

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Mouloud MAMMARI de Tizi Ouzou**  
**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**Département d'écologie et environnement**



***Mémoire de fin d'études***

**En vue de l'obtention du diplôme de MASTER**  
**En Écologie et Environnement**  
**Spécialité : Protection des écosystèmes**

***Thème***

**Essai de décontamination d'un sol pollué aux hydrocarbures par compostage**

**Réalisé par :**

M<sup>elle</sup> MEZARI Amel

**Devant le jury :**

Présidente : M<sup>me</sup> SADOUDI ALI AHMED D.

Professeur à l'UMMTO

Promotrice : M<sup>me</sup> ALI AHMED S.

MCB à l'UMMTO

Examineur : M<sup>me</sup> OULTAF L.

MAB à l'UMMTO

**Année Universitaire :  
2023 /2024**

# *Remerciements*

Tout d'abord, nous tenons à remercier le bon Dieu de nous avoir données le courage et la patience pour la réalisation de notre travail.

Ensuite, nos vifs remerciements, notre reconnaissance et notre profonde gratitude sont adressés à notre promotrice **Mme ALI AHMED S.** Maître de Conférences B au département d'Écologie et environnement à l'UMMTO pour son encadrement, ses orientations, ses précieux conseils, son soutien et ses encouragements tout au long de notre travail.

Nous tenons à témoigner notre gratitude à l'égard de **Mme SADOUDI D.**, Directrice du laboratoire PSEMRVC pour nous y avoir accueillies pour la réalisation de la partie pratique de ce mémoire.

Nous remercions aussi très sincèrement les membres du jury ; la présidente **M<sup>me</sup> SADOUDI D.**, Professeur à la FSBSA de l'UMMTO, et l'examinatrice **Mme OULTAF L.** pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous remercions aussi Notre Co- promotrice **Mme LANDRI G.** pour son aide.

Nous remercions aussi l'ingénieur du laboratoire PSEMRVC, **Mme ABROUS H.** pour son aide et surtout pour leur gentillesse.

Enfin, nous adressons un grand merci à nos familles et à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et à tous ceux qui nous ont apporté leur aide.

# Dédicaces

*Je dédié ce modeste travail*

*À mes chers parents. **Ma Mère** et **Mon Père** source de tendresse et la  
force, de courage d'étude*

*Je vous remercie d'être toujours à mes coté de me soutenir, aimer,  
protéger et pour tous ce que vous avez fait pour moi, que Dieu les  
gardes et les protèges.*

*À mon chère unique frère **Masinissa** je t'aime beaucoup.*

*À tous que je porte jour et nuit dans mon cœur.*

*À mes chères copines : **Khaoula, Louiza.***

*Et à tous la famille **Mezari.***

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

*Avec mes sincères remerciements*

***Amel***

# Table des matières

---

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

## Chapitre I : Synthèses bibliographique

1. Le compostage.....	3
1.1. Phases de compostage.....	3
1.2. Évolution de la matière organique au cours du compostage .....	4
1.3. Minéralisation du carbone au cours du compostage.....	5
1.4. Modélisation du compostage.....	5
1.5. Paramètres du compostage.....	5
2. Compostage des sols pollués aux hydrocarbures .....	6
2.1. Ajouts organiques.....	7
2.1.1. La sciure de bois .....	7
2.1.2. Le fumier .....	7
2.1.3. Grignon d'olive.....	7
2.2. Sources de pollution.....	8
2.2.1. Sources naturelles .....	8
2.2.2. Sources anthropique .....	8

## Chapitre II : Matériel et Méthodes

1. Matériel .....	10
1.1. Sol.....	10
1.2. Matériel végétal.....	10
1.3. Fumier.....	11
1.4. Sciure de bois .....	11
2. Méthodes.....	11
2.1. Préparation du sol.....	11
2.2. Mise en place de l'essai du compostage.....	12
2.3. Suivi du compostage.....	12

# Table des matières

---

2.4.Évaluation de l'efficacité du compostage.....	12
2.4.1. Germination des graines de maïs .....	13
2.4.2. Activité biologiques globale .....	13
2.4.3. Activité de la catalase.....	15
2.4.4. Quantification des hydrocarbures dans le sol .....	16
2.4.5. Caractérisation des hydrocarbures dans le sol .....	17
2.5. Méthodes d'analyse statistiques.....	18

