :

Les résultats de la croissance et la mortalité des vers de terre dans le sol contaminé par le gasoil et l'essence sont représentés dans les graphes suivants :

I.3.1. Sol contaminée par le gasoil :

Les graphes qui suivent montrent les différentes variations dans le temps du poids et de la mortalité des vers dans les sols contaminés.

A. Poids :

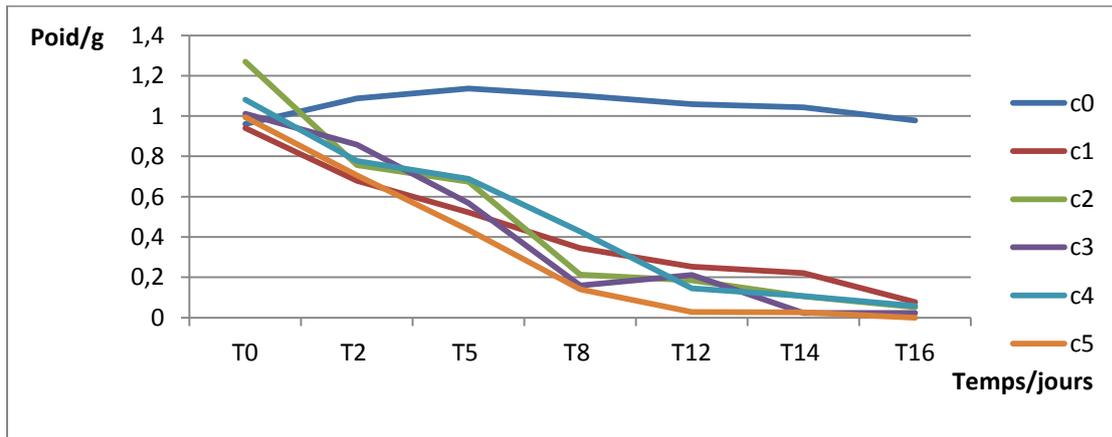


Figure 13 : Variation dans le temps du poids des vers de terre en fonction de la concentration du gasoil

D'après le graphique ci-dessus, le poids des individus de vers de terre dans le sol témoin (C0) est plus au moins stable dans le temps, il varie de 0,96 g à 1,13g tout au long de la période de contamination (T0 à T16). Par contre une diminution remarquable et progressive du poids des vers de terre est constatée dans les sols contaminés aux concentrations C1, C2, C3, C4 et C5, et elle atteint 0g au bout de 16 jours pour la concentration C5 (Figure 13).

➤ Pour confirmer nos résultats nous avons effectué des analyses statistiques.

Le teste de Kolmogorov-Smirnov indique que la normalité n'est pas vérifiée ce qui nous permet d'opter pour un teste non paramétrique de l'Analyse de la variance (ANOVA de Kruskal Wallis).

L'analyse de kruskal-wallis indique que la P-value est inférieure à 0,05 ce qui indique que le temps et la concentration du gasoil influent significativement sur le poids de l'espèce.

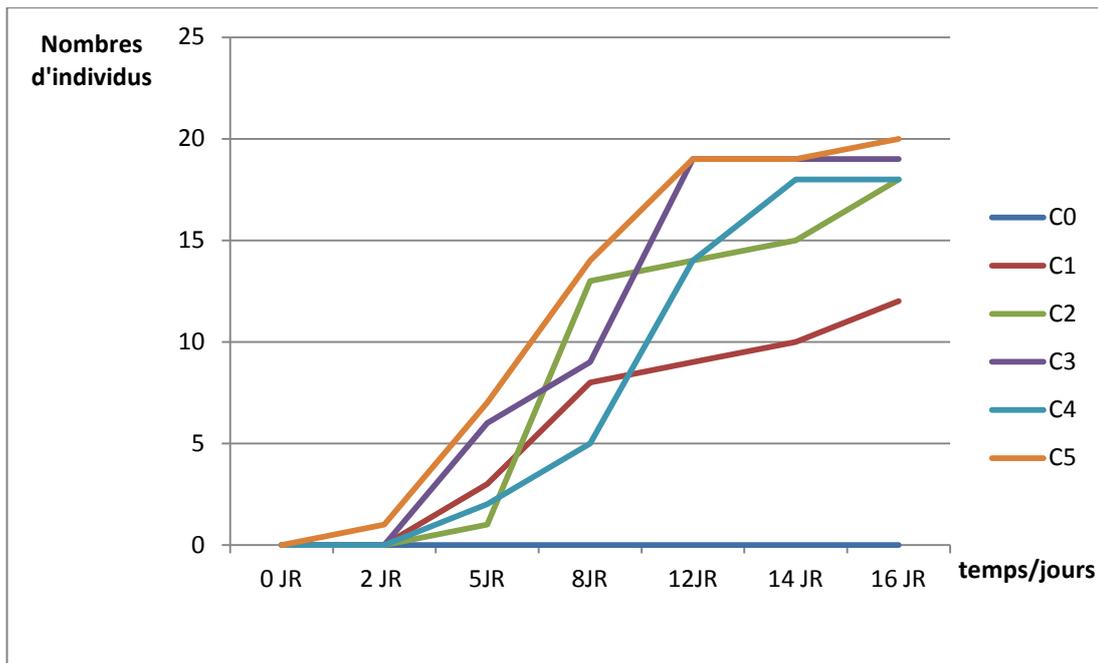
B. La mortalité :

Figure 14 : variation dans le temps du taux de mortalité des vers de terre en fonction de la concentration du gasoil.

La figure 14 montre l'absence de la mortalité du début jusqu'à la fin de l'expérimentation dans le sol témoin (C0).

La mortalité dans les sols contaminés aux concentrations C1, C2, C3, C4 et C5 augmente progressivement en fonction du temps. Tous les individus (20) sont morts dans le sol contaminé à la concentration C5 au bout de 16 jours.

Nous concluons que le gasoil affecte la mortalité et induit la mort des vers de terre *Nicodrilus caliginosus* même à faible concentration

Le teste de kruskal- wallis indique que la P-value est inferieure a 0.05, cela signifie que le temps et la concentration du gasoil influe sur le taux de mortalité de l'espèce *Nicodrilus caliginosus*.

C. Analyses des composantes principale (ACP) :

Une analyse multivariée est réalisée pour faire ressortir le lien entre les différentes variables étudiées.

