

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

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Facultés des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département de Biologie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Ecologie et Environnement.
Spécialité : Protection des Ecosystèmes.

Thème :

**Effet des ajouts organiques sur l'efficacité de la
décontamination d'un sol pollué aux carburants
par compostage**

Réaliser par : Boukrou Ania et Nait Si Ahmed Lydia.

Promotrice : M^{me} Ali Ahmed S.

Devant le jury :

Présidente : M ^{me} SADOUDI-ALI AHMED D.	Professeur à l'UMMTO.
Promotrice : M ^{me} ALI AHMED S.	M.A.A à l'UMMTO.
Examinatrice : M ^{me} SAHMOUNE F.	M.A.A à l'UMMTO.

Promotion : 2021/2022.

Remerciements

Nos remerciements les plus sincères et notre gratitude s'adressent à notre promotrice Mme ALI AHMED.S, Maitre Assistante au département de biologie à l'UMMTO, de nous avoir encadrées et orientées tout au long de ce travail et aussi pour son aide, ses encouragements et ses précieux conseils que nous avons eu durant tout le travail.

Nous tenons à remercier vivement les membres du jury pour avoir acceptés d'évaluer ce travail.

Merci à Mme SADOUDI de nous avoir fait l'honneur de présider notre jury de soutenance.

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

Nos remerciements s'adressent aussi à tous mes professeurs qui ont déployés leurs efforts pour nous assurés une formation aussi complète.

Nous tenons à remercier nos familles, pour leur soutien constant, leur présence et la confiance qu'ils nous ont accordée.

MERCI

Dédicace

Je consacre ce modeste travail :

A mes très chers parents

A mes chères sœurs et mon frère

A mes ami(e)s

A mon binôme Ania

A mes professeurs

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

A vous chers lecteurs

Lydia N.

Dédicace

C'est avec toute l'ardeur de mes sentiments d'amour et de respect que je dédie ce modeste mémoire à mon soutien moral et source de bonheur et de joie qui sont sacrifiés qu'ils ont tout donné pour arriver là où je suis maintenant.

*À mes chers parents. **Ma Mère** et **Mon Père** pour leur patience, leur amour, et leur encouragement, que Dieu les garde et les protège.*

*À mon chère unique frère **Rafik** je t'aime beaucoup*

*À Ma chère sœur adorable **Celia** je t'aime beaucoup*

*À mon binôme : **Lydia**.*

Ania B.

Liste des abréviations

C_xH_y : formule générale des hydrocarbures.

HC : hydrocarbure.

SpT : Sol pollué témoin.

SpGrO : Sol pollué en ajoutant du grignon d'olive.

SpScB : Sol pollué en ajoutant la sciure de bois.

Listes des figures

Figure.1 : Structure moléculaire de base des principaux hydrocarbures pétroliers	3
Figure. 2 : Composition de l'essence	4
Figure. 3 : Composition de gasoil.....	5
Figure. 4 : Schéma d'une station- service.....	6
Figure.5 : Courbe de l'évolution de la température au cours du compostage.....	12
Figure.6 : localisation de la station de service Ait Benamara de Boukhalfa.....	14
Figure.7 : Mini composteur du sol pollué aux hydrocarbures.....	16
Figure.8 : Dispositif de l'essai biologique sur les vers de terre.....	17
Figure. 9 : Protocole de mesure de la respiration microbienne du sol.....	18
Figure.10 : protocole de dosage l'activité de la catalase.....	19
Figure.11 : Protocole d'extraction et de quantification des hydrocarbures	20
Figure.12 : Taux de germination des graines de maïs	22
Figure.13 : Evaluation de la biomasse des vers de terre dans le sol en fonction des traitement par ajouts organiques	23
Figure .14 : Survie des vers de terre.....	24
Figure.15 : Dégagement de carbone cumulé dans les différents sols	25
Figure.16 : volume de catalase dans les sols traité et non traité.....	26
Figure.17 : Quantité des hydrocarbures extraite dans les différents sols traités et non traité..	27

Liste des tableaux

Tableau1 : Groupes homogènes de la biomasse des vers de terre après 14 jours.....	23
Tableau2 : Groupes homogènes de la viabilité des vers de terre après 14 jours.....	24
Tableau3 : Groupes homogènes de l'activité enzymatique.....	26

Sommaire

Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Pollution du sol par les hydrocarbures.....	3
1.1. Définition des hydrocarbures.....	3
1.2. Classification des hydrocarbures.....	3
1.3. Carburants.....	4
1.4. Principales sources de contamination des sols par les hydrocarbures.....	5
1.5. Devenir des hydrocarbures dans le sol.....	7
1.6. Effets des hydrocarbures sur le sol.....	8
2. Techniques de décontamination des sols pollués par les hydrocarbures.....	9
2.1. Traitements physiques.....	9
2.2. Traitements chimiques.....	9
2.3. Traitements thermiques.....	9
2.4. Traitements biologiques.....	9
3. Décontamination des sols par compostage.....	10
3.1. Définition du compostage.....	10
3.2. Principe du compostage	10
3.3. Types de compostage	11
3.4. Etapes du compostage	11
3.5. Le compost	12
4. Caractéristiques des ajouts organiques.....	13
5. Critères de maturité et de stabilité d'un compost.....	13

Chapitre II : matériels et méthodes

1. Matériel.....	14
1.1 Le sol.....	14

1.2. Matériel végétal.....	15
1.3. Matériel animal.....	15
2. Méthodes.....	15
2.1. Préparation du sol.....	15
2.2. Mise en place de l'essai.....	15
2.3. Suivi du Compostage.....	16
2.4. Evaluation de l'efficacité du compostage.....	16
3. Méthodes d'analyse statistique.....	21

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Résultats.....	22
1.1. Test de germination des graines.....	22
1.2. Croissance des vers de terre.....	23
1.3. Viabilité des vers de terre.....	24
1.4. Respiration microbienne.....	25
1.5. Activité de la catalase.....	25
1.6. Quantification des hydrocarbures résiduels.....	26
2. Discussion.....	27
Conclusion.....	29
Références bibliographiques.....	30

Introduction

Le sol est une ressource limitée, considérée comme renouvelable et faisant partie d'un écosystème (Baise et Bernard, 1995). Aujourd'hui, cette unité naturelle est menacée par une forte pollution due à l'exploration et à la production d'hydrocarbures (Encarta, 2009).

Les stations-services sont parmi les principales causes des pollutions constatées par la corrosion des cuves de stockage ou des fuites de canalisation entre les citernes et les ilots de pompes et séparation des carburants (Colin, 2000).

Les carburants ont fait l'objet de plusieurs études afin de quantifier leur impact sur les paramètres physiques et chimique (Doran et Sofley, 1997). Cette pollution a des effets néfastes sur les sols, la flore et la faune des milieux terrestres et aquatiques (Thovasi et al., 2011). C'est pourquoi, le traitement des sols pollués est nécessaire.

Il existe différentes techniques physiques, chimiques et thermiques pour décontaminer les surfaces polluées par les produits pétroliers. Cependant, ces méthodes sont très coûteuses et ne préservent pas la qualité du sol, d'où l'intérêt de l'utilisation des techniques biologiques, comme le compostage, qui sont peu coûteuses et plus respectueuses de l'environnement (Koller, 2004).

De nombreux travaux ont été publiés par Glick (2003), Silva-Castro (2013) et Dave et al. (2014) sur l'application de la biodécontamination aux sols pollués aux carburants et leurs résultats étaient satisfaisants par l'amélioration des qualités physiques des sols.

D'autres travaux ont montré l'efficacité de techniques biologiques sur les sols pollués aux hydrocarbures, telles que la bioaugmentation (Amiri, 2013), la biostimulation (Nait Abdelkader et Djenad, 2015) et la phytoremédiation (Bourkache et Boussenou, 2015) à améliorer la qualité biologique des sols.

Les ajouts organiques dans les sols pollués aux hydrocarbures sont importants pour améliorer leur fertilité et leur bonne productivité à long terme. Selon Morel (1997), l'aptitude de sol à la minéralisation est en relation avec sa teneur en matière organique totale, plus elle sera riche plus sa minéralisation dans le sol sera intense.

La technique du compostage est adaptée aux sols pollués aux hydrocarbures car ils sont riches en matière organique. C'est la méthode la plus ancienne et la plus utilisée à travers le monde pour la stabilisation des déchets organiques.

Ce qui nous a amené à réaliser cette étude, dont le principal objectif est la décontamination, par compostage, de sols pollués aux carburants en présence de substrats organiques. Lors de la présente étude, deux ajouts organiques ont été utilisés : le grignon d'olive et la sciure de bois en les mélangeant au sol pollué par les rejets d'une station-service située à Boukhalfa.

L'évaluation de l'efficacité de cette technique s'est faite par l'utilisation de tests biologiques quantifiant des paramètres faciles à mesurer (germination de graines, croissance et survie des vers de terre, respiration microbienne et activité de la catalase). Afin d'évaluer la pertinence de ces bio-essais, un dosage des carburants totaux a été effectué.

Ce document se subdivise en trois chapitres.

- ✓ Le 1^{er} chapitre consiste en une synthèse bibliographique comportant des généralités sur la pollution des sols par les hydrocarbures et la technique du compostage.
- ✓ Le 2^{ème} chapitre est consacré à la présentation de la station d'étude, du matériel utilisé, ainsi que les protocoles expérimentaux détaillés.
- ✓ Le 3^{ème} chapitre est réservé à la présentation des résultats obtenus et de leur discussion.

Une conclusion générale clôture cette étude en récapitulant les résultats obtenus et en proposant quelques perspectives.

Chapitre I :

Synthèse bibliographique

Le phénomène de la pollution des sols par les hydrocarbures a une importance de plus en plus grande sur les plans environnement sanitaire et économique. Cette pollution peut avoir un impact direct ou indirect sur la santé humaine et l'équilibre des écosystèmes (Koller, 2004).

1. Pollution du sol par les hydrocarbures :

La contamination des sols par les hydrocarbures est répandue à travers le monde, elle est due à l'utilisation intense du pétrole comme principale source d'énergie (Pulgarin, 2012).

1.1. Définition des hydrocarbures :

Les hydrocarbures sont des molécules composées d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H). Ils possèdent une formule brute de type : C_xH_y . Ces hydrocarbures sont classés selon leur nature : saturés et insaturés, ils peuvent également présenter une structure linéaire, ramifiée ou cyclique.

1.2. Classification des hydrocarbures :

On distingue deux grandes familles d'hydrocarbures les saturés et les insaturés (figure 1).

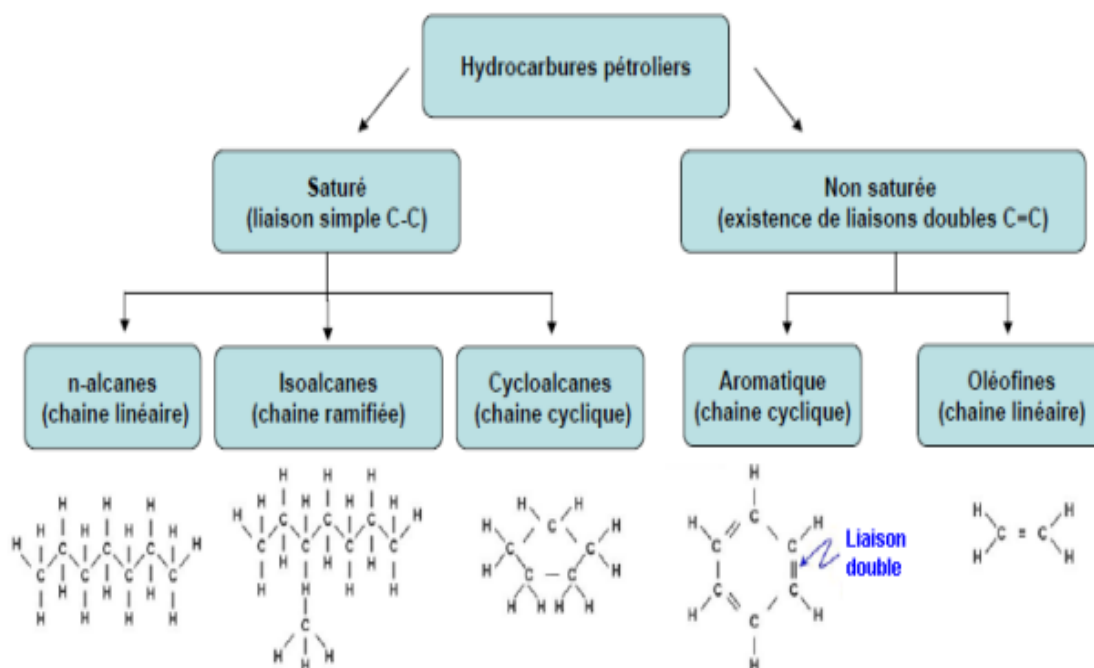


Figure1. Structure moléculaire de base des principaux hydrocarbures pétroliers (Colombano et al, 2008).