## Chapitre III : Résultats et Discussions

1. Résultats.....	19
1.1. Test de germination des graines de maïs .....	19
1.2. La respiration microbienne.....	20
1.3. L'activité de la catalase.....	21
1.4. Quantification des hydrocarbures résiduels .....	21
1.5. Analyse qualitative des hydrocarbures .....	22
2. Discussion .....	23
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>25</b>

## Références bibliographiques

## Annexes

## Liste des abréviations

---

**C0** : Sol à concentration 0 (témoin)

**C1** : Sol à concentration 1 (20% du fumier)

**C2** : Sol à concentration 2 (40% du fumier)

# Liste des tableaux

---

---

**Tableau 1** : Résultats obtenus par la spectroscopie UV .....23

## Liste des figures

---

<b>Figure 1 :</b> Évolution théorique de la température et des différentes caractéristiques de la microflore et de son activité au cours du compostage.....	4
<b>Figure 2 :</b> Aperçu des paramètres clés lors du processus de compostage .....	6
<b>Figure 3 :</b> Sources de pollution du sol dans les stations-service .....	9
<b>Figure 4 :</b> Localisation de la station-service de Boukhalfa.....	10
<b>Figure 5 :</b> Dispositif expérimental.....	12
<b>Figure 6 :</b> Dispositif du test de germination des graines de maïs.....	13
<b>Figure 7 :</b> Protocole de mesure de la respiration microbienne du sol .....	14
<b>Figure 8 :</b> Protocole de dosage de l'activité de la catalase .....	15
<b>Figure 9 :</b> Protocole d'extraction et de quantification des hydrocarbures .....	16
<b>Figure 10 :</b> Schéma expérimente l'observation spectroscopie UV .....	17
<b>Figure 11 :</b> le taux de germination des graines de maïs.....	19
<b>Figure 12 :</b> la respiration microbienne.....	20
<b>Figure 13 :</b> activité de la catalase des déférents ajouts organique.....	21
<b>Figure 14 :</b> Quantité des hydrocarbures dans le sol des déférents ajouts organique .....	22

# Introduction

---

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).

La pollution du sol, essentiellement ponctuelle ou locale, peut se présenter sous des aspects très variés. La nature des sites pollués est très hétérogène, de quelques mètres carrés par épandage accidentel jusqu'à une superficie de plusieurs dizaines d'hectares. La pollution des sols par des activités industrielles est devenue une source d'enjeux sociaux, économiques, sanitaires et écologiques (Koller, 2009).

La pollution du sol par les hydrocarbures est due à des rejets, volontaires ou non, de produits pétroliers. Elle relève à la fois de la pollution chimique et de la pollution organique (Koller, 2009).

Selon Thavasi et al. (2011), la pollution aux hydrocarbures, issus principalement des stations-services, présente des effets néfastes sur le sol, la faune et la fore.

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

Les effets toxiques de la pollution par les carburants se traduisent par des altérations biologiques tant aux niveaux moléculaires que populationnels. L'augmentation de l'activité des microbes anaérobies suite à un déversement des hydrocarbures (gas-oil) augmente le stress pour les organismes vivants du sol tels que les vers de terre (Andreoin et al., 2004 ; Demuysère, 2011 ; Alrumman et al., 2015).

D'après des études réalisées, il existe plusieurs techniques de dépollution des sols contaminés aux carburants. L'attention est actuellement accordée aux techniques biologiques (Ali Ahmed, 2022) qui assurent la dégradation des polluants organiques, comme le bioréacteur, la phytoremédiation et le compostage.

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 d'un 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.

# Introduction

---

L'apport de compost aux sols agricoles permet d'entretenir leur statut organique, c'est-à-dire la quantité et la qualité de leur matière organique endogène susceptible de conditionner leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques (Lashermes, 2010).