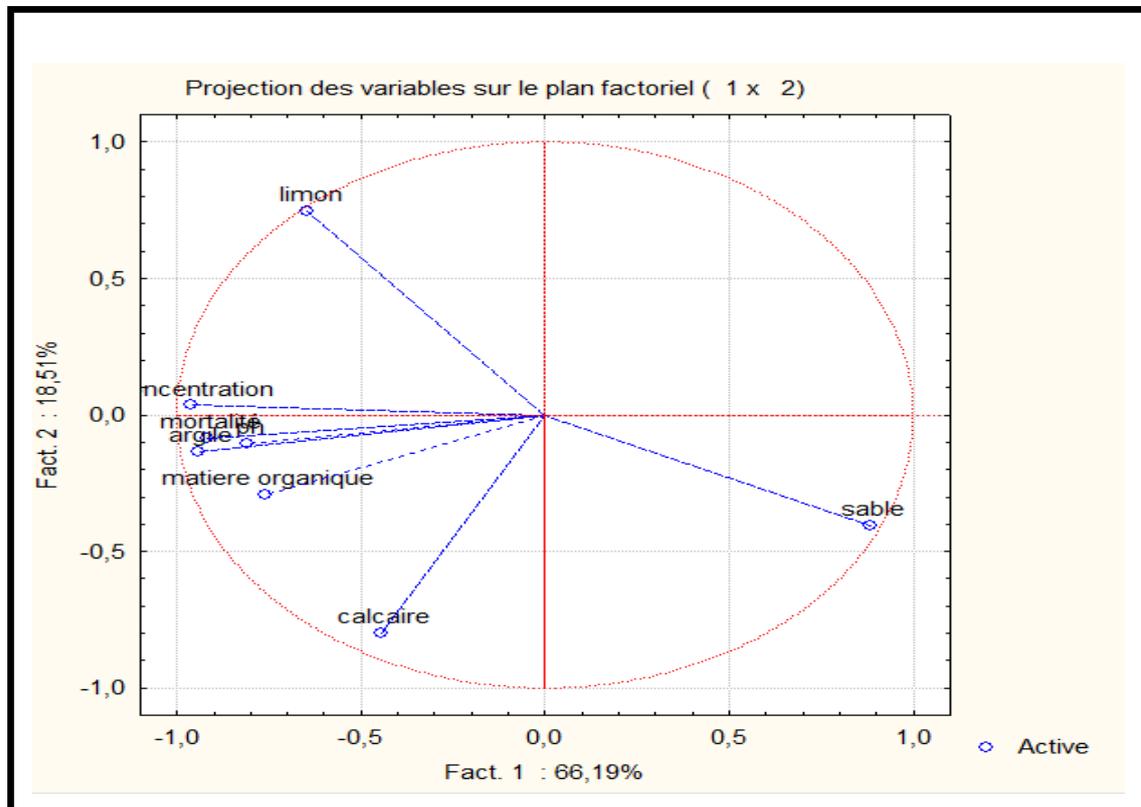


Figure 15 : Résultats de l'ACP.

❖ Projection des variables :

1. Selon l'axe factoriel 1 :

- Une forte corrélation positive entre la concentration, la mortalité, l'argile, la matière organique, cela veut dire que le taux de mortalité, l'argile, la matière organique augmentent avec l'augmentation de la concentration ce qui confirme l'effet toxique du gasoil.
- une corrélation négative entre la concentration et le taux de sable. cela confirme le changement de texture traduit par la diminution du taux de sable en augmentant la concentration.

2. Selon l'axe factoriel 2 :

Le calcaire a une corrélation négative avec le limon (figure 15).

I.3.2. Sol contaminée par l'essence super:

Les graphes qui suivent montrent les différentes variations dans le temps du poids et de la mortalité des vers dans les sols contaminés.

A. poids:

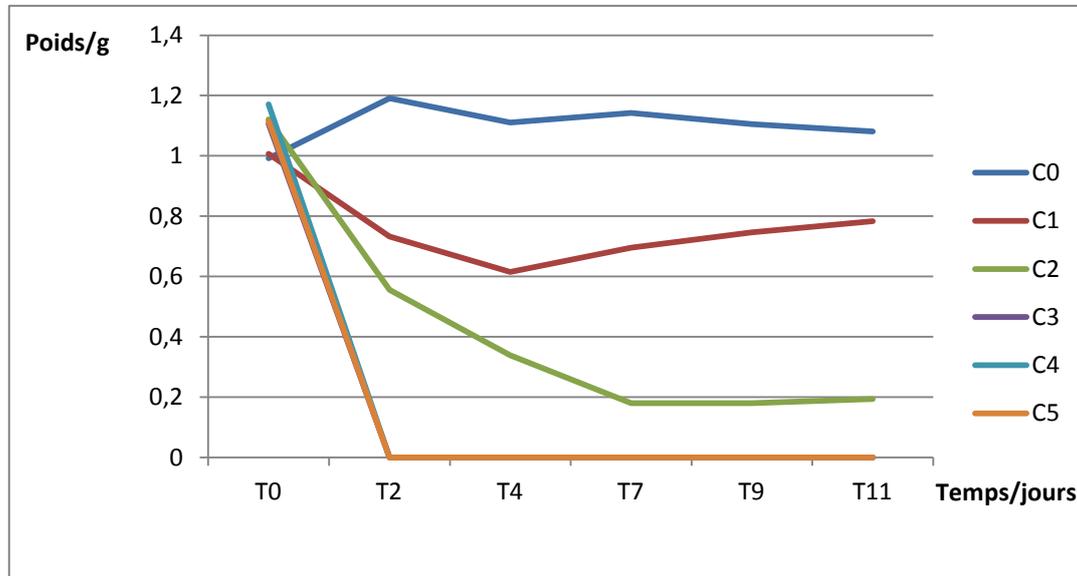


Figure 16: Variation dans le temps du poids des vers des terres en fonction de la concentration de l'essence.

Les résultats montrent que le poids des individus dans le sol témoin (C0) est plus ou moins stable en fonction du temps, il varie entre 0,99 g et 1,19g tout au long de la période de l'expérimentation (T0 à T11).

Le poids des vers de terre pour la première concentration (C1) diminue au bout de quatre jours après contamination, puis une légère augmentation est constatée à partir du septième jour.

Le poids diminue pour la deuxième concentration progressivement jusqu'à atteindre 0,173g au bout de 11 jour de contamination (Figure 16)

Nous n'avons pas pu prendre le poids au-delà du deuxième jour après contamination en raison de la mort de tous des individus dans les sols pollués aux concentrations les plus élevées (C3, C4, C5).

Nous pouvons supposer dans ce cas une possibilité d'adaptation des vers de terre aux contaminants à faible concentration et un effet toxique du contaminant à forte concentration.

Des testes statistiques adoptés selon les variables sont fais dans le bute de confirmés les résultats comme suit :

Nous avons commencée par le teste de normalité de Kolmogorove Smirnov qui a indiqué que cette dernier n'est pas vérifier ce qui nous permet d'opté pour un teste non paramétrique de l'Analyse de la variance (ANOVA de Kruskal Wallis).

L'analyse de kruskal- wallis sur l'influence du temps sur le poids indique que la P-value est supérieur à 0.05 donc le temps n'a pas d'influence significative sur le poids des vers de terre, cela est probablement du a la prise du poids qui a pris fin a cause de la mort de tous les individus pour les quatre derniers concentration et seulement deux jours.

La concentration influe significativement sur le poids de ces derniers car la P-value enregistré par le teste de kruskal-wallis est inferieure a 0.05.

B. Taux de mortalité :

Déterminé sur la base du nombre d'individus morts (figure24).