1.3. Les carburants :

Un carburant est un combustible liquide (comme l'essence), gazeux (comme le GPL) ou solide (comme un propergol) dont la chaleur de combustion est utilisée pour faire fonctionner un moteur thermique (transformation d'énergie chimique en énergie mécanique) (Saada et al, 2005).

Les carburants tels que l'essence et le gasoil sont stockés et vendus dans les stations-service. Il s'agit des mélanges complexes d'hydrocarbures pétroliers, représentant la source majeure de contamination des sols.

1.3.1. Essence :

L'essence est un liquide incolore ayant une odeur caractéristique. Elle se compose principalement de chaînes d'hydrocarbures de 4 à 12 atomes de carbone (figure 2) (Piederafita et Carnicer, 2007).

Il existe des essences plombées et sans plomb ou essence super (Corfec, 2011).

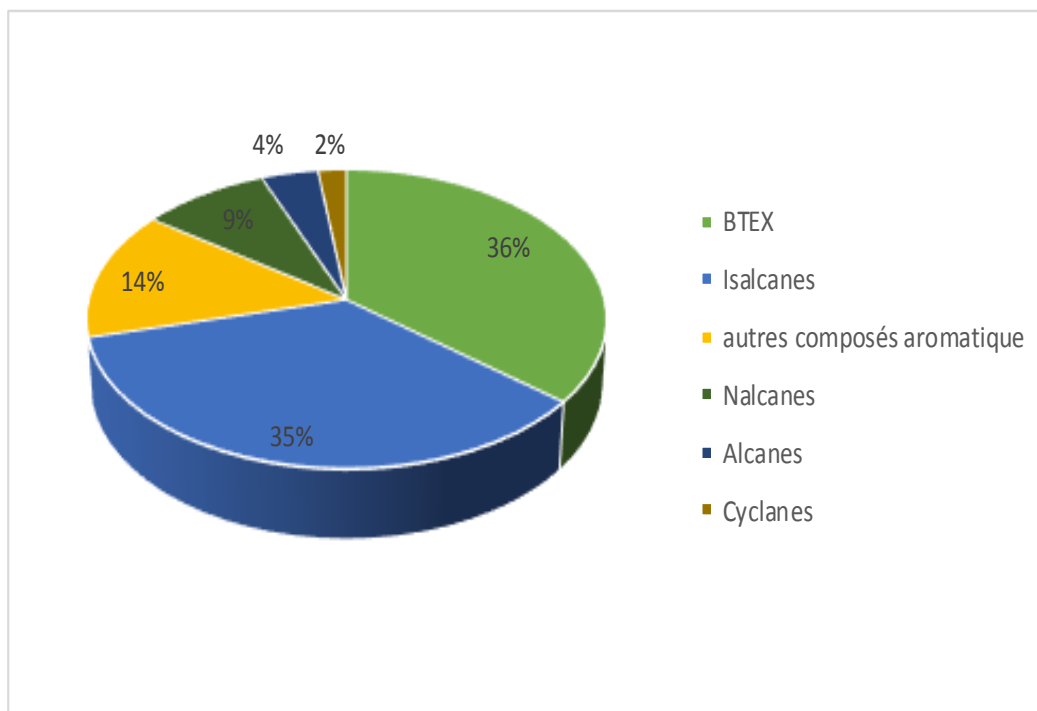


Figure 2 : compositions de l'essence (Marchal et al., 2003).

1.3.2. Gasoil :

Le gasoil se compose de fraction, plus lourdes, principalement de chaînes d'hydrocarbures de 10 à 28 atomes de carbone, (figure 3) (Carnicer et Victoria, 2007).

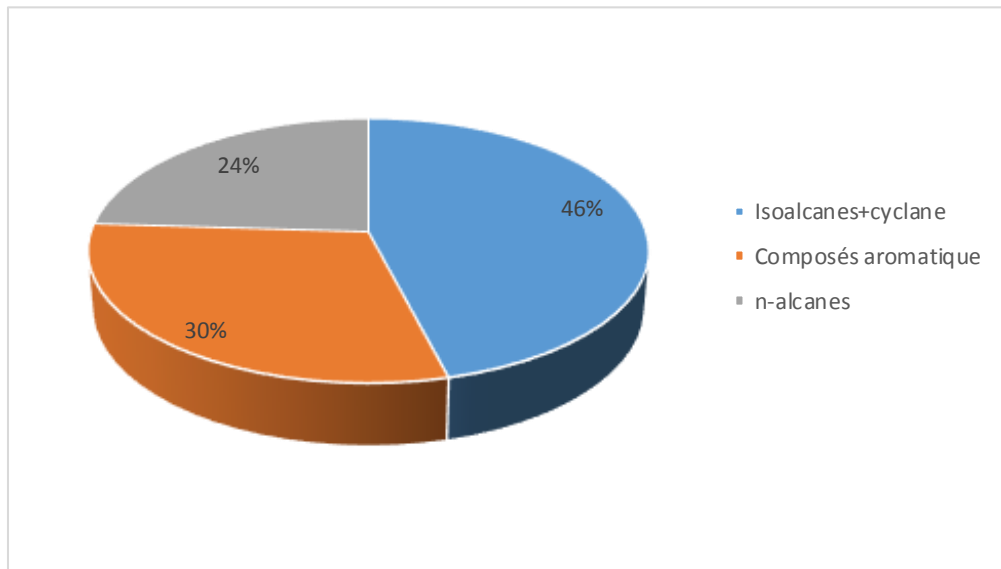


Figure 3 : compositions de gasoil (Marchal et al., 2003).

1.4. Principales sources de contamination du sol par les hydrocarbures:

La pollution par les hydrocarbures est due à des rejets volontaires ou non des produits pétroliers. Les hydrocarbures sont considérés comme étant des polluants à la fois organiques et chimiques (Koller, 2004 in Dali, 2018).

La plupart des contaminants organiques sont générés par l'activité humaine, d'autres peuvent avoir une origine naturelle.

1.4.1. Sources naturelles :

La pollution d'origine naturelle est mineure par rapport à celle d'origine anthropique qui est majoritaire (Thiele et Brummer, 2002 ; Wilcke, 2007).

Les origines naturelles incluent les émissions liées aux feux de forêts, aux éruptions volcaniques (Edwards, 1983), les carburants parviennent au sol par les retombées atmosphériques (Pulgarin, 2012), issus des réactions biogènes dans les plantes et les bactéries

(Wilcke, 2000) ainsi que les réactions géologiques associées à la production de fuel fossile et minéral (Lcpe, 1994).

1.4.2. Sources anthropique :

La présence des hydrocarbures dans le sol est liée aux industries de raffinage et de transformation, à leur transport et à leur distribution (Lemièrre et al., 2001).

Selon Colin (2000), la pollution des sols par les hydrocarbures peut avoir des origines diverses : les huiles de vidange, les fuites des vieilles citernes de fuel et les fuites des carburants lors du remplissage des stockages et lors de la distribution, les déchets des usines de traitement du pétrole, les boues de curage des fossés qui sont rejetées latéralement sur le sol.

➤ Cas d'une station-service :

Les 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. 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. (Figure 4).

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).

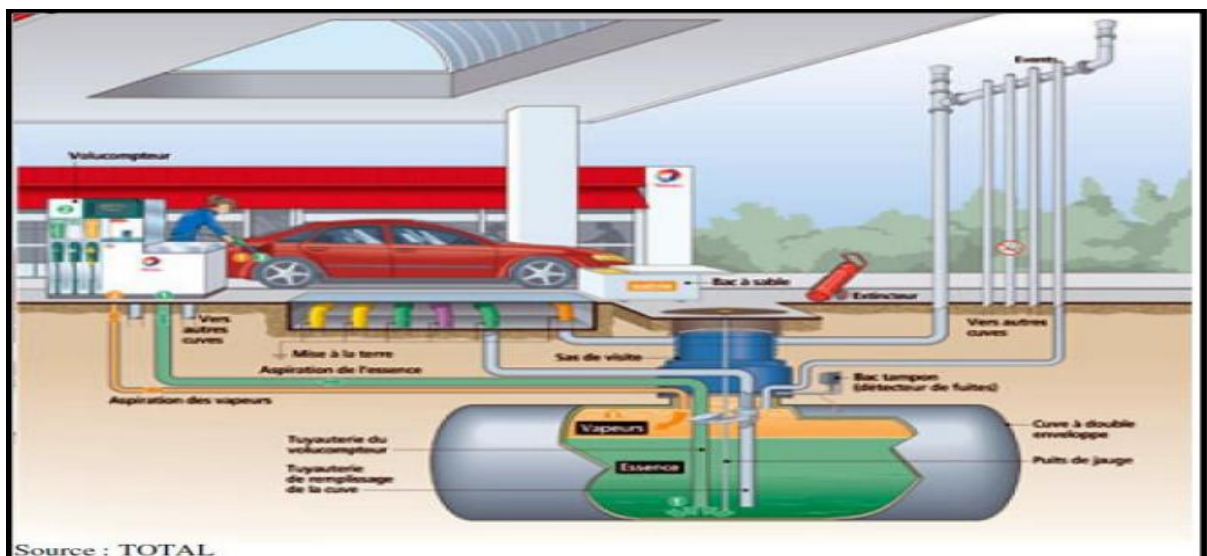


Figure 4: Schéma d'une station-service (Piedrafita, 2007).

1.5. Devenir des hydrocarbures dans le sol :

Le devenir des hydrocarbures dans le sol dépend de leurs propriétés et de celles des sols.

1.5.1 Solubilisation :

La solubilité des hydrocarbures dans le sol dépend de leur nature et leur poids moléculaire.

Bien que les hydrocarbures soient des composés insolubles dans l'eau ; certains d'entre eux peuvent partiellement se dissoudre (hydrocarbures aromatiques et hydrocarbures à faible nombre d'atomes de carbone) (Bertrande et Mille, 1989).

Ces hydrocarbures solubles sont parmi les plus dangereux pour l'environnement. Ils sont difficiles à éliminer et une fois sont absorbés par le sol (Chocat, 2004).

1.5.2. Volatilisation :

Le transfert des hydrocarbures du sol vers l'atmosphère se fait par volatilisation ce qui engendre la diminution de la concentration des hydrocarbures dans le sol (Koller, 2004).

La volatilisation est un phénomène qui touche les hydrocarbures de faibles poids moléculaire et dépend des conditions atmosphériques (vent, température, etc.). Les hydrocarbures les plus légers sont éliminés rapidement dès les premiers jours, pouvant conduire à une pollution de l'atmosphère (Soltani, 2004).

