

République Algérienne Démocratique et Populaire.
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique.
Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.
Faculté des Sciences Biologique et des Sciences Agronomiques.
Département des Sciences Biologiques.



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Ecologie et environnement
Spécialité : Biodiversité et Environnement

Etude de l'efficacité d'ajouts organiques dans le compostage d'un sol pollué aux carburants

Présenté par : M^{me} BOUACEM Lyna

M^{me} CHABANE Chahinez

Devant les membres de jury :

Présidente : M ^{me} SADOUDI-ALI AHMED D.	Professeur	U.M.M.T.O
Promotrice : M ^{me} ALI AHMED S.	M.C.B.	U.M.M.T.O
Examinatrice : M ^{me} CHAOUCHI-TALMAT N.	M.C.A.	U.M.M.T.O

Soutenu le 29/09/2022

Remerciements

Nous commençons par remercier Dieu le Tout Puissant pour nous avoir donné le courage, la volonté, l'amour du savoir et surtout la patience pour pouvoir produire ce modeste travail.

C'est pour nous autant un plaisir qu'un devoir d'exprimer notre gratitude et notre reconnaissance à Mme ALI AHMED S., Maitre de Conférences B à la FSBSA de l'UMMTO, qui nous a orientées et guidées afin de mener à bien ce travail. Nous voulons vraiment la remercier car nous avons eu beaucoup de chance de l'avoir comme promotrice.

Nous remercions aussi très sincèrement les membres du jury ; la présidente Mme SADOUDI D., Professeur à la FSBSA de l'UMMTO, et l'examinatrice Mme CHAOUCHI-TALMAT N. Maitre de Conférences A à la FSBSA de l'UMMTO, pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous exprimons notre reconnaissance à Mme SADOUDI, Directrice du laboratoire PSEMRVC, pour nous avoir permis de réaliser notre travail dans son laboratoire, ainsi que Mme ABROUS H., Ingénieur du laboratoire, pour sa disponibilité et son aide.

Nous voudrions aussi témoigner notre reconnaissance et exprimer toute notre gratitude aux ingénieurs des laboratoires communs I et II, et à nos enseignants qui ont participé à notre formation.

Enfin, nous tenons à remercier toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et à tous ceux qui nous ont apportées leur aide.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

Mes très chers parents

Les mots me manquent pour vous qualifier, tous ce que j'aurais à dire ne saurait exprimer à fond tout le sacrifice et l'endurance que vous avez du subir pour nous élever. Vous m'avais aidé à tracer mon chemin dans ce monde, mes études et mon bien... Que Dieu le tout puissant vous accordent longue vie, bonne santé et bonheur à nos cotés et qu'il puisse me donner les moyens nécessaires pour affronter les épreuves de la vie.

A mon frère Yanis et ma sœur Sonia.

Je vous remercie tous pour ce que vous avez fait pour moi, votre soutien a sans doute été important pour le bon déroulement de mes études.

Mon fiancé

Qui m'a soutenu moralement et aidé.

Mes cousines et cousins

Toutes mes amies et amis.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit réalisé...

Avec mes sincères remerciements.

Chahinez

Je dédie ce modeste travail

A mon Père

Vous avez fait d'énormes sacrifices pour vos enfants et vous n'avez jamais cessé de nous prodiguer des conseils pour le droit chemin, que votre simplicité et votre disponibilité, et votre respect pour les autres me servent d'exemples.

A ma Mère

Les mots me manquent pour vous qualifier, tous ce que j'aurais à dire ne saurait exprimer à fond tout le sacrifice et l'endurance que vous avez du subir pour nous élever.

Je vous demande pardon et vos bénédictions nuits et jours. je ne saurais jamais vous remercier assez. Seul Dieu peut vous gratifier de tout ce que vous avez fait pour nous. Que Dieu le tout puissant vous accorde longue vie, bonne santé et bonheur à nos cotés et qu'il puisse me donner les moyens nécessaires pour affronter les épreuves de la vie.

A mon frère Walid

A mes sœurs Asmaa, Keltoum et son époux, Nesrine, Fatima et Imen.

Je vous remercie tous pour ce que vous avez fait pour moi, votre soutien a sans doute été important pour le bon déroulement de mes études.

A toutes mes amies

Pour m'avoir constamment soutenu moralement et m'encourager à aller vers l'avant, face aux difficultés rencontrées.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études.

A mes camarades de la promotion

Pour tout ce que nous avons partagé, échangé ensemble. Que Dieu nous réserve de très belles surprises dans notre vie.

LYNA

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
1-Pollution du sol	3
1.1. Définition de la pollution	3
1.2. Définition de la pollution du sol	3
1.3. Les principaux polluants	3
2. Les carburants	4
2.1. Définition	4
2.2. Classification des différents carburants et leurs compositions	4
3. Hydrocarbures	5
3.1. Définition des hydrocarbures	5
3.2. Pollution du sol par les hydrocarbures	5
3.3. Devenir des hydrocarbures dans le sol	5
4. dépollution des sols contaminés aux hydrocarbures	7
4.1. Traitements abiotiques	7
4.2. Traitements biotiques	8
5. Compostage	9
5.1. Définition	9
5.2. Compostage des sols pollués	9
5.3. Processus du compostage	9
5.4. Phases de compostage	10
Chapitre II : Matériels et méthodes	
1. Matériels	11
1.1. Sol	11
1.2. Matériels végétal	11
1.3. Vers de terre	11
1.4. Matières organiques utilisées	12
2. Méthodes	12
2.1. Méthodes d'échantillonnage	12
2.2. Compostage du sol	13
2.3. Tests de toxicité	13

2.4. Mesure de l'activité biologique du sol.....	15
2.5. Analyse statistique des données	17

Chapitre III : Résultat et Discussion

1. Résultats.....	18
1.1. Tests de toxicité.....	18
1.2. Effets du compostage sur les paramètres biologiques du sol	20
2. Discussion.....	21
Conclusion	23
Références bibliographiques.....	24
Résumer	

Liste des figures

Figure 1 : Devenir d'un polluant organique au niveau du sol	5
Figure 2 : Image satellite de la station service de Boukhalfa	11
Figure 3 : Schéma du dispositif expérimental	13
Figure 4 : Dispositif expérimental du test de toxicité aigüe sur les vers de terre	14
Figure 5 : Protocole de mesure de la respiration microbienne de sol	15
Figure 6 : Protocole de dosage de l'activité de la catalase.....	16
Figure 7 : Taux de germination des graines de maïs dans les différents composts.....	18
Figure 8 : Biomasse des vers de terre de l'espèce <i>E. fetida</i> dans les différents sols après 14 jours d'exposition.....	20
Figure 9 : Biomasse microbienne dans les différents sols.....	20
Figure 10 : Activité de catalase dans les différents sols.....	21

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classes des différentes hydrocarbures.....	4
Tableau 2 : Les différents traitements de bioremédiation	8
Tableau 3 : Taux de survie des vers de terre de l'espèce <i>Eisenia fetida</i>	19

Liste des abréviations

F : Fumier.

S : Sciure.

P : Paille.

G : Grignon d'olive

T : Témoin.

Hc : Hydrocarbures.

Tg : Taux de germination.

N : Normale.

CAT : Activité de catalase.

Tr/mn : Tour par minute.

T.O : Tizi Ouzou.

Introduction

Introduction

Les polluants ou facteurs de pollution du sol sont très nombreux, leurs intensité et leurs effets sont changeants, dans le temps comme dans l'espace. Parmi les plus répandus se trouvent les hydrocarbures (Koller, 2009). Les sites contaminés par des hydrocarbures peuvent présenter un risque de transfert de contaminants vers des cibles sensibles telles que les ressources en eau, les écosystèmes et l'Homme.

Les traitements mis en œuvre pour dépolluer les sols sont nombreux et parmi eux certaines visent à immobiliser la pollution, d'autres à l'extraire ou à la détruire. On les classe généralement en quatre familles : les traitements physiques, chimiques, thermiques et biologiques.

Les méthodes physico-chimiques sont le plus souvent coûteuses et présentent parfois des effets indésirables. D'autre part, l'efficacité et le faible impact écologique qu'offrent certaines méthodes biologiques, basées sur les capacités "épurations" de certains organismes dont les microorganismes, soutiennent leur développement pour la prise en charge des sites et sols pollués (Quentin, 2019).

Parmi ces biotechnologies, le compostage qui est un procédé utilisant des microorganismes aérobies et thermophiles, traditionnellement utilisés pour dégrader les déchets végétaux en agriculture et les transformer en produits moins volumineux riches en nutriments et pouvant servir de réutilisation d'engrais. Le procédé peut être appliqué aux sols contaminés (Chen et al., 2015 in Nouri et al., 2016).

Des travaux ont été réalisés à l'UMMTO portant sur l'effet de l'ajout de la sciure de bois et du grignon d'olive (Boukerou et Nait Si Ahmed, 2022) et des boues activées (Sai et Tigrine, 2021) sur l'efficacité du compostage de sols pollués aux carburants.