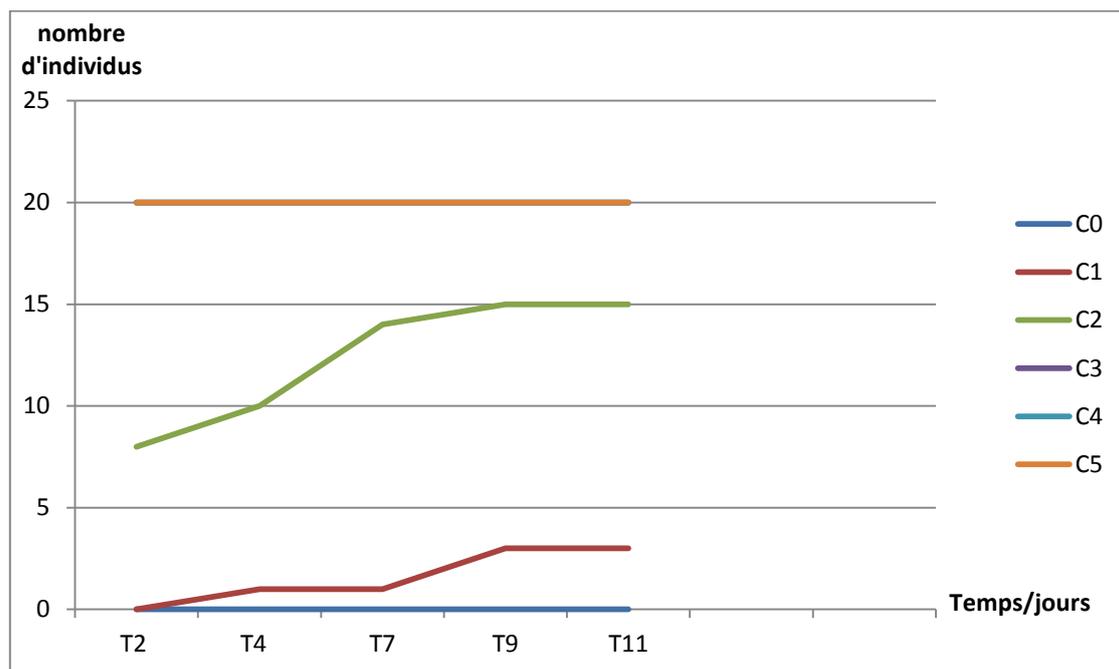


Figure 17 : Variation dans le temps du taux de mortalité des vers de terre en fonction de la concentration de l'essence super

D'après le graphe, le taux de mortalité des vers de terre est nul tout au long de la période de contamination par l'essence dans le sol témoin (C0).

Par contre pour la première et la deuxième concentration (C1, C2) nous remarquons une augmentation progressive du taux de mortalité du début jusqu'à la fin de l'expérience sachant que la mortalité de C2 est plus élevée que celle de C1.

Les individus des trois dernières concentrations sont tous morts à partir du deuxième jour de contamination (Figure 17).

Ainsi nous pouvons conclure que la toxicité de l'essence super est plus prononcée par rapport à celle du gasoil.

Pour confirmer les résultats déjà trouvés nous avons effectué des analyses statistiques qui ont révélé que la normalité n'est pas vérifiée ce qui ouvre la porte à effectuer le test de l'Anova de Kruskal-wallis.

Pour le test de l'influence de la concentration sur la mortalité, la P-value est inférieure à 0.05, donc la concentration de l'essence influence significativement sur la mortalité des vers de terre.

L'analyse de Kruskal-Wallis sur l'influence du temps sur la mortalité indique que la P-value est supérieure à 0.05 donc le temps n'agit pas sur la mortalité.

C. Analyses des composantes principales :

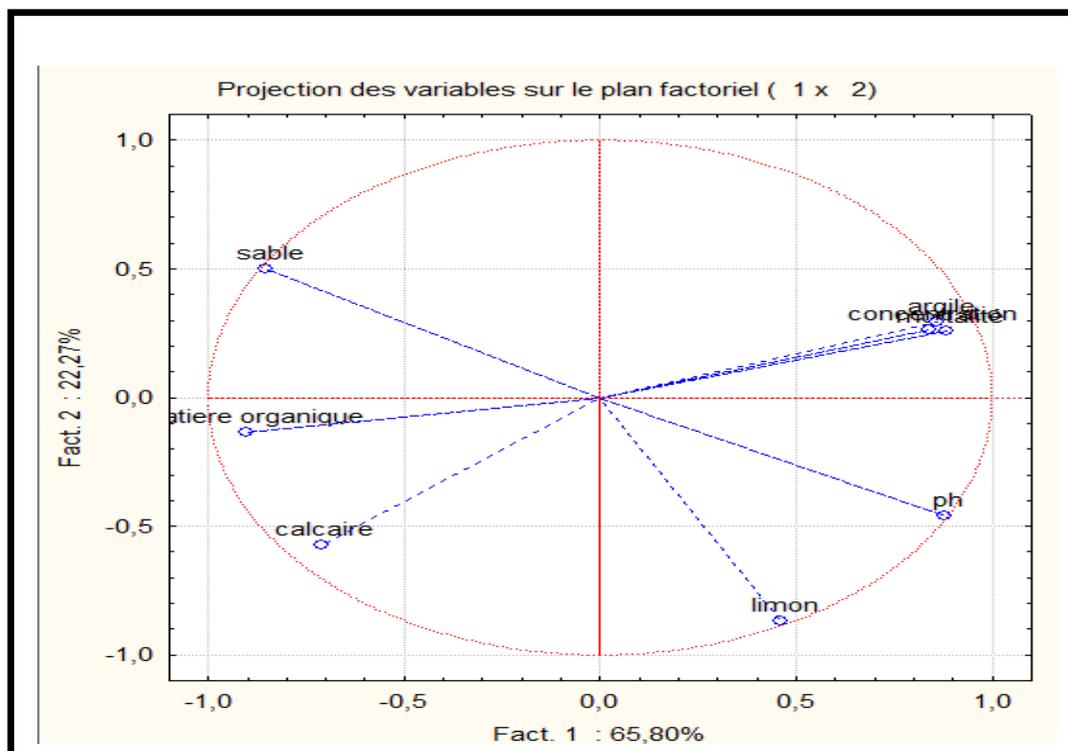


Figure 18 : Résultats de l'ACP.

❖ **Projection des variables :****2. Selon l'axe factoriel 1 :**

- Une forte corrélation positive entre la concentration, la mortalité, l'argile et le ph et une corrélation négative avec la matière organique dans le sol. Ce qui confirme l'effet toxique de l'essence au fur et à mesure que les concentrations augmentent.

3. Selon l'axe factoriel 2 :

Le sable a une corrélation négative avec le taux de calcaire (figure 18).

I.3.3. Détermination de la DL 50 pour le gasoil et l'essence super :

Les graphes qui suivent montrent les courbes de régression pour le gasoil et l'essence super et qui permettent de calculer la DL50.

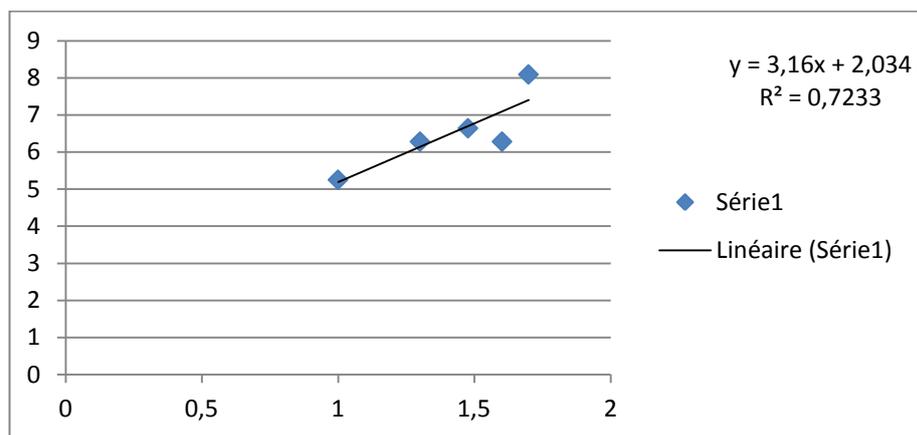
A. Gasoil :

Figure 19 : courbe de régression des probits en fonction des logs de concentration (DL 50 pour le gasoil)

