

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**

**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**

**Département d'Ecologie et Environnement**



***Mémoire de fin d'études***

En vue de l'obtention de diplôme de Master en Ecologie et Environnement

**Spécialité** : Biodiversité et Environnement

**Thème**

**Essai de décontamination d'un sol pollué  
aux carburants par vermicompostage**

**Réalisé par** : Issouli Yanis et Mimouni Hamida

**Devant le jury** :

<b>Présidente</b> : M <sup>me</sup> SADOUDI-ALI AHMED D.	Professeur à l'U.M.M.T.O.
<b>Promotrice</b> : M <sup>me</sup> ALI AHMED S.	M.C.B à l'U.M.M.T.O.
<b>Co-promotrice</b> : M <sup>me</sup> LANDRI – AIT BOUDRAR G.	M.A.A à l'U.M.M.T.O.
<b>Examinatrice</b> : M <sup>me</sup> CHIBANE G.	M.A.A à l'U.M.M.T.O.

**Promotion** : 2022/2023

## **Remerciements**

*Avant toute chose, nous tenons à remercier en premier lieu le Bon Dieu de nous avoir donné la force, la volonté et le courage pour terminer ce modeste travail.*

*Nous remercions très sincèrement :*

*Notre promotrice **Mme ALI AHMED .S** de nous avoir guidé tout au long de ce travail et pour sa disponibilité.*

*Notre Co-Promotrice **Mme LANDRI .G** pour ses orientations et ses conseils.*

*Merci à **Mme SADOUDI** de nous avoir fait l'honneur de présider notre jury de soutenance et pour nous avoir accueillis dans le labo PSEMRVC.*

*Nous remercions **Mme CHIBANE** pour avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nous remercions aussi **Mme ABROUS .H** l'ingénieure de laboratoire pour son aide et surtout pour leur gentillesse*

*Enfin, nous adressons un grand merci à nos famille et à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

**MERCI**

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail,*

*Aux deux êtres qui me sont les plus chers au monde mon père et ma mère à qui je dois le mérite d'être arrivée là, qui ont œuvré pour ma réussite, de par leur amour, leur soutien, tous les sacrifices consentis et leur précieux conseil, pour toute leur assistance et présence dans ma vie. Recevez à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et mon éternelle gratitude.*

*Mes adorables sœurs : Djamilia, Nadia, Fazia, Yamina.*

*Mes adorables frères : Houcine, Kader, Ahcen, Meziane.*

*Mes très chers amis avec qui j'ai partagé d'agréables moments :*

*Ludmia, Amina, Assia, Sarah, Lydia.*

*Mon binôme Yanis qui m'a aidé et soutenu tout au long de ce projet d'étude.*

*Que ce travail soit l'accomplissement de leurs vœux tant allégués, et le fruit de leur soutien infaillible.*

*Hamida*

*Dédicaces*

*Je consacre ce modeste travail :*

*A mes très chers parents*

*A mes chères sœurs*

*A mes ami(e)s*

*A mes professeurs*

*A toute personne qui m'a aidé de près ou de loin*

*Yanis*

## **Liste des abréviations :**

**HAP** : hydrocarbures aromatiques polycycliques

**HHV** : hydrocarbures halogénés volatils

**HAV** : hydrocarbure aromatiques volatils

**ETM** : les éléments-traces métalliques

**HC** : Hydrocarbures

## Liste des figures :

<b>Figure 1</b> : Schéma d'une station-service (Google image).....	7
<b>Figure 2</b> : Image satellitaire de la station-service de Boukhalfa (Google earth, 2023).....	13
<b>Figure 3</b> : Photographies des adultes d' <i>Eisania foetida</i> .....	14
<b>Figure 4</b> : Photographies des adultes d' <i>Allolobophora chlorotica</i> .....	14
<b>Figure 5</b> : Dispositif de vermicompostage.....	16
<b>Figure 6</b> : Individus adultes et juvéniles de <i>E.foetida</i> « a » et <i>A.chlorotica</i> « b ».....	17
<b>Figure 7</b> : Taux de mortalité des vers de terre.....	19
<b>Figure 8</b> : Evolution de la biomasse des vers de terre des deux espèces dans le sol pollué....	20
<b>Figure 9</b> : Reproduction des vers de terre des deux espèces.....	20
<b>Figure 10</b> : Résultat du test respirométrique dans les différents sols.....	21
<b>Figure 11</b> : Activité de la catalase dans les différents sols.....	22
<b>Figure 12</b> : Taux de germination des graines de maïs dans les différents sols.....	23

## **La liste des tableaux :**

**Tableau 1** : les groupes homogènes de l'activité biologique globale.....22

**Tableau 2**: deux groupes homogènes de l'activité catalase.....23

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
------------------------------------	---

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

1. Pollution du sol.....	3
1.1. Définition du sol.....	3
1.2. Pollution et contamination du sol.....	3
1.3. Polluants du sol .....	3
1.3.1. Polluants organiques .....	3
1.3.2. Polluants inorganiques .....	4
1.4. Pollution du sol par les hydrocarbures .....	4
1.4.1. Carburants .....	4
1.4.2. Classification des hydrocarbures.....	5
4.3. Source de la pollution du sol aux carburants.....	6
1.5. Devenir des carburantes dans le sol .....	7
2. Techniques de décontamination des sols pollués par les carburants.....	8
3. Définition le compostage .....	10
3.1. Définition le compost .....	11
3.2. Vermicompostage.....	11
3.3. Inconvénients du compostage et du vermicompostage	12

## **Chapitre II : Matériels et méthodes**

### **1. Matériels**

1.1. Sol.....	13
1.2. Vers de terre .....	13
1.3. Matériel végétal .....	14
1.4. Fumier de bovin.....	14
1.5. Sciure de bois .....	14

### **2. Méthodes**

2.1. Méthode d'échantillonnage .....	15
2.2. Dispositif expérimental .....	15
2.3. Etude de l'efficacité du vermicompostage .....	16

## **Chapitre III : Résultats et discussion**

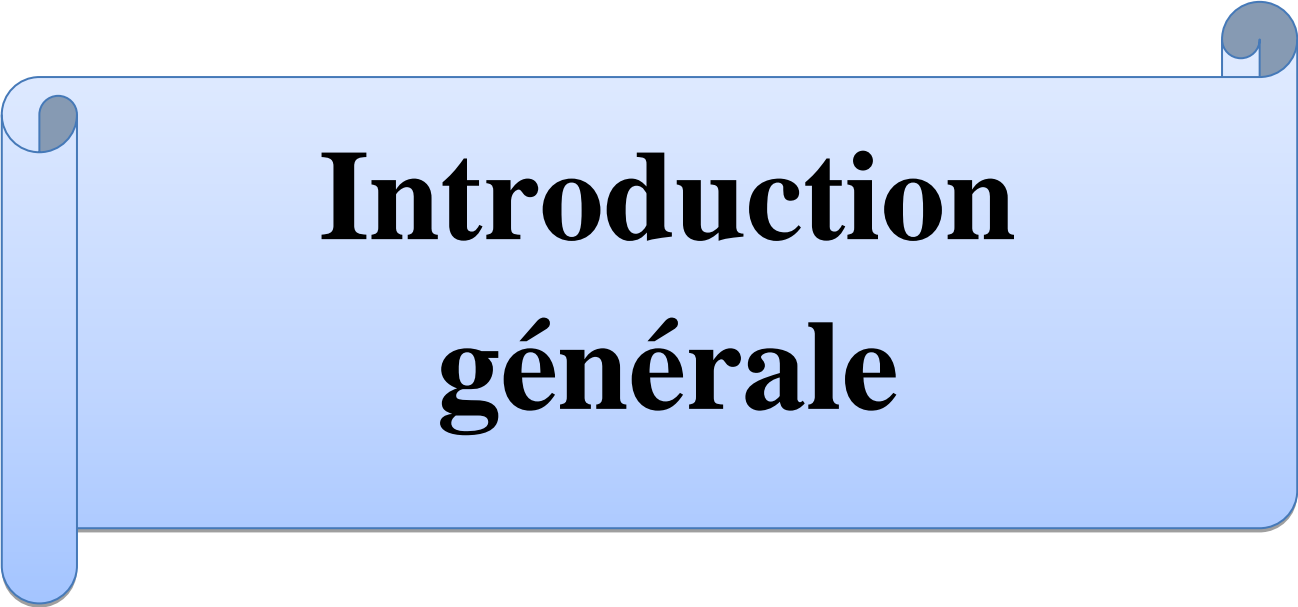
### **1. Résultats**

1.1. Mortalité des vers de terre .....	19
1.2. Croissance des vers de terre .....	20
1.3. Reproduction des vers de terre .....	20
1.4. Activité biologique globale .....	21
1.5. Activité de la catalase .....	22
1.6. Germination des graines de maïs .....	23
<b>2. Discussion</b> .....	<b>23</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>26</b>

### **Références bibliographiques**

### **Annexes**

### **Résumé**



# **Introduction générale**

### **Introduction générale :**

La pollution est l'un des problèmes les plus importants auxquels notre environnement est confronté. Elle désigne la présence ou l'introduction de substances nocives ou indésirables dans l'environnement, entraînant des effets néfastes sur la santé des êtres vivants, les écosystèmes et la qualité de l'air, de l'eau et du sol (Dab, 2020 ; Pouclet et Maurille-Biron, 2021).

La pollution du sol se produit lorsque des produits chimiques toxiques, des déchets industriels ou des pesticides sont déversés dans le sol, ce qui entraîne une dégradation de la qualité du sol et une contamination des cultures. Cela peut conduire à une diminution de la fertilité du sol, à la perte de biodiversité et à des problèmes de santé chez les êtres vivants qui entrent en contact avec le sol contaminé (Erkman, 2004 ; Ougnough et Benhlima, 2022).

La pollution du sol par les hydrocarbures est due principalement aux stations-services (fuites des cuves de stockages, points de remplissages, les îlots de pompes,...) qui sont une source importante et répandue dans l'espace (Colin, 2000).

Il existe plusieurs méthodes physiques, chimiques et thermiques pour la décontamination des sols pollués aux hydrocarbures, mais ces méthodes sont très coûteuses et détériorent le sol contrairement aux méthodes biologiques (bioremédiation) qui sont plus économiques et plus respectueuses de l'environnement (Girard et al, 2005; Koller, 2009 ;).

La bioremédiation se base sur l'utilisation des microorganismes pour éliminer ou réduire la toxicité des polluants en raison de leurs diverses capacités métaboliques (Tighrine et Saï, 2021).

Les méthodes biologiques, telles que le compostage, offrent une solution efficace, abordable et facile à mettre en œuvre. L'utilisation des vers de terre est une pratique courante afin d'accélérer et d'améliorer l'efficacité du processus.

Le vermicompostage est parmi les traitements biologiques qui suscitent de plus en plus d'intérêt (Sierra et al., 2011). C'est un procédé de bio-oxydation et de stabilisation de la matière organique, mais sous l'action combinée des microorganismes et des lombrics (St-Pierre, 1998). Il s'agit du processus par lequel les vers de terre transforment les résidus organiques en un matériau stable, appelé vermicompost (Sierra et al., 2011), le but étant de traiter le matériau toxique pour le rendre moins toxique aussi rapidement et efficacement que possible (Garg et al., 2009).

Plus le sol est riche en matière organique, plus le processus de minéralisation sera intense. La matière organique fournit les nutriments nécessaires aux micro-organismes présents dans le

sol, favorisant ainsi leur activité et la décomposition des matières organiques en éléments minéraux utilisables par les plantes Morel (1997) in Boukrou., Nait Si Ahmed, 2022 .

Des travaux antérieurs ont démontré l'efficacité du compostage des sols pollués aux carburants (Tighrine et Sai, 2021) en particulier lorsque le sol est enrichi en substances organiques telles que le grignon d'olive (Boukrou et Nait Si Ahmed, 2022) la paille et le fumier (Bouacem et Chabane, 2022).

Par ailleurs, des travaux ont montré l'intérêt d'incorporer des vers de terre pour accélérer le compostage des déchets organiques (Liegui, 2019 ; Garau et al., 2022).