L'objectif du présent travail consiste à comparer l'efficacité de trois ajouts organiques (fumier, grignon d'olive et paille), associés à la sciure de bois, dans le compostage d'un sol pollué aux carburants prévenant d'une station-service. Cette efficacité a été évaluée par des bio-essais (test de germination, test de toxicité sur les vers de terre et activité biologique du sol)

Le présent mémoire se subdivise en trois chapitres :

Le premier représente une synthèse bibliographique sur la pollution du sol, les carburants, et les différents procédés de décontamination.

Introduction

Le deuxième chapitre comporte la présentation de la station d'étude, les méthodes et le matériel utilisés dans nos expériences.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus et leur discussion. Ce travail se termine par une conclusion comportant quelques perspectives.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1-Pollution du sol

1.1. Définition de la pollution

La pollution est une modification néfaste de l'environnement naturel, qui se manifeste en tout ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, par des effets directs ou indirects altérant la distribution des flux d'énergie, les niveaux de rayonnement, l'abondance des espèces, etc. (Ramade, 1992).

1.2. Définition de la pollution du sol

La pollution du sol est définie comme l'accumulation des composés toxiques persistants tels que les produits chimiques, les sels, les matières radioactives ou les agents pathogènes dans le sol qui ont des effets néfastes sur la croissance des plantes et la santé animale (Okrent, 1999).

1.3. Les principaux polluants

1.3.1. Polluants minéraux

Les métaux lourds sont des minéraux identifiés comme tels en raison de leur haute densité. Plusieurs métaux, comme le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le chrome (Cr) le nickel (Ni), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) peuvent se trouver dans les sols. Leur accumulation est responsable de la pollution des sols. Ils sont non biodégradables cumulatifs et toxiques lorsqu'ils sont présents en grande quantité (Khellout, 2004).

1.3.2. Polluants organiques

La plupart des contaminants organiques sont générés par l'activité humaine. Néanmoins, certains contaminants peuvent avoir une origine naturelle telle que les incendies de forêts, de prairie (Barriuso et al., 1996), les éruptions volcaniques, mais ils sont aussi produits par les végétaux, essentiellement les hydrocarbures aliphatiques, qui se trouvent, dans les cires des végétaux supérieurs ou par les algues, les résines et les déchets microbiens. D'autres contaminants peuvent avoir des sources anthropiques car ils sont majoritaires (Thiele et Brümmer, 2002 ; Wilcke, 2007) tels que le processus de production et de dispersion de matières créosotées, les industries des hydrocarbures et associé(e)s (brai de goudron, asphalte et épandage de boues) (Whitacre et al., 2008 *in* Técher, 2011), les accidents de la route, la mise en décharge non contrôlée (Chaineau et al., 2000); les retombées atmosphériques dans les zones urbaines et industrielles ou leur périphéries (hydrocarbures volatils, imbrulés de combustions diverses) (Bocard, 2006).

2. Carburants

2.1. Définition

Ce sont des mélanges de plusieurs produits chimiques et de dizaines d'hydrocarbures (Hugop, 2006). Le carburant utilisé dans les automobiles est constitué d'un mélange d'hydrocarbures (97-98%), dont les principaux constituants chimiques sont le carbone (C) et l'hydrogène (H) ainsi que les résidus (2-3%) d'impuretés et d'additifs (eau, alcool de plomb soufré) (Ballerini et al., 2019 *in* Khimeche et Oudai, 2019).

2.2. Classification des différents carburants et leurs compositions

Les différentes classes des hydrocarbures sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Classes des différents carburants (Nyer et al., 1998).

Produits	Composants majeures
Gaz	Alcanes ramifiés et non ramifiés contenant 1 à 15 atomes de carbone
Essence	Hydrocarbures ramifiés et non ramifiés contenant 6 à 10 atomes de carbone, des cyclo-alcanes et les alkyl-benzènes
Kérosène /diesel	Hydrocarbures contenant 11 à 12 atomes de carbone
Gazoles légères	Incluent le diesel et les huiles de moteurs. Constituées d'hydrocarbures contenant 12 à 18 atomes de carbone avec un faible pourcentage d'alcanes. Contiennent les oléfines telles que les styrènes qui incluent le diesel et les huiles de moteurs
Gazole lourdes et huiles lubrifiantes légères	Hydrocarbures contenant 18 à 25 atomes de carbone
Lubrifiants	Hydrocarbures contenant 26 à 38 atomes de carbone
Asphaltes	Composés lourds polycycliques

3. Hydrocarbures

3.1. Définition des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont constitués de chaînes moléculaires d'atomes de carbone et d'hydrogène (Fattal, 2008).

3.2. Pollution du sol par les hydrocarbures

L'exploitation des hydrocarbures nécessite et engendre des opérations et activités importantes qui perturbent notre environnement provoquant des effets néfastes pour la santé humaine.

D'après Benchouk (2017), la pollution par les hydrocarbures est en général :

- une pollution chronique : ce sont des rejets contenant des produits raffinés, pendant des opérations d'entretiens des ravines ;
- une pollution accidentelle : la plus répandue est celle de déversements du pétrole brut ou ses produits de distillation dans l'environnement.

3.3. Devenir des hydrocarbures dans le sol

C'est par des processus physiques, chimiques et biologiques que les hydrocarbures peuvent être déplacés, transformés ou éliminés après avoir été diffusés dans l'environnement (fig. 1).

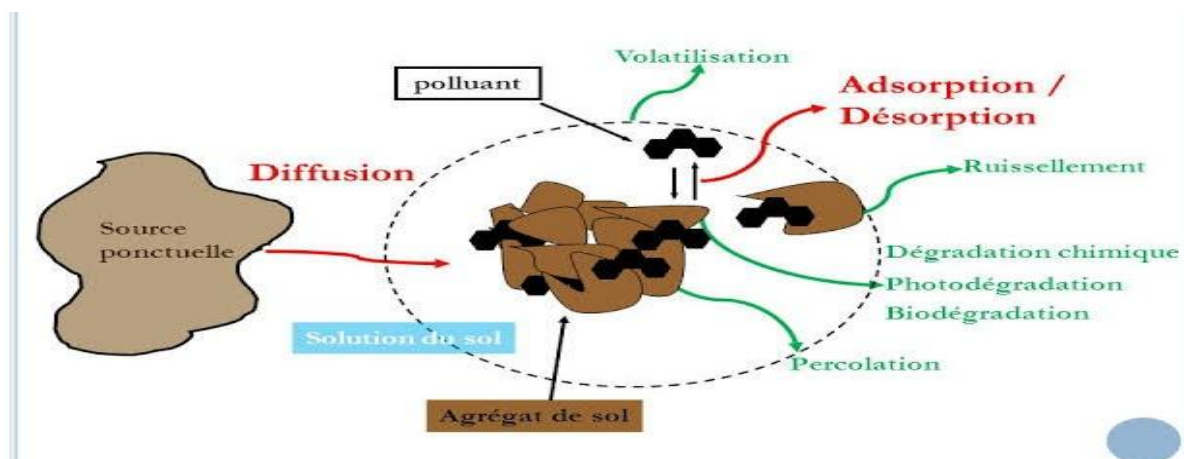


Figure 1 : Devenir d'un polluant organique au niveau du sol (Pernot et al., 2012).

3.3.1. Transformations abiotiques

Les pertes abiotiques des hydrocarbures sont entièrement dues à des phénomènes physiques et chimiques. Cela peut entraîner une perte de 20% des composés aromatiques à 2 et 3 cycles dans le sol (Park et al., 2001 *in* Guermouche-M'rassi, 2014).

Les facteurs des transformations abiotiques peuvent principalement se traduire par :

3.3.1.1. Volatilisation

La transformation d'un hydrocarbure fluide à sa forme gazeuse est plus ou moins longue.

Elle dépend des conditions climatiques et du type d'hydrocarbure. Ainsi l'essence et le gasoil se volatilisent totalement et plus rapidement dans des températures ambiantes chaudes (Fattal, 2008).

3.3.1.2. Dissolution :

Elle détermine la tendance d'une substance à se dissoudre dans l'eau. Plus la solubilité est grande, plus la substance sera susceptible de se dissoudre dans les eaux souterraines et à migrer loin de la zone source. Les polluants les plus solubles sont en général plus facilement biodégradables (Gomez, 2010).

3.3.1.3. Sorption

Les polluants restent en phase gazeuse ou en solution, après avoir pénétré dans le sol. Puis ils seront fixés par le sol en fonction de leur solubilité dans l'eau, de leur structure moléculaire, de leur groupe fonctionnel et en fonction des caractéristiques du sol.

Les substances les plus lourdes (densité supérieure à celle de l'air) se déplacent se haut en bas, tandis que les plus légères sont transportées vers le haut (Koller, 2009).

3.3.1.4. 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 (Park et al., 2001 *in* Guermouche, 2014).

3.3.2. Dégradation biotique

La biodégradation des hydrocarbures se produit dans des environnements aérobies et anaérobies grâce à des micro-organismes, principalement des bactéries et/ou des champignons qui puisent dans le pétrole leur alimentation (Fattal, 2008).

4. Dépollution des sols contaminés aux hydrocarbures

La dépollution des sols a pour but de restituer le plus proche que possible le site à son état d'avant la contamination. Les traitements recommandés peuvent être classés en trois familles selon Perchet (2008) *in* Nouri et al. (2016) :

Les procédés "in situ", réalisés dans le sol en état.