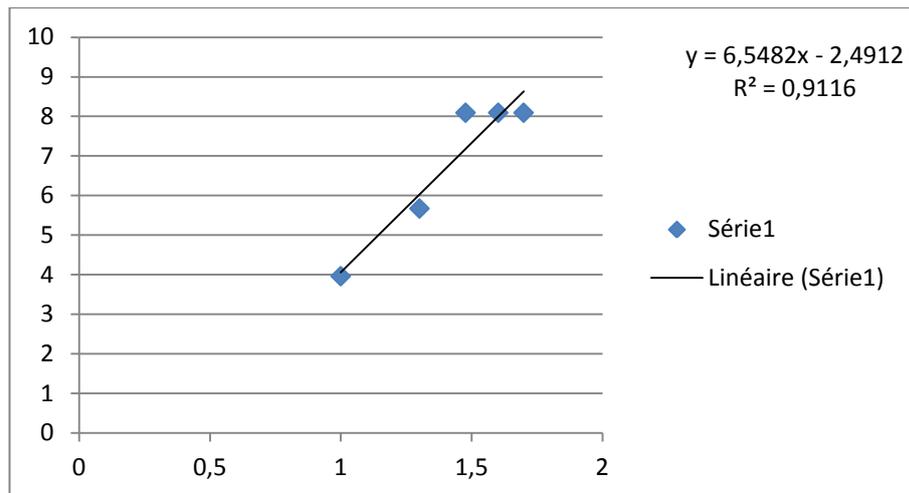
B. Essence :

Figure 20 : courbe de régression des probits en fonction des logs de concentration (DL50 pour l'essence super)

- A.** Les courbes de régression (figure 19 et 20) indiquent que la concentration létale pour le gasoil est de 8.68ml /1kg du sol et pour l'essence elle est de 2.1ml/1kg du sol.
- B.** Les valeurs de la CL50 confirment la toxicité aigue des deux contaminants, cette dernière est élevée pour l'essence super.

II. Discussion :

Les analyses physico-chimiques montrent que le sol étudié contient une forte quantité de matière organique 6,34%, cette dernière est légèrement affectée par la contamination par l'essence et le gasoil.

Degranges (1977) a indiqué dans son étude sur l'impact des hydrocarbures sur la composition chimique du sol, que la teneur en matière organique changeait dans le sol contaminé par les hydrocarbures, et que l'augmentation de la matière organique pouvait être due à l'apport des hydrocarbures dans le sol, car ces derniers sont composés majoritairement de carbone, ou à la toxicité des hydrocarbures sur les microorganismes dégradateurs dans le sol.

Bergue (1986) a noté que la matière organique fraîche se trouvait synthétisée à partir de carbone et de l'azote (jusqu'à 3,8 kg/m² sur une profondeur de 20 cm en trois mois) dans les sols contaminés par des hydrocarbures, il a aussi enregistré des pertes de matière organique sous forme de gaz carbonique. Ce qui peut expliquer les résultats obtenus lors de la contamination du sol par l'essence super car la teneur en matière organique du sol baisse légèrement (5,81% et 5,95%).

Pour le sol contaminé par le gasoil, la teneur en matière organique reste élevée, et les résultats marquent une augmentation pour presque toutes les concentrations testées, avec des valeurs qui varient entre 5,5 % et 8,56% cela peut être due à l'apport des hydrocarbures dans le sol contaminée ce qui concorde avec les résultats obtenus par Degranges (1977) et Bergue (1986).

Concernant le pH, le sol témoin est faiblement acide, des changements du pH pour les sols contaminés par le gasoil et l'essence sont enregistrés, des valeurs légèrement alcalines pour C1 (7,10) et C2 (7,49) et neutres à partir de C3 (7,02 - 7,26) pour le sol contaminé par le gasoil, et (7,65 -7,8) pour les sols contaminés par l'essence. Bergue (1986) a noté qu'il y avait une légère acidification du sol contaminé par les hydrocarbures qui traduit sans doute l'apparition de faibles quantités d'acides résultant soit de l'oxydation des n-alcanes, soit de celle de composés provenant de la rupture de noyaux .

Tisdal et Nelson (1977) in Njuko et al. (2009) ont noté que la diminution du pH était due à la production des radicaux acides par nitrification. La différence relevée dans le présent travail peut être liée à l'espèce de vers de terre utilisée (*Nicodrilus caliginus*) et son système

de dégradation, car Edwards et Bohlen (1996) indiquent qu'il existe un pH optimal pour chaque espèce, et la plupart des vers de terre préfèrent un pH neutre (autour de 7).

Selon Curry (1998), les vers de terre sont généralement absents dans des sols très acides (pH < 3.5).

Jeanson (1961) in Bachelier (1978) rapporte que certaines espèces peuvent tolérer des pH éloignés de leur valeur optimale. A l'instar d'*Allolobophora icterica* qui vit dans les sols à pH 7, et tolère un pH variant entre 4,2 et 8 en conditions de laboratoire. Cependant, il a constaté que l'activité globale de ce ver est 3 fois plus importante à pH 8 qu'à pH 4,2.

Ainsi nous pouvons conclure que les changements du pH dans le sol contaminé par les hydrocarbures est peut être due à l'augmentation de l'activité des vers de terre.

L'analyse granulométrique montre que le sol témoin (C0) est de texture limono-argileuse. En ce qui concerne les sols contaminés par le gasoil, ils gardent la même texture pour les concentrations (C1, C2, C3, C4), par contre un changement de texture est constaté dans la dernière concentration (C5) où elle devient argileuse.

Ceci peut être probablement lié à l'activité intense des vers de terre dans les premiers jours de contamination et à faible concentration.

Pour les sols contaminés par l'essence nous constatons un changement de texture à partir de la deuxième concentration qui est devenue argilo-limoneuse (41% - 45,94% d'argile et 47,99% - 51,33% de limon).

Nous pouvons conclure que la contamination par l'essence affecte la texture du sol même à faibles concentrations comparée au gasoil.

Nos analyses ont montré que le sol témoin avait une faible teneur en calcaire 8,75% par contre une légère augmentation des valeurs du calcaire dans les sols contaminés par le gasoil a été constatée (8,75 pour le sol témoin et 6,25 – 16,25 sol contaminé).

Pour les sols contaminés par l'essence, nous avons constaté une baisse du taux de calcaire car il est passé de 8,75% (sol témoin) à 2,5% particulièrement pour la dernière concentration (C5).

Ces variations du taux de calcaire peuvent être dues à l'apport des hydrocarbures contrairement aux résultats obtenus par Degranges (1977) qui a conclu qu'il y avait peu de

différences dans la composition chimique entre un sol témoin et un sol pollué par les hydrocarbures, en ce qui concerne les éléments majeurs, il signifie que l'apport des hydrocarbures en ce qui concerne ces éléments est négligeable devant les teneurs du sol.

Les résultats montrent aussi, que l'essence et le gasoil à différentes concentrations ont eu un effet apparent sur la variation du poids et la mortalité de l'espèce de vers de terre *Nicodrilus caliginosus*.

Nous avons observé une diminution du poids dans le sol contaminé par le gasoil qui passe de 0.99 g à 0.02 g pour la dernière concentration (C5) par rapport au témoin.

Dans le sol contaminé par l'essence, le poids varie entre 1.12 g et 0.17 g pour la première et la deuxième concentration (C1, C2) durant la période de contamination et pour les dernières concentrations (C3, C4, C5) la prise du poids a pris fin au bout de deux jours de contamination à cause de la mort de la totalité des individus probablement suite à la baisse accentuée de leurs poids, contrairement aux résultats de Pizl et *al.* (2007) qui indiquent que les hydrocarbures n'ont pas d'effet sur la croissance des vers de terre.