Des travaux ont montré l'efficacité de divers ajouts comme les boues activées (Sai et Tighrine, 2021) et le grignon d'olive (Boukrou et Nait Si Ahmed, 2022). Bouacem et Chabane (2022) ont étudié l'effet des ajouts organiques (fumier, grignon d'olive et paille) sur l'efficacité du compostage d'un sol pollué aux carburants. Leurs résultats montrent que le meilleur additif est le fumier.

C'est dans ce contexte que s'insère notre travail dont l'objectif est d'évaluer l'efficacité de l'utilisation du compostage pour la remédiation d'un sol pollué par les carburants, en faisant varier la dose de fumier apportée au sol.

L'évaluation de l'efficacité de cette technique est faite par l'utilisation de tests biologiques qualifiant des paramètres faciles à mesurer (respiration microbienne, germination des graines de maïs et activité de la catalase) ainsi que par le dosage et la caractérisation des hydrocarbures résiduels.

Notre mémoire se subdivise en trois chapitres :

- ❖ Le premier chapitre consiste en une synthèse bibliographique qui comporte des généralités sur la pollution du sol par les hydrocarbures et leur devenir, les procédés de la décontamination et sur le compostage.
- ❖ Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du matériel ainsi que les méthodes utilisées.
- ❖ Le troisième chapitre présente les résultats obtenus au cours de notre expérimentation et leur discussion

Une conclusion termine ce mémoire et des perspectives sont proposées.

Le compostage des sols pollués est une technique prometteuse et durable pour la réhabilitation des sites contaminés. Il s'agit d'un processus biologique qui consiste à mélanger des sols pollués avec du compost mature, riche en micro-organismes et en matière organique. Ces micro-organismes dégradent ensuite les polluants présents dans le sol, tels que les hydrocarbures, les pesticides, en les transformant en composés moins toxiques ou inoffensifs.

## 1. 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).

### 1.1 Phases du compostage :

L'évolution de la température au cours du compostage permet de distinguer quatre phases (Figure 1) liées à l'activité des différentes populations microbiennes (Leclerc, 2001 ; Francou, 2003 ; Lemunier, 2006) :

❖ **Phase mésophile** initialise le procédé : la matière organique facilement biodégradable est rapidement décomposée par les microorganismes qui colonisent le milieu. Cette forte activité microbienne engendre une hausse de la température, un dégagement de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et une consommation de dioxygène (O<sub>2</sub>) importants.

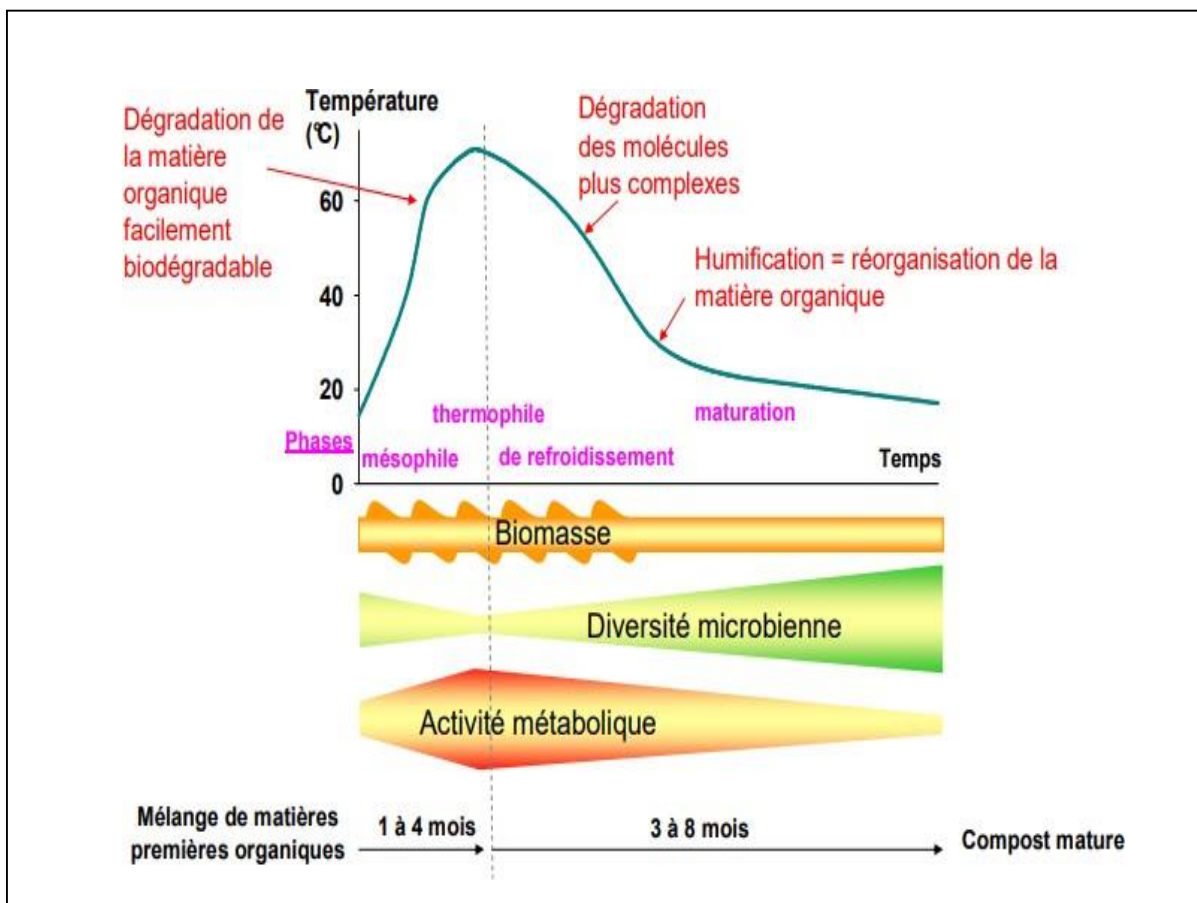
❖ **Phase thermophile** suit lorsque les températures se stabilisent au-dessus de 50°C. La matière organique est fortement dégradée et une part importante de l'eau est évaporée.