Les procédés "on site" ou "sur le site" : traitement sur place des sols excavés.

Les procédés "hors site" ou "off site" ou "ex situ" nécessitant l'évacuation.

Deux types de traitements sont possibles :

4.1. Traitements abiotiques

4.1.1. Procédés physiques

Constituent la grande majorité des technologies mises en œuvre. Aujourd'hui, ils incluent en principe le transfert et la concentration des pollutions vers des points de récupération sans les modifier ni les détruire, en se servant pour leur transport des fluides présent dans le sol ou injectés. Les procédés d'extraction, de lavage et de confinement sont les plus couramment utilisés (Colin, 2000).

4.1.2. Procédés chimiques

Les techniques chimiques visent à détruire les polluants ou à les transformer en une forme moins nocive pour l'environnement en les faisant réagir chimiquement avec des réactifs ajoutés (Colin, 2000).

4.1.3. Procédés thermiques

Le traitement thermique est principalement utilisé pour la purification ex-situ des sols contaminés par des matières organiques facilement oxydables, qui peuvent être converties en dioxyde de carbone et en eau dans une large mesure (Colin, 2000).

4.2. Traitements biotiques

Dans le cas des sols contaminés, les procédés biologiques sont réalisés par phytoremédiation ou bioremédiation (Girard et al., 2005).

4.2.1. La phytoremédiation

Le terme phytoremédiation est largement accepté pour inclure toutes les méthodes basées sur l'utilisation de plantes supérieures pour éliminer la pollution.

4.2.2. La bioremédiation

Les techniques de bioremédiation exploitent les propriétés de décontamination des micro-organismes endogènes ou exogènes (principalement des bactéries, mais aussi des champignons) dans les terres contaminées (Boopthy, 2000 in Nouri et al., 2016). Les différentes technologies utilisées dans la bioremédiation sont résumés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Les différents traitements de bioremédiation (Vidali, 2001).

Techniques	Principes
Bioaugmentation	Addition d'une culture des bactéries dans le milieu contaminé. Utilisée couramment dans les bioréacteurs et le système ex-situ.
Biofiltration	Utilisation d'un bio filtre pour traiter les émissions gazeuses.
Biostimulation	Stimulation des populations de micro-organismes indigènes, présentes dans le sol ou les eaux souterraines, elle peut être utilisée in-situ ou ex-situ.
Bioréacteur	Déroulement de la biodégradation dans des réacteurs ou bassins.
Biolixiviation	Excavation de la couche à dépolluer, son emballage dans une membrane étanche. Apport de nutriments indispensables aux microorganismes et au sol. Utilisée pour la dépollution des métaux non dégradables.

5. Compostage

5.1. Définition

C'est une technique qui utilise des amendements organiques (fumier, résidus de plantes, les boues d'épuration et autres déchets agricoles) pour la dégradation aérobie des polluants, généralement à des températures élevées (Macaulay et Rees 2014).

Cette technique met en œuvre des micro-organismes aérobies et thermophiles et qui est traditionnellement utilisé pour dégrader des déchets végétaux issus de l'agriculture et les transformer en un produit moins volumineux, enrichis en éléments nutritifs et qui peut être réutilisé comme engrais.

5.2. Compostage des sols pollués

C'est une technique utilisée pour les sols contaminés par les hydrocarbures. Elle consiste à mélanger des terres (sols) avec un compost adapté afin de favoriser la dégradation des contaminants. C'est un procédé ex situ.

Il repose sur trois points :

- Aération du sol.
- Satisfaire les besoins des micro-organismes en nutriments.
- Assurer une bonne croissance des micro-organismes.

5.3. Processus de compostage

Le compostage au sens strict consiste à favoriser la décontamination des matières organiques, elles peuvent être d'origine animale (lisier de porc, ...) ou végétale (légumes, fruits, ...). Ce procédé peut être appliqué à un sol contaminé.

Le sol excavé est placé sur une membrane imperméable et a traversé un drain pour permettre une ventilation forcée dans la masse. Les nutriments qui profitent à la communauté microbienne sont apportés en solution par des arroseurs. La phase aqueuse qui s'infiltré à travers tout le tas de sol est drainée à sa partie la plus basse par un drain. Le sol à traiter peut également être enrichi de différents substrats organiques destinés à favoriser l'aération du sol et l'activité microbienne.

5.4. Les phases du compostage

Le compostage est accompagné de production de chaleur. Il est largement admis depuis longtemps que la chaleur générée au sein du compost est essentiellement d'origine biologique, c'est à dire due à l'activité microbienne (Waksman et al., 1939 *in* Cédric, 2003).

5.4.1. Phase mésophile est la phase initiale du compostage. Durant les premiers jours de compostage, la présence de matières organiques facilement biodégradables entraîne une forte activité microbienne (bactéries et champignons) générant une forte production de chaleur et une montée rapide de la température au cœur du compost (Leclerc, 2001).

5.4.2. Phase thermophile les micro-organismes thermorésistants (des bactéries essentiellement) peuvent survivre à ces hautes températures. Au cours de cette phase, une part importante de matière organique est perdue sous forme de CO₂, et un assèchement du compost lié à l'évaporation de l'eau est souvent observé (Leclerc, 2001).

5.4.3. Phase de refroidissement succède la phase thermophile. La diminution de la quantité de matières organiques facilement dégradables provoque un ralentissement de l'activité microbienne. La chaleur générée par la dégradation microbienne est alors inférieure aux pertes dues aux échanges surfaciques et à l'évaporation, entraînant un refroidissement du compost. Cette phase, peut être très progressive ou au contraire très rapide en fonction des conditions climatiques ou de la taille du tas de compost par exemple. (Leclerc, 2001).

5.4.4. Phase de maturation durant laquelle les processus d'humification prédominent, ainsi que la dégradation lente des composés résistants. Cette phase de maturation dure jusqu'à l'utilisation des composts (Leclerc, 2001).

La vision des quatre phases du compostage est avant tout une vision théorique qui représente ce qui se passe au cœur du compost. L'évolution de la température au sein d'un compost dépend de la production interne de chaleur et des échanges avec l'extérieur. Un tas de compost est un milieu hétérogène, qui a des surfaces d'échange avec le milieu extérieur, des zones de tassement et des gradients de températures et d'humidité (Millier et al., 1989 ; Fermor, 1993).

Chapitre II : Matériel et méthodes

Ce travail consiste à évaluer l'efficacité d'ajouts organiques (fumier, paille et grignon d'olive), associés à la sciure de bois, lors du compostage d'un sol pollué aux carburants. Le travail s'est déroulé au laboratoire PSEMRVC de la FSASB.

1. Matériel

1.1. Le sol

L'étude expérimentale a été réalisée sur un échantillon de sol qui provient d'une parcelle de la station-service de Boukhalfa qui se situe à 36° de latitude et 4° de longitude. Elle est située à l'ouest du chef-lieu de la commune de Tizi Ouzou sur la route nationale n° 12 reliant Tizi Ouzou et Alger.

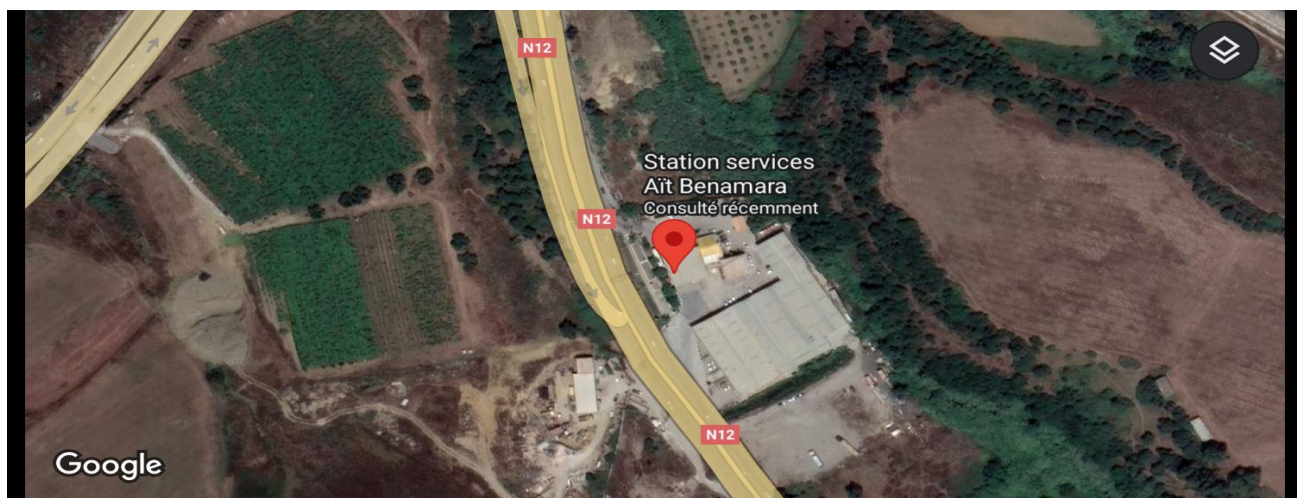


Figure 2 : Image satellitaire de la station-service de Boukhalfa (Google maps, 2022).