Le test statistiques de Kruskal-Wallis effectué pour mettre en évidence l'effet des différentes concentrations du gasoil en fonction du temps sur le poids des vers de terre a indiqué que la P-value était inférieure à 0,05 ce qui signifie que le temps et la concentration influent sur le poids des vers de terre.

Pour le sol contaminé par l'essence, le test statistique indique que la concentration influe sur le poids des vers de terre avec une P-value inférieure à 0,05 par contre le temps n'a aucune influence sur le poids des vers de terre avec une P-value supérieure à 0,05.

Absence de mortalités dans le sol témoin du début jusqu'à la fin de l'expérience alors qu'elle augmente progressivement dans les sols contaminés avec le gasoil pendant la durée de la contamination., ces valeurs varient entre 0 morts après 2 jours de contamination et 20 morts au seizième jour, particulièrement pour la cinquième concentration (C5) qui débute avec 1 mort le deuxième jour et finit avec 20 morts au seizième jour de contamination.

Dans le sol contaminé par l'essence super, la mortalité augmente progressivement dans les deux premières concentrations. Pour la première concentration, la mortalité commence au quatrième jour avec 1 mort jusqu'à atteindre 3 morts au onzième jour de contamination. Pour la deuxième concentration (C2), la mortalité commence au deuxième

jour avec 8 morts et finit avec 15 morts à la fin de l'expérience. Les autres concentrations C3, C4, C5 provoquent un taux de mortalité qui atteint son maximum (20 individus) en seulement deux jours de contamination.

Le test statistique de Kruskal-Wallis sur l'influence du temps et la concentration du gasoil sur la mortalité des vers de terre a indiqué que la P-value était inférieure à 0,05 donc la concentration du gasoil influe nettement sur la mortalité des vers de terre dans le temps.

Les résultats du test statistique effectué pour étudier l'influence de la concentration de l'essence super sur la mortalité des vers de terre a conclut à une P-value inférieure à 0,05 ce qui montre que la concentration du polluant a un effet sur la mortalité des vers de terre, par contre le temps n'a pas d'effet sur la mortalité vu que la P-value est supérieure à 0.05 .

Les courbes de régression pour le sol contaminé par le gasoil et l'essence permet de déterminer la DL50% qui est de 8,68ml/ kg du sol pour le gasoil et de 2,1ml/ kg du sol pour l'essence super.

Pour les sols contaminés par le gasoil, les résultats de l'analyses en composante principale révèlent une forte corrélation positive entre la concentration, la mortalité, l'argile, la matière organique, cela veut dire que le taux de mortalité, l'argile, la matière organique augmentent avec l'augmentation de la concentration ce qui confirme l'effet toxique du gasoil, ainsi qu'une corrélation négative entre la concentration et le taux de sable. Cela confirme les résultats de l'analyse granulométrique du sol qui a montré un changement de texture traduit par la diminution du taux de sable en augmentant la concentration.

Pour les sols contaminés par l'essence, les résultats de l'analyse multivariée montrent une forte corrélation positive entre la concentration, la mortalité, l'argile et le pH et une corrélation négative avec la matière organique dans le sol. Ce qui confirme l'effet toxique de l'essence qui augmente au fur et à mesure que les concentrations augmentent.

Conclusion

Le présent travail a porté sur l'étude de l'effet des hydrocarbures (gasoil et essence super) à différentes concentrations sur la croissance des vers de terre, exprimée par le poids, et sur la mortalité, afin d'évaluer le degré de toxicité des hydrocarbures sur l'espèce et son impact sur la composition physico-chimique du sol.

De l'étude, les conclusions suivantes ont été tirées :

A. La contamination du sol par l'essence super a une légère influence sur la matière organique, vu que ces valeurs ont baissé, mais restent assez proches des valeurs du sol témoin.

B. Le gasoil affecte légèrement la teneur en matière organique du sol pour toutes les concentrations.

C. L'étude a révélé des changements des valeurs du pH pour les sols contaminés, des valeurs légèrement alcalines pour C1 et C2 et neutres à partir de C3 pour le sol contaminé par le gasoil (7.02 – 7.23 – 7.26), et les sols contaminés par l'essence les valeurs sont devenues légèrement alcalines (7.65 - 7.75 - 7.8).

D. La texture du sol contaminé par le gasoil a changé pour la cinquième concentration (C5). Pour le sol contaminé par l'essence, la texture a changé à partir de la troisième concentration (C3, C4, C5) donc nous pouvons conclure que les hydrocarbures pourraient modifier la texture du sol.

E. La dose létale (DL50) pour le gasoil est de 8.68ml /1kg du sol et celle de l'essence est de 2.1ml/1kg du sol.

F. Les hydrocarbures modifient faiblement la teneur en calcaire total dans le sol, les analyses montrent une légère augmentation des valeurs du calcaire dans les sols contaminés par le gasoil, entre faiblement calcaire 6,25% et 8,75% et modérément calcaire 13,75% et 16,25%, et une diminution du taux de calcaire dans les sols contaminés par l'essence, de 8,75% à 2,5% dans la dernière concentration.

Conclusion

G. Les hydrocarbures (gasoil et essence super) dans le sol provoquent un effet dépressif sur le poids des vers de terre dans le temps et augmentent leur mortalité. Cette toxicité augmente avec l'augmentation des concentrations.

H. Le gasoil a plus d'effets sur les plantes que sur les vers de terre par rapport à l'essence super.

I. Le test statistique de Kruskal-Wallis a montré que le temps et les concentrations des hydrocarbures affectent la croissance des vers de terre.

J. Nous pouvons conclure que l'essence a un effet plus prononcé par rapport au gasoil sur la croissance et la mortalité des vers de terre et sur les paramètres physico-chimiques du sol.

Enfin pour mieux connaître les mécanismes par lesquels les vers de terre et notamment *Nicodrilus caliginosus* résistent à la toxicité des hydrocarbures, il est recommandé de :

A. Réaliser cette expérience sur le terrain pour mieux évaluer la résistance de cette espèce à cette pollution dans les conditions naturelles.

B. Réaliser une étude sur la génétique des vers de terre pour mieux comprendre leurs résistances aux polluants.

C. Faire des études qui permettraient de connaître et de sélectionner les espèces de vers de terre les plus résistantes aux polluants pour les utiliser dans la bioremédiation.

D. Il serait aussi intéressant de combiner les vers de terre avec des techniques de bioremédiation, pour pallier à la pollution du sol.