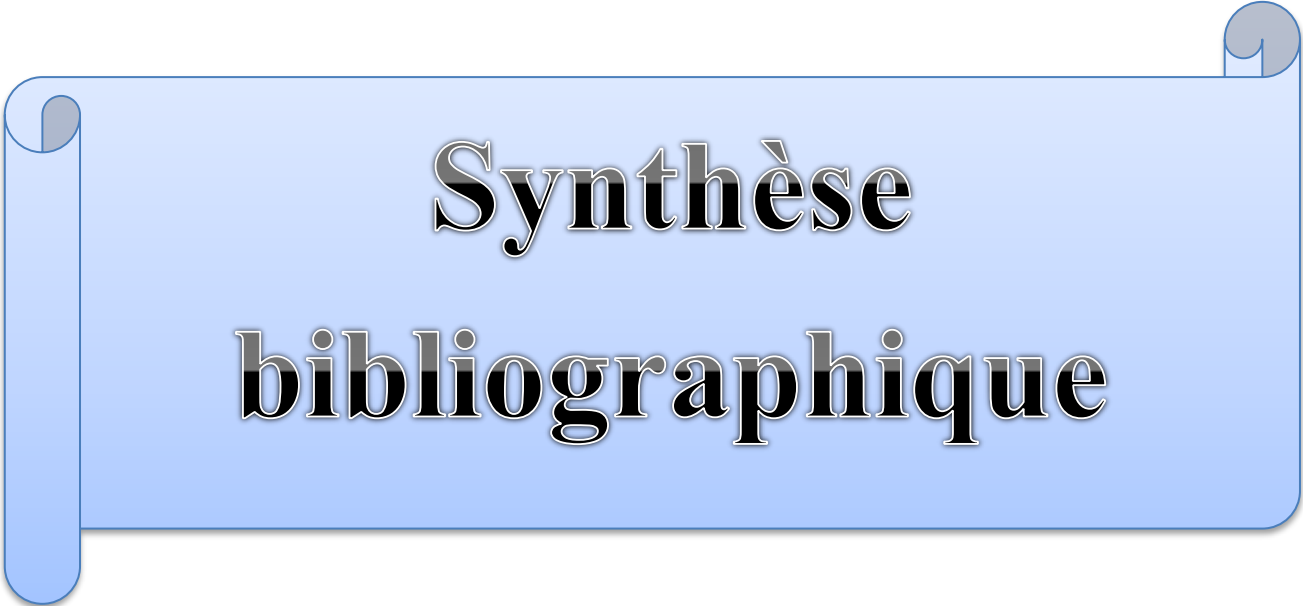
Notre travail, dont l'objectif de décontaminer un sol pollué par des carburants, notamment de l'essence et du gasoil, en utilisant la technique du vermicompostage. Le vermicompostage est un processus qui implique l'utilisation de vers de terre pour décomposer la matière organique et améliorer la qualité du sol. Dans notre étude, nous envisageons de combiner l'ajout de matière organique au sol avec l'utilisation de vers de terre pour accélérer et optimiser le processus de compostage du sol contaminé. L'objectif final est de réduire la durée nécessaire pour décontaminer le sol pollué par les carburants et d'améliorer son état en utilisant des méthodes respectueuses de l'environnement.

L'évaluation de l'efficacité de cette technique s'est faite par l'utilisation deux genres d'espèces des vers de terre différentes pour mesurer les paramètres biologiques (taux de mortalité et la biomasse et reproduction des vers de terre, l'activité biologique, activité de la catalase et germination de graines). Afin d'évaluer l'importance de ces bio-essais, ils ont été réalisés au niveau de sols contaminés aux carburants

Le présent mémoire se subdivise en trois chapitres.

- ❖ Le premier représente une synthèse bibliographique sur le sol et la pollution par les carburants, leur nature, leur devenir et leurs impacts sur l'environnement ainsi que les techniques de décontamination de ce type de pollution, en particulier le vermicompostage.
- ❖ Le second chapitre est consacré à la présentation de la station d'étude, du matériel et des méthodes utilisés dans ce travail, notamment la survie et la biomasse des vers de terre, la respirométrie, l'activité de la catalase et la germination des graines.
- ❖ Le troisième chapitre consiste en la présentation des résultats obtenus concernant les paramètres biologiques et chimiques étudiés, ainsi que leur discussion.

Enfin, ce travail se termine par une conclusion générale et quelques perspectives.



**Synthèse**  
**bibliographique**

**1. Pollution du sol****1.1.Définition du sol**

Parmi les milieux qui composent notre environnement, le sol représente une interface particulièrement importante pour l'homme et l'ensemble des êtres vivants. Avec les sédiments et les eaux de surface, ils constituent des niches écologiques extraordinaires en Terme de productivité de matières vivantes (par les végétaux), de diversité biologique (Végétaux producteurs, animaux consommateurs et micro-organismes minéralisateurs) et de réservoirs de matières organiques (Dominique, 1997).

Le sol est la couche superficielle meuble de la lithosphère terrestre, présentant une épaisseur variable de quelques centimètres à plusieurs mètres. Il est constitué par un mélange de matériaux minéraux et organiques, qui sert de support et milieu naturel pour la croissance des plantes (Legros, 2007).

**1.2.Pollution et contamination du sol**

La pollution et la contamination sont deux expressions couramment employées pour désigner l'accumulation anormale et exogène, d'éléments ou de composés minéraux, organiques ou d'agents pathogènes dans un milieu donné dont la qualité se trouve affectée ce fait généralement due à une activité humaine (Chassin et al., 1996).

Un polluant est une substance naturelle ou de synthèse, minérale ou organique. Elle peut être absorbée par voie foliaire ou racinaire chez les plantes et par inhalation, ingestion ou contact chez les animaux. Elle provoque une intoxication des organismes affectés en perturbant une fonction vitale pouvant entraîner la mort (Ramade, 2000).

**1.3.Polluants du sol**

Les polluants des sols sont très variés et sont aussi souvent toxiques pour l'homme, à l'instar des pesticides, des phtalates, de solvants chlorés, de l'azote, de certains éléments traces comme le cuivre, le mercure ou l'argent. Les polluants peuvent à la fois être présents naturellement dans les sols ou être le résultat d'activités humaines (Roger et Jacq, 2000).

Deux groupes de polluants sont communément rencontrés dans les matrices contaminées : les polluants organiques et les polluants inorganiques.

**1.3.1. Polluants organiques**

Ce sont, en grande majorité, des produits de synthèse issus de l'activité anthropique. Ils proviennent principalement d'activités industrielles (production d'énergie, industries chimiques...), urbains (transport, traitement des déchets ...) et agricoles (utilisation de produits phytosanitaires). Les polluants organiques d'origine industrielle incluent le pétrole et ses dérivés, renferment une large gamme de composés qui peuvent être classés selon : leurs

origines, leurs structures chimiques et leurs propriétés chimiques ou physiques (Khellout et Settouf, 2004).

#### **1.3.1.1. Hydrocarbures**

Les hydrocarbures sont des composés organiques ne contenant que du carbone et de l'hydrogène, associés sous forme de molécules d'une grande diversité (Vandecasteele 2005). Ils regroupent différents produits pétroliers (pétrole brut, pétrole raffiné, kérosène, fuel, lubrifiants, huiles à moteurs). Selon Schadeck (2007), cette famille inclut : les hydrocarbures aliphatiques, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les hydrocarbures halogénés volatils (HHV) et les hydrocarbures aromatiques volatils (benzène, toluène, éthylbenzène, xylène).

#### **1.3.1.2. Produits organiques industriels**

D'après Boucheseiche et al. (2002), les produits organiques les plus utilisés dans industriels sont : les polychlorobiphényles ou PCB, les phénols et les chlorophénols et les phtalates

#### **1.3.2. Les polluants inorganiques**

Ce sont les ETM caractérisés par un numéro atomique élevé, une densité supérieure à  $5\text{g/cm}^3$  et qui forment des sulfures insolubles (Dominique, 1997).

Les ETM sont présents de façon naturelle dans les sols. Ils proviennent en grande partie de l'altération de la roche mère du sous-sol. Toutefois, les concentrations les plus importantes rencontrées dans les sols sont liées à l'activité humaine (Dominique, 1997).

Le chrome, le manganèse, le cobalt, le cuivre, le plomb, le mercure, le nickel et le zinc sont les métaux lourds les plus rencontrés dans le sol. Dans le domaine de l'environnement, on associe fréquemment aux métaux lourds l'arsenic qui est un métalloïde lourd (Dominique, 1997).

#### **1.4. Pollution du sol par les hydrocarbures**

On parle de pollution par les hydrocarbures lorsqu'ils agissent directement sur la vie de l'homme de façon néfaste ou indirectement, si les populations animales et végétales utiles à l'homme sont affectées (Bertrand et Mille, 1989 in Guermouche M'rassi, 2014).

L'impact de la pollution par les hydrocarbures sur les milieux terrestres, en tant qu'éléments de la biosphère, varie en fonction leurs propriétés, de l'état de matière dans lequel se trouvent ces polluants mais aussi, selon les facteurs abiotiques et biotiques des milieux (Bocard, 2006).

##### **1.4.1. Carburants**

Les carburants sont des mélanges combustibles, principalement constitués d'hydrocarbures. Il existe deux types de carburants, lourds et légers (Saada et al., 2005). Les carburants les plus

fréquemment utilisés sont l'essence légers et le gasoil lourds. Ils sont issus de la distillation du pétrole et sont nommés produits pétroliers raffinés (Colombano et al., 2014).

#### **1.4.1.1.Essence**

L'essence est un liquide inflammable, actuellement utilisé comme carburant et solvant. C'est un mélange d'hydrocarbures légers contenant généralement 230 hydrocarbures différents (Lemière et al., 2001). L'essence sont composés de 5 classes principales d'hydrocarbures : les n-alcanes, les iso-alcanes, les cyclo-alcanes, les alcènes et les aromatiques (Saada et al., 2005).

#### **1.4.1.2.Gasoil**

Le gasoil est un liquide contenant des composés plus lourds que ceux de l'essence et donc moins volatils. Il ne contient pas d'alcènes et est constitué majoritairement de n-alcanes et de cyclo-alcanes (Saada et al., 2005). Il est utilisé comme carburant automobile et dans les chauffages (Lumière et al., 2001).

### **1.4.2. Classification des hydrocarbures**

Les pétroles bruts sont constitués de différentes familles de composés dont la composition chimique varie énormément selon leur origine géographique et géologique (Tissot et Welte, 1984).

Les hydrocarbures sont classés en deux catégories : les hydrocarbures saturés ou "alcane", toutes les liaisons entre les atomes de carbone et d'hydrogène sont simples. En revanche, un hydrocarbure insaturé contient au moins une liaison double ("alcènes") ou triple ("alcynes").

Parmi les hydrocarbures, on distingue également :

#### **1.4.2.1.Hydrocarbures aliphatiques**

Ils sont constitués de chaînes carbonées linéaires qui peuvent être saturées ou posséder une ou plusieurs doubles ou triples liaisons (alcanes, alcènes, alcynes) (Militon, 2007).

#### **1.4.2.2.Hydrocarbures cycliques**

Ils peuvent être également saturés ou posséder une ou plusieurs doubles liaisons, on parle alors respectivement de cyclane et de cyclène. Cependant, la structure cyclique est incompatible avec les triples liaisons de fait de leur géométrie linéaire, à moins que la molécule ne contienne un minimum de 8 atomes de carbone (cyclynes) (Arnaud, 2004).

#### **1.4.2.3.Hydrocarbures aromatiques**

Les pétroles bruts sont constitués de différentes familles de composés dont la composition chimique varie énormément selon leur origine géographique et géologique (Tissot et al., 1984).

**1.4.3. Sources de pollution du sol aux carburants**

Les hydrocarbures dans les types des polluants à la fois organiques et chimiques (Koller, 2009). La pollution des sols par hydrocarbures peut être accidentelle ou anthropique.

**1.4.3.1. Sources naturelles**

Les origines naturelles incluent les émissions liées aux feux de forêts, aux éruptions volcaniques (Edwards, 1983). Les hydrocarbures sont aussi produits par les végétaux essentiellement les hydrocarbures aliphatiques qui se trouvent dans les cires des végétaux supérieurs ou les algues, et les déchets microbiens (Barriuso et al., 1996).

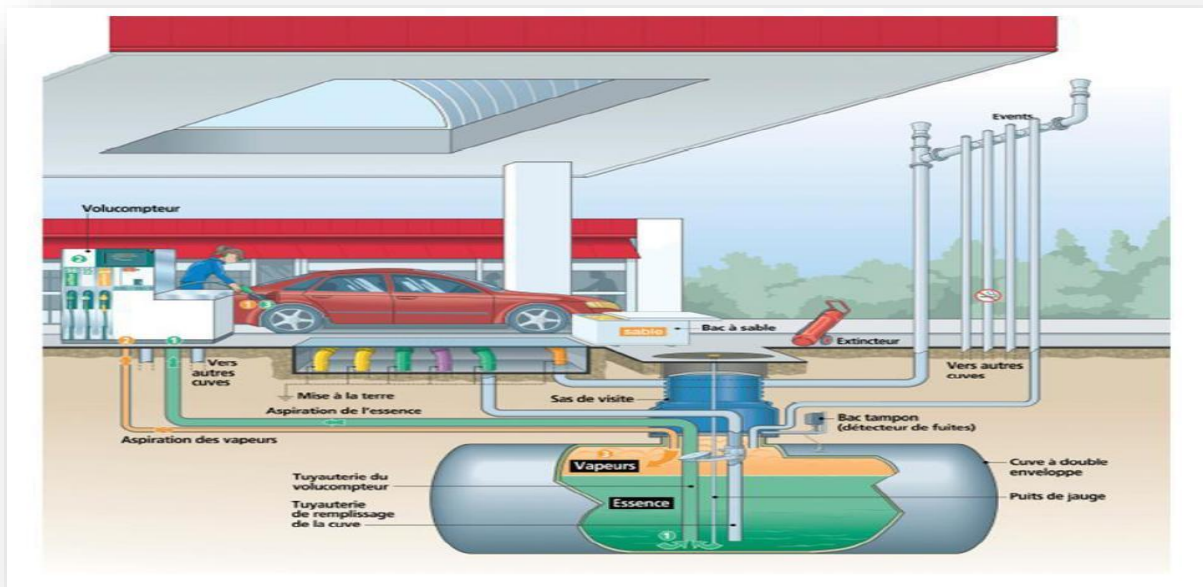
Selon Lemièrre et al. (2011), certains hydrocarbures tels que les HAP peuvent avoir une origine naturelle (ex : sols des forêts de sapins ou de hêtre autour des lacs).