1.5.3. Adsorption :

L'adsorption est la capacité de certains corps solides de retenir les molécules d'autres corps à leur surface. La quantité d'hydrocarbures adsorbés est fortement liée aux propriétés du sol et à l'hydrophobicité du composé. Plus l'humidité est importante plus la quantité de pores occupés par la phase aqueuse est grande, et donc plus le volume de pores disponibles pour retenir les hydrocarbures contenus dans le sol est faible. L'argile possède une surface spécifique élevée et donc adsorbe facilement les polluants organiques (Saada et al., 2005).

1.5.4. Dégradation :

C'est la dégradation des hydrocarbures par les microorganismes en particulier les bactéries.

Il peut s'agir d'une dégradation abiotique (photolyse, réaction d'oxydoréduction, hydrolyse) ou biotique (biodégradation ; par l'action des microorganismes).

La biodégradation est un processus naturel de dépollution de l'environnement

1.6. Les effets des hydrocarbures sur le sol :

Les hydrocarbures représentent les principaux polluants qui affectent les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

1.6.1 Effets sur les propriétés physiques du sol :

Les études réalisées dans le but de déterminer l'effet des hydrocarbures sur les propriétés physiques sont très limitées. D'après Mettauier, et al., (1987) in Fezzani et Khider(2007), la présence des hydrocarbures améliore la stabilité structurale d'un sol, accroît sa rétention en eau et réduit sa mouillabilité.

1.6.2 Effets sur les propriétés chimiques du sol :

Les effets des hydrocarbures sur les propriétés chimiques du sol généralement consistent en :

- une augmentation de la concentration du sol en éléments chimiques à l'état de trace telle que le manganèse, le zinc et le fer (Sauchelli, 1969 in Fezani et Khidar, 2007).
- une augmentation de la conductivité électrique entraînant l'inhibition de certaines plantes très sensibles à la présence des sels (Karaginnidis, 1999).
- une diminution du pH du sol et de la teneur en potassium, en calcium et en phosphore (Chaineau et al., 1996).

1.6.3 Effets sur les propriétés biologiques du sol :

Les effets des hydrocarbures sur l'activité biologique du sol dépendent de leur nature, de leur concentration dans le sol et d'autres facteurs liés au milieu (Duchaufour, 1991).

Il existe dans le sol témoin des souches capables de dégrader les hydrocarbures mais l'apport en hydrocarbures fait qu'il y'a de nouveaux genres qui se développent (Enterobacter, Acinétobacter, Citrobacter), d'autres qui disparaissent (Staphylococcus) (Fezani et Khider, 2007).

2. Techniques de décontamination des sols pollués par les hydrocarbures :

Plusieurs techniques de traitement ont vu le jour afin de tenter, de restaurer les sites pollués classés dangereux pour les écosystèmes et la santé humaine (Ballerini et Vandecasteele, 1999).

Il existe des méthodes de décontamination de type physique, chimique, thermique ou biologique ; la présentation de chaque technique considérée rassemble principalement les informations relatives à sa description, son domaine d'application, son efficacité, ses coûts, ses avantages et ses inconvénients (Colombano et al., 2010).

2.1. Traitements physiques :

Leurs principes consistent à séparer et concentrer les polluants, sans les modifier ou les détruire. Les procédés d'adsorption sur charbon, d'extraction, de lavage et de confinement sont les plus souvent utilisés (Scriban, 1999).

2.2. Traitements chimiques:

Les procédés chimiques utilisent des réactifs pour détruire les polluants, les transformer en des composés moins toxiques et plus facilement biodégradables ou modifier leurs caractéristiques (mobilité, toxicité) (Colin, 2000).

2.3. Traitements thermiques :

Dans les techniques basées sur un traitement thermique, la chaleur est utilisée pour modifier physiquement ou chimiquement les polluants (Soltani, 2004).

Les procédés thermiques sont très efficaces tant pour l'extraction que l'élimination, mais ils sont souvent coûteux (Koller, 2009).

2.4. Traitements biologiques :

De nos jours, le traitement biologique représente une voie majeure de dégradation des HAP ou d'autres contaminants dans l'environnement (Haritash et Kaushik, 2009).

Ils se basent sur l'utilisation des propriétés dépolluantes des organismes vivants pour réduire la toxicité, la mobilité ou le volume d'un contaminant dans le sol, le sous sol, les eaux et les effluents gazeux.

3. Décontamination des sols par compostage :

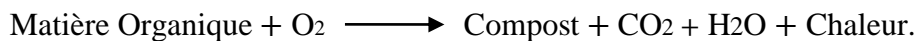
3.1. Définition du compostage :

Le compostage est un processus biologique contrôlé de dégradation aérobie et de réorganisation de la matière organique en présence de nutriments. Il permet de convertir la matière organique en substance organique stable et humifiée, qui est le compost (Théobald, 1994 ; Morand, 1999). C'est aussi un mode de traitement biologique des déchets (Charnay, 2005).

3.2. Principe du compostage :

Le compostage est un traitement biologique aérobie des déchets organiques sous forme solide ou semi-solide.

Selon Gourdon (2002), l'équation globale de bio-oxydation de la matière organique est la suivante :



C'est une technique permettant le retour de la matière organique au sol lorsqu'on l'utilise comme amendement organique des sols agricoles ou urbains. Il s'agit de la réintégration de la matière organique dans les cycles biogéochimiques de notre environnement (Gourdon, 2002).

Plusieurs procédés sont utilisés pour fabriquer le compost. Il existe trois règles fondamentales pour sa réussite mélanger, aérer, humidifier.

-bien mélanger les déchets à composter ; favorise de faire démarrer le processus de fermentation. Pour avoir un bon rapport de 50/50 (Carbone /Azote) au niveau des matières organiques il faut alterner les déchets vert (herbes, tonte de gazon, épluchures de fruits,...) avec les déchets secs (feuilles mortes, pailles, sciures de bois, grignon d'olive...).

Selon Larbi (2006), le rapport C/N est un paramètre important, influencé d'une part par la composition des intrants et d'autre part par son degré de maturation.

-l'aération du compost ; il est très important, de brasser le compost pour l'aérer et d'apporter l'oxygénation nécessaire au mélange, car la plupart des micro-organismes qui interviennent dans la dégradation des matières organiques sont tous aérobies.

-Humidifier : l'humidité du substrat mis en compostage est nécessaire à la vie des êtres vivants qui interviennent dans le compostage (YULIPRIYANTO, 2001). La décomposition de la matière organique est inhibée si la teneur en eau baisse en dessous de 20% au contraire, si elle dépasse 70% ; l'eau commence à remplir les espaces lacunaires des déchets et empêche les échanges d'O₂ provoquant des conditions favorables à l'anaérobiose (RAMDANI, 2015).

3.3. Types de compostage :

Il existe quatre techniques de compostage :

Le compostage en andain ; consiste à placer un mélange de matières premières dans le longs tas étroits appelés andains, ces derniers sont aérés par un mouvement passif ou naturel (Koledzi, 2011).

Le compostage en récipient clos ; fait référence à un ensemble de méthodes qui confinent les matières à composter dans un bâtiment, un container ou récipient, elles sont basées sur l'aération forcée et des techniques de retournement mécaniques qui visent à accélérer le processus de compostage (Rytz, 2001).

Le lombricompostage (le vermicompostage) ; consiste à placer dans une compostière des vers de fumier qui se nourrissent des déchets qu'on leur apporte (Mustin, 1987).

Le co-compostage ; se réalise avec un mélange de déchets d'origine et de structures différentes (boues de station d'épuration avec des déchets verts par exemple) (Charnay, 2005).

3.4. Les 4 étapes de compostage :

Le compostage est accompagné de production de chaleur. Il est largement admis depuis longtemps que la chaleur générée au sein du compostage est essentiellement d'origine biologique, c'est-à-dire l'activité microbienne (WAKSMAN et al, 1939). Des oxydations chimiques exothermiques peuvent également prendre part à l'échauffement du composte. Mais l'origine abiotique de l'échauffement est considérée devant l'origine biologique, lorsque les températures n'atteignent pas des valeurs très convenables pour l'activité microbienne dans domaine dépassant les 80°C (FINSTEIN & MORRIS M.L. 1975. MILLER et al, 1989).

L'évolution de température au sein du composte permet de définir quatre phases au cours du processus de compostage :

3.4.1. La phase mésophile : c'est la phase initiale du compostage durant les premiers jours la présence de matières organiques facilement biodégradables entraîne une forte activité microbienne qui génère une vitesse dans l'augmentation de la température à l'intérieur du compost (Francou, 2003).

3.4.2. La phase thermophile : dans cette phase une augmentation de la température allant de 60°C à 75°C seules les bactéries peuvent survivre à ces températures. La grande partie de la matière organique est perdue sous forme de CO₂ et H₂O. (Francou, 2003).

3.4.3. La phase de refroidissement : cette phase caractérisée par une diminution de la quantité de matières organiques facilement dégradables provoquant un ralentissement de l'activité microbienne. Ceci favorise un refroidissement du composte (Francou, 2003).

3.4.4. La phase de maturation : processus d'humidification prédominant ainsi que la dégradation lente des composés résistants. Cette phase de maturation continue jusqu'à l'utilisation du composte (Francou, 2003).

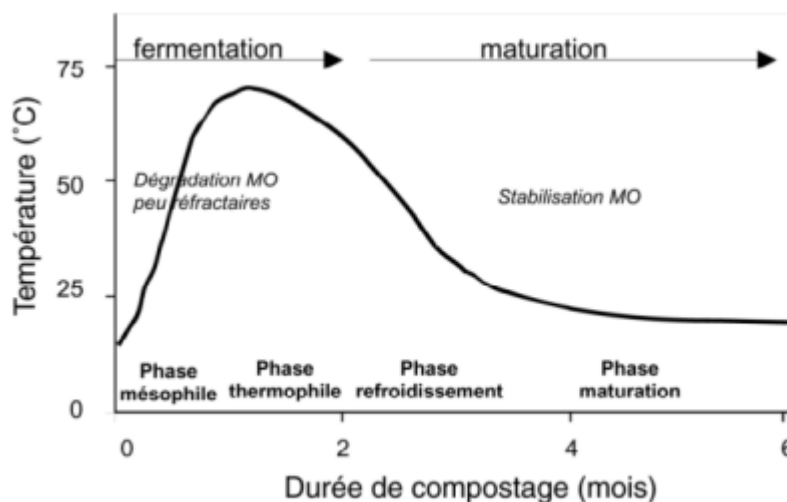


Figure 5: Courbe de l'évolution de la température au cours du compostage (Leclerc, 2001).

3.5. Le compost :

Un produit organique stable, hygiénique semblable à un terreau, riche en composés humique et fulvique (Mustin, 1987). Constitue un excellent produit d'amendement des sols. Il permet à

la fois d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et de fournir, par voie de minéralisation, des éléments nutritifs assimilables par les cultivées (Souidi., 2001).

4. Les caractéristiques des ajouts organiques :

4.1. La sciure de bois :

Elle est un sous-produit généré par la transformation industrielle du bois, il est composé de fibres de structure complexe (Benyoucef et Harrache, 2014), essentiellement de la cellulose,

l'hémicellulose, la lignine et d'autres extractives (Ramagea et al., 2017). Il contient, en faibles proportions, des composés organiques tels que les sels minéraux et les résines. Les sciures de bois peuvent être valorisées pour plusieurs usages tels que la valorisation énergétique comme combustible. (Benyoucef et Harrache, 2014).

4.2. Le grignon d'olive :

C'est le résidu sec issu de l'extraction de l'huile d'olive, il est composé de la pulpe, du noyau et du tégument de l'olive, avec un taux d'humidité entre 24 et 40% , une teneur en graisse entre 3 et 7% selon le procédé d'extraction utilisé (Touati, 2012).

5. Les critères de maturité et de stabilité d'un compost :

La maturité d'un compost est le stade ultime dans le processus de compostage durant lequel la matière organique est stabilisée sur le plan physique, chimique et biologique (Sawadogo, 2015) et auquel le compost n'aura pas d'effets négatifs sur la croissance des plantes après son application sur le champ (Bokobana et al., 2017).