Références bibliographiques

- Abdul R., 1994.** Les vers de terre et l'environnement. La recherche. 25: 260-267 p.
- Aina P.O., 1984.** Contribution of earthworms to porosity and water infiltration in a tropical soil under forest and long-term cultivation. *Pedobiologia*. 26: 131-136 p.
- Alilouche M., Toudouft L., 2014.** L'effet de quelques carburants (l'essence , gasoil, essence super) sur les nodosités des racines de la fève (*Vicia Faba L*) et sur quelques propriétés du sol. UMMTO, Tizi Ouzou. 35 p.
- Ammar khoudja S., Belgaid R., 2014.** Effets de contamination du sol par les carburants sur la croissance de la luzerne (*Medicago sativa L*). UMMTO, Tizi Ouzou. 37 p.
- Amziane D., Oudachène A., 2016.** Contribution a l'inventaire des vers de terre dans deux stations en kabylie (tala athmane et mâatkas) et la mise en evidence de l'impact des pratiques agricoles sur leur diversite. UMMTO, Tizi Ouzou. 54 p.
- Bachelier G., 1963.** La vie animale dans les sols. Ed. O.R.S.T.O.M. 279p.
- Bachelier G., 1978.** La faune des sols, son écologie et son action. IDT N°38. ORSTOM, Paris. 391 p.
- Baize D., 1989.** Guide des analyses courantes en pédologie. INRA, Paris. 172 p.
- Begbeg., 2008.** Importance des considérations environnementales dans l'étude des performances des additifs utilisé dans les fluides de forage. Mémoire de magistère en traitement des effluents industriels. 89 p.
- Bergue J., 1986.** La pollution des sols par les hydrocarbures. 146 p.
- Blakemore R.J., 2000.** Ecology of earthworms under the "Haughley Experiment" of organic and conventional management regimes. *Biological Agriculture & Horticulture*. 18 : 141-159 p.
- Blanchart E., Jouquet P., 2010.** Rôle des vers de terre et des termites pour la restauration de la Productivité des sols en milieux tropicaux. Montpellier Cedex 1, France. 11p
- Bohlen et al., 1997.** Ecosystem processes along urban-to-rural gradients. *Urban Ecosystems*. 1: 21-36 p.
- Bouché M. B., 1972.** Lombriciens de France: Ecologie et Systématique. INRA Ann. Zool. Ecol. Anim. Publication, France. 671 p.
- Bouché M.B., 1977.** Stratégies lombriciennes. *Bull. Ecol.*, Paris. 25, 122-132 p.
- Bouderhem A., 2011.** Utilisation de souches bactérienne telluriques autochtones dans la biodétection et la bioremédiation des sols pollués par les hydrocarbures. Thèses de magister à l'université de KASDI MERBAH- OUREGLA. 17 p.

Références bibliographiques

Boström U., Lofs-Holmin A., 1996. Annual population dynamics of earthworms and cocoon production by *Aporrectodea caligi-nosain* a meadow fescue ley. *Pedobiologia*. 40: 32–42 p.

Clements R.O., Murray P.J., Sturdy R.G., 1991. The impact of 20 years absence of earthworms and three levels of N fertilizer on a grassland soil environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 36: 75-85 p.

Coineau Y., 1974. Introduction ri l'étude des Microarthropodes du sol et de ses annexes. Paris. 118. p

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

Degranges P., Gugalski T., leleu m., Greffard J., 1977. Devenir des hydrocarbures dans le sol. 31 p.

Denys ., Rollin., 2005 in Zerrouki., ouhada., 2013. Faisabilité de la phytoremediation de sols de cokeries contaminées par des HAP. Toulouse, France. 9 p.

Diaz C et al., 2011. Reproduction of Earthworms: Sexual Selection and Parthenogenesis. A. Karaca (ed.), *Biology of Earthworms, Soil Biology*.

Duchaufour P., 1997. abrégé de pedologie. sol, végétation, environnement, (enseignement des science de la terre) ST. 5^e édition. Édition MASSON. 291 p.

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

Evans A. C. & Guild W. J. M. L., 1948. Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. in Bachelier, G., 1978. *La faune des sols, son écologie et son action*, IDT N°38. ORSTOM. Paris, 391 p.

Faurie C., Ferra C., Medori P., Deveaux J. & Hemptienne J-L., 2003. *Ecologie – approche scientifique et pratique*. 5^{ème} Edition. *Ed : Tec. Et Doc*. Lavoisier, Paris, 334p.

Feller C., Brown G.G., Blanchart E., Deleporte P. et Chernyanskii S.S., 2003. Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: various lessons from past to future. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 99: 29-49 p.

Fernández et al., 2012. Adding complexity to the complex: new insights into the phylogeny, diversification and origin of parthenogenesis in the *Aporrectodea caliginosa* species complex (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*). *Mol. Phyl. Evol.*, DOI: 10.1016/j.ympev.

Références bibliographiques

Girard J.M., Walter C., Remy J.C., Berthelin J. & Morel J.L., 2005. Sols et environnement, *Edition Campus DUNOD*, Paris. 816p.

Gobat J. M., Aragno, M., Matthey W., 2003. The living soil: basic pedology – soil biology. Chapman and Hall. 569 p.

Hartensein R., Amico L., 1983. Production and carrying capacity of the earthworm *Lumbricus terrestris* L. in culture. *Soil Biology and Biochemistry*. 15: 51-54 p .

James S.W., 1991. Soil, nitrogen, phosphorus, and organic matter processing by earthworms in tallgrass prairie. *Ecology*. 72 (6): 2101-2109 p.

Jean-Francois P., 2004. Effets des composés organiques sur la faune du sol. Perturbation des communautés et recolonisation des substrats pollués. 39 p.

Jeanson., 1961. Sur une méthode d'étude du comportement de la faune du sol et de sa contribution à la pédogenèse. *C.R. Acad. Sci.*, 253, 2571-2573.

J.I. martin-J.haure et al., 1970. Impact de la pollution aux hydrocarbures sur l'écophysologie et la pathologie des bivalves d'intérêt commercial de la cote atlantique. *Laboratoire conchylicole des pays de loire*, 5 p.

King R.A., Tibble A.L., Symondson W.O.C., 2008. Opening a can of worms: unprecedented sympatric cryptic diversity within British lumbricid earthworms. *Molecular Ecology*. Vol.17: 4684-4698 p.

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

Lee K.E., 1959. The Earthworm Fauna of New Zealand. New Zealand Department of Scientific and Industrial Research, Wellington. Bulletin 130. 486 p.

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

Lee K.E., 1987. Peregrine species of earthworms. In: A.M. Bonvicini Pagliai and P. Omodeo (eds.). "On Earthworms.". Selected Symposia and Monographs. U.Z.I., 2, Mucchi, Modena. 315-327 p.

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

Lumier B., Jeannot R., Chiron S., Darmendrail D. 2001. Guide morphologique pour l'analyse des solspollués. Edition BRGM. 25 p.

Références bibliographiques

- Mccoll h.P., Hart P.B.S., Cook F.J., 1982.** Influence of earthworms on some soil chemical and physical properties, and the growth of ryegrass on a soil after topsoil stripping, a pot experiment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 25: 239-243p.
- Pelosi C., 2008.** Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre lumbricus terrestres au champ contribution à l'étude de l'impact de systèmes de culture sur les lombriciennes. Th. Doc., Ecole doctoral. ABIES. Paris. 141 p.
- Pelletier. E., 2015.** État des connaissances sur l'impact des accidents pétroliers et des méthodes d'intervention utilisées pour les systèmes côtiers nordiques – étude genv24. Institut des sciences de la mer de Rimouski (UQAR), Université du Québec à Rimouski. 2-22 p.
- Ponge G., 1996.** Les collembolles indicateurs de type d'humus en milieu forestier. Résultats obtenus au sud de paris. *REV. Ecol. Biol.* 291 p.
- Ramade F., 1992 :** Précis d'écotoxicologie. Edt Masson, Paris. 300 p.
- Saada A., Nowak C., Coquereau N., 2004.** Etat des connaissances sur l'atténuation naturelle des hydrocarbures. Rapport du BRGM. RP 53739-FR. 107 p.
- Satchell J.E., 1955.** Some aspects of earthworm ecology. In: Mc Kevan, D. K. (eds), *Soil Zoology*. Butterworths, London, 180-201 p.
- Satchell J.E., 1967.** Lumbricidae. In *Soil Biology*. (Eds., A. Burges and F. Raw). (Academic Press: London). 259-322 p.
- Sims R. W., Gerard B. M., 1999.** Earthworms. FSC Publications, London, 167 p.
- Sharma H., Reddy K, 2004.** Geoenvironmental engineering: site remediation, waste contaminant, and emerging waste technologies. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey .20 p.
- Shaw C., Pawluk S., 1986.** The development of soil structure by *Octolasion tyrtaeum*, *Aporrectodea turgida* and *Lumbricus terrestris* in parent materials belonging to difficult textural classes. *Pedobiologia*. 29: 327-339 p.
- Soltner D., 2005.** Les bases de la production végétale: tome 1 le sol et son amélioration. Soltner, 472 p.
- Springett J.A., Gray R.A.J., Reid J.B., 1992.** Effect of introducing earthworms into horticultural land previously denuded of earthworms. *Soil Biology & Biochemistry*. 24 (12): 1615- 1622 p.
- Stewart V.I., Scullion J., Salih R.O., Al-Bakri K.H., 1988.** Earthworms and Structure Rehabilitation in Subsoils and in Topsoils Affected by Opencast Mining for Coal. *Biological Agriculture and Horticulture*. 5: 325-338 p.