**1.4.3.2. Source anthropiques**

Les sources anthropiques des hydrocarbures sont majoritaires. Ces polluants sont liées aux activités industrielles, urbaines et énergétiques tels que le processus de production et de dispersion de matières créosotées (chemins de fer), les industries des hydrocarbures (brai de goudron, asphalte et épandage de boues) (Whitacre et al., 2008 in Técher, 2011), les accidents de la route et la mise en décharge non contrôlée (Chaineau et al., 2000).

D'après Crepineau et al. (2003), au regard des quantités d'hydrocarbures contaminant les sols, leurs concentrations peuvent être importantes à proximité de la source émettrice, elles diminuent de manière exponentielle en fonction de la distance de ce site de stations-services : sont considérées comme des centrifuges de pollution des sols, à cause du stockage en sous-sol des différents types de carburants. Ces derniers provoquent des risques majeurs pour l'environnement (figure 1). Dans ce cas, la pollution provient, lors des transferts des liquides vers les cuves, des écoulements hors des cuves, ou des fuites des cuves enterrées.

Les ruissellements vont ensuite provoquer le déplacement des pollutions qui peuvent contaminer ainsi le sol et atteindre, dans certains cas, les nappes souterraines, ou les entrainer dans les rivières (Patej, 2002).



**Figure 1** : Schéma d'une station- service (Google image)

### 1.5. Devenir de carburant dans le sol :

L'identification des milieux potentiellement affecté par des polluants nécessite une connaissance considérable des informations relatives aux comportements et au devenir des substances dans le sol. Les différents composants des produits pétroliers ou hydrocarbures, une fois déversés dans le sol, sont soumis à l'action de différents processus chimiques, physiques, et biologique qui affectent leur comportement (Gomez, 2010)

#### 1.5.1. Volatilisation

C'est un processus qui débute immédiatement après le déversement des hydrocarbures et peut se poursuivre pendant quelques jours (Neff et al., 2000). La volatilisation concerne les fractions de faible poids moléculaire (moins de 12 atomes de carbone) (Soltani, 2004).

#### 1.5.2. Solubilisation

La solubilisation des hydrocarbures dans l'eau est très faible. Un hydrocarbure est d'autant plus soluble que sa masse moléculaire est faible et que sa polarité est élevée. Il est importants de noter que les hydrocarbures solubles sont parmi les plus dangereux pour l'environnement, ils sont difficiles à éliminer et sont absorbés par la faune et la flore (Soltani, 2004).

#### 1.5.3. Sorption :

C'est la propriété de certains corps solides de pouvoir retenir les molécules d'autre corps (à l'état gazeux ou liquide) à leur surface, on distingue deux mécanismes de sorption : l'adsorption physique qui est due à des forces électrostatiques, et l'adsorption chimique qui

met en jeu des liaisons chimiques entre le solide adsorbant (matière organique) et le fluide adsorbé (hydrocarbure) (Saada et al., 2005).

#### **1.5.4. Dégradation :**

Selon Vogel (2001), la biodégradation est le processus naturel de dépollution de l'environnement. La biodégradation des hydrocarbures se fait dans les milieux aérobies et anaérobies grâce à des microorganismes principalement des bactéries et /ou des champignons qui puisent dans le pétrole leur alimentation (Fattal, 2008).

Il existe deux types de dégradation des polluants : dégradation biotique et dégradation abiotique.

##### **1.5.4.1. Dégradation biotique :**

La biodégradation est l'un des premiers mécanismes conduisant à l'élimination des hydrocarbures (Soltani, 2004). La dégradation des hydrocarbures se fait dans des conditions aérobies et anaérobies par des microorganismes, principalement des bactéries et/ ou des champignons. En effet, les hydrocarbures constituent une source alimentaire pour quelques bactéries (Fattal, 2008).

##### **1.5.4.2. Dégradation abiotique :**

Les pertes abiotiques des hydrocarbures sont dues à des phénomènes physiques et chimiques comme la photolyse qui se fait sous l'action de la lumière, l'hydrolyse sous l'action de l'eau et les réactions d'oxydoréductions abiotiques (sans l'intervention d'organismes vivants). Elles seraient responsables de la perte de 20% d'hydrocarbures aromatiques dans le sol (Fattal, 2008).

## **2. Techniques de décontamination des sols pollués par les carburants**

La réhabilitation des sols pollués est un enjeu majeur qui nécessite la mise en place de techniques adaptées. A cet effet, un certain nombre de techniques développées (ou en développement) sont utilisées pour traiter ces terres polluées et peuvent impliquer des processus physiques, chimiques, thermiques ou biologiques (Girard et al., 2005).

### **2.1. Classement en fonction du lieu de traitement**

Les traitements peuvent être appliqués selon trois modes (Colombano et al., 2010).

**2.1.1. Traitement ex-situ :** Ce traitement consiste à excaver et transporter le sol pollué vers des centres de traitement adaptés où il sera traité.

**2.1.2. Traitement sur site :** Il implique aussi l'excavation des terres mais celles-ci sont traitées sur site

**2.1.3. Traitement in-situ :** Il correspond à un traitement du sol en place sans l'excaver ; extraire le polluant seul, le dégrader ou le fixer dans le sol.

**2.2. Classement en fonction des traitements employés****2.1.1. Traitements physiques**

Ils sont basés sur le transfert et la concentration des polluants dans le sol sans les modifier ou les détruire, à l'aide de fluides (eau ou gaz) pour immobiliser la pollution ou la transporter vers des points d'extraction (Louati, 2013).

**2.1.2. Traitements thermiques**

Les traitements thermiques consistent en l'utilisation de la chaleur pour extraire le polluant, le détruire (incinération), l'isoler (désorption thermique, thermolyse, etc.) ou le rendre inerte (vitrification) (Louati, 2013).

**2.1.3. Traitements chimiques**

Ils consistent en l'extraction ou la transformation des polluants par l'intermédiaire d'une réaction chimique entre ceux-ci et un acide, une base ou d'une électrolyse (Girard et al., 2011).

**2.1.4. Traitements biologiques**

Ils consistent en la décontamination des sites naturels en faisant appel à des microorganismes, des végétaux divers ou des enzymes qu'ils produisent (Quentin, 2021).

Il existe deux principales catégories :

**2.2.4.1. Phytoremédiation**

Elle exploite les propriétés des végétaux pour extraire, dégrader ou immobiliser les polluants dans les trois compartiments de l'environnement (sol, l'air, l'eau) et permet le traitement d'une grande diversité de polluants (métaux, pétrole brut, hydrocarbures aromatiques polycycliques) (Origon et al., 2012).

La phytoremédiation, lorsqu'elle est appliquée aux sols pollués, repose sur plusieurs mécanismes, qui sont la phytodégradation, la phytoaccumulation, la phytovolatilisation, la phytostabilisation et la rhizoremédiation (Mazziotti, 2017).

**2.2.4.2. Bioremédiation**

Elle exploite la capacité enzymatique des microorganismes (bactéries, algues, champignons) pour dégrader les polluants organiques dans le sol. Elle peut se faire in-situ ou ex-situ. Cette technique se déroule généralement en conditions d'aérobie (FokouMbogne, 2017).

**2.2.4.3. Procédés de la bioremédiation****2.2.4.3.1. Atténuation naturelle**

L'atténuation naturelle est le processus de biorestoration le plus simple par lequel la population microbienne indigène (bactéries et champignons) élimine les polluants. Ce processus d'assainissement se produit naturellement dans la plupart des sites contaminés, il

consiste uniquement à vérifier la présence et la capacité des microorganismes pour dégrader les polluants (Koshlaf et Ball, 2017).

#### **2.2.4.3.2. Biostimulation**

Cette procédure a pour effet de stimuler la croissance et l'activité des microorganismes indigènes présents dans le site contaminé par l'ajout de nutriments comme le phosphore, l'azote ainsi que des donneurs d'électrons afin d'accélérer la biodégradation naturelle (Goswami et al., 2018).

#### **2.2.4.3.3. Bioaugmentation**

Dans la bioaugmentation, la microflore autochtone du site pollué est enrichie par l'ajout d'espèces microbiennes exogènes ou génétiquement modifiées et préalablement sélectionnées pour favoriser la dégradation du polluant. Cette méthode est très efficace lorsque les microorganismes indigènes sont incapables de dégrader le polluant (Da Silva et al., 2020).

Les agriculteurs et les scientifiques de l'environnement doivent réfléchir à de nouvelles stratégies de production qui bénéficient à l'environnement en réduisant les taux de pollution et la dégradation des écosystèmes naturels et cultivés. On peut envisager l'agriculture biologique, en évaluant les déchets organiques.

Dans ce cadre, le compostage est actuellement considéré comme une composante écologiquement durable dans un système de gestion intégrée des déchets. Le choix de la valorisation directe de la matière organique et de son intégration dans la filière de compostage présente deux avantages principaux : la réduction des déchets mis en décharge, ce qui conduit directement à une diminution des grands volumes de substrats générés et l'accroissement de la productivité agricole par le renouvellement des éléments nutritifs des sols et l'assainissement de l'environnement (Bayard et Gordon, 2007).

### **3. Définition le compostage :**

Le compostage est un traitement biologique qui consiste à exploiter l'action des macro-organismes et micro-organismes (Agnew et Leonard, 2003) pour accélérer la décomposition des matières organiques très instables en une matière organique stable riche en humus ; le compost (Francou et al., 2007).

Le compostage améliore la fertilité et de la qualité du sol et favorise leur biodiversité (Garba et al., 2020). Il permet aussi la stabilisation biologique des résidus organiques (Andrade et al., 2018).

**3.1. Définition du compost :**

Le compost est le produit final issu du compostage. C'est une matière organique bien décomposée contenant de l'humus et des substances nutritives. Il est utilisé comme engrais organique, qui peut être incorporé dans le sol (Madeleine et al., 2005).

Le compostage et l'utilisation du compost présentent plusieurs avantages et intérêts environnementaux.

- ❖ Le compostage permet de réduire la quantité de déchets acheminés vers les décharges, ce qui contribue à réduire la pollution et l'épuisement des ressources nécessaires à la gestion des déchets.
- ❖ Il permet de réduire les nuisances des déchets en contribuant au maintien de la qualité de l'environnement (FAO, 2005).
- ❖ Le compostage favorise la présence de micro-organismes bénéfiques, ce qui aide à maintenir l'équilibre écologique du sol. Cela peut entraîner une augmentation de la biodiversité et favoriser une meilleure santé des écosystèmes locaux.
- ❖ Le compost est un amendement organique riche en nutriments qui améliore la structure du sol, stimule l'activité des micro-organismes bénéfiques pour les plantes. En utilisation du compost, il est possible de réduire la dépendance aux engrais chimiques, aux pesticides et aux herbicides.
- ❖ Produire un amendement organique stable, appliqué au sol sans impact négatif sur les cultures, permet donc de combler le déficit des sols surexploités en éléments nutritifs et d'améliorer la fertilité à long terme (FAO, 2005).

**3.2. Vermicompostage :**

Le vermicompostage est une méthode de compostage qui utilise des vers de terres qui accélèrent le processus de dégradation des déchets organiques, et produisent du compost de haute qualité (Caras, 2000). Les vers de terre peuvent consommer pratiquement tous les types de matière organique. En général, ce sont les vers rouges comme *E.foetida* qui sont utilisés pour le compostage (Mustin, 1987).

**3.2.1. Espèces utilisées :**

Les lombrics de compost sont des vers de surface qui se trouvent au maximum à 20cm de profondeur. D'après Edwards (2004) in Kiyasudeen et al. (2016), six espèces de vers de terre (*Eisenia foetida*, *Eisenia Andrei*, *Dendrobae naveneta*, *Lumbricus rubellus*, *Eudrilus eugeniae*, *Perionyxex cavatus* et *Perionyx hawayana*) ont été identifiées comme des espèces potentiellement utilisables pour décomposer les déchets organiques. D'autres espèces peuvent

être utilisées, mais ces espèces sont les plus courantes. L'un des vers les plus prometteurs pour le vermicompostage est *E. foetida* (Reinecke et Venter, 1987 ; Edwards, 1988).

### **3.2.2. Avantages du vermicompostage :**

Le vermicompostage présente plusieurs avantages. Le premier est de valoriser les déchets organiques, de produire un engrais naturel, d'améliorer la qualité du sol et de contribuer à la protection de l'environnement de manière simple et efficace (FAO, 2005 ; Lores et al., 2006 ; Dominguez et al., 2010).