Chapitre II :

Matériels et méthodes

Notre travail a pour but la décontamination d'un sol pollué aux hydrocarbures par le compostage et l'évaluation de l'effet de l'apport de la sciure de bois et des grignons d'olives sur l'efficacité de cette technique. Pour ce faire, nous avons utilisé 4 essais biologiques (germination des graines de maïs, survie et croissance des vers de terre, respiration microbienne du sol, activité de la catalase) complétés par le dosage des hydrocarbures résiduels. Le travail expérimental de ce mémoire a été réalisé au sein du laboratoire PSMRVC de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou.

1. Matériel :

1.1. Le sol :

L'étude expérimentale a été effectuée sur un sol contaminé par les hydrocarbures prélevé sur une parcelle localisé au niveau d'une station-service à Boukhalfa, 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 (figure 6).



Figure 6. Localisation de la station de service Ait Benamara de Boukhalfa (Google maps).

Nous avons choisi cette station à cause de l'ampleur de la pollution et du risque qu'elle présente sur l'environnement et l'être humain.

Le sol prélevé sur ce site est pollué par des carburants (essence et gasoil) provenant des événements.

1.2. Matériel végétal :

Pour réaliser les essais de phytotoxicité sur le sol pollué par les hydrocarbures, nous avons utilisé le maïs (*Zea mays*). C'est une plante très souvent utilisée dans l'évaluation des sols contaminés par les hydrocarbures. Elle a été choisie en raison de sa sensibilité aux hydrocarbures (Chaîneau et al., 1997).

1.3. Matériel animal :

Dans cette étude nous avons utilisé les vers de terre du genre *Eisenia* (ver du fumier) retrouvés dans un jardin agricole. Les adultes de ces espèces mesurent en moyenne 35 à 130mm de longueur, en moyenne 3 à 5mm de diamètre et comptent entre 80 à 110 segments, distingués des jeunes par la présence d'un clitellum. Au cours de cette expérience, nous avons évalué l'effet des hydrocarbures sur la survie et la biomasse des vers de terre car ils sont sensibles à ces polluants.

2. Méthodes :**2.1. Préparation du sol :**

L'échantillonnage du sol a été réalisé le 15/03/2022. Les prélèvements ont été effectués à une profondeur de 0 à 25cm correspondant à la couche superficielle du sol.

Le sol a été laissé à l'air libre pendant 2 jours, afin de pouvoir effriter les grosses mottes, puis tamisé à l'aide d'un tamis à mailles de 5mm de diamètre. Après homogénéisation, le sol a été réparti en 4 lots destinés à recevoir différents traitements.

2.2. Mise en place de l'essai :

La mise en place du compostage a été réalisée le 13/04/2022 pour les 4 lots de sol pollué comme suit :

1^{er} lot : sol contaminé + 2% de sciure de bois (SpScb).

2^{ème} lot : sol contaminé + 20% de grignon d'olive (SpGrO).

3^{ème} lot : sol contaminé + 2% de sciure de bois + 20% de grignon d'olive (SpGrOScb).

4^{ème} lot : sol contaminé sans aucun ajout laissé comme témoin (Spt).

Le sol de chacun des lots a été réparti sur trois mini-composteurs, représentant les trois répétitions de chaque traitement (figure 7), ce qui fait un total de 12 échantillons.



Figure 7. Mini-composteurs du sol pollué aux hydrocarbures.

2.3. Suivi du compostage :

Le suivi du compostage consiste en un arrosage régulier (60 ml d'eau) avec retournement du sol 2 à 3 fois par semaine durant 6 semaines.

2.4. Evaluation de l'efficacité du compostage :

Après 6 semaines, nous avons évalué l'efficacité du traitement du sol pollué par compostage avec les différents ajouts (sciure de bois et grignon d'olive) en utilisant plusieurs tests.

2.4.1. Test de germination des graines de maïs:

Nous avons réalisé un test de germination sur les 12 échantillons de sol composté, en mettant dans chaque boîte de Pétri 100g de compost couvrant 10 graines de maïs.

Les graines ont été laissées à germer à 20°C avec un arrosage régulier pendant 7 jours (Winqvist et al., 2014). Le taux de germination (TG) a été ensuite calculé pour chaque boîte selon la formule suivante :

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

Le test de germination permet d'évaluer l'impact et l'effet de la concentration des hydrocarbures résiduels sur la germination des graines de maïs après compostage. Le maïs étant sensible aux hydrocarbures, toute augmentation du taux de germination indique une diminution de la toxicité dans le sol et donc l'efficacité du traitement de décontamination.

2.4.2. Test de toxicité 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. L'espèce utilisée dans cette étude appartient au genre *Eisenia*. Sa sensibilité associée à son cycle de vie court en fait un bon candidat aussi bien pour les essais de toxicité aigüe que chronique. Ceux-ci permettent de définir l'impact des carburants résiduels sur les vers de terre, en termes de mortalité et d'effet sur la croissance (mesure du poids) après 6 semaines de compostage. Une baisse de la mortalité et une meilleure prise de poids indiquent une amélioration de la qualité du sol.

Dans cette expérience, nous avons mis 100g du sol de chaque mini-composteur dans des pots en plastiques puis insérés dans chacune 3 individus de vers de terre pesés au préalable. Les pots ont été recouverts d'un tissu à mailles permettant une bonne aération du sol (figure 8). Au bout de 14 jours, nous avons pris le poids des vers en survie et calculé le taux de mortalité.

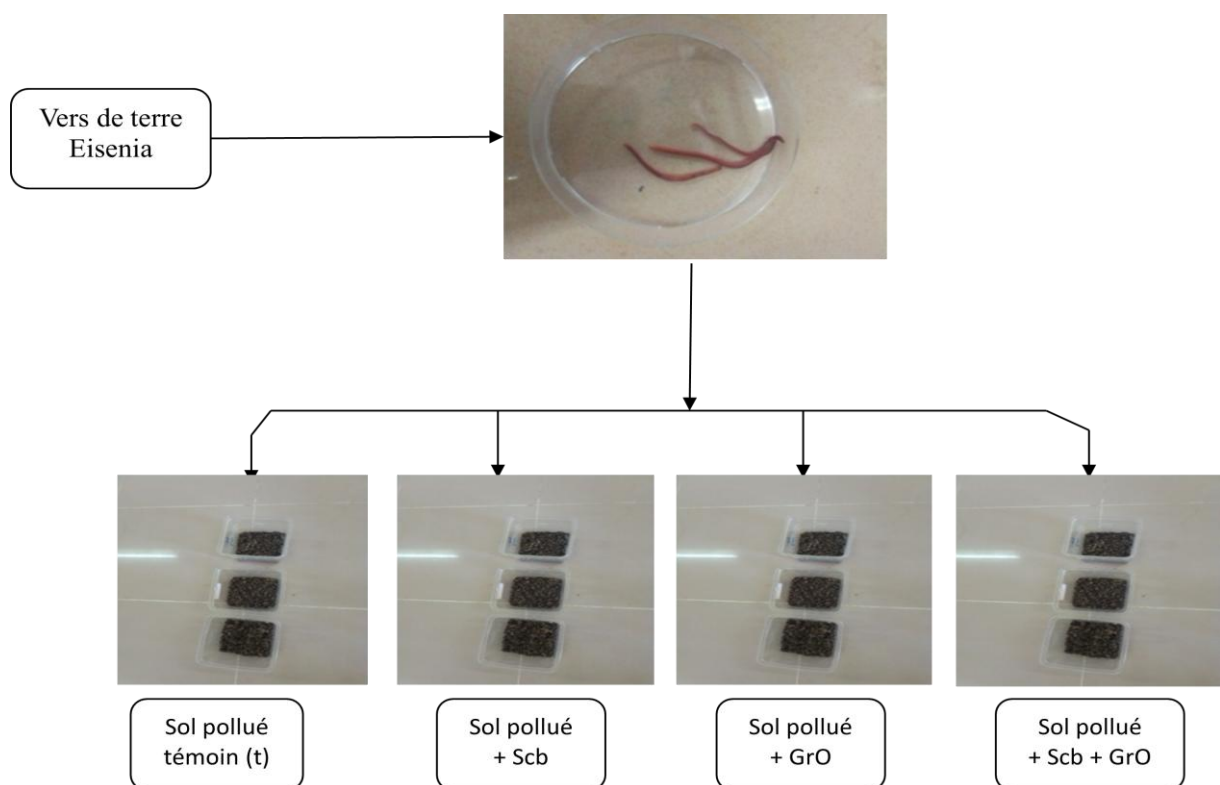


Figure 8. Dispositif de l'essai biologique sur les vers de terre.

2.4.3. Tests de toxicité sur les microorganismes du sol :

2.4.3.1. Activité biologique globale :

La mesure de l'activité biologique globale a été faite au moyen d'un test respirométrique décrit par Dommergues (1960), le principe étant de mesurer la respiration des microorganismes par la quantification du CO_2 dégagé lors d'une incubation de 7 jours à une température constante de 28°C .

Dans des flacons hermétiques de 250ml contenant 100 g de sol composté, nous avons introduit 2 tubes à hémolyse l'un contient 3ml d'eau (pour éviter le dessèchement du sol) et l'autre 5ml d'une solution de NaOH à 0,5 N (pour capter le CO_2 dégagé par les microorganismes). Après incubation, l'excès de NaOH contenu dans les tubes dans chaque flacons est titré avec une solution de HCl 0,25 N en présence de phénolphaléine. La disparition de la couleur rose violacée marque la fin du titrage (figure 9).

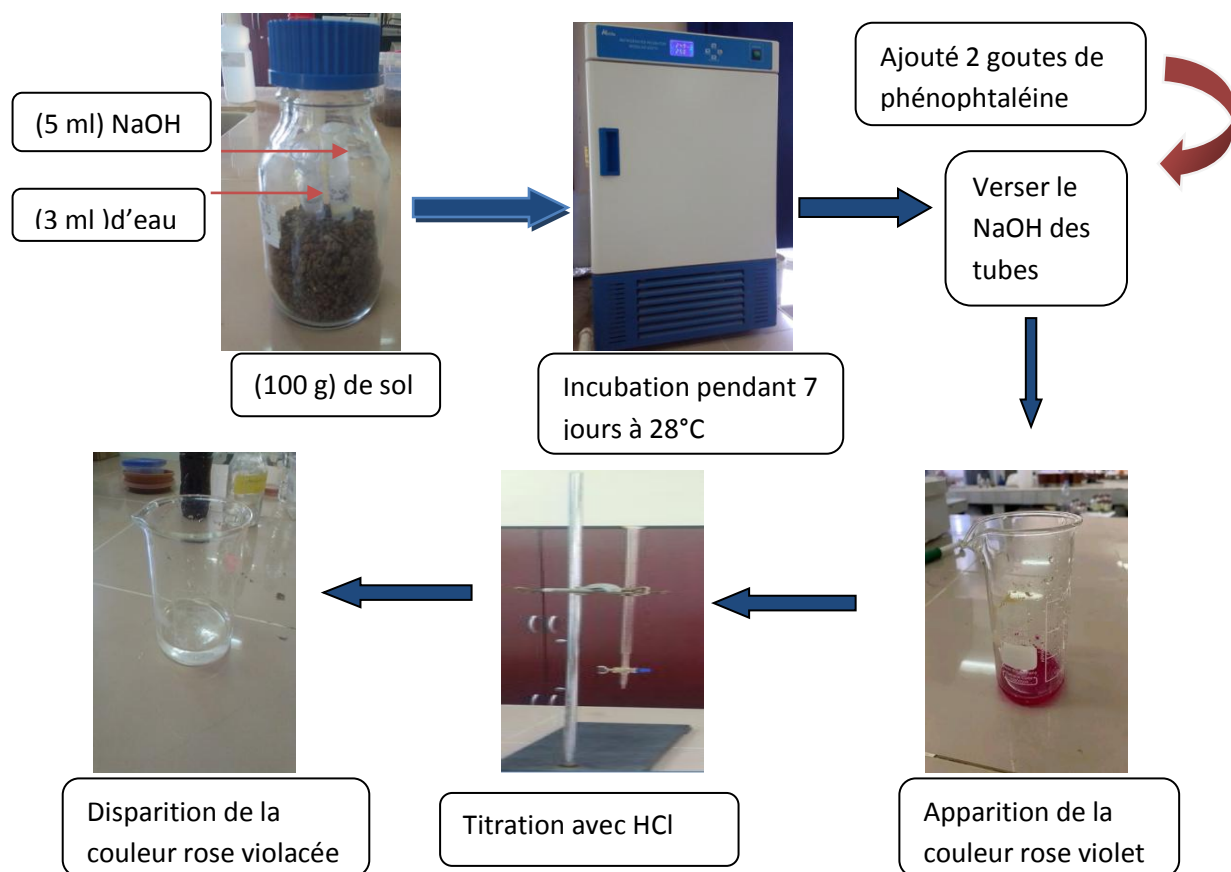


Figure 9. Protocole de mesure de la respiration microbienne du sol.