Références bibliographiques

Tisdal S.L., Nelson W.L., 1977. Soil Fertility and Fertilizers. MacMillan, New york, 430p.

Václav P., Jirí S., Jan T., 2007. The effects of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals on terrestrial annelids in urban soils. pesq. Agropec. Bras, brasilia. 8: 1050 -1055 p.

Whalen J.K., Parmelee R.W., 1999. Growth of Aporrectodea tuberculata (Eisen) and Lumbricus terrestris L. under laboratory and field conditions. Pedobiol. 43 : 1-10 p.

Zhang H., Schrader S., 1993. Earthworm effects on selected physical and chemical properties of soil aggregates. Biology and Fertility of Soils. 15: 229-234 p.

https://planificateur.a-contresens.net/afrique/algerie/wilaya_de_tizi_ouzou/bouzeguene/10858671.html

Annexes

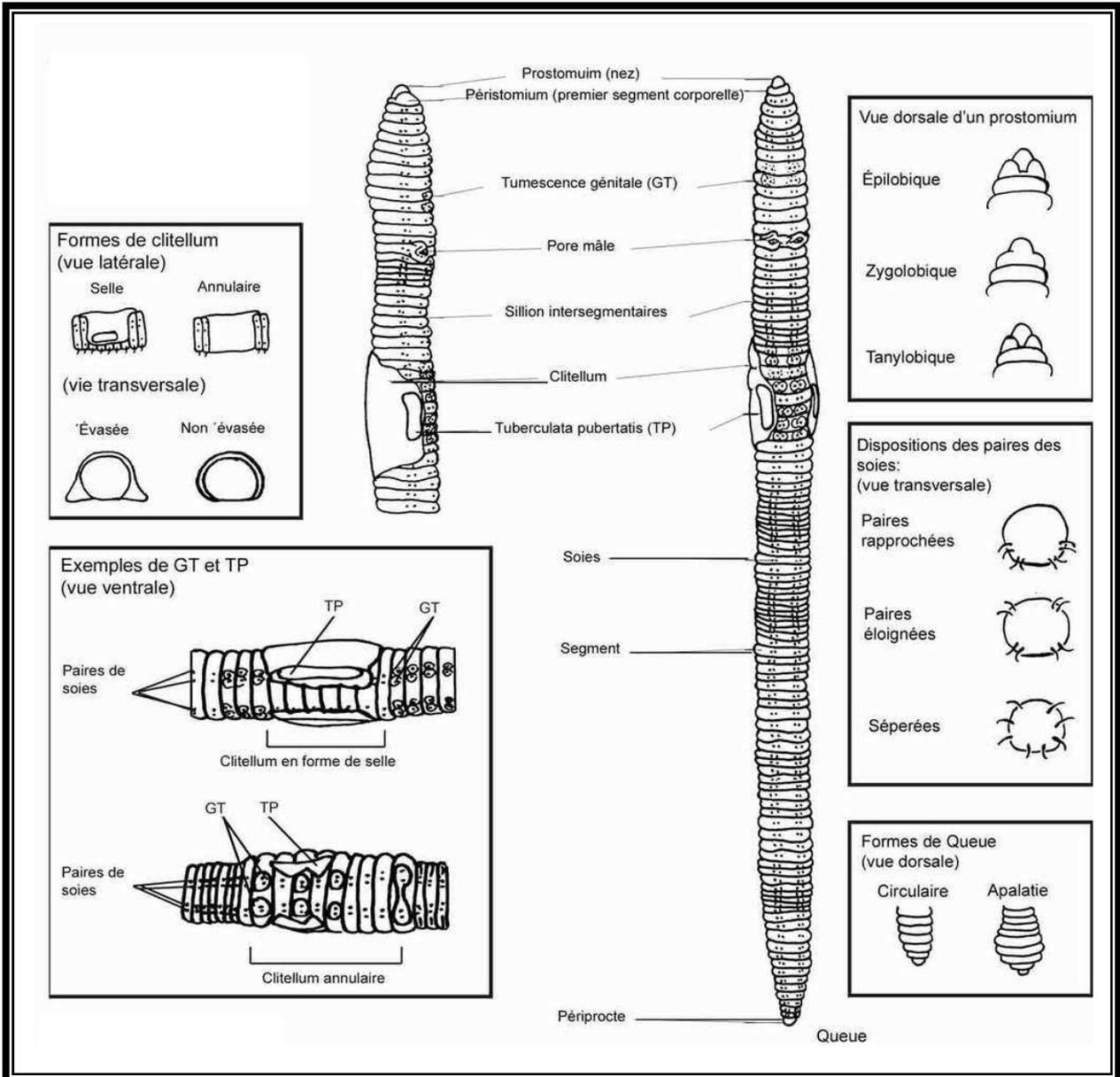
Annexe I

Fiche d'identification de l'espèce *Nicodrilus caliginosus* (Bouché, 1972 ; Sims et Gérard, 1999)

Station	BOUZEGUENNE
Groupe écologique	Anécique
Etat du couvert végétal	Herbacée
Type de station	Non-cultivée
Morphologie externe (catégorie écologie)	Marron foncée
Poids	0.6 – 1.19 g
Diamètre	0.3 – 0.4 cm
Longueur	6.5 – 11 cm
Forme du dernier segment (extrémité caudale)	
Subdivision du corps : nombre totale des segments	120 - 147
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Zone anticitillienne (tete-clitillum) ➤ Zone clitillienne (clitillum) ➤ Zone postclitillienne (citillum-anus) 	<div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 5px;"> 26 </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-bottom: 5px;"> 11 </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> 110 </div>
Disposition des soies (forme)	Paire éloignée
Position des organes males sur le segment (Sp hermaphrodites ; les organes male sont visibles plus que les organes femelles)	15
Forme du puberculum (situé sur la partie ventrale du clitillum)	
Prostamium (forme) dorsale	Tanylobique
Forme de la queue (vue dorsale)	Circulaire

Annexes

Clef d'identification



Annexes

Annexe II

Fiche d'interprétation des valeurs du pH, du calcaire total et de la matière organique

Tableau 3. Interprétation des valeurs du calcaire total (Baize, 1989)

% de Caco3	Qualification
5 à 12.5	Faiblement calcaire
12.5 à 25	Modérément calcaire
25 à 37.5	Assez fortement calcaire
37.5 à 50	Fortement calcaire
Plus de 50	Très fortement calcaire