### **3.3. Inconvénients du compostage et du vermicompostage :**

Le compostage et le vermicompostage sont des méthodes populaires de recyclage des déchets organiques, mais ils peuvent également présenter quelques inconvénients.

- **Espace nécessaire :** Les vers de terre ont besoin d'un espace suffisant pour se déplacer et décomposer les déchets. Si l'on dispose de peu d'espace, il est possible que le vermicompostage ne soit pas une option pratique.
- **Odeurs désagréables :** Si le compostage ou le vermicompostage n'est pas effectué correctement, cela peut entraîner des odeurs désagréables, en particulier dans les espaces clos ou mal ventilés. Une gestion appropriée des matériaux, de l'aération et de l'équilibre des déchets peut aider à minimiser ce problème.
- **Temps de décomposition :** Le vermicompostage peut prendre plus de temps que d'autres méthodes de compostage, comme le compostage traditionnel. Les vers de terre décomposent les déchets organiques à leur propre rythme, ce qui peut nécessiter plus de patience et de temps.
- **Les espèces nuisibles et insectes :** Les tas de compost ou les lits de vermicompostage peuvent attirer des espèces nuisibles tels que les rats, les souris, les mouches ou les moustiques. Pour éviter cela, il est important de maintenir le compost bien couvert, d'éviter les déchets de viande ou de produits laitiers, et de s'assurer que le vermicompostage est effectué avec des vers spécifiques (vers de compost).



# **Matériels et méthodes**

L'étude expérimentale entreprise a été effectuée sur un sol pollué aux carburants, prélevé au niveau de la station-service de Boukhalfa. L'objectif de cette étude est de décontaminer ce sol en utilisant la technique du vermicompostage. Les expériences ont été réalisées au laboratoire pathologie des écosystèmes de la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

### 1. Matériel :

#### 1.1. le sol :

Le sol utilisé dans notre étude provient d'une station-service située à 36° de latitude et à 4° de longitude, à 5 km à l'ouest du chef-lieu de la commune de Tizi-Ouzou, sur la route nationale N°12 reliant Alger à Tizi-Ouzou.

Cette station a été choisie à cause de la présence de la pollution du sol par de l'essence et du gasoil ce qui représente un risque environnemental.

Cette station se situe à proximité de terres agricoles traversés par un cours d'eau (figure 2) ce qui pourra provoquer une infiltration des hydrocarbures vers la nappe phréatique.



**Figure 2 :** Image satellitaire de la station-service de Boukhalfa (Google earth, 2023)

#### 1.2. Les vers de terre :

Afin de décontaminer le sol pollué aux carburants, deux espèces de vers de terre ont été utilisées :

*Eisenia foetida* (figure3) souvent appelé ver du fumier. Les adultes de cette famille de Lumbricidae l'espèce *E. foetida* mesurent en moyenne 35 à 130 mm de longueur, et 3 à 5 mm de diamètre, (Environnement Canada, 2004). Le choix de l'espèce est justifié par tolérance et comme c'est le ver du fumier, il est indiqué pour le compostage.



**Figure 3 :** Photographies des adultes d'*Eisenia foetida*

*Allolobophora chlorotica* (figure 4) souvent appelé lombric vert. C'est une espèce de la famille des *Lumbricidae*, elle vit dans le sol des prairies et des zones de culture. Les adultes *A.chlorotica* mesurent entre 5 et 8 cm de long pour un diamètre de 3 à 7 mm et pèse en moyenne 0,5 à 0,7g.



**Figure 4 :** Photographies des adultes d'*Allolobophora Chlorotica*

Le choix s'est porté sur l'espèce *A.chlorotica* en raison de disponibilité et d'abondance sur le terrain d'échantillonnage.

### **1.3.Matériel végétal**

Afin d'évaluer l'efficacité du vermicompostage dans la décontamination du sol, des graines de maïs a été effectué.

Un test de germination du maïs (*Zea mays*), une plante tropicale herbacée annuelle de la famille des Poacées. Elle est très souvent utilisée dans les essais biologiques du fait de sa croissance rapide, de son coût économique faible. Le choix de cette plante est aussi justifié par le fait qu'elle soit sensible à la pollution par les hydrocarbures (Chaineau et al., 1997).

### **1.4.Fumier de bovin :**

Le fumier de bovin a été utilisé comme source d'éléments nutritifs et source de microorganismes.

### **1.5. Sciure de bois :**

La sciure de bois représente l'ensemble des résidus et des copeaux produits par le sciage du bois qu'est très riche en carbone.

La sciure de bois peut être utilisée pour augmenter la teneur en matière organique du sol, ce qui améliore sa structure, en permettant une meilleure circulation de l'air, sa rétention d'eau et sa capacité à retenir les éléments nutritifs (Ghabeb et Moukrani 2019; kammoum, 2019).

## **2. Méthodes :**

### **2.1.Méthode d'échantillonnage :**

#### **2.1.1. Sol :**

Sur une surface d'un mètre carré (1m<sup>2</sup>) au niveau de la station-service, nous avons prélevé un échantillon de sol contaminé à proximité de la source de pollution sous l'ouverture des événements au niveau de la couche superficielle de 0 à 20 cm. le sol a été acheminé au laboratoire, laissé à l'air libre pendant 24h afin d'effriter les grosse mottes, puis tamisé à travers un tamis à mailles de 5mm de diamètre.

#### **2.1.2. Prélèvement des vers de terre :**

L'échantillonnage s'est déroulé durant la période d'activité des vers de terre, au cours des sorties sur le terrain le 23 avril 2023.

Deux zones d'échantillonnage ont été définies : Sol humide dans une zone d'ombre et sol riche en fumier dans même village Tidmimine commune d'Azeffoun.

Les vers de terre ont été extraits du sol selon la méthode physique de Bouché (1972) qui consiste à :

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

### **2.2.Dispositif expérimental**

Au le laboratoire on a laissé le sol échantillonné 24 h à l'air libre. Puis on a tamisé ce dernier a travers un tamis à mailles de 5mm de diamètre pour éliminer la fraction grossière et ne pas détruire les agrégats.

Le sol a été réparti sur 9 boites à raison de 1Kg par boite des ajouts de 20 % de fumier de bovin et 2% de sciure de bois ont été effectués dans chaque boite. On a laissé les boites à l'air libre avec un arrosage de 100ml d'eau chaque 2 jour pour garder le sol à son état humide.

Après 2 semaines, des vers ont été incorporés comme l'indique dans le tableau pondant 3 semaines :

Nom des sols Numéro des boîtes	Sols A (témoin)	Sols B ( <i>A.chlorotica</i> )	Sols C ( <i>E.foetida</i> )
1	0 individus	50 individus	50 individus
2	0 individus	50 individus	50 individus
3	0 individus	50 individus	50 individus



**Figure 5 :** Dispositif du vermicompostage

**2.3. Etude de l'efficacité du vermicompostage :**

**2.3.1 Activité biologique :**

L'activité biologique globale a été décrite par Dommerges (1968). Elle a été évaluée par le test respirométrique.

Dans des flacons de 250ml, bien fermés, nous avons mis 100 g de sol pour chaque flacon à la surface duquel, ont été placés deux tubes à hémolyse, l'un contenant 3ml d'eau pour éviter le dessèchement du sol et l'autre 5ml de NaOH à 0,5N pour fixer le CO<sub>2</sub> dégagé par la respiration des microorganismes. Les flacons ont été incubés pendant 7 jours à 28°C. Après incubation, le NaOH contenu dans les tubes est titré avec une solution d'acide chlorhydrique (HCl) dilué à 0,25N en présence de deux gouttes de phénolphtaléine. La fin de la titration est marquée par la disparition de la couleur rose violet.

**2.3.2. Activité de la catalase :**

Pour mesurer la catalase, l'une des activités enzymatiques du sol, nous avons pris des flacons de 250ml, contenant 5g de sol chacun auquel nous avons ajouté 2,5 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> à 0,3 % et 20 ml de tampon phosphate pH 7. Le mélange réactionnel a été incubé à 25°C pendant 20 minutes. Après incubation, 1,5ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 3 mol/L est ajouté à la solution pour arrêter la réaction. Le mélange est ensuite soumis à centrifugation à 4500trs/mn pendant 15 minutes. Surnageant est titré par une solution de KMnO<sub>4</sub> à 0,02 mol/L jusqu'à l'apparition d'une couleur rose clair.

### 2.3.3. Test de germination :

Dix graines de maïs sont mises à germer dans une boîte de Pétri contenant 100g de sol avec trois répétitions. Après 7 jours, un taux de germination (TG) est calculé par la formule suivante :

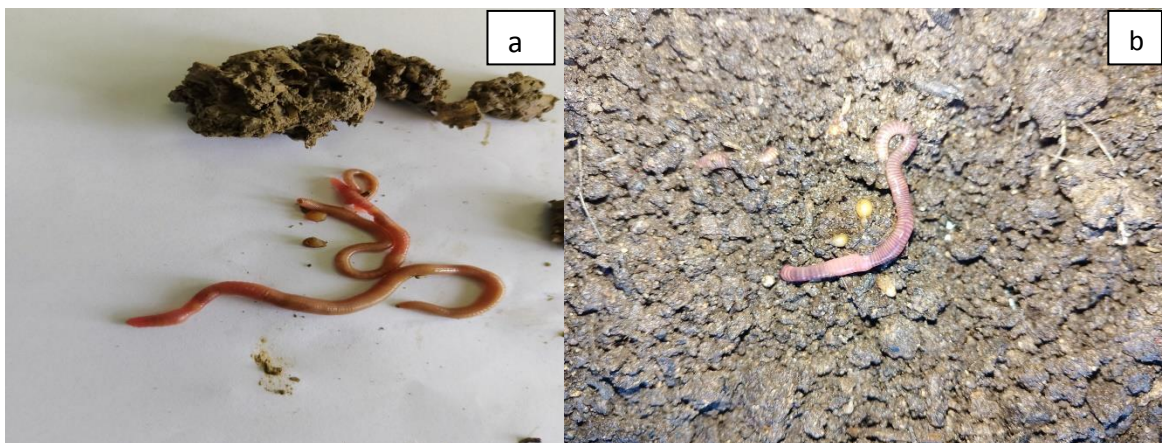
$$\text{TG(\%)} = (\text{nombre des graines germées} / \text{nombre des graines totales}) \times 100$$

### 2.3.4. Test sur les vers de terre :

Les vers de terre ont des rôles essentiels dans les sols puisqu'ils interviennent dans la structuration et l'aération des sols. Les espèces utilisées dans cette étude appartiennent aux genres *Eisenia* et *Allolobophora*. Le choix s'est porté sur ces genres en raison de leur disponibilité et leur abondance sur le terrain d'échantillonnage. Leurs cycles de vie courts ont en fait de bons candidats pour les essais de décontamination de sols pollués aux carburants. Ces tests permettent de définir l'impact des carburants sur les vers de terre, en termes de mortalité de reproductions et de croissance 4 semaines après leur introductions dans le sol. Une baisse de la mortalité et de meilleures prises de poids et reproductions indiquent une amélioration de la qualité du sol.

Dans cette expérience, nous avons mis 1kg de sol dans chaque pot en plastiques puis inséré dans chacun 50 individus adultes de vers de terre pesés au préalable. Les couvercles des pots ont été percés pour permettre une bonne aération.

Au bout de 4 semaines, nous avons pris le poids et le nombre de vers en survie et calculé le taux de mortalité. Nous avons également dénombré les juvéniles.



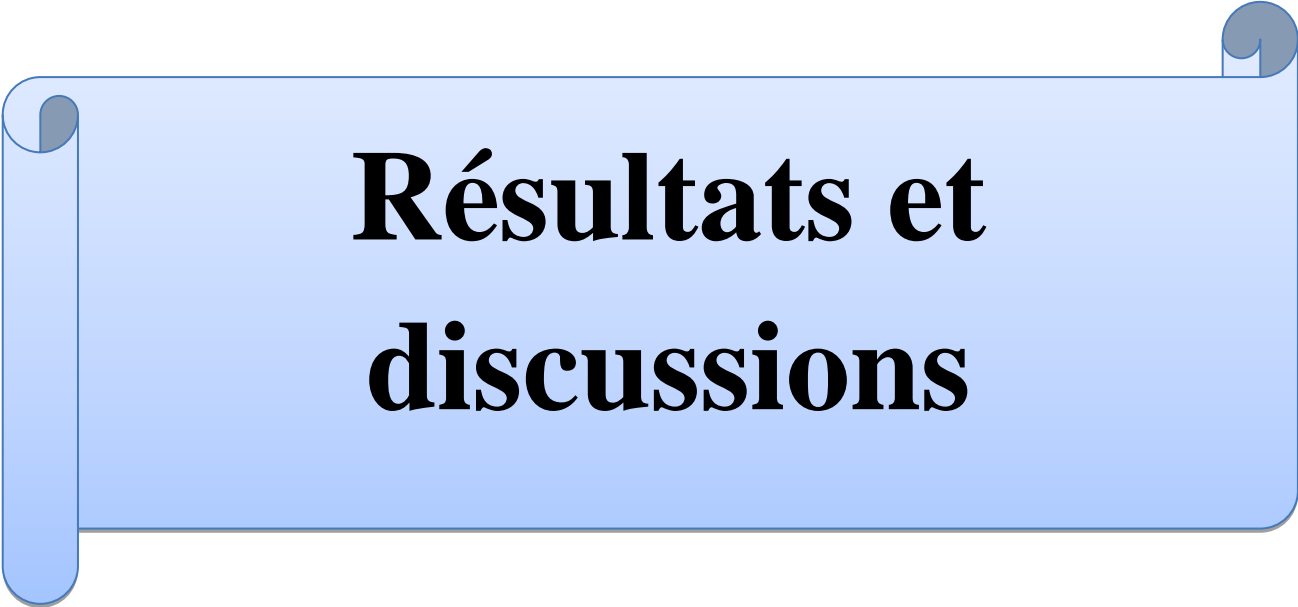
**Figure6** : Individus adultes et juvéniles de *E.foetida* « a » et *A.chlorotica* « b »

### 2.3.5. Méthode d'analyse statistique :

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R.4.3.1. Il s'agit de l'anova à un facteur (sol) ou le test de Kruskal-Walis lorsque les données ne suivent pas une loi normale ou n'ont pas des variances égales.