1.2. Matériel végétal

Afin d'évaluer l'efficacité du compostage du sol pollué par les hydrocarbures, nous avons réalisé un test de germination des graines de maïs.

Le maïs (*Zea mays* L.) est une Monocotylédone de la famille des Poacées ayant une bonne capacité de germination et est connue pour sa sensibilité à la pollution par les hydrocarbures (Chaîneau et al., 1997).

1.3. Vers de terre

Pour évaluer les effets des hydrocarbures sur la macrofaune du sol, certaines espèces sont utilisées dans les tests d'écotoxicité. Les organismes utilisés sont les vers de terre sur lesquels ont été évalués la survie et la croissance.

L'une des espèces les plus utilisées dans les tests de toxicité est *Eisenia fetida* de la famille des Lumbricidae du groupe des épigés vivant dans les couches superficielles de la terre et se nourrissant de la matière organique.

1.4. Matières organiques utilisées

Afin d'améliorer l'efficacité du compostage, diverses matières organiques ont été utilisées dans ce travail. Leur rôle est essentiellement d'enrichir le sol à composter en carbone.

1.4.1. Sciure de bois

La sciure de bois est composée d'atomes de carbone (environ 48.15%), d'oxygène (43%), d'hydrogène (6%) et d'azote (0,18%) (Oliveira et al., 2020). Du point de vue moléculaire, le bois est essentiellement constitué de cellulose (55,3%), d'hémicelluloses (14,1%), de la lignine (25%) et éventuellement d'autres composants (résine, tannins, etc.) (Eyheraguibel, 2004).

1.4.2. Fumier

C'est l'ensemble des déjections animales mélangés avec des pailles. Il existe plusieurs types on a le fumier des fermes est une source importante d'humus par l'apport des déchets végétaux qu'il contient. Les épandages de printemps limitent les risques d'érosion (Bonin, 2006), allègent les terres lourdes et donnent du corps aux terres légères (Vigneron, L'humus 1967).

1.4.3. Grignon d'olive

Matières carbonées utilisées, ont des résidus solides issus de la première pression ou centrifugation et sont formés des pulpes et noyaux d'olives animale ou en. Ils peuvent être transformés en un produit destiné à l'alimentation huile dite de grignon (Benyahia N. et Zain K. 2003).

1.4.4. Paille

Elle fait partie de la tige (ou du chaume) de certaines Graminées. Elle est coupée avec des épis à la récolte. Elle peut être laissée in situ pour servir d'amendement organique ou retirée du champ et exportée pour d'autres usages (Soltner, 1990 in Lounes et Guerfi, 2010). La paille utilisée est celle du blé dur.

2. Méthodes

2.1. Méthodes d'échantillonnage

L'échantillonnage a été fait au mois de Mars. Le sol a été prélevé dans un quadra de 25cm de côté à une profondeur de 15cm de la surface. Nous avons prélevé le sol contaminé à proximité de la source de pollution sous l'ouverture des événements. Les échantillons du sol pollué sont mis dans des sacs en plastique et transportés au laboratoire.

2.2. Compostage du sol

Le sol contaminé a été tamisé à 5mm pour l'homogénéiser. Une partie de ce sol, qui servira de témoin non traité (T), a été mise dans le réfrigérateur à 4°C pour empêcher la dégradation biologique des hydrocarbures. L'autre partie a été répartie dans huit boîtes en bois (30x30cm²) à raison de 1 kg par boîte.

Quatre substances organiques ont été ajoutées au sol contaminé. De la sciure de bois (S), à raison de 2 %, a été ajoutée au sol dans toutes les boîtes, le grignon d'olive (G), le fumier (F) et la paille (P), à raison de 20 % (Atagana, 2004), ont été ajoutés chacun au sol de deux boîtes comme illustré par la figure 3. Les sols ont été aérés et arrosés quotidiennement pendant les 8 semaines de traitement.

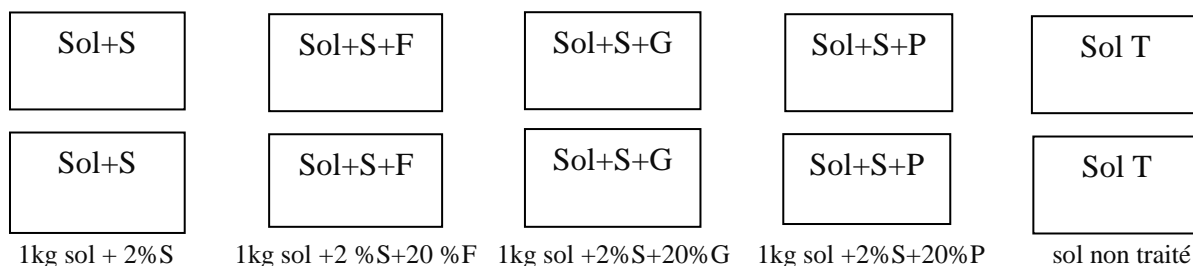


Figure 3 : Schéma du dispositif expérimental.

2.3. Tests de toxicité

Les tests de toxicité sont réalisés sur le sol pollué avant et après traitement pour rendre compte de la toxicité résiduelle et de l'efficacité des ajouts organiques dans le compostage du sol pollué.

2.3.1. Test de germination

Ce test consiste à exposer les graines de maïs aux différents composts, afin d'évaluer le composte le plus efficace dans la réduction de la toxicité, indiquant la dissipation des

hydrocarbures contenus dans le sol. Le semis des graines a été réalisé dans des boîtes de Pétri qui contiennent chacune 100g de chaque sol y' compris le sol témoin et ayant reçu 10 graines de maïs. Les boîtes sont exposées à une photopériode de 7 jours. Tous ces échantillons ont été arrosés régulièrement.

Les graines germées ont été dénombrées et le taux de germination (TG) est calculé comme suit :

2.3.2. Test de toxicité sur les vers de terre

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

Le protocole du test de toxicité aigüe a été inspiré de la ligne directrice pour les essais de produits chimiques, élaborées par l'Organisation de Coopération et De Développement Economique (OCDE), de la méthode SPE 1/RM/43 d'Environnement Canada (OCDE, 1982 ; Environnement Canada, 2004) et de la norme ISO 11268-1 (ISO, 1993).

Il s'agit d'un essai de toxicité de sol d'une durée de 14 jours dans lequel l'effet biologique mesuré est le nombre de vers vivants ainsi que la biomasse de chaque enceinte expérimentale après des durées de 24, 48, 72 heures et 14 jours.

Les vers de terre ont été mis dans des pots en plastique contenant chacun 100 g de sol à raison de trois vers par pot. Ces pots ont été couverts d'un tulle afin d'assurer une bonne aération (figure 4).

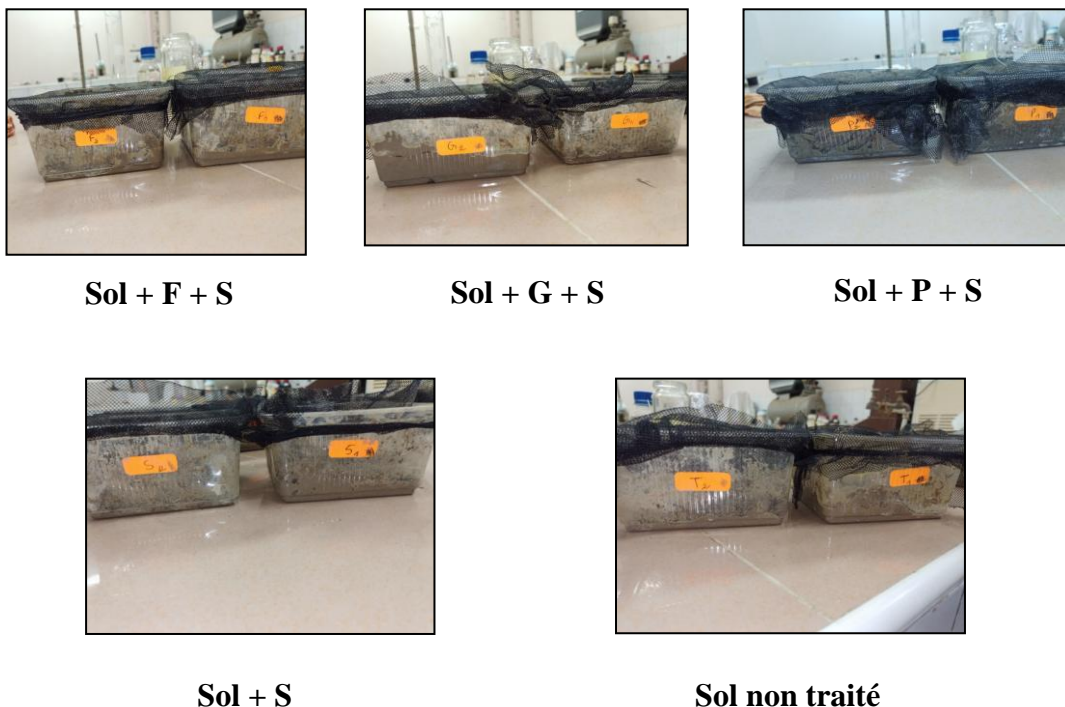


Figure 4 : Dispositif du test de toxicité aigüe sur les vers de terre.