Tableau 4. Interprétation des valeurs du pH (Baize, 1989)

Valeurs du pH	Qualification
<4.5	Extrêmement acide
4.6 à 5	Très fortement acide
5.1 à 5.5	Fortement acide
5.6 à 6.75	Faiblement acide
6.75 à 7.3	Neutre
7.4 à 7.8	Légèrement alcalin
7.9 à 8.4	Moyennement alcalin
8.5 à 9	Fortement alcalin
>9.1	Très fortement alcalin

Annexes

Tableau 5. Interprétation des valeurs de la matière organique (Baize, 1989)³

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 en M.O
	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 III

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 Stokes.
- Le premier prélèvement correspond au poids de l'argile et limons fins (après 4 minutes et 51 secondes de décantation à une température de 17°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'hexamétaphosphate de sodium :
 - Agiter l'éprouvette contenant seulement la solution d'hexamétaphosphate 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

Annexes

égale à 0,2 mm contiendra les sables grossiers, le tamis de maille égale à 0,05 mm contiendra les sables 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 de 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)

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

Annexes

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

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

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

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

Annexes

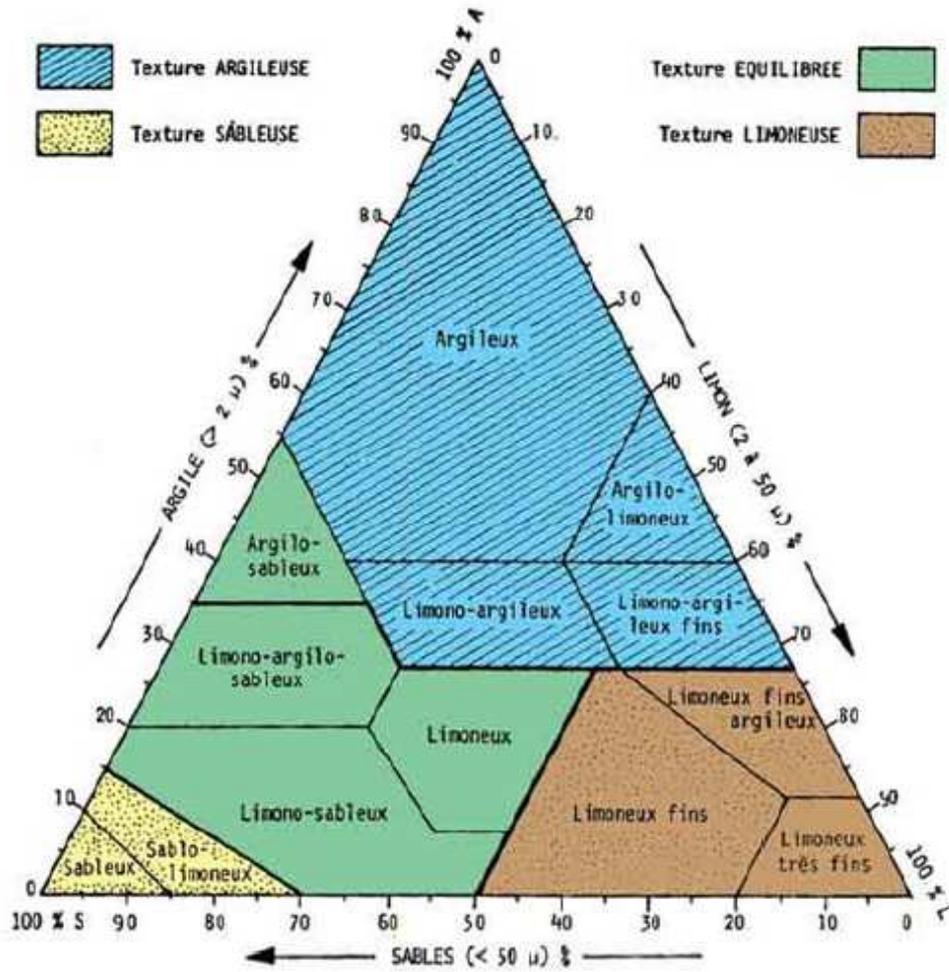


Figure1 : Triangle des textures (Baize, 1989)

Annexes

Annexe IV

1. Tableau brute des variations du poids des vers de terre en fonction du temps (Gasoil).

Temps concentration	T0	T2	T5	T8	T12	T14	T16
c0	0,96	1,08675	1,13595	1,1016	1,05815	1,04345	0,97825
c1	0,93995	0,6785	0,52155	0,34425	0,25325	0,2213	0,07755
c2	1,27	0,756	0,674	0,214	0,184	0,106	0,051
c3	1,012	0,8575	0,5687	0,159	0,212	0,023	0,024
c4	1,0815	0,77775	0,68875	0,42775	0,14575	0,107	0,0585
c5	0,9935	0,70575	0,435	0,1405	0,028	0,02625	0

2. Tableau brute des variations de la mortalité des vers de terre en fonction du temps (Gasoil).

Temps concentration	0 JR	2 JR	5JR	8JR	12JR	14 JR	16 JR
C0	0	0	0	0	0	0	0
C1	0	0	3	8	9	10	12
C2	0	0	1	13	14	15	18
C3	0	0	6	9	19	19	19
C4	0	0	2	5	14	18	18
C5	0	1	7	14	19	19	20

3. Tableau brute des variations du poids des vers de terre en fonction du temps (Essence super).

Temps concentration	T0	T2	T4	T7	T9	T11
C0	0,992	1,191	1,11	1,142	1,105	1,081
C1	1,007	0,732	0,61475	0,6955	0,746	0,78275
C2	1,1215	0,556	0,3385	0,1795	0,17925	0,1935
C3	1,106	0	0	0	0	0
C4	1,17075	0	0	0	0	0
C5	1,1157	0	0	0	0	0

Annexes

4. Tableau brute des variations de la mortalité des vers de terre en fonction du temps (Essence super).

concentration	Temps				
	T2	T4	T7	T9	T11
C0	0	0	0	0	0
C1	0	1	1	3	3
C2	8	10	14	15	15
C3	20	20	20	20	20
C4	20	20	20	20	20
C5	20	20	20	20	20

Résumé

Ce travail est réalisé dans l'objectif de mettre en évidence l'effet toxique des hydrocarbures (Gasoil, Essence super) sur la croissance et la mortalité d'une espèce de vers de terre *Nicodrilus caliginosus*, ainsi que leur impacte sur les paramètres physico – chimiques du sol.

Différentes concentration des contaminants sont testées, et les résultats obtenus révèlent un effet toxique des deux contaminants (Gasoil, Essence super) qui se traduit par une diminution nette du poids, augmentation progressive du taux de mortalité et un changement apparent dans les propriétés physico-chimique et granulométriques du sol. Les résultats mettent aussi en évidence la toxicité plus élevée de l'essence super par rapport au gasoil.

Abstract

This work is carried out with the aim of highlighting the toxic effect of hydrocarbons (Gasoil, Essence super) on growth and mortality on a species of earthworm *Nicodrilus caliginosus*. As well as the impact on the physicochemical and particle size parameters of the soil.

Different concentrations of contaminants are tested, and the results show a toxic effect of both contaminants (Gasoil, Essence super) which results in a net decrease in weight, significant increase in mortality rate and an apparent change in physicochemical properties And soil particle sizes. The results also highlight the high toxicity of the super-gasoline contaminant to gas oil.