❖ **Phase de refroidissement** se produit lorsque la diminution de la matière organique facilement biodégradable entraîne un ralentissement de l'activité microbienne. Elle prend fin au retour à la température ambiante. Les micro-organismes dégradent les constituants non dégradés en phase thermophile (Leclerc, 2001 ; Francou, 2003 ; Lemunier, 2006).

Ces trois premières phases font généralement l'objet de la première étape du traitement par compostage, dite de « fermentation » mais que l'on peut décrire plus justement comme une étape de biodégradation active (Denes, 2014).

❖ **Phase de maturation** est la dernière phase. Les processus d'humification dominent et les composés résistants sont également lentement dégradés.

Le suivi de ces phases peut être réalisé de différentes manières : suivi de l'évolution de la température, de la production de CO<sub>2</sub> ou de la consommation d'O<sub>2</sub> au cours du temps. Ces trois indicateurs reflètent l'activité des microorganismes à travers la production d'énergie métabolique (dont la température est une résultante indirecte, car également influencée par les phénomènes d'exportation de chaleur par exemple) et la respiration respectivement (Denes, 2014).



**Figure 1 :** Évolution théorique de la température et des différentes caractéristiques de la microflore et de son activité au cours du compostage (Francou, 2003 ; Lemunier, 2006).

## 1.2 Évolution de la matière organique au cours du compostage

Inbar et al., (1990) indiquent que 50 % environ de la matière organique est dégradée durant le compostage du fumier. Les pertes généralement mesurées sont comprises entre 20 et 60% de la quantité initiale de matière organique, et sont fonction du matériel composté et du procédé de compostage (Francou, 2003).

## 1.3 Minéralisation du carbone au cours du compostage

Le carbone est le principal constituant de la matière organique (40 à 60 % de la matière organique) et son évolution quantitative au cours du compostage est similaire à celle de la matière organique (Denes, 2014).

Sa minéralisation s'accompagne, comme vu précédemment par une importante production de CO<sub>2</sub> soulignée ici par une importante baisse du carbone organique. Il passe de 34 à 18% pour les ordures ménagères. Plus de 70% du carbone présent au début du compostage peut disparaître après 180 jours (Van de Kerkhove, 1990).