2.4. Mesure de l'activité biologique du sol

2.4.1. Respiration microbienne

La méthode de mesure de l'activité biologique globale a été décrite par (Dommergues, 1968). Elle a été évaluée par le test respirométrique.

Le test a été réalisé dans des flacons bien fermés de 250ml. 50g de sol ont été mis dans chaque flacon dans lequel nous avons placé, par la suite, 2 tubes à hémolyse, le 1^{er} contenant 3ml d'eau pour éviter le dessèchement du sol, l'autre contient 5ml de NaOH à 0,5N afin de fixer le CO₂ dégagé par les micro-organismes du sol pendant 7 jours à 28°C (figure 6).

Après incubation, le NaOH contenu dans les tubes est titré par l'acide sulfurique (H₂SO₄) à 0,25N en présence de phénophtaléine.

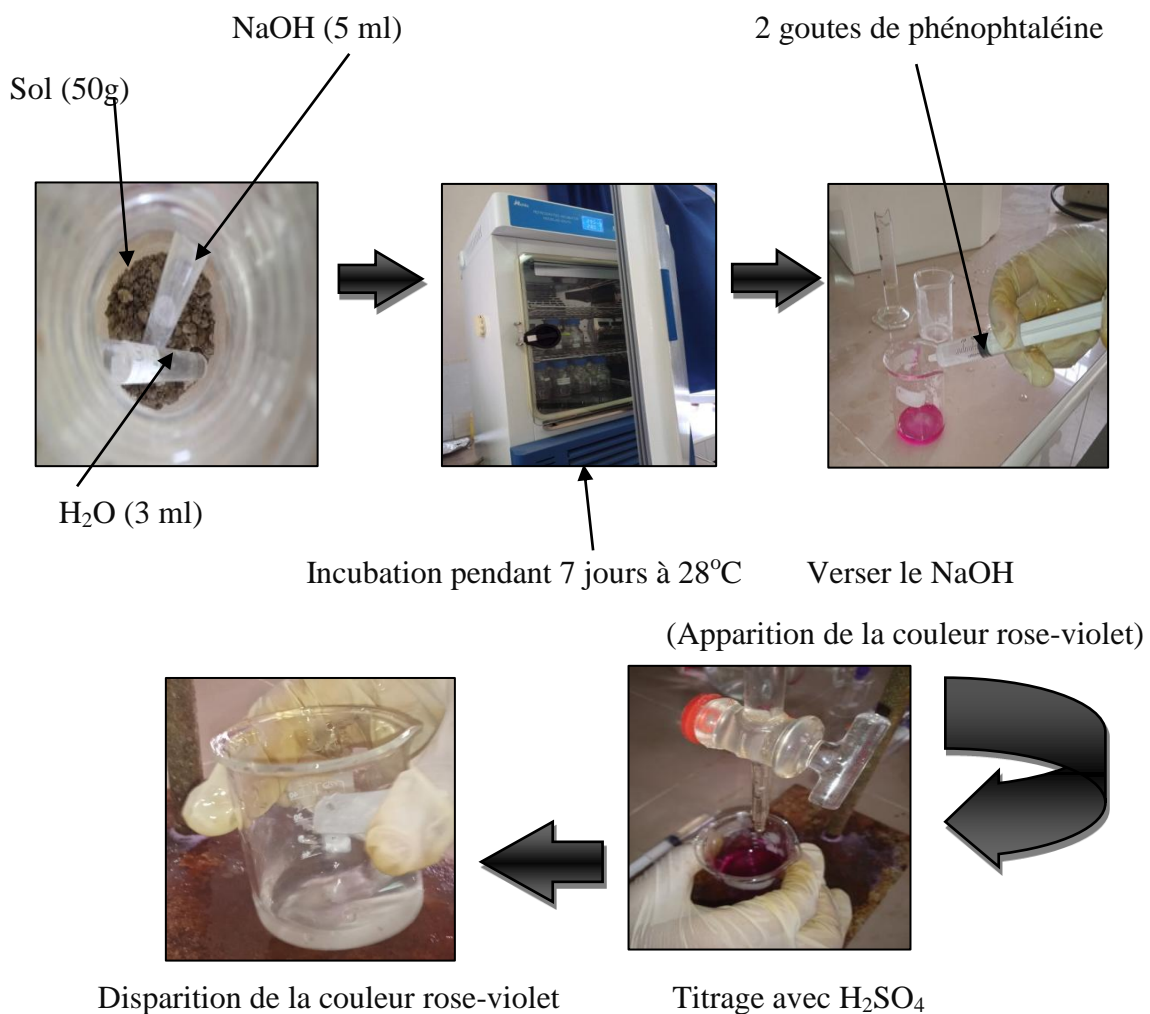


Figure 5 : Protocole de mesure de la respiration microbienne du sol.

2.4.2. L'activité de la catalase (CAT)

Cette activité a été mesurée avec la méthode décrite par Guan (1986). Un échantillon de 2,5g de sol a été mélangé avec 1,25ml de H_2O_2 à 0.3% et 20ml de tampon phosphate à pH 7. Le mélange réactionnel a été incubé pendant 20 min à 25°C.

Afin d'arrêter la réaction, nous avons ajouté à la solution 1,25 ml d'une solution de H_2SO_4 à 3 mol/L. Le mélange a été filtré. Le filtrat a été titré avec une solution de $KMnO_4$ à 0,02 mol/L (figure 7).

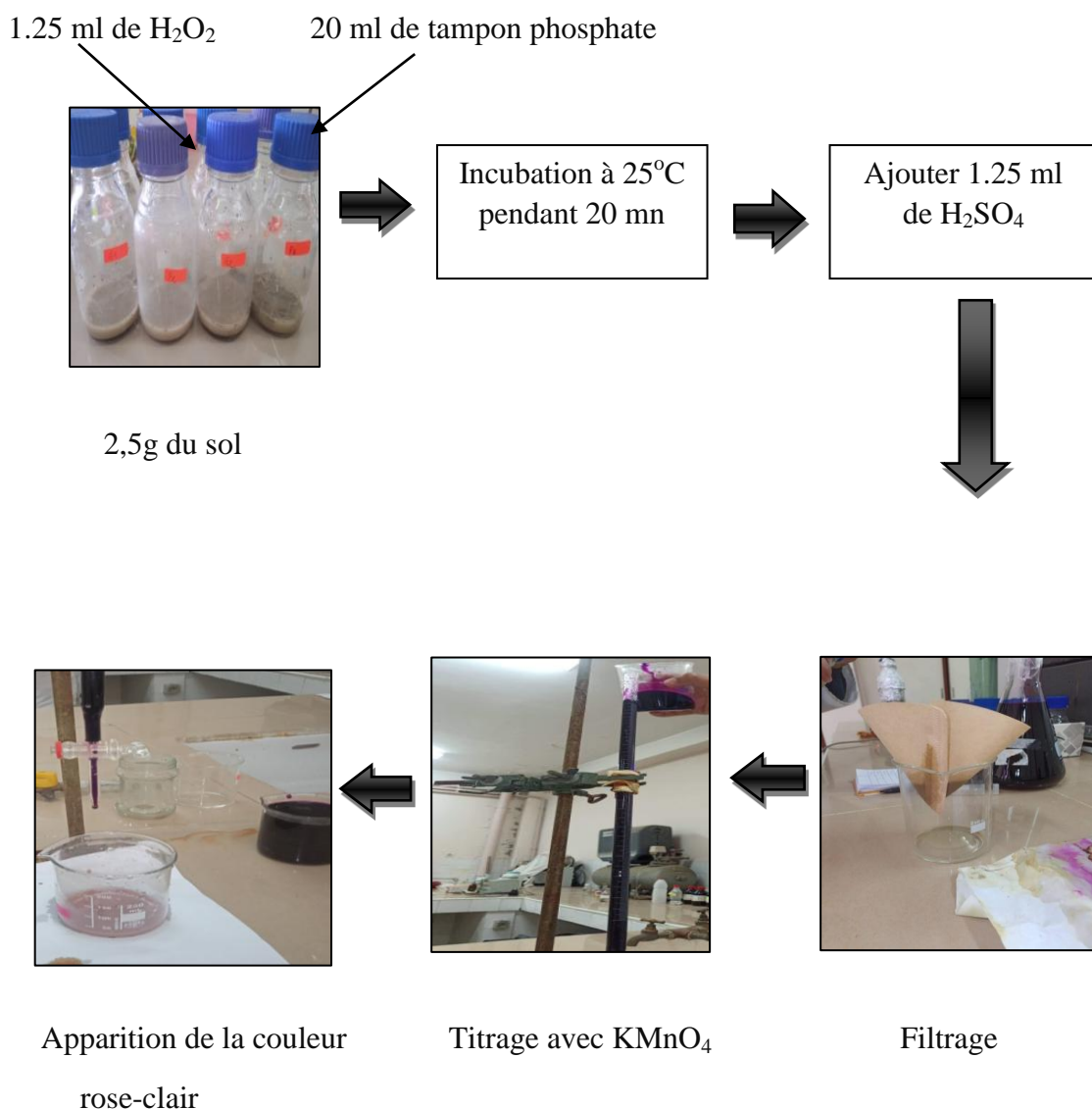


Figure 6 : Protocole de dosage de l'activité de la catalase.