Dans le cas où les différences entre les moyennes sont significatives, un test post-hoc approprié a été appliqué pour établir les groupes homogènes.

Pour comparer entre les deux espèces de vers de terre, nous avons utilisé le test de Student pour deux échantillons indépendants.



# **Résultats et discussions**

Notre travail expérimental a consisté en un essai de décontamination d'un sol pollué par les carburants provenant d'une station-service située à Boukhalfa à l'aide de la technique du vermicompostage. Deux espèces de vers de terre ont été testées : *E. foetida* et *A. chlorotica*.

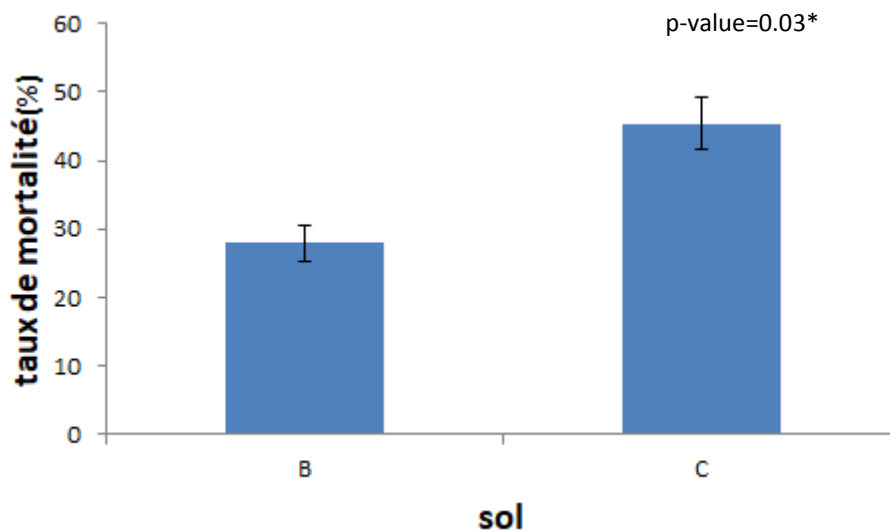
### 1. Résultats :

A la fin du compostage, plusieurs paramètres ont été mesurés sur les vers de terre (taux de mortalité, croissance et reproduction) et sur le sol (germination des graines, respiration microbienne et activité de la catalase).

Concernant les vers de terre, nous avons constaté que les vers d'*A. chlorotica* descendaient au fond de la boîte dès leur incorporation au sol pour se nourrir du papier carton qui tapissait le fond des boîtes. Ceci indiquerait leur sensibilité aux carburants ; ce comportement représenterait leur façon de fuir le sol pollué

#### 1.1. Mortalité des vers de terre

Les résultats des taux de mortalité des vers de terre (figure 7) montrent des taux de mortalité moyens de 45,33% et 28% pour les espèces *E. foetida* et *A. chlorotica* respectivement.

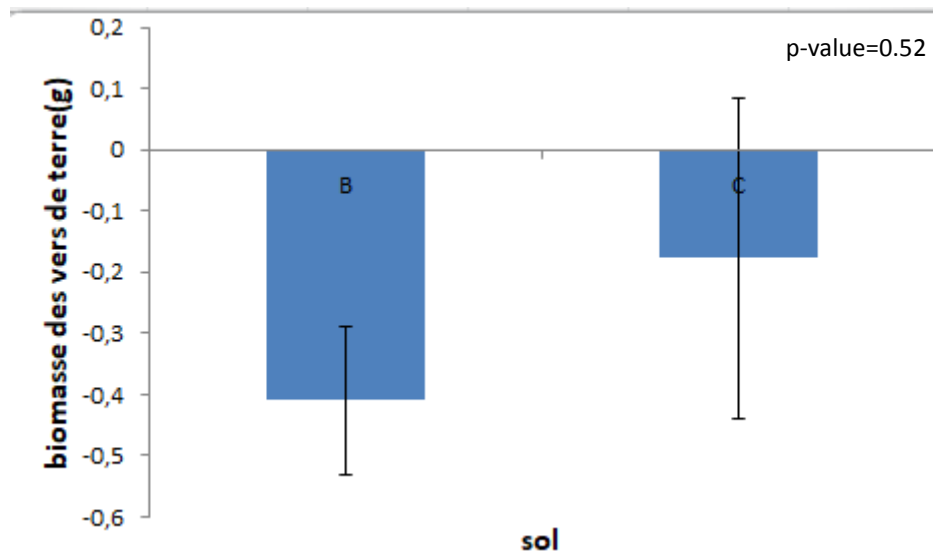


**Figure 7:** Taux moyen de mortalité des vers de terre des deux espèces

Le test de Student (annexe 1). Indique qu'il y a une différence significative entre les taux de mortalité des deux espèces de vers de terre avec une p-value de 0,03. Le taux de mortalité est plus élevé chez *E. foetida*.

### 1.2. Croissance des vers de terre :

Les résultats de la biomasse des vers de terre avant et après un mois sont présentés dans la figure 8. La biomasse de l'espèce *A. chlorotica* diminue au cours de la période de l'expérimentation plus que celle de l'espèce *E. foetida*.

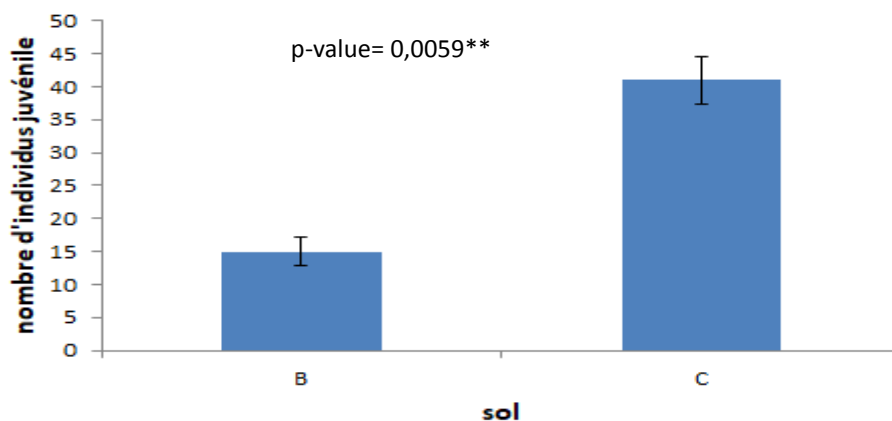


**Figure 8:** Evolution de la biomasse des vers de terre des deux espèces dans le sol pollué.

Le test de Student pour la biomasse des vers de terre a donné une p-value= 0,52 ; ce qui signifie que la différence observée entre les deux espèces n'est pas significative (annexe 2).

### 1.3. Reproduction des vers de terre :

Les résultats de la reproduction des vers de terre (figure 9), exprimés par le nombre de vers juvéniles, montrent une meilleure reproduction de l'espèce *E. foetida* avec 41 juvéniles par rapport à l'espèce *A. chlorotica* avec seulement 15 juvéniles.



**Figure 9 :** reproduction des vers de terre des deux espèces dans le sol pollué.

Le test de Student pour la reproduction des vers de terre indique une  $p$ -value= 0,0059 signifiant que la différence observée entre les deux espèces de vers de terre est hautement significative (annexe 3).

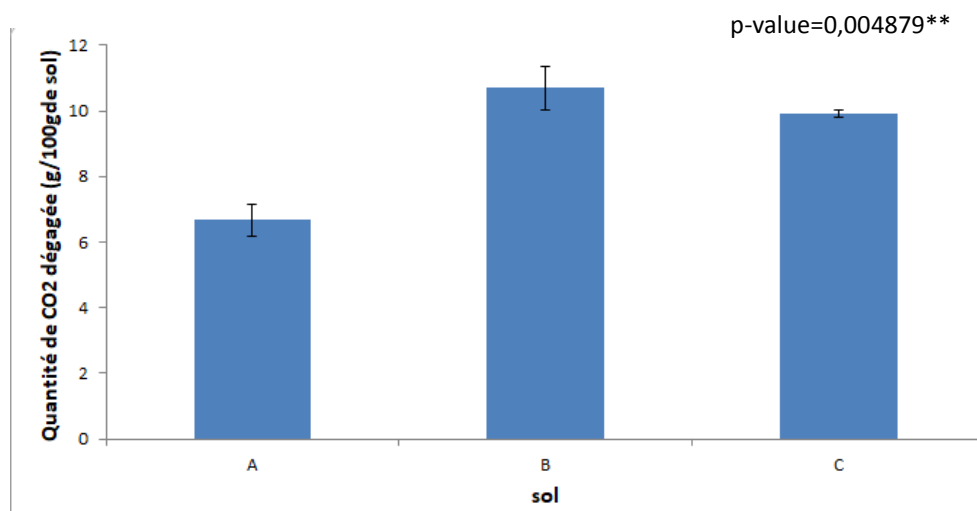
**Remarque :**

Avant d'entreprendre l'étude, des paramètres ont été mesurés sur le sol après retirée des vers de terre.

**1.4. Activité biologique globale :**

Les résultats du test respirométrique exprimés en quantité de  $\text{CO}_2$  dégagé dans les différents sols après 7 jours d'incubation à  $28^\circ\text{C}$  sont représentés par la figure 10. Une grande variation a été observée pour la quantité de  $\text{CO}_2$  dégagée dans les différents sols.

La quantité la plus élevée a été observée dans sol B traité par l'espèce *A.chlorotica*, suivi par le sol C traité par l'espèce *E.foetida*. Nous avons enregistré une faible quantité de  $\text{CO}_2$  dégagé dans le sol A, sans vers de terre.



**Figure10** : Résultat du test respirométrique dans les différents sols

Les résultats de l'anova à un facteur pour l'activité biologique (Annexe 4) ont révélé qu'il y avait une différence hautement significative entre les sols ( $p$ -value=0,004879\*\*).

Le test de Newman-keulsa donné 2 groupes homogènes (tableau 1). Le groupe « a » qui contient le sol B et le sol C de moyenne entre 9 et 11g/100g de sol et le groupe « b » contenant le sol A avec une moyenne de 6,67g de  $\text{CO}_2$  par 100g de sol. Ceci signifie que l'activité biologique globale était plus élevée dans les sols B et C par rapport au sol A. En revanche, il n'y a pas de différence significative dans l'activité biologique globale entre sols B et sol C.

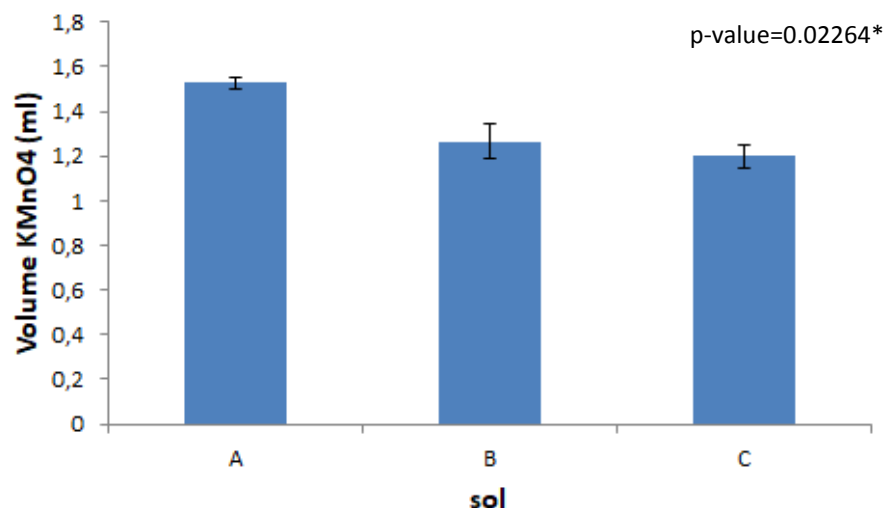
**Tableau1** : les groupes homogènes de l'activité biologique globale.