## 1.4 Modélisation du compostage

Le procédé de compostage est représenté comme un réacteur au sein duquel les processus réactionnels génèrent des variations massiques et thermiques et donc des transferts de masse et de chaleur avec l'extérieur. Trois types de bilans sont concernés :

- ❖ **Bilans massiques sur les substrats** : ils peuvent être soit issus de fonctions empiriques liées à la dégradation du substrat, soit issus d'un modèle mécaniste de biodégradation de la matière organique, intégrant des processus microbiens de minéralisation de la matière organique (ex : masse de matières sèches (MS), masse d'eau, masse de matière organique).

- ❖ **Bilans massiques sur l'oxygène** : consommé au cours du traitement et sur les métabolites produits (principalement H<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub>) ;

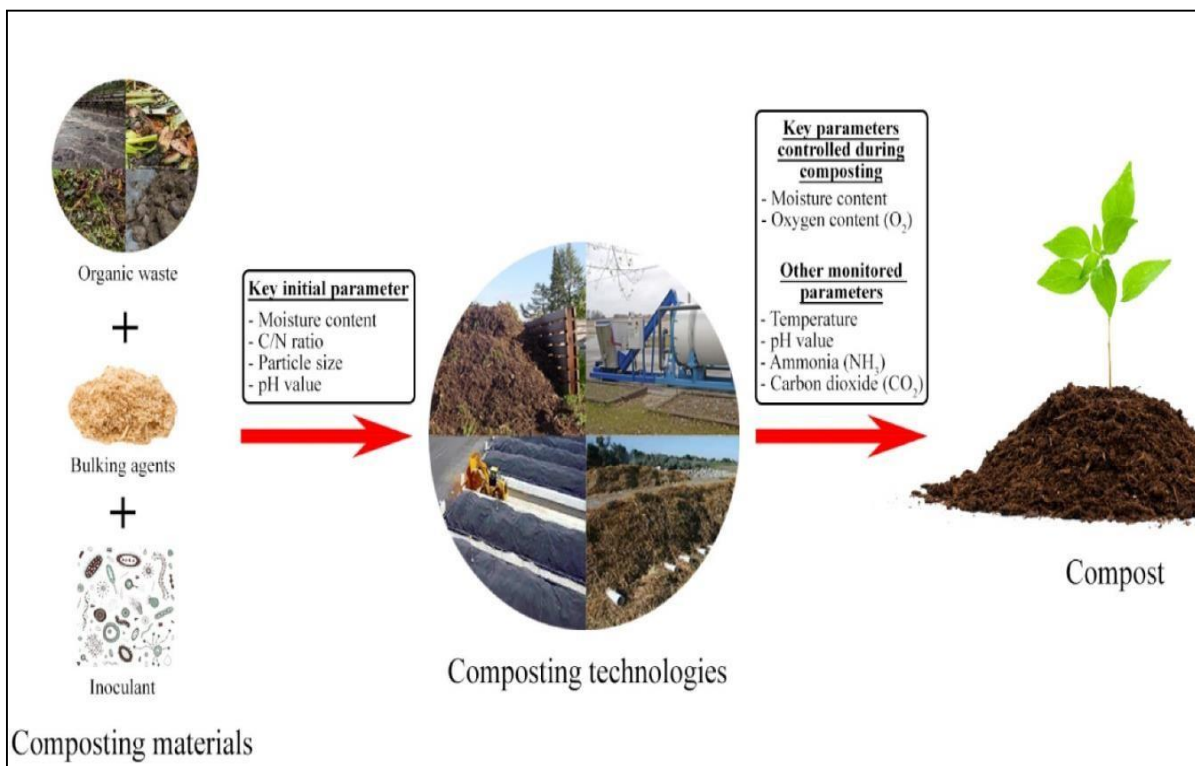
- ❖ **Bilans thermiques** : Ils intègrent généralement un terme de production de chaleur lié à l'activité microbienne de respiration, ainsi que des termes d'accumulation, d'exportation et d'évaporation.

De manière globale, les bilans sont réalisés sur chacune des variables étudiées par différence entre les entrées et les sorties, auxquelles on ajoute des termes de transformations (Mason, 2006).