2.5. Analyse statistique des données

L'analyse statistique des résultats obtenus a été effectuée avec le logiciel R 3.0.2. Les résultats ont été soumis à une Anova à un facteur (traitement) suivie du test de Newman et Keuls pour établir les groupes homogènes dans le cas où les différences sont significatives.

Dans le cas où la normalité ou l'égalité des variances n'est pas vérifiée, c'est le test de Kruskal-Wallis qui a été appliqué.

Chapitre III : Résultats et Discussion

1. Résultats

1.1. Tests de toxicité

Nous avons calculé le taux de germination des graines de maïs qui reflète la qualité biologique du sol, et renseigne sur le degré de contamination.

1.1.1. Effet sur le taux de germination

La germination du maïs est différente d'un compost à un autre (Figure 8). Le taux de germination dans le compost avec FS est le plus élevé (maximal 100%), ensuite celui enregistré dans l'ajout GS (95%), suivis du taux de compost S (80%). Le taux de germination dans le compost PS et le sol témoin est faible (75%).

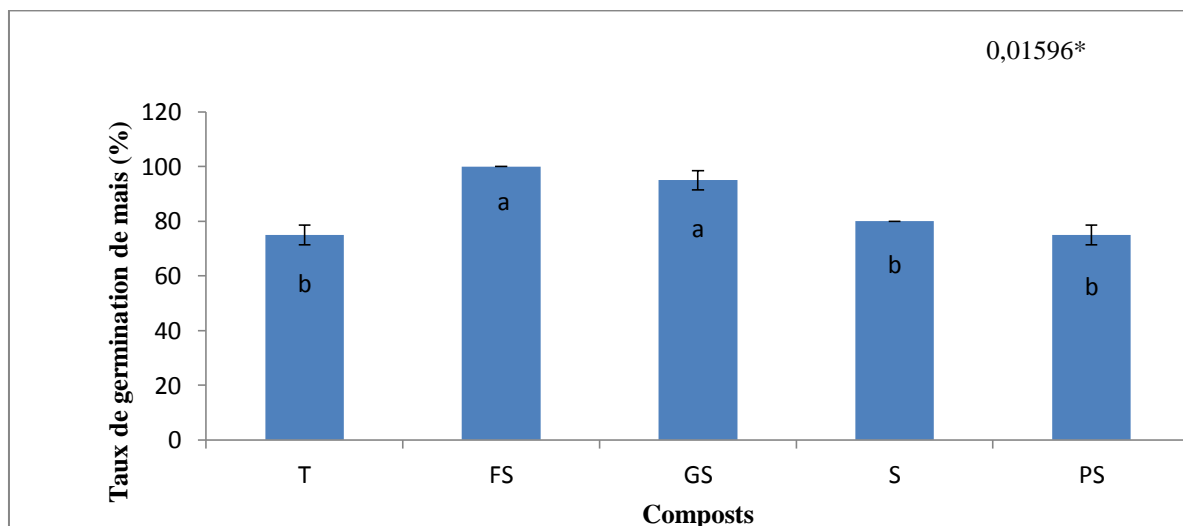


Figure 7 : Taux de germination des graines de Maïs dans les différents ajouts.

L'anova (Annexe II) a révélé un effet significatif du type d'ajout sur le taux de germination du maïs (p-value = 0,01596). Le test de Newman et Keuls a classé les moyennes en deux groupes homogènes, le groupe (a) contient l'ajout FS et GS et le groupe b contient les ajouts S, PS et le sol témoin (T) respectivement.

1.1.2. Effet sur les vers de terre

1.1.2.1. Taux de survie

Les résultats enregistrés du taux de survie pour l'ensemble des vers de terre sont consignés dans le tableau 3. Après 14 jours d'exposition, le taux de survie des vers de terre de l'espèce *E. fetida* est le même dans tous les composts (FS, GS, S et PS), une faible mortalité a été enregistré dans le sol témoin.

Tableau 3 : Taux de survie des vers de terre de l'espèce *E. fetida*.

Durée d'exposition Sol	0h		24h		48 h		72 h		14 jours	
	N	Fc	N	Fc	N	Fc	N	Fc	N	Fc
FS	6	100	6	100	6	100	6	100	6	100
GS	6	100	6	100	6	100	6	100	6	100
PS	6	100	6	100	6	100	6	100	6	100
S	6	100	6	100	6	100	6	100	6	100
Sol T	6	100	6	100	6	100	6	100	5	83, 33

N : nombre des individus vivants

Fc : fréquence centésimale des vers de terre survivants

Le test de Kruskal-Wallis, pour la survie des vers de terre après 14 jours d'exposition, a révélé un effet non significatif (p-value = 0,406) des différents traitements.

1.1.2.2. Effet sur la biomasse des vers de terre

D'après la figure 9 la biomasse des vers de terre survivants dans le sol T diminue après 14 jours est d'environ 600 mg. Une augmentation de la biomasse est observée dans les ajouts GS et PS avec 600 mg dans le compost GS et 400 mg dans l'ajout PS. Une plus faible augmentation de 300 et de 80 mg est notée dans les composts FS et S respectivement.

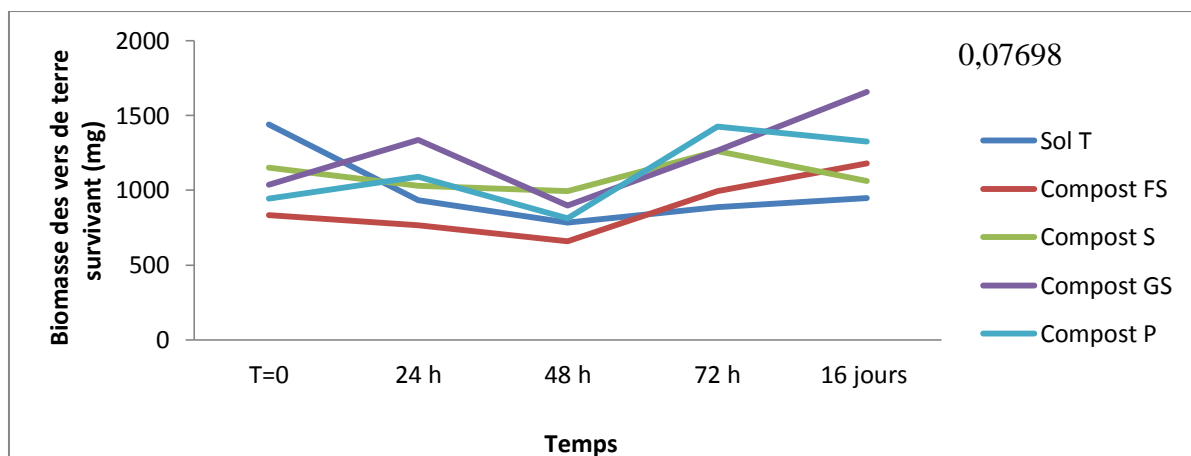


Figure 8 : Biomasse des vers de terre de l'espèce *E. fetida* dans les différents sols pendant 14 jours d'exposition.

Le test de Kruskal-Wallis (Annexe II) a révélé qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les composts (p-value = 0,07698).

1.2. Effets du compostage sur les paramètres biologiques du sol

1.2.1. Respiration microbienne

La quantité de CO₂ dégagée par la respiration des microorganismes obtenue par le test respirométrique est représentée dans la figure 10. Une grande variation a été observée pour la quantité de CO₂ dégagée, la quantité de CO₂ dégagée est plus intense dans le sol T. Or qu'elle diminue dans les composts FS et S et atteint son minimum dans l'ajout PS et GS.

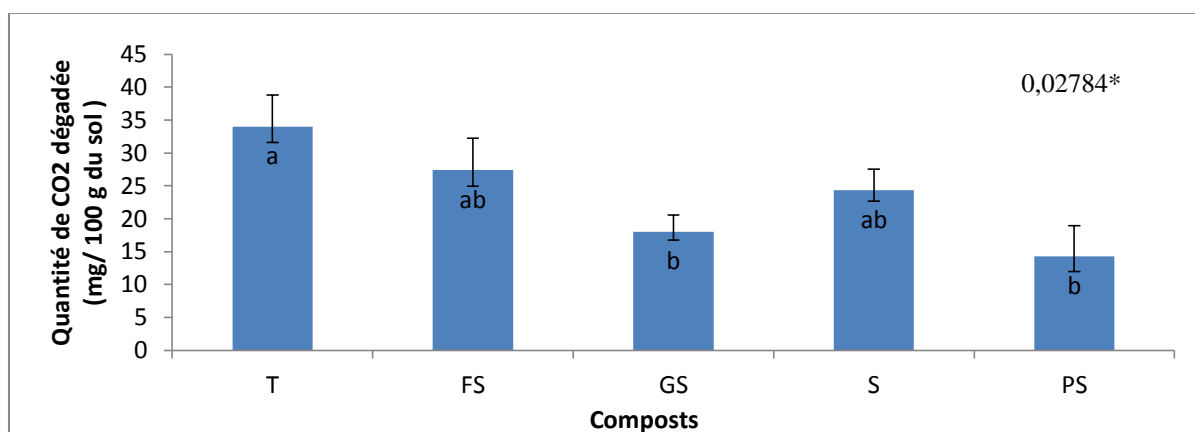


Figure 9 : Biomasse microbienne dans les différents ajouts.