Sol	Moyenne	Groupe
B	10.70	a
C	9.90	a
A	6.67	b

### 1.5. Activité de la catalase :

Les résultats de l'activité de la catalase dans les différents sols, exprimée par la quantité de  $\text{KMnO}_4$  (en moles) équivalente à la quantité de  $\text{H}_2\text{O}_2$  transformée, sont représentés dans la figure 11.

En analysant ces résultats, nous avons constaté que l'activité de la catalase était plus élevée dans le sol A qui ne contenait pas de vers de terre. Les valeurs de la catalase enregistrées dans les sols B et C étaient proches l'une de l'autre.

**Figure11** : Activité de la catalase dans les différents sols.

L'anova effectuée pour l'activité de la catalase (annexe5) a révélé qu'il y'avait une différence significative entre les sols (p-value=0,02264).

Le test de Newman-keuls a classé le sol A dans le groupe « a » avec une moyenne 1.53 moles. Les sols B et C avec des moyennes respectives de 1.26 et 1.20 moles ont été classés dans le groupe « b » (Tableau 2).

Tableau 2: groupes homogènes de l'activité de la catalase

Sol	Moyenne	Groupe
A	1.53	a
B	1.26	b
C	1.20	b

### 1.6. Germination des graines de maïs :

Les résultats exposés dans la figure 12 montrent que les taux de germination des graines de maïs différaient d'un traitement à l'autre. Le taux de germination le plus élevé a été obtenu dans le sol A sans vers de terre (93,33%), suivi par celui enregistré dans sol B décontaminé avec l'espèce *A. chlorotica* (90%). Le taux de germination de plus faible (86.67%) a été enregistré dans le sol C décontaminé avec l'espèce *E.foetida*.

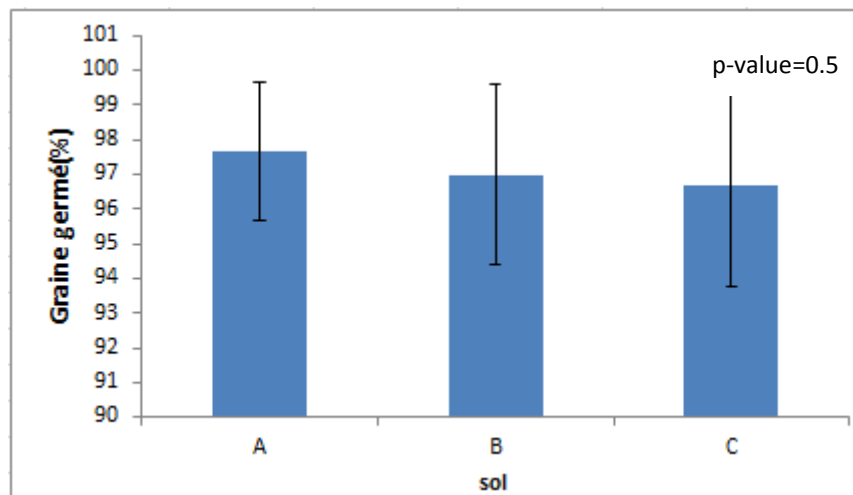


Figure 12 : Taux de germination des graines de maïs dans les différents sols.

Toutefois, les différences observées entre les trois sols n'étaient pas significatives. En effet, le test de Kruskal-Wallis a donné une probabilité de 0.5 (annexe3).

## 2. Discussion

Nos résultats d'essais de décontamination du sol pollué aux carburants en utilisant deux espèces de vers de terre et en ajoutant du fumier et de la sciure de bois montrent une différence significative dans le taux de mortalité des vers de terre après 4 semaines d'exposition. L'espèce *E.foetida* présente un taux de mortalité plus élevé par rapport à l'espèce *A.chlorotica*. Les carburants contenant des hydrocarbures peuvent en effet être toxiques pour les organismes vivants, y compris les vers de terre, entraînant une mortalité. Cela est

également soutenu par les observations de Hawrot-Paw et al. (2020) in Boukrou. A., Nait Si Ahmed .L.,( 2022). Concernant la mortalité des vers de terre dans un sol contaminé par des carburants.

En ce qui concerne la biomasse des vers de terre, nos résultats indiquent que l'espèce *E.foetida* n'a pas perdu de poids, tandis que l'espèce *A.chlorotica* a montré une perte de poids significative après le traitement. Bamgbose et al. (2020) ont également noté l'impact négatif des carburants sur le poids des vers de terre.

Nous avons observé une forte baisse de la reproduction de l'espèce *A.chlorotica*, probablement due à la mortalité des individus, ce qui peut être expliqué par l'effet négatif des carburants. En revanche, nous avons observé une augmentation de la reproduction de l'espèce *A. foetida*, qui est connue pour ses mouvements rapides en réponse aux perturbations et sa capacité à former des cocons de reproduction malgré le stress polluant. Ces résultats concordent avec ceux de Vasseur et al. (2008) qui ont constaté que les sols contaminés par des carburants induisaient la mortalité des vers de terre. Des observations similaires ont été faites par Hawrot-Paw et al. (2020) concernant la mortalité et le poids des vers de terre. Spurgeon et al. (1994) in Boukrou., 2022. Ont montré des effets inhibiteurs sur la survie et la reproduction des vers de terre exposés à un sol enrichi en hydrocarbures.

Plusieurs études confirment que la contamination par les carburants provoque une augmentation significative des paramètres biologiques du sol, tels que la respiration microbienne et l'activité enzymatique, grâce à la prolifération de microorganismes résistants Tejada et al., (2008).

Au cours de notre travail, nous avons observé une grande activité biologique dans le sol traité par des vers de terre des deux espèces différents .Une respiration plus faible a été observée dans le sol témoin sans vers de terre. Ceci pourrait indiquer une meilleure dégradation des hydrocarbures dans les sols traité par des vers de terre. D'après Prosser (1997), la respiration est la plus commune et ancienne mesure indirecte de l'activité microbienne globale dans les sols.

D'après, Tejada et al., (2008) cette augmentation de la respiration peut être expliquée par la stimulation de la croissance microbienne due aux substrats ajoutés lors des amendements organiques appliqués dans le sol Ces travaux suggèrent que l'ajout d'amendements organiques et de fertilisants peut favoriser l'activité microbienne et accélérer la dégradation des contaminants dans le sol lors d'une bioremédiation.

Nos résultats concernant l'activité enzymatique de la catalase, ont montré une différence significative entre le sol pollué (témoin) et le sol traité par des vers de terre. Exprimée par la quantité de  $H_2O_2$  (en moles) ayant été transformée en  $H_2O$  et  $O_2$ , nous avons constaté que l'activité catalase était plus élevée dans le sol A qui ne contenait pas de vers de terre. Les valeurs d'activité catalase ont été enregistrées dans le sol B et le sol C qui étaient décontaminés par la présence de vers de terre à proximité les uns des autres donc l'enzyme catalase a été utilisée dans le sol B et C qui ont été traités par les vers de terre. Et d'après Knight et Dick, (2004), les micro-organismes (bactéries et champignons) sont la principale source d'enzymes dans le sol, ce qui signifie que la contamination du sol pollué par les hydrocarbures influe sur l'activité enzymatique. Par ailleurs, nous avons constaté que la quantité d'hydrocarbures n'était pas différente dans tous les sols, sans et avec ajouts. Ce qui pourrait indiquer que les différences observées n'est pas une modification quantitative, mais qualitative des hydrocarbures. Les fractions les plus toxiques auraient été transformées en produits moins toxiques.

A la fin de l'incubation, nous avons constaté une augmentation considérable du taux de germination des graines de maïs, dans le sol A non traité par les vers de terre qui est aussi favorable à la germination c'est parce que a été composté mais son vers de terre mais par l'ajout de sciure de bois et de fumier mais car dans le sol A il y a une germination à 100% par rapport à le sol B et C traité par les vers de terre qui a une faible germination et cela peut être à présence de vers de terre dans le sol peut avoir un impact sur le taux de germination des graines de maïs. Les vers de terre contribuent à améliorer les caractéristiques physiques et chimiques du sol en favorisant la formation de micro-agrégats, l'aération et le drainage. Cependant, une densité élevée de vers de terre peut également accélérer la décomposition de la matière organique, ce qui peut rendre le sol moins propice à la germination des graines de maïs. D'après Chaineau et al. (1997), la présence de HC dans le sol inhibe la germination des graines et réduit la croissance des plantes. Les carburants inhibent le développement de certains végétaux d'où le terme de phytotoxicité des carburants, qui se manifeste par une inhibition de la germination des graines Boukrou. A., Nait Si Ahmed .L.,( 2022). .



# **Conclusion générale**

Nous avons entrepris un essai de dépollution d'un sol pollué aux carburants en utilisant un traitement biologique qui est le vermicompostage en présence de deux espèces de vers de terre différente. D'après les résultats obtenus au cours de ce travail, nous pouvons dire que la technique de décontamination testée a donné l'efficacité escomptée.

La variation importante de la quantité de CO<sub>2</sub> dégagée dans les différents sols après 7 jours d'incubation à 28°C est un bon indicateur de l'activité biologique intense et de la dégradation des hydrocarbures présents. Dans le sol B, où l'espèce *A.chlorotica* a été ajoutée, la phase de dégradation semble être achevée, ce qui se reflète par la quantité élevée de CO<sub>2</sub> dégagée. D'autre part, dans le sol C, traité avec l'espèce *E.foetida*, une activité catalase élevée a été observée, indiquant également une phase de dégradation achevée.

L'amélioration significative du taux de germination des graines de maïs dans le sol A, où se trouvent la sciure de bois et le fumier, sans vers de terre, suggère que le compost produit a été efficace pour améliorer la qualité du sol. De plus, la diminution relative de la toxicité par rapport à l'état initial du sol peut être attribuée à l'atténuation naturelle des carburants.

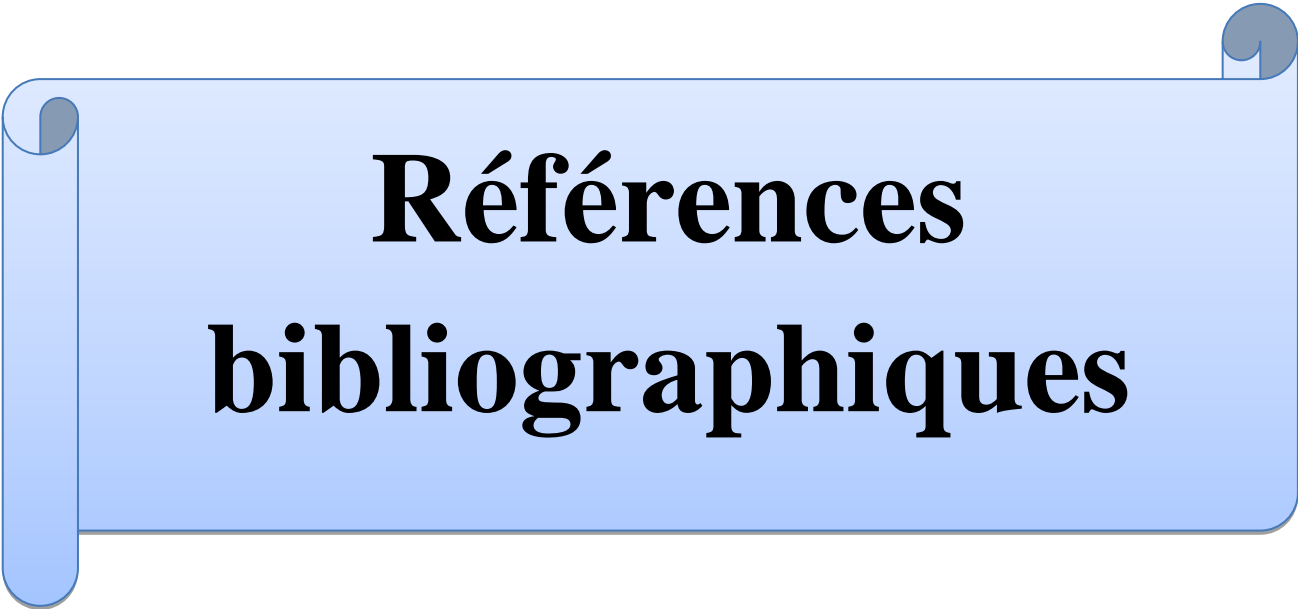
Le fait qu'il n'y ait pas une mortalité élevée des vers de terre dans le sol B traité avec l'espèce *A.chlorotica* indique une élimination importante des hydrocarbures initialement présents dans le sol et une amélioration de la qualité du sol. En ce qui concerne la croissance et la reproduction des vers de terre, il est observé dans le sol C traité avec l'espèce *E. foetida* qu'il y a une faible perte de biomasse et un nombre élevé de juvéniles, ceci étant le signe d'une décontamination plus importante dans ce sol et que cette espèce a un cycle de reproduction élevé.