## 1.5 Paramètres du compostage

Le compostage est affecté par la disponibilité des éléments nutritifs et les conditions environnementales. La figure 2 résume ces paramètres et les sépare entre ceux initialement ajustés et ceux suivis et/ou contrôlés tout au long du processus de compostage. La teneur en humidité, le

rapport C/N, la taille des particules et, dans certains cas, le pH sont initialement contrôlés pour fournir aux micro-organismes un environnement propice à leur développement. Tout au long du processus de compostage, les paramètres, notamment la teneur en oxygène et en humidité, qui influencent l'activité microbienne au cours des quatre étapes du processus, sont surveillés et contrôlés.



**Figure 2 :** Aperçu des paramètres clés lors du processus de compostage (Lin et al., 2022).

## 2. Compostage des sols pollués aux hydrocarbures

Le compostage des sols pollués est de plus en plus appliqué ces dernières années ; son principe étant l'accélération de la décontamination. Plusieurs auteurs ont étudié l'efficacité du compostage pour dépolluer les sols contaminés aux hydrocarbures. En effet, Rhsal et al. (2020) ont noté que la décontamination de tels sols par des boues activées était efficace, notamment pour la dégradation des hydrocarbures pétroliers. Tahseen et Antoni (2020) ont testé le compostage des déchets verts comme un amendement du sol lors du compostage.

## 2.1. Ajouts organiques

### 2.1.1. 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).

### 2.1.2. Fumier

C'est un mélange plus ou moins décomposé de litière carbonée (par exemple : pailles de canne à sucre, bagasse, broyat de déchets verts) et de déjections (fèces et urine) de bovin. Le fumier peut être récolté par la vidange et le raclage des étables d'élevage de bovins. C'est une matière brune, plus ou moins pailleuse et compacte, hétérogène, à odeur caractéristique, relativement humide (François et al., 2022).

### 2.1.3. Grignon d'olive

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

L'objectif de l'utilisation des matières organiques lors du compostage des sols pollués est d'améliorer l'efficacité de la décontamination et d'accélérer la dégradation des polluants organiques.

De nombreuses recherches ont été menées à l'Université Mouloud Mammeri pour améliorer l'efficacité de la décontamination des sols par l'ajout de matières organiques. Parmi ces études, Sait Tighrine (2021) ont montré que l'utilisation de boues d'épuration accéléreraient le processus de compostage des sols pollués aux carburants. D'autres travaux, menés par Boukrou et Nait Si Ahmed (2022) et Bouacem et Chabane (2022), ont montré l'efficacité de l'ajout du grignon d'olive, du fumier et de la paille dans la décontamination des sols.

Ces recherches ont fait ressortir aussi que le fumier est l'amendement organique le plus efficace, permettant d'accélérer la décontamination des sols pollués aux hydrocarbures lorsqu'il est appliqué à une dose de 20%. Dans le prolongement de ces travaux, il serait pertinent de déterminer

la dose optimale de fumier nécessaire pour une détoxification complète du sol.