L'anova (Annexe II) a révélé un effet significatif de l'ajout sur la biomasse microbienne (p-value = 0,02784). D'après le test Newman et Keuls (Annexe II), les ajouts sont classés dans trois groupes homogènes ; le sol T est classé dans le groupe (a), le groupe (ab) contient les ajouts FS et S et le groupe (b) contient l'ajout GS et PS.

1.2.2. Activité de catalase

La figure 11 représente l'activité de catalase dans les différents composts, exprimée par la quantité de KMnO₄ (ml). La valeur de l'activité de catalase est plus élevée dans le sol T, dans les composts GS, S et PS l'activité de catalase est proche l'une de l'autre, la valeur la plus faible est enregistrée dans le compost FS.

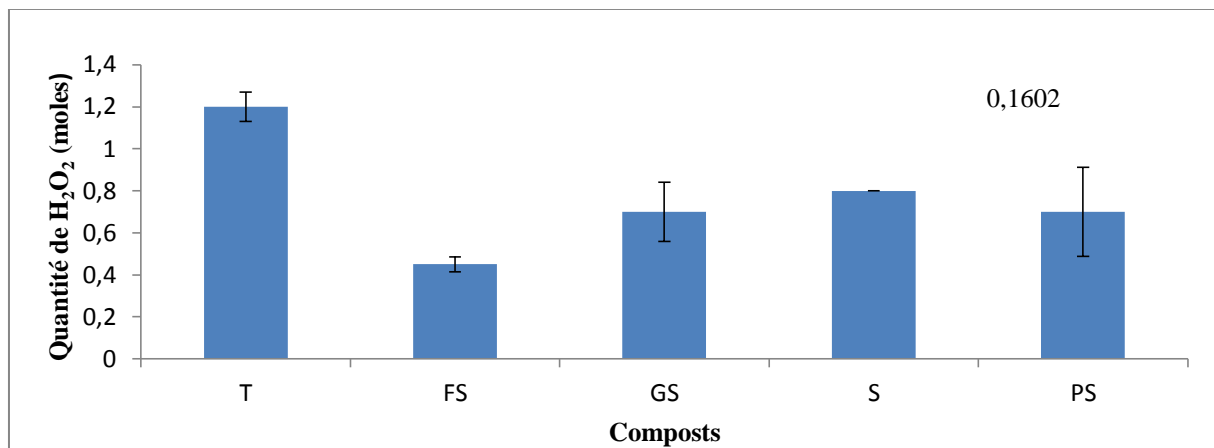


Figure 10 : Activité de catalase dans les différents ajouts.

L'anova (Annexe II) a révélé qu'il n'y pas de différence significative entre les ajouts (p-value égale à 0,1602).

2. Discussion

Notre étude montre que l'ajout de substrats organiques au sol pollué par les hydrocarbures permet une bonne germination des graines de maïs, ce qui signifie que la toxicité a diminué dans ces sols. L'ajout du fumier et du grignon d'olive a permis une germination de plus de 95% des graines. Le compostage du fumier de bovin possède de nombreux avantages agronomiques, il permet la production de matière organique (MO) stabilisée plus facile à transporter et épandre Eghball et al., 1999 in Tovonario et al., 2015). La bonne germination du compost GS peut être due à l'ajout du grignon qui permet d'améliorer l'aération de ce dernier. Cependant, l'ajout de la paille (PS) n'a pas amélioré la germination du maïs. Il en est de même pour le sol n'ayant reçu aucun ajout organique (S). En effet, ces deux traitements ont donné quasiment le même résultat que le sol contaminé non composté. Ceci indique que la toxicité des carburants s'exerce toujours dans ces sols. D'après Chaineau et al. (1997), la présence des hydrocarbures dans le sol inhibe la germination des graines et réduit la croissance des plantes.

Les résultats du test de toxicité aigüe sur les vers de terre de l'espèce *E. fetida*, après l'application des traitements, par ajouts organiques au sol pollué, montrent qu'il n'y a pas d'augmentation de leur biomasse après 14 jours d'exposition dans le sol pollué par les carburants. Lors et al. (2005) et Lors et al. (2009), qui ont étudié l'écotoxicité d'un sol contaminé par les HAP, ont déduit que ces hydrocarbures étaient trop toxiques vis-à-vis des

organismes terrestres en particulier les vers de terre. Cela signifie que les ajouts n'ont pas eu d'effet sur la toxicité des carburants sur des vers de terre.

Par ailleurs, l'activité biologique du sol évaluée par la respiration microbienne, a été plus intense dans le sol témoin, comparée à celle du sol ayant été traité avec le fumier, la sciure de bois, la paille et le grignon d'olive. Toutefois, l'activité de la catalase n'a pas été affectée par la nature de l'ajout. Bien que des études aient montré qu'une contamination par les hydrocarbures provoquait une augmentation significative des paramètres biologiques du sol, telles que la respiration microbienne (Maliszewska-Kordybach et Smreczak 2003), la biomasse microbienne ainsi que l'activité enzymatique grâce à la prolifération des micro-organismes (Margesin et al., 2000 ; Tejada et al., 2008), d'autres auteurs (Ali Ahmed, 2011 ; Ali Ahmed, 2022) ont signalé l'effet dépressif de ces polluants sur les propriétés biologiques du sol. La plupart des hydrocarbures contenus dans l'essence et le gasoil sont légers et sont les plus toxiques pour les microorganismes comme signalé par Colin (2000) car ils ont un effet solvant sur les membranes (Morgan et al., 1989). Aussi, nos résultats de l'activité de la catalase concordent avec ceux de Mohsenzadeh et al. (2012). Ces auteurs ont lié la stabilité de l'activité de catalase à la sensibilité des micro-organismes ou indirectement à la détérioration des propriétés physiques du sol suite à une telle contamination.

Conclusion

Conclusion

Conclusion

Le présent travail porte sur l'étude de l'efficacité des ajouts organiques lors du compostage d'un sol pollué par les carburants (essence super et gasoil) provenant d'une station-service.

Nos résultats montrent que le traitement par compostage a été efficace. Ceci ressort à travers l'amélioration du taux de germination des graines et de la respiration microbienne du sol. Par contre ce test n'a pas amélioré la survie et la biomasse des vers de terre et l'activité de catalase.

Compte-tenu des résultats de la germination et de la respiration microbienne, le fumier s'est avéré être meilleur que les autres ajouts.

L'ajout du grignon d'olive a amélioré la germination des graines de maïs mais n'a pas eu d'effet positif sur la respiration microbienne. Le résultat inverse a été observé dans le compost ayant reçu de la paille.

L'apport de la sciure de bois seule, sans aucun autre ajout organique, a augmenté la respiration microbienne du sol mais n'a pas amélioré la germination de maïs.

Par ailleurs, tous les ajouts n'ont eu aucun effet sur l'activité de la catalase et sur la survie et la biomasse des vers de terre.

A l'issue de ce travail, nous pouvons proposer pour les études futures :

- d'étudier d'autres paramètres tels que la biomasse microbienne et corrélérer les résultats avec la respiration microbienne pour mieux comprendre les modifications des micro-organismes et de leur activité.
- d'analyser les hydrocarbures contenus dans le sol et identifier les micro-organismes qui sont capables de les dégrader.
- d'utiliser d'autres organismes sensibles à cette pollution en complément aux tests de germination et de toxicité sur les vers de terre tels que *Nicodrilus caliginosus*.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

1. **Abbaia S. et Guitton L. (2014).** Les méthodes de traitement des sols pollués par les hydrocarbures. Licence en microbiologie fondamentale et appliqué. Université de Ouaregla. 47p.
2. **Alik S. et Belkacem L. (2015).** Essai de remédiation d'un sol pollué aux hydrocarbures par la technique de bioaugmentation. Mémoire de Master. Université de Tizi Ouzou. 48p.
3. **Ali Ahmed S. (2011).** Essai de réhabilitation d'un sol contaminé par les hydrocarbures à l'aide de tensioactifs obtenus par voie biologique. Thèse de magister. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 99p.
4. **Ali Ahmed S. (2022).** Optimisation de quelques techniques de décontamination de sols pollués aux hydrocarbures. Réalisation de bio-essais. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 129p.
5. **Atagana H.I. (2004).** Co-composting of PAH-contaminated soil with poultry manure. Letters in Applied Microbiology. 39 : 163-168.

B

6. **Barriuso E., Calvet R., Schiavon M., Soulas G. (1996).** Les pesticides et les polluants organiques des sols. Etude et gestion des sols. Vol. 3. N° 4. Pp: 279-296.
7. **Benchouk A. (2017).** La pollution pétrolière. Ed Europe. 92p.
8. **Benyahia N. et Zein K. (2003).** Analyse des problèmes de l'industrie de l'huile d'olive et solutions récemment développées. 2eme conférence Internationale Smis Environmental solutions for Emerging Countxes (SESEC II) du28-29 Janvièra Lausanne. Suisse. 8p.
9. **Bocard C. (2006).** Marées noires et sols pollués par des hydrocarbures. Enjeux Enjeux environnementaux et traitement des pollutions. Edition Technip. Paris. 297p.
10. **Bonin G. (2006).** Connaissance des sols-introduction à la pédologie. P10 ,11.
11. **Bouademe N., Karah et Khelifa N. (2008).** La biodégradation des hydrocarbures par les micro-organismes. Mémoire de Master Université de Jijel. 43p.
12. **Boukrou A et 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. Université de Tizi ouzou.33p.