2.4.3.2. Activité de la catalase :

La catalase est une enzyme qui catalyse la réaction de dégradation du peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène et elle est présente chez tous les organismes aérobies (Pichaud, 2005). Le protocole utilisé pour la mesure de la catalase est celui décrit par Guan (1986).

Après avoir pesé 5g de chaque sol composté et les avoir placés dans des flacons, nous avons ajouté à chacun 2,5ml de H_2O_2 à 0,3% et 20ml de tampon phosphate à pH7. Les mélanges réactionnels ont été incubés à $25^\circ C$ pendant 20min. Ensuite, 2,5ml de d'une solution de H_2SO_4 à 3,0mol/L ont été ajoutés au mélange pour arrêter la réaction, puis le mélange a été filtré à l'aide du papier filtre. L'excès de H_2O_2 a été titré avec une solution 0,5M de permanganate de potassium jusqu'à l'apparition d'une couleur rose claire (figure 10).

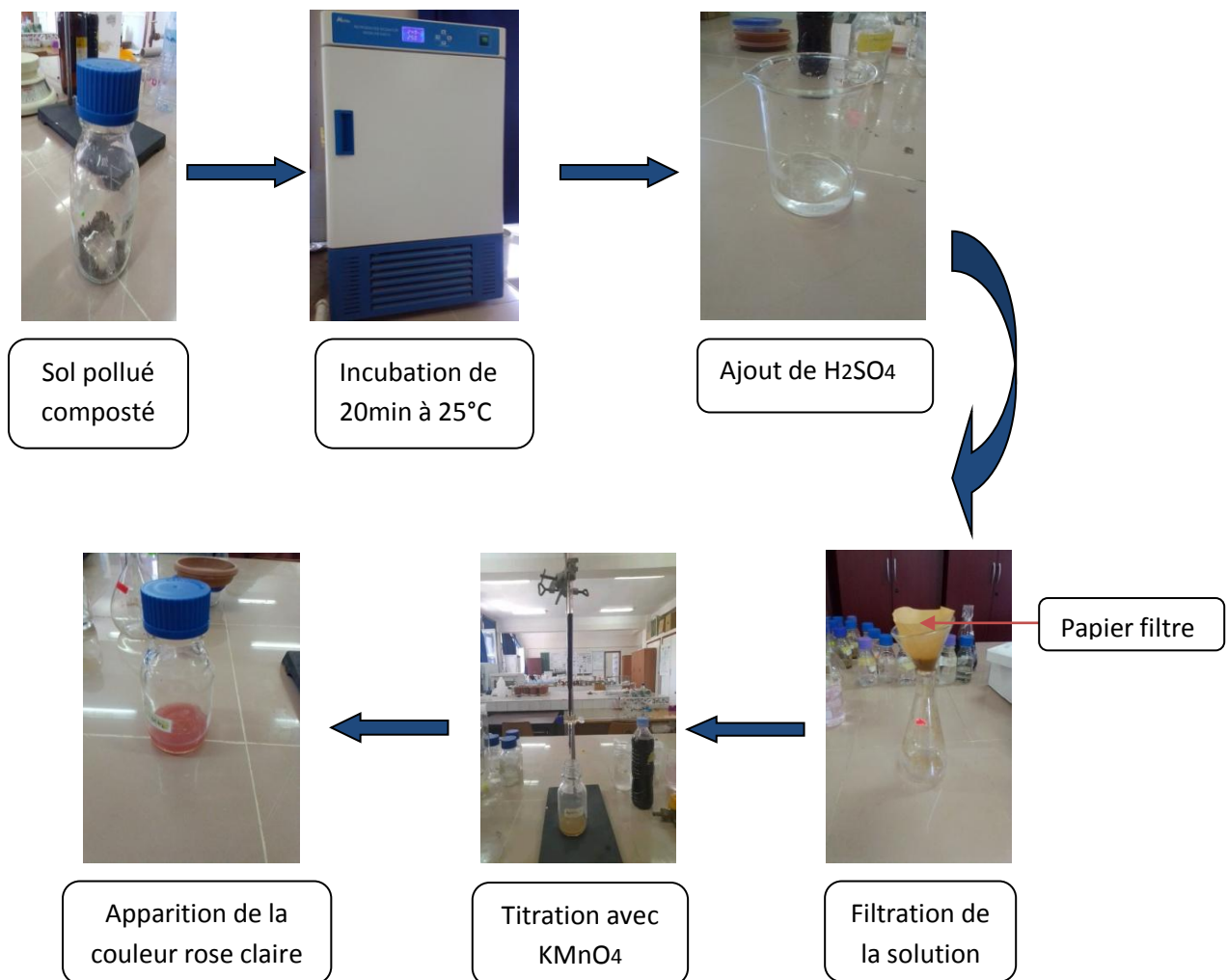


Figure 10. Protocole de dosage l'activité de la catalase

2.4.4. Quantification des hydrocarbures résiduels :

L'extraction des hydrocarbures contenus dans le sol pollué après compostage a été faite par l'utilisation d'un solvant qui est l'hexane.

La mise en contact du sol avec le solvant est favorisée par agitation mécanique pendant 4h de la solution sol/hexane au rapport 1/5 (masse/volume).

Après 15mn de centrifugation à 4500trs/mn, le surnageant a été récupéré puis laissé dans des boîtes de Pétri, préalablement pesées, jusqu'à l'évaporation du solvant. La quantité d'hydrocarbures extraits est obtenue par pesée à l'aide d'une balance de précision (figure 11).

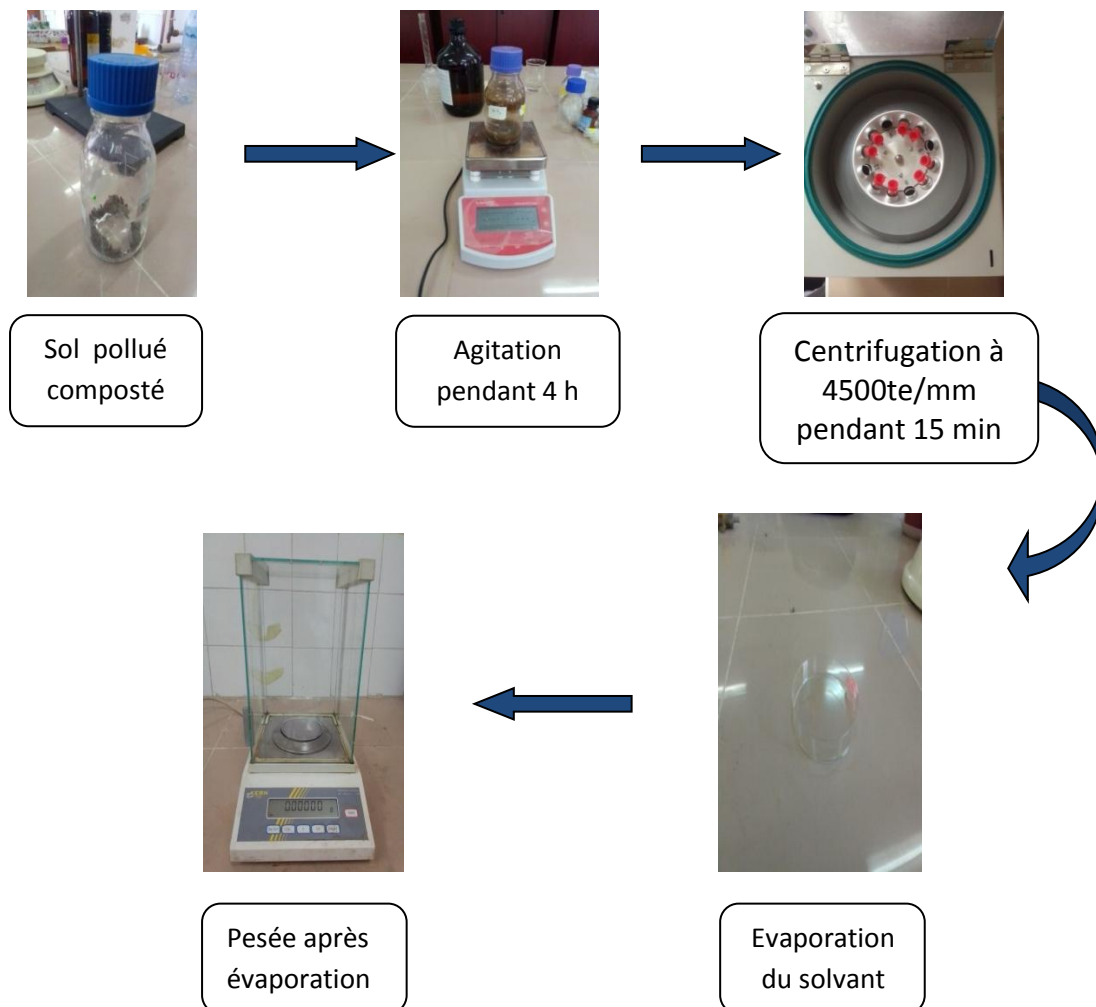


Figure 11. Protocole d'extraction et de quantification des hydrocarbures.

3. Méthodes d'analyse statistique :

Les résultats obtenus sont soumis à une analyse de la variance lorsque la normalité et l'égalité des variances sont vérifiées. Cette analyse est suivie du test de Newman et Keuls lorsque des différences significatives sont observées. Par ailleurs, lorsque l'une de ces conditions n'est pas vérifiée, le test de Kruskal-Wallis est appliqué. Toutes ces analyses sont réalisées en utilisant le logiciel R.4.1.0.

Chapitre III :

Résultats et discussions

Ce travail, consiste à comparer l'efficacité du compostage d'un sol pollué aux carburants avec et sans ajouts organiques et à comparer entre les différents ajouts. Cette efficacité a été évaluée en utilisant des bio-essais associés à la quantification des carburants résiduels.

1. Résultats :

1.1. Test de germination des graines :

Les résultats exposés dans la figure 12 montrent que les taux de germination des graines de maïs diffèrent d'un traitement à l'autre. Le taux de germination le plus élevé a été observé dans le sol non traité avec un pourcentage de 73,33%, suivi par le sol traité avec la sciure de bois (SpScB) avec un pourcentage de 43,33% et par le sol traité par la combinaison de la sciure de bois et du grignon d'olive (SpGrOScB) avec 36,66%. Le taux de germination le plus faible (10%) a été enregistré dans le sol traité avec le grignon d'olive (SpGrO) avec 26,66%.