En conclusion, le vermicompostage est une méthode prometteuse pour décontaminer les sols pollués aux carburants. En utilisant des vers de terre pour décomposer la matière organique contaminée, cette approche favorise la dégradation des hydrocarbures et la transformation des polluants en composés moins nocifs.

A l'issue de ce travail, nous proposons:

- ❖ D'effectuer le suivi du processus de décontamination du sol pollué aux carburants par vermicompostage.
- ❖ Il peut être bénéfique de prolonger la durée du vermicompostage, car ce processus est susceptible de prendre du temps, en fonction de divers facteurs, notamment le degré de pollution initial du sol et les conditions environnementales spécifiques. Il est important de noter que notre étude s'est déroulée sur une période relativement courte, ne dépassant pas un mois complet, dans un environnement contrôlé en laboratoire.

- ❖ De réaliser des essais sur d'autres sols et dans des conditions réelles sur le terrain car les résultats peuvent varier
- ❖ Il serait judicieux de mener davantage de recherches pour confirmer ces observations et explorer davantage les mécanismes sous-jacents à l'efficacité de chaque espèce dans différentes activités biologiques liées à la décontamination des sols pollués aux carburants.



# **Références bibliographiques**

**-A-**

**Agnew J. M., Leonard J. 2003.** The physical properties of compost. *Compost Science and Utilization* 11(3):238-264.

**Andrade F. C., Bosco T. C., Brigano C., Michels R. N., Santos E. L. 2018.** Treatment of organic solid waste generated at agricultural research corporation via composting under natural and controlled conditions. *Acta Scientiarum, Technology* 40(1):1807-8664.

**Andreoni V., Cavalca L., Rao M.A., Nocerino G., Barnasconi S., Dell'Amico E., Colombo M., Gianfreda L., 2004:** Bacterial communities and enzyme activities of Arnaud P., 2004: *Chimie organique*. Edition DUNOD, Paris. 208 p.

**Arnaud P. 2004 :** *Chimie organique*. Edition DUNOD. Paris. 208 pp.

**-B-**

**Ballerini., Vendaecastale.1999.** La restauration par voie microbiologique des sols contaminés par les polluants organique. *Biotechnologie*, coordinateur R. scriban, 5<sup>ème</sup> édition Tech et doc. p900.

**Bamgbose, I. A. et Anderson, T. A., 2020:** Ecotoxicity of three plant-based biodiesels and diesel using, *Eisenia fetida*. *Environ. Pollut.* 260, 113965.

**Bayard. R, Gourdon.R., 2007-** *Traitement biologique des déchets*. Edition : Techniques de L'ingénieur.

**Bergue J.M., Mérienne D., 1986 :** La pollution des sols par les hydrocarbures in nature. *Bull, liaison labo et ch.*-146.pp : 57-66.

**Bertrand J.C., Mille G. 1989.** Devenir de la matière organique exogène. Un modèle : les hydrocarbures. In Bianchi M., Marty D., Bertrand J.C., Caumette P. et Gauthier, M.J. *Microorganismes dans les écosystèmes océaniques*. Ed. Masson. Paris. Chapitre 13 : 343-385

**Bocard C., 2006.** Marées noires et sols pollués par les hydrocarbures. *Enjeux environnementaux et traitement des pollutions*. Edition TECNIP. Paris, 295p.

**Bouacem L., Chabane Ch. 2022.** Etude de l'efficacité d'ajouts organiques dans le compostage d'un sol pollué aux carburants. *Mémoire de Master en écologie et environnement*. UMMTO p27.

**Boucheseiche C., Cremille E., Pelte T. et Pojer K. (2002).** Pollution toxique et écotoxicologique : notions de base. *Guide technique N°7*. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Montpellier (France)

**Bouché, M. B. (1972).** *Lombriciens de France, écologie et systématiques*. INRA, Paris.

**Boukrou. A., Nait Si Ahmed .L.,( 2022).** Effet des ajouts organiques sur l'efficacité de la décontamination d'un sol pollué aux carburants par compostage. Mémoire de Master en Ecologie et Environnement.

**Boukrou A., Nait Si Ahmed L., 2022.** Effet des ajouts organiques sur l'efficacité de la décontamination d'un sol pollué aux carburants par compostage. Mémoire de Master en Ecologie et Environnement. UMMTO. 01p

**Boukrou A., Nait Si Ahmed L., 2022.** Effet des ajouts organiques sur l'efficacité de la décontamination d'un sol pollué aux carburants par compostage. Mémoire de Master en Ecologie et Environnement. UMMTO. 27p

**Boukrou A., Nait Si Ahmed L., 2022.** Effet des ajouts organiques sur l'efficacité de la décontamination d'un sol pollué aux carburants par compostage. Mémoire de Master en Ecologie et Environnement. UMMTO. 28p

### -C-

**Calvet R., .2003.** «Le Sol Propriétés Et Fonctions. Tome. France agricole DUNOD, P 455. Calvet R., (2013). Le sol. Tome 2, Edition France Agricole. P 678

**Carnicer P., 2007.** Pollution ponctuelle des sols : cas des stations-services dans la région de Bruxelles-capitale. Mémoire de fin d'étude. Université libre de Bruxelles, 154p.

**Chalansonnet S., Joyeux G., 2005.** Comportement des hydrocarbures, marées noires et environnement. Edt. Institut d'océanographie, 408p.

**ChassinP., Baize D., Cambier PH. Et Sterckema N T. (1996).** Les éléments traces métalliques et la qualité des sols : impact à moyen et à long terme. Forum « le sol un patrimoine menacé ? ». Paris (France), 297-303.

**Chaîneau C.H., Morel J.L., Oudot J. 1996.** Land treatment of oil- based drill cutting in an agricultural soil. Journal of Environment Quality. 25 : 858-867

**Chaîneau C.H., Morel J.L., Oudot J., 1997.** Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbons. Journal of Environmental Quality. Vol : 26, pp. 1478-1483.

**Colombano S., Saada A., Victoire E., Guerin V., Zornig C., Amalric L., Blessing M., Widory D., Hube D., Blanc C., Honrado J-C., Gassiat B., 2014.** Nature des produits pétroliers et origine du vieillissement : tentative de l'identification de la source via la prise en compte des impacts et l'analyse de l'âge approximatif des déversements. Rapport final BRGM/RP64174-FR, 163p.

**Colin F. 2000 :** pollution localisées des sols et sous-sol par les hydrocarbures et les solvants chlorés. Rapport N° 44, Edition, Tech et doc. Paris. p 417.

**Colombano S., Saada A., Geurin V., Bataillard P., Bellenfant G., Beranger S., Hube D., Blanc C., Zornig C., Girardeau I., 2010.** Quelles techniques pour quels traitements- Analyse coûts bénéfiques. Rapport final BRGM-RP-58609-FR, 399p

**Colombano S., Saada A., Guerin V., Bataillard P., Bellenfant G., Beranger S., Hube D., Blanc C., Zornig C., et Girardeau I., 2010.** Quelles techniques pour quels traitements - Analysent coûts-bénéfiques. Rapport final BRGM-RP-58609-FR. 402p

#### **-D-**

**Dab, W. (2020).** Santé et environnement. Que sais-je.

**Dali M., Iddir O., 2018.** Etude physico-chimique et microbiologique d'un sol pollué par les hydrocarbures avant et après traitement par phytoremédiation. Mémoire de master. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 35p

**Da silva I. G. S., Almeida F. C. G. D., Silva Nathalia M. P. D., Cassaza A. A., Converti A. et Sarubbo L. A., 2020.** **Soil Bioremediation: Overview of Technologies and Trends.** **Energies n°13. Pp.1-25.**

**Dominique J. (1997).** La recherche des polluants dans les sols. Séminaire "Sols Pollués", Paris, France. pp.19-28.

**Demolon A. (1952).** Guide pour l'étude expérimentale du sol. 2ème édition. Gauthier Villars. 251p.

**Demolon A. (1952).** Guide pour l'étude expérimentale du sol. 2ème édition. Gauthier Villars. 251p.

**Dominguez, J., Aira, M., & Gomez-Brandon, M. (2010).**Chapter 5: Vermicomposting: Earthworms Enhance the Work of Microbes Jorge. In *Microbes at Work: From Wastes to Resources* (pp. 1–329).

**Dommergues Y., 1968.** Principes de méthodologie en microbiologie du sol. Nouveaux documents pour une étude intégrée en écologie du sol. Centre National de la Recherche Scientifique, pp. 13-30.

**Duchaufour P. 2001.** Introduction à la science du sol : sol, végétation et environnement 6ème éd. DUNOD. Paris. 331p.

#### **-E-**

**Edwards CA., 2004.** *Earthworm Ecology.* 2nd ed, St. Lucie Press, Boca Raton, USA.

**Edwards, C. A. (1988).** Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms (*Earthworms*; C. A. E. and E. F. Neuhauser., Ed.)

**Environnement Canada, 2004 :** Méthode d'essai biologique : Essais pour déterminer la toxicité de sols contaminés pour les vers de terre *Eisenia andrei*, *Eisenia fetida* ou *Lumbricus terrestris*. Section de l'élaboration et de l'application des méthodes. Centre de technologie environnementale. Rapport (canada. Environnement Canada) SPE 1/RM/43. 163p.

**Erkman, S. (2004).** Vers une écologie industrielle (Vol. 137). ECLM.

#### **-F-**

**Fattal P., 2008.** Pollution des cotes par les hydrocarbures. Presse universitaire de Rennes.498p.

**FAO. (2005).** Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. Documents de Travail Sur Les Terres et Les Eaux - FAO, 1–48. Retrieved from.

**FAO, 2005.** Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole, in: R. V.; Roy Misra, R. N.; Hiraoka, H. (Eds.), Documents de travail sur la Terre et les Eaux. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 36.

**Fezani S. et khider F. 2007.**Toxicité des hydrocarbures vis-à-vis des plantes, leurs caractérisations et leurs effets sur la microflore du sol. Mémoire d'Ingénieur D'état en biologie. UMMTO. 73p.

**FokouMbogne P., 2017.**Biorémediation augmentée de sols contaminés aux hydrocarbures lourds pas ajout de substrats organiques. Mémoire de master. Génie de l'environnement. École de technologie supérieure université de Québec. 79p.

**Francou C., Villio M., Houot S. 2007.** Influence de la nature des déchets compostés sur la vitesse de stabilisation de la matière organique au cours du compostage. Techniques Sciences Méthodes 5:35-43.

#### **-G-**

**Garba O., Mella M. T., Kiara S. A., Grema M. H. I., Zanguina A. 2020.** Valorisation de glume de mil et balle de riz par compostage : caractérisations physico-chimiques des composts. Afrique Science 17(4) :29-38.

**Garg, V. K., Gupta, R., &Yadav, A. (2009).** Vermicomposting technology for solid waste management Potential benefits of vermicomposting. Environmental Science and Engineering, (Table 1), 1–15.

**Garau, M., Sizmur, T., Coole, S., Castaldi, P., &Garau, G.(2022).**Impact of *Eisenia fetida* earthworms and biochar on potentially toxic element mobility and health of a contaminated soil. Science of The Total Environment, 806, 151255.

**Ghabeb Z., Moukrani K., 2019.** Amélioration de la qualité physico-chimique est bactériologique par filtre élaboré des eaux des forages de Boukhalfa.

**Guermouche M'rassi A., 2014.** Caractérisation moléculaire des bactéries impliquées dans la biodégradation des hydrocarbures. Thèse de doctorat. Université d'Oran, 153p.

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

**Girard M C., Walter C., Remy J.C., Berthelin J., Morel J.L., 2009.** Sol est environnement. Édition DUNOD, Paris. 804p.

**Girard M. C., Walter, C., Rémy, J. C., Berthelin, J., et Morel, J.-L., 2011.** Sols et environnement. 2ème édition. Dunod. 881 p.

**Gomez D., 2010:** Etude approfondie de l'influence de la nature chimique des fine polluants d'hydrocarbure sur le calcul de risque sanitaire. Mémoire de fin d'études ingénieur du génie sanitaire. Ecole de haute étude en santé publique .74p.

**Goswami M., Prosun T., Chakraborty P., Mukherjee K., Mitra G., Bhattacharyya P., et Dey S., 2018.** Bioaugmentation and Biostimulation: A Potential Strategy for Environmental Remediation. Journal of Microbiology & Experimentation n°6. 5p.

#### **-K-**

**Khellout et Settouf. , (2004-2010).** Impact de la pollution par le pétrole sur la stabilité structurelle d'un sol, p13.

**Kemmoum K., 2019.** Valorisation agronomiques d'un déchet agroalimentaire.

**Koller E. 2004.** Traitement des pollutions industrielles : eau, air, déchets, boues. Ed. DUNOD. Paris. 299p

**Koller E., 2009.** Traitement des pollutions industrielles (eau, air, déchet, sol, boues). Edition DUNOD. Paris. 424p.

**Koshlaf E., et Ball A., 2017.** Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments. AIMS Microbiology n°3(1). pp. 25-49.