Références bibliographiques

C

13. **Cédric F. (2003)**. Stabilisation de la matière organique au cours de compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage-recherche d'indicateurs pertinents. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique. Paris-Grignon. 244p.
14. **Colin F. (2000)**. Pollution localisée des sols et de sous-sols par les hydrocarbures et les solvants chlorés. Rapport n°44. Edition. Tec et Doc. Paris. 417p.
15. **Chaineau C.H., Morel J.L., Oudot J. (2000)**. Biodegradation of fuel oil Hydrocarbons in the rhizosphere of maize. Journal of Environmental Quality. Vol. 29. Pp: 568-578.

E

16. **Eyheraguibel B. (2004)**. Caractérisation Des Substances Humiques Biomimétiques : Effet Sur Les Végétaux. Thèse De Doctorat : Institut National Polytechnique De Toulouse (France). 231p.

F

17. **Fattal P. (2008)**. La pollution des cotes par les hydrocarbures. Edition presse universitaire de Rennes. 395p.

G

18. **Girard M.C., Walter C., Rémy J.C., Berthelin J., Morel J.L. (2005)**. Sol et environnement. Edition DUNOD. Paris. 529p.
19. **Gabet S. (2004)**. Remobilisation d'hydrocarbures Aromatiques polycycliques (HAP) présents dans les sols contaminés à l'aide d'un tensioactif d'origine biologique .Thèse de doctorat de l'université de Limoges. 177p.
20. **Guermouche-M'rassi A. (2014)**. Caractérisation moléculaire des bactéries impliquées dans la biodégradation des hydrocarbures. Thèse de Doctorat. Université d'Oran. 166p.

K

21. **Khellout S. (2004-2010)**. Impact de la pollution par le pétrole sur la stabilité structurelle d'un sol, 13p.
22. **Koller E. (2009)**. Traitements des pollutions industrielles : Eau, Air, Déchets, Sols, Boues. Edition Dunod. Paris. 569p.

Références bibliographiques

- 23. Khimeche F. et Oudai S. (2019).** Etude des caractéristiques physiques et chimiques des sols pollués par les carburants. Cas des stations-services de Ouadhia et Yakourene. Mémoire de Master. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 77p.

L

- 24. Leclerc B. (2001).** Guide des matières organiques. (eds Guide Technique de l'ITAB). 238p.
- 25. Lounes A. et Guerfi Y. (2010).** Contribution à l'étude du comportement agronomique de vingt-sept nouvelles variétés du blé dur en vue de leur inscription au catalogue officiel national. Mémoire d'ingénieur. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 91p.

M

- 26. Macaulay, B. M., & Rees, D. (2014).** Bioremediation of oil spills: a review of challenges for research advancement. *Annals of Environmental Science*, 37p.
- 27. Morgan P., Watkinson R.J. (1989).** Microbiological methods for the clean-up of soil and ground water contaminated with halogenated hydrocarbons. *Microbiology reviews*. 63 : 277-300.

N

- 28. Nouri M. et Haddioua A. (2016).** Les techniques de dépollution des sols contaminés par les métaux lourds : une revue (the remediation techniques of heavy metals contaminated soils). 2 N°2 : 47-58. http://revues.imist.ma/?journal=mjpas_page=index.

O

- 29. Okrent D. (1999).** Une équité intergénérationnelle et son conflit avec l'équité intergénérationnelle et sur la nécessité de politiques pour guider la réglementation de l'élimination des déchets et d'autres activités présentant des risques à très long terme. *Analyse des risques*. 19 : 877-901.

Q

- 30. Quentin, A. (2019).** Sélection de souches fongiques performantes dans la biosorption de 3 éléments traces métalliques (Cd, Cu et Pb) et étude de leur spéciation minéralogique en microcosme de sol. Thèse de doctorat. Université de Caen Normandie, France, 292p.

Références bibliographiques

R

31. Ramade F. (1992). Précis d'éco toxicologie. Edition Masson, Paris, 300p.

T

32. Técher D. (2011). Réhabilitation de sols pollués par des HAP grâce aux bactéries associées à la rhizosphère de *Miscanthus x giganteus*. Thèse du doctorat. Université Paul Verlaine de Metz. 314p.

33. Tovonarivo R., Laurent T., Patrick T., Géraud M., Jean-Marie P. (2015). Co-compostage de boues de laiterie et de fumier de bovins à l'île de la réunion : hygiénisation, pertes de nutriments et homogénéité du compost produit. *Bitechnol. Agron. Sol. Environ.* 19(4) : 329-337.

34. Thiele S., Brümmer G.W. (2002). Bioformation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil under oxygen deficient conditions. *Soil Biology and Biochemistry.* Vol. 34. N° 5. Pp: 733-735.

V

35. Vigneron J. (1967). L'arrosage et les propriétés physiques du sol. Mémoire d'Ingénieur. Service des sols à la C.N.A.B.R.L. bas Rhône Languedoc. 29p.

W

36. Wilcke W. (2007). Global patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil. *Geoderma.* Vol. 141. N° 3-4. Pp: 157-166.

Annexes

Annexe I : Résultats des analyses statistiques des bio-essais

1. Test d'anova pour germination des graines de maïs

```
Analysis of Variance Table

Response: TG

      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Ajout  4  11.0   2.75  9.1667 0.01596 *
Residuals 5   1.5   0.30
```

```
$groups
  TG groups
F 10.0  a
G  9.5  a
S  8.0  b
P  7.5  b
T  7.5  b
```

2. Test de Kruskal- wallis pour la survie des vers de terre

```
> kruskal.test(survie~traitement)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  survie by traitement
Kruskal-Wallis chi-squared = 4, df = 4, p-value = 0.406
```

3. Test de Kruskal -wallis pour la biomasse des vers de terre

```
      Kruskal-Wallis rank sum test

data: BV by Ajout
Kruskal-Wallis chi-squared = 8.4, df = 4, p-value = 0.07798
```

4. Test de l'anova de l'activité biologique (respirométrique)

```
Analysis of Variance Table

Response: CO2

      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Ajout  4 480.45 120.112  7.0521 0.02748 *
Residuals 5  85.16  17.032
```

```
$groups
  CO2 groups
T 33.99  a
F 27.39  ab
S 24.31  ab
G 18.04  b
P 14.30  b
```

5. Test de Kruskal- wallis de l'activité enzymatique de Catalase

Kruskal-Wallis rank sum test

data: CAT by Ajout

Kruskal-Wallis chi-squared = 5.6944, df = 4, p-value = 0.2232

Résumé

La contamination des sols par les hydrocarbures pétroliers constitue un problème très occupant pour l'environnement du fait de leurs toxicités, leur grande persistance et leurs bioaccumulation dans les chaînes alimentaires.

Le présent travail a pour objectif de décontaminer un sol pollué aux hydrocarbures par l'ajout des substrats organiques.

Le traitement par compostage a été efficace. Ceci a été prouvé par nos résultats, qui ont révélés une amélioration de taux de germination des graines et la respiration microbienne du sol. Ce test en revanche, n'a pas amélioré la survie et la biomasse des vers de terre et l'activité de catalase.

En prenant en considération les résultats de la germination et de la respiration, le fumier s'est avéré être meilleur que les autres ajouts.

La germination des graines de maïs a été améliorée par l'ajout du grignon d'olive. Par contre, ce dernier n'a pas eu d'effet positif sur la respiration microbienne. Le résultat inverse a été observé dans le compost ayant reçu la paille.

L'augmentation de la respiration microbienne du sol est due à l'apport de la sciure de bois seule, sans aucun autre ajout organique, or ceci n'a pas amélioré la germination du maïs.

En outre, l'activité de la catalase, de la survie et de la biomasse de vers de terre n'ont pas été affectées par aucun ajout.

Mot clés : Bioaccumulation, Hydrocarbures, Substrats organiques, Persistance, compostage.

Abstract

Soil contamination by petroleum hydrocarbons is a very serious environmental problem in food chains.

The present work aims to decontaminate soil polluted with hydrocarbons by adding organic substrates.

The composting treatment was effective. This was proven by our results, which revealed an improvement in the rate of germination of the seeds and the microbial respiration of the soil. This test, on the other hand, did not improve the survival and the biomass of the earthworms and catalase activity.

Taking into consideration the results of germination and respiration, the manure was found to be better than the other additions.

The germination of maize seeds was improved by the addition of olive pomace. On the other hand, the latter had no positive effect on microbial respiration. The opposite result was observed in the compost having received the straw.

The increase in the microbial respiration of the soil is due to the contribution of sawdust alone, without any other organic addition, but this did not improve the germination of maize.

In addition, catalase activity, survival and biomass of earthworms were not affected. By no addition.

Key word: Bioaccumulation, Hydrocarbons, organic substrates, persistence, composting.