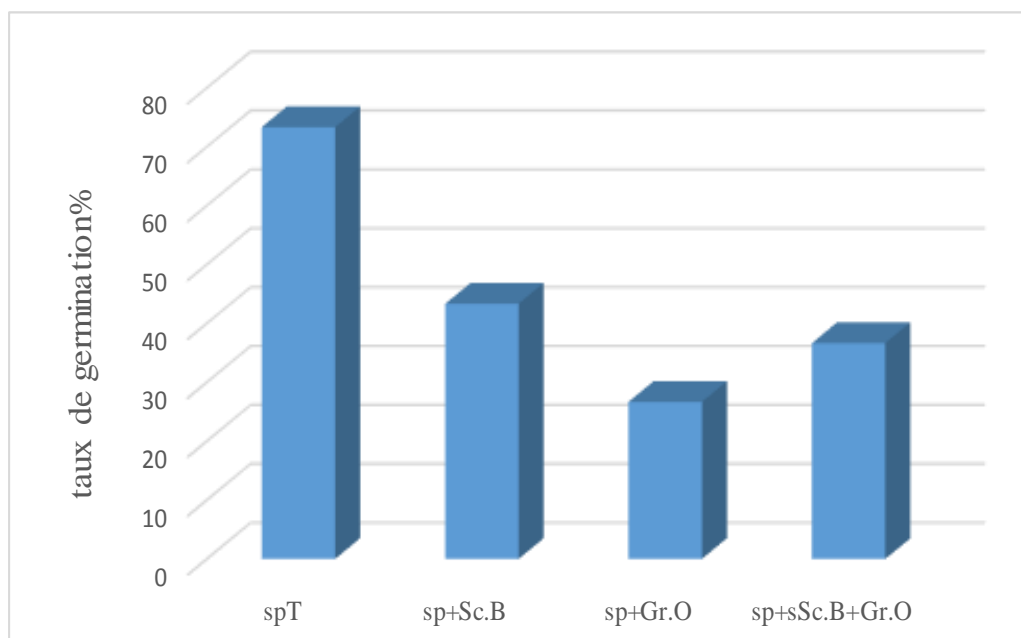


Figure 12.Taux de germination des graines de maïs.

L'anova à un seul facteur pour les sols traités et non traités avec la technique du compostage (Annexe 1), montre que les différences observées entre les traitements ne sont pas significatives ($p\text{-value}=0,23$) donc, les ajouts organiques ont tous eu le même effet sur la germination des graines de maïs.

1.2. Croissance des vers de terre :

Les résultats de la biomasse des vers de terre en fonction du traitement avec ou sans ajouts organiques sont exposés (figure 13).

Il en ressort qu'après 14 jours d'exposition au sol composté, il y'a une diminution plus importante de la biomasse des vers de terre jusqu'à 0,093g dans le sol non traité (Spt). Concernant les autres sols traités avec GrO et ScB, une légère diminution de la biomasse des vers de terre a été observée.

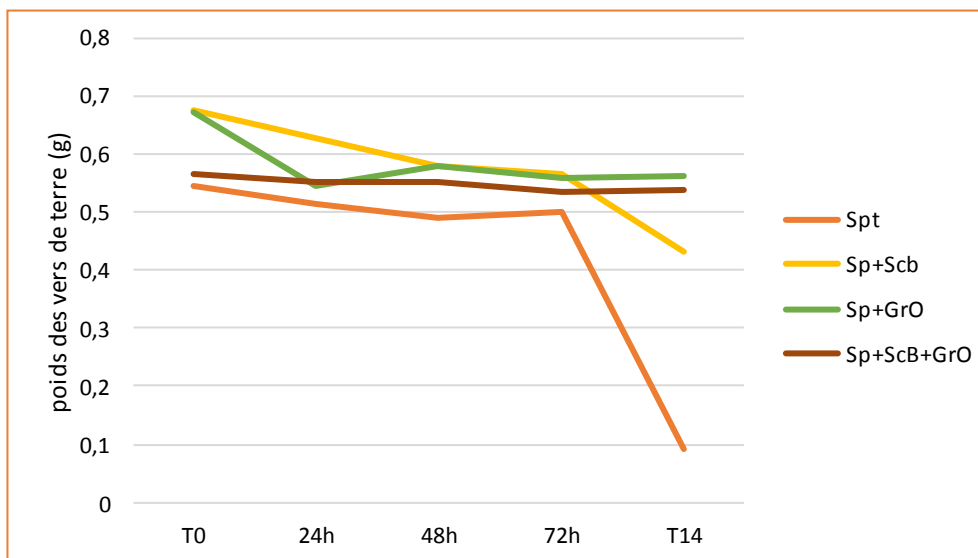


Figure 13. Evolution de la biomasse des vers de terre dans le sol en fonction des traitements par ajouts organiques.

L'analyse statistique (Annexe 2), de ces données indique qu'il y a une différence significative de la croissance des vers dans les sols traités par compostage avec divers ajouts organiques (p -value = 0,003). Le test de Newman et Keuls a classé les moyennes en 2 groupes homogènes (tableau 1). Le groupe A contient le sol SpGrO, le sol SpGrOScb et le sol SpScb avec des moyennes respectives de 0,564, 0,539 et 0,433g et le groupe B renfermant le sol SpT avec une masse moyenne de 0,049g.

Tableau 1 : Groupes homogènes de la biomasse des vers de terre après 14 jours.

Sols	Moyennes	Groupes
SpGrO	0,564	A
SpGrOScb	0,539	A
SpScb	0,433	A
Spt	0,049	B

1.3. Viabilité des vers de terre :

Les résultats des taux de mortalité des vers de terre (figure 14) montrent que la survie des vers de terre est tellement faible dans le sol pollué non traité (SpT) avec un seul individu vivant. Par ailleurs les vers de terre des autres sols traités par les ajouts organiques sont restés vivants, sauf que dans le sol (Sp+Sc.B) on a marqué une mortalité d'un seul individu.



Figure 14. Survie des vers de terre.

L'analyse statistique (Annexe 3), de ces données indique qu'il y a une différence significative de la viabilité des vers dans les sols traités par compostage avec divers ajouts organiques (p -value =0,04112).

Le test de Kruskal-Wallis a donné 2 groupes homogènes (tableau 2). Le groupe A contient le sol SpGrOScb avec une moyenne 9, le sol SpGrO et le sol SpScb avec la même moyenne 7,5 et le groupe B renfermant le sol Spt avec une moyenne 2.

Tableau 2 : Les groupes homogènes de la viabilité des vers de terre après 14 jours.

Sols	Moyennes	Groupes
SpGrOScb	9.0	A
SpGrO	7.5	A
SpScb	7.5	A
Spt	2.0	B

Les trois traitements ont donné une meilleure survie des vers par rapport au sol pollué non traité.

1.4. Respiration microbienne :

Les résultats du test respirométrique exprimés en quantité de dioxyde de carbone dégagée dans les différents sols traités et non traités après 7 jours d'incubation à 28°C sont illustrés (figure 15).

Nous constatons que la quantité de CO₂ dégagée est la plus élevée et a atteint 21,824mg dans le sol traité par l'ajout de la sciure de bois (SpScB), suivi par celui traité par la combinaison sciure de bois-grignon d'olive(SpScBGrO). Nous avons enregistré une faible quantité de CO₂ dégagé dans le sol traité avec le (GrO) 4,84mg par rapport aux sols non traités.

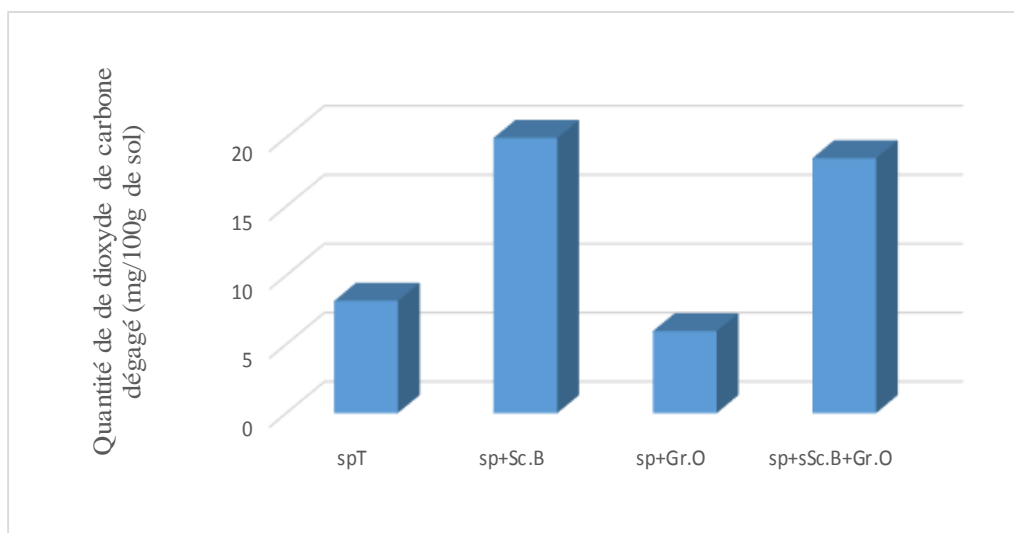


Figure15. Dégagement de CO₂ cumulé dans les différents sols.

Les résultats du test Kruskal-Wallis (Annexe 4) pour l'activité biologique révèle qu'il n'y a pas une différence significative entre les sols traités avec les ajouts et le sol non traité (p-value=0,576).

1.5 Activité de la catalase :

Les résultats de la mesure de l'activité de la catalase exprimée en quantité de KMnO₄ dans les sols traités par rapport au sol témoin sont illustrés (figure16).

Nous remarquons que le sol mélangé avec la sciure de bois (SpScB) montre une grande activité enzymatique (0,766ml), suivi du sol témoin(SpT) et le sol amendé par ajout de sciure

de bois et de grignon d'olive (SpT et SpScBGrO) avec un volume de 0,466ml. La valeur la plus faible a été enregistrée dans le sol ayant reçu le grignon d'olive (SpGrO) avec 0,266 ml.

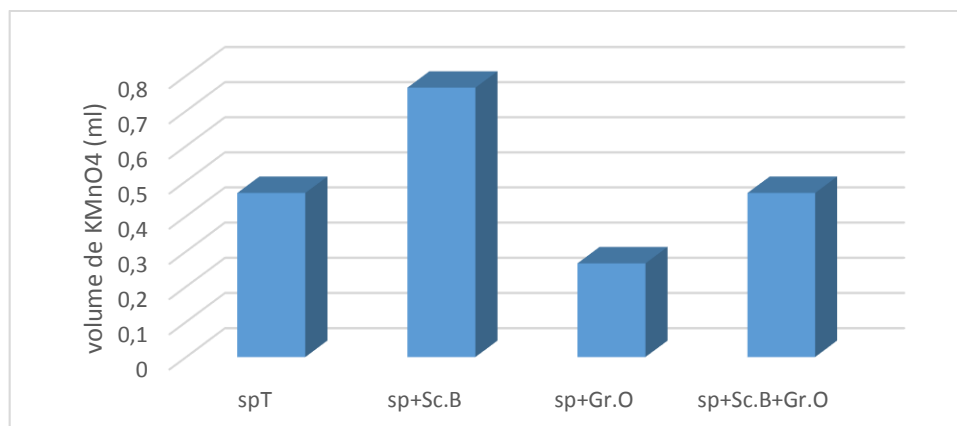


Figure 16. Volume de catalase dans les sols traités et non traité.

Les résultats du test de Kruskal-Wallis pour la catalase (Annexe 5) ont révélé une différence très hautement significative entre les volumes de H₂O₂ catalysé dans les différents sols ($p\text{-value}=4,32.10^{-5}$).

Le test post-hoc de Kruskal-Wallis a donné 3 groupes homogènes (tableau 3). Le groupe A contient le sol SpScB avec une valeur 0,766ml. Le groupe B contient le sol SpGrO ScB et le sol SpT avec la même moyenne 0,466ml. Le dernier groupe contient le sol SpGrO avec une moyenne de 0,266ml.