#### **-L-**

**Lemière B., Seguin J.J., Le Guern C., Guyonnet D., Baranger Ph., Darmendrail D., Conil P., 2001.** Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Application dans un contexte d'Evaluation Détaillée des Risques pour les ressources en eau. Rapport BRGM/RP-50662-FR, 103p.

**Len J., Gawel Ph.D., 2001.** A guid for remediation of salt/hydrocarbon impacted soil. North Dakota Industrial Commission. Department of Mineral Resources Bismarck, ND 58505-0840, 50p

**Legros J.P.,2007.** Les Grands Sols Du Monde. Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes. lausanne, P574.

**Liegui., 2019.** Vermicompostage : Une alternative durable de valorisation des déchets organiques ménagers en maraichage périurbain à Yaoundé (Cameroun). Master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain, Gembloux Agro-Bio Tech.

**Louati H., 2013.** Etude de la bioremédiaion des sédiments contaminés par des hydrocarbures aromatiques polycyclique : Impacte écologique sur la microflore et la miofaune de la lagune de Bizerte. Thèse de doctorat. Science biologique. Université de Carthage et Montpellier II. 180p

**Lores, M., Gómez-Brandón, M., Pérez-Díaz, D., & Domínguez, J. (2006).** Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(9), 2993–2996.

#### **-M-**

**Marchal R., Penet S., Solana-Serena., Vandecasteele J.P., 2003.** Gasoline and Diesel Oil Biodegradation. *Oil & Gas Science and Technology-Rev. IFP*. Vol: 58, N°4, pp. 441-448.

**Mazziotti M., 2017.** Impact des exsudats racinaires de *Miscanthus x giganteus* sur les microorganismes impliqués dans la bioremédiation d'un sol contaminate au benzo anthracène. Thèse de doctorat. Ressources, Procédés, Produits, Environnement. Université de Lorraine. Collegium Sciences et Technologies Ecole Doctorale RP2E. 89p.

**Madeleine I., Peter d. S., Tim T., Tom V. 2005.** La fabrication et l'utilisation du compost. 6ème édition, Fondation Agromisa, Wageningen, 73 p.

**Militon C., 2007:** caractérisation des communautés procaryotique impliquent dans la bioremediation d'un sol pollué par des hydrocarbures et développements d'outils d'analyse a haut débit: les biopuces ADN. Thèse doctorat. Université Blaise Pascal. 240p.

**Mustin M. 1987.** Le Compost, gestion de la matière organique. Ed Francois Dubusc.954p

**Morel., 1997.** Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbons. *Journal of Environment Quality*. Vol : 26.pp:1478-1483

#### **-N-**

**Neff J. M., Ostazeski S., Gardiner W., et Stejskal I., 2000:** Effects of weathering on the toxicity of three offshore Australian crude oils and a diesel fuel to marine animals. Environmental Toxicology and Chemistry. Vol.19. N° 7 pp: 1809-1821.

**-O-**

**Origon N., Wicherec S. et Hoyat M., 2012.** Réhabilitation des sites pollués par phytoremédiation. Revue électronique en science de l'environnement. Vertigo. n°12. pp. 40-51.

**Ouanough N, Benhalima., 2022.** Étude bibliographique sur la bioremédiation des déchets industriels par le genre Aspergillus (Doctoral dissertation).

**-P-**

**Patej S. 2002.** Etude de scénarios dangereux en stations-service. Rapport final. Direction des risques accidentels. INERIS. DRA-40862 : 9-12.

**Pouclet, C., & Maurille-Biron, A. (2021).** Petite bible de santé environnementale-Le guide pour chasser les polluants, préserver sa santé... Thierry Souccar.

Prof. Dr MSc. DMV Delphin Olorounto KOUDANDE, 2013 ; Production et Utilisation de Compost et Gestion des Résidus de Récolte. Consulté le 18/06/2023.

**-Q-**

**Quentin M., Futura planète.** <<https://www.futurasciences.com/planète/définitions/developpement-durable-bioremediation-14291/>> 18/06/2021.

**-R-**

**Ramade R., 2000.** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ediscience international. Paris (France), 58-365

**Ramade F., 2007.** Introduction à l'écotoxicologie. Fondements et applications. Edition TEC & DOC. Paris, 618p.

**-S-**

**Saada A., Nowak C., et Coquereau N., 2005 :** Etat des connaissances sur l'atténuation naturelle des hydrocarbures. Rapport intermédiaire résultat de la phase 1. P.102.

**Saad D., Dendani T., 2017.** Les effets des hydrocarbures sur quelques propriétés physicochimiques et biologiques du sol. Cas de la station-service de Fréha. Mémoire de master. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 44p.

**Schadeck S., Vanderheyden V. et Kreit F. (2007).** Pollution locale des sols en Région Wallonne, Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement Wallon

**Soltani M., 2004:** Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram-négatives hydrocarbon oclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse Doctorat. Université de Paris 6. 284p.

**Sposito G., 1997.**The chemical composition Of Soils. The chemestery of soils. Oxford university press.New-York:3-27

**Sierra J., Gladys L-M., Franck solvara, N., Badric et Arquetc R,2011,** Le vermicompostage en Guadeloupe , 5 P.

**Saï., 2021.** Essai de la décontamination d'un sol pollué aux carburants par compostage en utilisant des boues activées. Mémoire de Master en Ecologie et Environnement.

**St-pierre M.A ., 1998-** Lombricompostage de fientes de poulet et de résidus de scierie , 28-36 P.

**Sofia, N.,Masin,C.E., Zalazar,C.S., &Lescano, M.R (2022).**Bioremediation of hydrocarbon contaminated soil using local organic materials and earthworms. Environmental Pollution, 314, 120169.

#### **-T-**

**Tejeda M., Gonzalez J.L., Hernandez M.T., Garcia C., 2008.** Application of different organic amendments in a gasoline contaminated soil (Effect on soil microbial properties). Bioresource Technology. Vol.8. N°99. pp: 282-290.

**Tighrine T., Saï., 2021.** Essai de la décontamination d'un sol pollué aux carburants par compostage en utilisant des boues activées. Mémoire de Master en Ecologie et Environnement.

**Tighrine T., Saï., 2021.** Essai de la décontamination d'un sol pollué aux carburants par compostage en utilisant des boues activées. Mémoire de Master en Ecologie et Environnement.UMMTO.02p.

**Tissot B., Welte D. 1984.** Petroleum formation and occurrence. Springer, Berlin. 368 pp.  
USEPA., 1998: "Guidelines for ecological risk assessment". Washington, DC: Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Agency, 114p. EPA/630/R-95/002F

#### **-V-**

**Vogel T., 2001** : Biorestauration des sols et des aquifères contaminés par des hydrocarbures et des composés halogénés. Bull.Soc.Fr.Microbiol.Vol. 16.pp: 204-209.

**Vandecasteele, J. P. (2005)**. Biodégradation des hydrocarbures aliphatiques et alicycliques. In: Microbiologie Pétrolière. Edited by E. Technip. Paris. P173-239Bénin



# Les annexes

## Résultat de test

**Tableau I** : Résultat de taux de mortalité des vers de terre

Sol	Nombre d'individus		Juvénile	Adulte	Taux de mortalité (%)
	Avants	Après			
Sol B1	50	55	20	35	30
Sol B2	50	51	12	39	22
Sol B3	50	47	13	34	32
Sol C1	50	72	49	23	54
Sol C2	50	68	39	29	42
Sol C3	50	65	35	30	40

**Tableau II** : Résultat de test Biomasse des vers de terre

Sol	T <sub>0</sub> (g)	4 Semaine (g)
Sol B1	23.01	22.33
Sol B2	21.42	21.21
Sol B3	21.46	21.12
Sol C1	9.33	8.94
Sol C2	7.88	8.30
Sol C3	9.43	9.43

**Tableau III** : Résultat taux de germination des graines de maïs

Sol	Taux de germination(%)
Sol A1	90
Sol A2	100
Sol A3	90
Sol B1	90
Sol B2	90
Sol B3	90
Sol C1	80
Sol C2	80
Sol C3	100

**Tableau IV : Résultat de test d'activité biologique**

Sol	V acide HCL (ml)	Quantité de CO <sub>2</sub> dégagée (g/100g du sol)
Sol A1	7.4	5.72
Sol A2	6.5	7.7
Sol A3	7	6.6
Sol B1	4.5	12.1
Sol B2	5.2	10.56
Sol B3	2.7	16.06
Sol C1	5.4	10.12
Sol C2	5.6	9.68
Sol C3	5.5	9.9

**Tableau V : Résultat de test d'activité catalase (le volume de KMnO<sub>4</sub> qui a réagi avec le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)**

Sol	Volume KMnO <sub>4</sub> (ml)
Sol A1	1.5
Sol A2	1.5
Sol A3	1.5
Sol B1	1.1
Sol B2	1.3
Sol B3	1.4
Sol C1	1.2
Sol C2	1.3
Sol C3	1.1

### Résultats des analyses statistiques des bio-essais.

#### Annexe 1: Résultat de taux de mortalité des vers de terre

```
> t.test(TMV[trt=="B"],TMV[trt=="C"],var.equal=TRUE)

Two Sample t-test

data: TMV[trt == "B"] and TMV[trt == "C"]
t = -3.25, df = 4, p-value = 0.03138
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -32.141041 -2.525626
sample estimates:
mean of x mean of y
 28.00000  45.33333
```

## Annexe 2 : Résultat de test Biomasse des vers de terre

```
> t.test(croissance[trt=="B"],croissance[trt=="C"],var.equal=TRUE)
```

Two Sample t-test

```
data: croissance[trt == "B"] and croissance[trt == "C"]
t = -0.70021, df = 4, p-value = 0.5224
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -1.1585373  0.6918707
sample estimates:
 mean of x  mean of y
-0.4100000 -0.1766667
```

```
> |
```

## Annexe 3 : résultat de la reproduction des vers de terre des deux espèces

```
> var.test(juvenile~trt)
```

F test to compare two variances

```
data: juvenile by trt
F = 0.36538, num df = 2, denom df = 2, p-value = 0.5352
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 0.009368836 14.250000000
sample estimates:
ratio of variances
 0.3653846
```

## Annexe 4 : Résultat de test d'activité biologique

```
> reg.aov1=lm(AB~trt)
> anova(reg.aov1)
Analysis of Variance Table

Response: AB
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
trt     2  27.3299  13.6649   14.688 0.004879 **
Residuals 6   5.5821   0.9304
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> |
```

```
$groups
      AB groups
B 10.706667    a
C  9.900000    a
A  6.673333    b
```

### Annexe 5 : Résultat de test d'activité catalase

```
> reg.aov1=lm(AC~trt)
> anova(reg.aov1)
Analysis of Variance Table

Response: AC
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
trt    2  0.182689  0.091344   7.605 0.02264 *
Residuals 6  0.072067  0.012011
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> |
```

```
$groups
      AC groups
A 1.530000    a
B 1.266667    b
C 1.200000    b
```

### Annexe 6 : Résultat de test germination des grains maïs

```
> kruskal.test(TG~trt)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  TG by trt
Kruskal-Wallis chi-squared = 1.3333, df = 2, p-value = 0.5134
```

```
$groups
      TG groups
A 93.33333    a
B 90.00000    a
C 86.66667    a
```

## **Résumé**

L'objectif de notre travail est l'utilisation du vermicompostage pour la décontamination d'un sol pollué aux carburants (cas station-service) car il offre plusieurs avantages potentiels. Cette méthode utilise des vers de terre pour décomposer et transformer les contaminants présents dans le sol, réduisant ainsi leur concentration et leur toxicité.

Deux espèces de vers de terre ont été utilisées : *Eisenia foetida* et *Allolobophora chlorotica*.

Les résultats obtenus montrent qu'il n'y ait pas une mortalité élevée des vers de terre dans le sol traité avec l'espèce *A.chlorotica* indique une élimination importante des hydrocarbures initialement présents dans le sol et une amélioration de la qualité du sol. En ce qui concerne la croissance et la reproduction des vers de terre, il est observé dans le sol traité avec l'espèce *E.foetida* qu'il y a une faible perte de biomasse et un nombre élevé de juvéniles, ceci étant le signe d'une décontamination plus importante dans ce sol et que cette espèce a un cycle de reproduction élevé.

**Les mots clés** : vermicompostage, sol pollué, carburant.

## **Abstract**

The objective of our work is the use of vermicomposting for the decontamination of soil polluted with fuels (gas station case) because it offers several potential advantages. This method uses earthworms to break down and transform contaminants in the soil, reducing their concentration and toxicity.

Two species of earthworms were used: *Eisenia foetida* and *Allolobophora chlorotica*.

The results obtained show that there is no high mortality of earthworms in the soil treated with the species *A. chlorotica* indicates a significant elimination of the hydrocarbons initially present in the soil and an improvement in the quality of the soil. With regard to the growth and reproduction of earthworms, it is observed in the soil treated with the species *E.foetida* that there is a low loss of biomass and a high number of juveniles, this being the sign of greater decontamination in this soil and that this species has a high reproductive cycle.

**Key words**: vermicomposting, polluted soil, fuel.