Tableau 3 : Groupes homogènes de l'activité enzymatique.

Sols	Moyennes	Groupes
SPScB	0,766	A
SpGrO ScB	0,466	B
SpT	0,466	B
SpGrO	0,266	C

1.6. Quantification des hydrocarbures résiduels :

La figure 17 donne la quantité des hydrocarbures restants dans les sols traités et le sol témoin après compostage. Ces résultats montrent que les quantités des hydrocarbures diffèrent d'un sol à l'autre, la valeur la plus élevée (1,327g/100g du sol) étant obtenue dans SpT par rapport aux sols traités par ajouts organiques, suivi de celui traité par sciure de bois et grignon

d'olive(1,086 g). Dans le sol traité avec le grignon d'olive, une quantité de 0,759 g/100g de sol a été enregistrée.

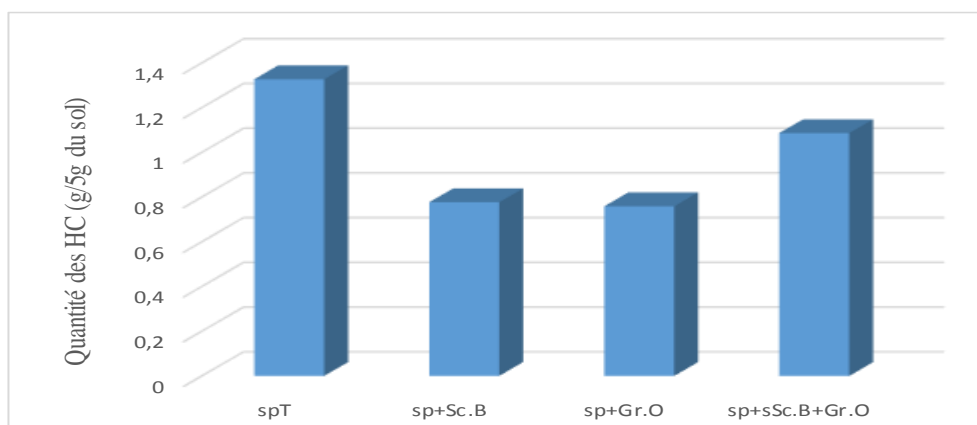


Figure 17. Quantité des hydrocarbures extraite dans les différents sols traités et non traité.

D'après les résultats de l'Anova (Annexe 6), les différences observées entre les différents traitements n'étaient pas significatives (p-value=0,149).

2. Discussion :

L'étude de l'efficacité des ajouts organiques dans le processus du compostage de sols pollués aux carburants a montré que la germination des graines de maïs n'a pas été améliorée par les ajouts, avec notamment des valeurs inférieures à 50%. Ce traitement n'a pas réduit significativement la toxicité sur ces graines dans le sol pollué. Les graines de maïs ont donc subi la toxicité des hydrocarbures comme noté par Chaineau et al. (1997) qui ont souligné aussi que l'ampleur des effets des hydrocarbures différait selon leurs concentrations.

Nos résultats concernant les essais toxicologiques sur les vers de terre du genre *Eisenia*, après l'application des traitements des sols par les ajouts organiques, montrent une différence significative du poids des vers de terre après 2 semaines (14 jours) d'exposition dans le sol pollué par les hydrocarbures. Nous avons enregistré une forte baisse du poids des vers de terre probablement due à la mortalité d'individus que nous pouvons expliquer par l'effet négatif des carburants.

Nos résultats concordent avec ceux de Vasseur et al. (2008) qui ont constaté que le sol contaminé par des carburants induisait la mortalité des vers de terre. Le même constat a été fait par Hawrot-Paw et al. (2020) concernant la mortalité et le poids des vers. Spurgeon et al.

(1994) et Svendrup et al. (2002), ont montré des effets inhibiteurs sur la survie et la reproduction des vers de terre exposé à un sol enrichi en hydrocarbures.

Les sols pollués traités avec le grignon d'olive et /ou la sciure de bois ont donné des résultats différents de ceux du témoin. En effet, dans ces sols, une faible baisse du poids des vers a été enregistrée, notamment dans le sol traité par la sciure de bois.

Au cours de notre travail, nous avons observé une grande activité biologique dans le sol traité par la sciure de bois suivie de celle enregistrée dans le sol pollué traité par la sciure de bois et le grignon d'olive. Une respiration plus faible a été observée dans le sol témoin. Ceci pourrait indiquer une meilleure dégradation des hydrocarbures dans les sols amendés avec la sciure de bois et l'association de la sciure de bois et du grignon d'olive. Selon Bergue (1986), une grande partie des constituants des produits pétroliers subissent une grande variété de mécanismes d'élimination, notamment la dégradation bactérienne.

La plus faible valeur est notée dans le sol traité par le grignon d'olive ; ce qui serait dû à la faible dégradation des hydrocarbures.

D'après Prosser (1997), la respiration est la plus commune et ancienne mesure indirecte de l'activité microbienne globale dans les sols.

Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Margesin et al.(2000) ou gazoline Tejada et al.(2008), l'ajout d'amendements organiques et de fertilisants lors d'une bioremédiation augmentait la respiration microbienne que ce soit des contaminations aux HAP, diesel. Cette augmentation de la respiration pouvait s'expliquer par la stimulation de la croissance microbienne due aux substrats ajoutés lors des amendements organiques au sol Tejada et al.(2008).

Nos résultats concernant l'activité enzymatique de la catalase, ont montré une différence hautement significative entre le sol pollué (témoin) et le sol traité par différents ajouts. Nous remarquons que celle du sol amendé avec la sciure de bois (SpScB) est plus élevée que celle des sols traités par les autres ajouts et celle du sol pollué témoin (non traité), 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 dans les tests de toxicité seraient dues, non pas à une modification quantitative, mais qualitative des

hydrocarbures. Les fractions les plus toxiques auraient été transformées en produits moins toxiques.

Conclusion

Notre travail a eu pour but principal de comparer différents ajouts organiques dans le compostage d'un sol pollué aux carburants.

L'efficacité de la décontamination a été évaluée par la mesure de quelques paramètres biologiques (test de germination, test de toxicité sur les vers de terre, test respirométrique, activité de la catalase) et par la quantification des hydrocarbures résiduels.

Au vu des résultats obtenus, il ressort que l'ajout du grignon d'olive, seul ou associé à la sciure de bois, au cours du compostage a amélioré la qualité du sol et a réduit sa toxicité ; ceci était surtout apparent sur les vers de terre.

Les résultats du test de germination des graines de maïs montrent que l'utilisation des ajouts organiques n'a pas levé la toxicité sur les graines de maïs.

Le test de toxicité aigüe utilisé sur les vers de terre a révélé que dans le sol ayant reçu le grignon d'olive la viabilité des vers et leur croissance étaient meilleures.

Concernant l'activité biologique, le dégagement du CO₂ a été observé dans tous les sols (traités et non traités), mais les différences observées entre les différents traitements n'étaient pas significatives. Toutefois, une plus grande activité de la catalase a été observée dans le sol traité avec la sciure de bois ; ce qui indique un stress polluant plus important dans ce sol ; d'où l'effet plus atténué de l'ajout de cette matière organique sur l'amélioration de la survie et de la croissance des vers de terre.

La quantité de carburants résiduels était quasiment la même dans tous les sols, ce qui signifie que les apports organiques n'ont pas influencé la dissipation des carburants mais auraient éventuellement transformé les fractions toxiques en hydrocarbures moins nocifs.

Il serait intéressant de proposer quelques perspectives de recherche telles que :

- ✓ La réalisation d'essais multi-locaux.
- ✓ La réalisation des études en utilisant d'autres espèces animales et végétales en complément aux tests réalisés.
- ✓ La caractérisation des constituants des carburants pour déceler les fractions qui sont plus toxiques vis-à-vis des organismes vivants et suivre l'évolution de leur composition..

Références Bibliographiques

-A-

Amiri N. 2013. Effets des hydrocarbures sur quelques propriétés des sols et essai de décontamination biologique. Mémoire d'ingénieur d'état en Biologie. UMMTO. 45p.

-B-

Bergue J.M., Mérienne D. 1986 : la pollution des sols par les hydrocarbures. Bull, liaison Labo P. et ch. 146 : 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.

Ballerini D., Vandecasteele J.P. 1999. La restauration par voie microbiologique des sols contaminés par les polluants organiques: Biotechnologie, coordinateur R. Scriban, 5ème édition, Ed. Tech et Doc. P : 835- 865.392 p.

Bourkache R., Boussenou N., 2015. Essai de phytoremédiation in-situ et ex-situ d'un sol pollué par les hydrocarbures. Cas des stations-service. Mémoire de Master en Biologie. UMMTO. 38p.

Bokobana, A., Toundou, O., Kolani, L.A.K., Amouzouvi, A., Koledzi, E.,k.Tozo,G.Tchangbedji.et Al. 2017. Traitement De Déchets Ménagers Par Co-Compostage Avec La Légumineuse Cassia Occidentalis L. Et Quelques Adjuvants De Proximité Pour Améliorer La Qualité Agronomique Des Composts. Déchets Sciences et Techniques. 73 : 3551-3573.

-C-

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.

Corfec Y. 2000. Sites et sols pollués. Ed. DUNOD. Paris. 407p.

Colin F. 2000. Pollution localisée des sols et sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants colorés. Ed. TEC et DOC. 417p.

Chocat B. 2004. Pollution par les hydrocarbures dans les eaux de ruissellement et traitabilité : Solution existante, 1ere édition Tech et Doc Lavoisier. Pp289-290.27p.

Charnay F. 2005. Compostage Des Déchets Urbains Dans Les Pays En Développement : Elaboration D'une Démarche Méthodologique Pour Une Production Pérenne De Compost. Thèse De Doctorat, Université De Limoges. 277p.

Colombano S., Saada A., Guerin V., Bataillard P., Bellenfant G., Beranger S., Hubed D., Belan C., Zornig C., Girardeau I. 2010. Quelles techniques pour quels traitements-analyse coûts bénéfiques. Rapport final BRGM/RP-5860-FR. 399p.

-D-

Dave B.P., Ghevariya C.M., Bhatt J.K., Dudhagara D.R., Rajpara R.K. 2014. Enhanced biodegradation of total polycyclic aromatic hydrocarbons (TPAHs) by marine halo tolerant *Achromobacter xylosoxidans* using Triton X-100 and β -cyclodextrin-A microcosm approach. *Marine Pollution Bulletin*. 79 : 23-129.

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

Doran J.W., Safley M. 1997. Defining and Assessing Soil Health and Sustainable Productivity. *Biological Indicators of Soil Health*. C.E. Pankhurst, B.M. Doubeet V.V.S.R. Gupta. United Kingdom, Cab international : 1-28.

-E-

Encarta 2009. Hydrocarbures, pollution par les : pollution non marine. Encyclopédie. Microsoft Corporation. <http://ipco-co.com> PET_Journal. La pollution anthropique, la dégradation de l'environnement. 14p.

-F-

Francou C. 2003. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage : Recherche d'indicateurs pertinents. Thèse de doctorat d'état. Dissertation, Institut national agronomique. Paris-Grignon, France. 288p.

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.

-G-

Gourdon. 2002. Aide à la Définition des Déchets Dits Biodegradables, Fermentescibles, Méthanisables, Compostables. Rapport Final, Laepsi (Insa De Lyon). 146p.

Glick B.R. 2003. Phytoremediation : synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. *Biotechnology Advances*. 21 : 385-393.

-H-

Haritash A.K., Kaushik C.P. 2009. Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a review. *J. Hazard. Mater.* 169: 1-15.

Hadjou O., Rabhi S., 2015. Essai de bioremédiation d'un sol pollué aux hydrocarbures par bioaugmentation et biostimulation, Mémoire de Master en biologie. UMMTO. 30p.

- K -

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

Koledzi, K.E. 2011. Valorisation Des Déchets Solides Urbains Dans Les Quartiers De Lomé (Togo): Approche Méthodologique Pour Une Production Durable De Compost. Thèse De Doctorat, Université De Limoges. 244 p.

-L-

Larbi M. 2006. Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Thèse de Doctorat Es-Science. Faculté des Sciences de l'Université de Neuchâtel, Institut de Botanique. 140pp.

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

-M-

Morand P.B. 1999. Détermination De La Nature Et Quantification Des Gaz Emis Lors Du Compostage De Mélanges D'effluents D'élevage Et de Déchets Lignocellulosiques, En Relation Avec Les Populations Et Les Activités Microbiennes De Ces Mélanges. Rapport Final, convention n° 9875026, Université de rennes 1,4 Vaulx-Jardin, COOPAGRI-Bretagne, 115 p.

Mustin M. 1987. Le Compost, Gestion de la Matière Organique, éd. F. Dubusc, Paris. 957p.

-N-

Nait abdelkader S. Djenad M. 2015. Essai de remédiation d'un sol pollué aux hydrocarbures par biostimulation cas des stations-services. Mémoire de Master. UMMTO. 28p.

-P-

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

Piedrafita V., Carnicer P. 2007. La pollution ponctuelle des sols : le cas des stations services dans la région de Bruxelles-capitale. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du grade académique de diplôme d'études spécialisées en gestion de l'environnement. 154p.

Pulgarin A. 2012. Méthodes pour la datation des hydrocarbures déversant dans l'environnement. Essai présenté au centre universitaire de formation en environnement Université de Sherbrook. 79p.

-R-

Ramdani N. 2015. Transformation de la matière organique au cours du co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts: Approche expérimentale pour une production durable de compost. Thèse de doctorat : Chimie. Université d'Ahmed Ben Bella d'Oran. 29p.

Rytz I. 2001. Assessment Of A Decentralised Composting Scheme In Dhaka, Bangladesh. Sandec. Sandec/Eawag, Waste Concern. 88 p.

-S-

Saada A ., Nowak C ., et Coquereau N. 2005. Etats des connaissances sur l'atténuation naturelle des hydrocarbures. Rapport intermédiaire. Résultats de la phase 1. Rapport BRGM/RP-53739. FR. 107P.

Scriban R. 1999. Biotechnologie. Tec et Doc. 1042p.

Silva-Castro G.A., Rodelas B., Perucha C., Laguna J., Gonzalez-Lopez J., Calvo C. 2013. Bioremediation of diesel-polluted soil using biostimulation as post-treatment after oxidation with Fenton-like reagent: Assays in a pilot plant. Science of the Total Environment. 445-446 : 347-335.

Soltani M. 2004. Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone. Thèse de doctorat de l'université Paris 6, spécialité chimie analytique. 284p.

Soudi B. 2001. Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost : cas des petites et moyennes communes au Maroc, ed Actes. 104p.

-T-

Thavasi R., Jayalakshmi S. Banat I.M. 2011. Application of biosurfactant produced from peanut oil cake by *Lactobacillus delbrueckii* in biodegradation of crude oil. Bioresource Technology. 102:3366-3372.

Théobald O. (1994). L'élevage de porcs sur litière: Compte-rendu du colloque de Rosmalen 21-22 septembre 1992, Techni-porc., 193 (16) : 39-42.

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

-W-

Wilcke W. 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in soils – a review, J. Plant Nutr. Soil Sci. 3 : 229-248.

Liste des annexes

Annexe I: Résultats des tests.

Tableau1 : Résultats du Test de germination des graines de maïs.

Traitements	Sols		Taux de germination (%)
Sans Ajouts	SpT	R1	70
		R2	70
		R3	80
Avec Ajouts	Sp + Sc.B	R1	10
		R2	30
		R3	90
	Sp + Gr.O	R1	50
		R2	60
		R3	20
	Sp + Sc.B + Gr.O	R1	50
		R2	10
		R3	50

Tableau 2 : Rend compte des valeurs du poids des vers de terre dans la station de Boukhalifa:

Traitements		Sols	Poids des vers de terre (g)				
			Temps (J)	T0	24h	48h	72h
Sans ajouts	SpT	R 1	0,656	0,616	0,635	0,591	0,284
		R 2	0,436	0,399	0,337	0,401	0
		R 3	0,547	0,533	0,499	0,515	0
Avec ajouts	Sp+Sc.B	R 1	0,824	0,788	0,705	0,736	0,611
		R 2	0,596	0,544	0,507	0,449	0,560
		R 3	0,641	0,554	0,528	0,518	0,521
	Sp+Gr.O	R 1	0,733	0,544	0,639	0,625	0,578
		R 2	0,631	0,640	0,581	0,576	0,289
		R 3	0,653	0,453	0,519	0,481	0,463
	Sp+Sc.B+Gr.O	R 1	0,523	0,514	0,531	0,499	0,516
		R 2	0,650	0,609	0,610	0,610	0,591
		R 3	0,532	0,540	0,519	0,502	0,510

Tableau 3 : Résultats de test d'activité biologique dans le sol de la station de Boukhalfa :

Traitements	Sols		V [HCl] (ml)	Le CO ₂ dégagé (mg/100g du sol)
Sans ajouts	SpT	R 1	3,4	7,48
		R 2	3,8	8,36
		R 3	4,5	9,9
Avec ajouts	Sp+Sc.B	R 1	8,6	18,92
		R 2	8,8	19,36
		R 3	9,92	21,824
	Sp+Gr.O	R 1	2,2	4,84
		R 2	2,7	5,94
		R 3	3,2	7,04
	Sp+Sc.B + Gr.O	R 1	6,7	14,74
		R 2	9,8	21,56
		R 3	8,7	19,14

Calcul du volume de la quantité de carbone dégagé :

$$1 \text{ ml HCl} = 2,2 \text{ mg c}$$

$$n \text{ ml HCl} = x$$

$$x = n \text{ ml HCl} \times 2,2$$

Tableau 4 : Résultats d'activité de catalase dans le sol de la station de Boukhalfa :

Traitements	Sols	V acide (KMnO ₄) ml	
Sans ajouts	SpT	R 1	0.5
		R 2	0.5
		R 3	0.4
Avec ajouts	Sp+Sc.B	R 1	0.7
		R 2	0.8
		R 3	0.8
	Sp+Gr.O	R 1	0.3
		R 2	0.3
		R 3	0.2
	Sp+Sc.B + Gr.O	R 1	0.4
		R 2	0.5
		R 3	0.5

Avec: (H₂O₂) = 0.088 mol/ l

(KMnO₄) = 0.03 mol/ l

Tableau 5: Résultats d'extraction des hydrocarbures dans le sol pollué de la station-service de Boukhalifa.

Traitements	Les sols		Quantité des HC (g)
Sans Ajouts	SpT	R1	1,161
		R2	1,541
		R3	1,281
Avec Ajouts	Sp + Sc.B	R1	0,281
		R2	0,998
		R3	0,998
	Sp + Gr.O	R1	0,38
		R2	1,009
		R3	0,944
	Sp + Sc.B + Gr.O	R1	1,337
		R2	0,905
		R3	1,016

AnnexeII : Résultats des analyses statistiques des bio-essais.

Annexe1 : Test de germination des graines de maïs.

```
> shapiro.test(grm)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  grm
W = 0.90878, p-value = 0.2058

> reg.aov1=lm(grm~trt,data=x)
> anova(reg.aov1)
Analysis of Variance Table

Response: grm
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
trt     3 3633.3  1211.11   1.7724   0.23
Residuals 8 5466.7   683.33
> |
```

Annexe2 : Test toxicologique des vers de terre.

```
Response: X14jrs
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Trt    3 0.42271 0.140903  10.812 0.003459 **
Residuals 8 0.10426 0.013032
```

```
X14jrs groups
      SpGrO 0.56400000 a
      SpGrOScb 0.53900000 a
      SpScb 0.44333333 a
      Spt 0.09466667 b
```

Annexe3 : la viabilité des vers de terre .

Les données ne suivent pas une loi normale, donc j'ai appliqué le test de Kruskal-Wallis

Kruskal-Wallis rank sum test

data: **NbVersVvts** by Trt

Kruskal-Wallis chi-squared = 8.25, df = 3, p-value = **0.04112**

Classement en groupe homogènes

	NbVersVvts	groups
SpGrOScb	9.0	a
SpGrO	7.5	a
SpScb	7.5	a
Spt	2.0	b

Annexe 4 : L'activité biologique (respirometrique).

```
> shapiro.test(CO2)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  CO2
W = 0.84679, p-value = 0.03352

> kruskal.test(trt~CO2)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  trt by CO2
Kruskal-Wallis chi-squared = 7.7, df = 10, p-value = 0.6581

> |
```

Annexe5 : L'activité enzymatique de Catalase.

```
> shapiro.test(cat)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  cat
W = 0.92046, p-value = 0.2897

> reg.aov1=lm(cat~trt,data=x)
> anova(reg.aov1)
Analysis of Variance Table

Response: cat
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
trt     3  0.38250  0.127500   38.25 4.323e-05 ***
Residuals  8  0.02667  0.003333
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> |
```

```
Test de Newman et Keuls pour l'obtention des groupes homogènes

      Cat groups
SpScb  0.7666667    a
SpGrScb 0.4666667    b
Spt     0.4666667    b
SpGr    0.2666667    c
```

Annexe6 : La quantification des hydrocarbures.

```
> reg.aov1=lm(HC~trt,data=x)
> anova(reg.aov1)
Analysis of Variance Table

Response: HC
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
trt     3  0.66497  0.221658   2.3389 0.1498
Residuals  8  0.75818  0.094772
> |
```

Résumé :

Le présent travail a pour objectif de tester l'effet des ajouts organiques sur l'efficacité de la décontamination d'un sol pollué aux hydrocarbures prélevé dans une station de service par le compostage avec l'ajout de sciure de bois et de grignon d'olive, en le comparant à celle d'un sol pollué qui n'a pas reçu d'ajouts organiques.

Les résultats obtenus montrent que l'ajout du grignon d'olive associé ou pas à de la sciure de bois réduit la toxicité des carburants dans le sol qui s'est traduite par la diminution de la mortalité des vers de terre et l'augmentation de leur poids. La quantité d'hydrocarbures résiduels n'étant pas influencée par les ajouts organiques, ces derniers auraient induit une modification qualitative par la transformation des fractions toxiques. La germination des graines de maïs et la respiration microbienne n'ont pas été affectées par l'ajout de substances organiques ce qui indiquerait que la toxicité sur les graines de maïs les microorganismes du sol n'a pas été réduite suffisamment. L'activité de la catalase était plus élevée dans le sol ayant reçu la sciure de bois par rapport au grignon d'olive, ce qui expliquerait la présence d'un stress polluant plus important.

Mots clés : compostage, sciure de bois, grignon d'olive, carburants.

Abstract:

The present work aims to test the effect of organic additions on the effectiveness of the decontamination of a hydrocarbon-polluted soil taken from a gas station by composting with addition of sawdust and olive pomace, comparing it to that of a polluted soil that has not received any organic additions.

The results obtained show that the addition of olive pomace associated or not with sawdust reduces the toxicity of fuels in the soil which is reflected in the reduction in the mortality of earthworms and the increase in their weight. Since the quantity of residual hydrocarbons is not influenced by the organic additions, the latter would have induced a qualitative modification by the transformation of the toxic fractions. Maize seed germination and microbial respiration were not affected by the addition of organics, which would indicate that the toxicity to corn seeds and soil microorganisms was not sufficiently reduced. The catalase activity was higher in the soil having received the sawdust compared to the olive pomace, which would explain the presence of a greater polluting stress.

Keywords : Composting, sawdust of wood, olive pomace, fuels.