## **2.2. Sources de pollution du sol**

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

### **2.2.1. 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).

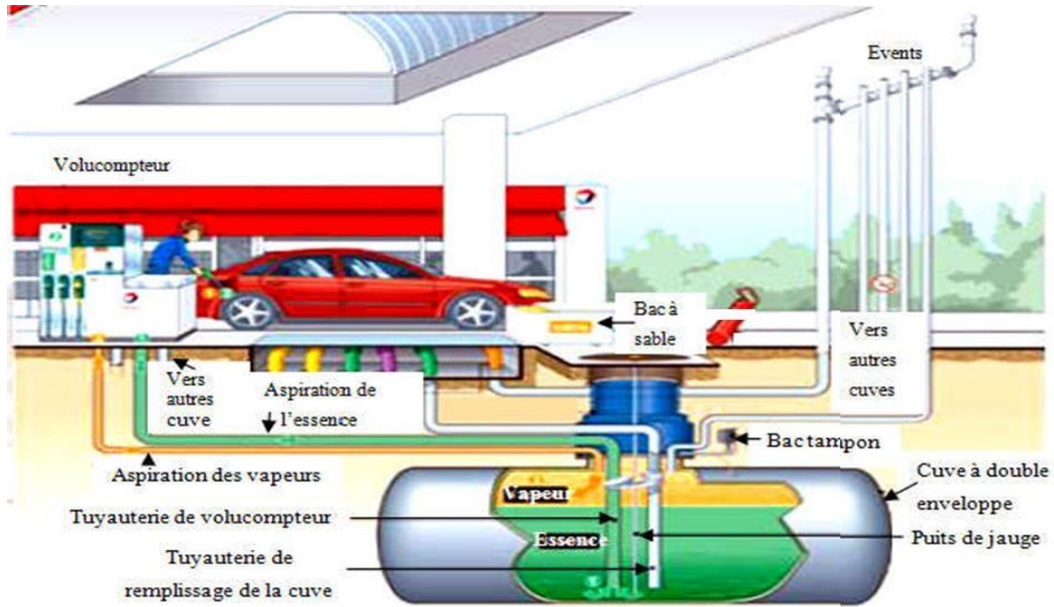
Les origines naturelles incluent les émissions liées aux feux de forêts et aux éruptions volcaniques (Edwards, 1983). Les carburants parviennent au sol par les retombées atmosphériques (Pulgarin, 2012) issus des réactions biogènes dans les plantes et les bactéries (Wilcke, 2000) ainsi que les réactions géologiques associées à la production de fuel fossile et minéral (Lcpe, 1994).

### **2.2.2. Sources anthropiques :**

La présence des hydrocarbures dans le sol est liée aux industries de raffinage et de transformation, à leur transport et à leur distribution (Lemière 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, et les boues de curage des fossés qui sont rejetées latéralement sur le sol.

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 des transferts des liquides vers les cuves, des écoulements hors des cuves, ou des fuites des cuves enterrées. Les ruissellements vont ensuite provoquer le déplacement des pollutions qui peuvent contaminer ainsi le sol et atteindre, dans certains cas, les nappes souterraines ou les rivières (Patej, 2002) (figure 3).



**Figure 3 :** Sources de pollution du sol dans les stations-service (Carnicer, 2007).

Dans ce chapitre nous allons présenter le matériel et les méthodes utilisées dans notre essai de compostage ainsi que les paramètres mesurant l'efficacité de la décontamination d'un sol pollué par les carburants. Notre travail a été réalisé au sein du laboratoire PSEMRVC de la Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

### 1. Matériel

#### 1.1. Sol

Le sol utilisé dans cette étude est un sol contaminé par les carburants (essence et gasoil) provenant d'une station-service à Boukhalfa, située à 36° de latitude et 4° longitude. Cette station est implantée à 5 km à l'Ouest du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou sur la route nationale n°12 (figure 4).



**Figure 4 :** Localisation de la station-service de Boukhalfa (Google maps, 2024).

#### 1.2. Matériel végétal

Le maïs (*Zea mays*) est une plante tropicale herbacée annuelle de la famille des Poacées, cultivée comme céréale dans diverses zones agro-écologiques. Le maïs constitue l'aliment de base de nombreuses populations (humaine et animale), il sert aussi de matière première dans certaines

industries (agroalimentaire, textile, pharmaceutique, etc.), pour la création de plastique biodégradable, de biocarburants et même d'alcool (Lounes et Loutis, 2021).

Le choix du maïs est justifié par le fait que cette espèce soit sensible à la pollution par les hydrocarbures (Chaineau et al., 1996).

### 1.3. Fumier

C'est l'ensemble des déjections animales mélangés avec des pailles. Il existe plusieurs types de fumier de fermes qui est une source importante d'humus par l'apport des déchets végétaux qu'il contient. Il allège les terres lourdes et donne du corps aux terres légères (Vigneron, 1967).

Le fumier utilisé dans cet essai est le fumier de bovin qui provient d'un jardin situé à Maâtkas. C'est un fumier jeune avec une phase de maturation inférieure à deux mois

### 1.4. Sciure de bois

Le broyat de bois est le seul agent de charge compatible en complément des biodéchets dans le cadre du compostage collectif car il permet de structurer le mélange, éviter les odeurs et apporter des éléments carbonés nécessaires à l'équilibre du processus (Hogg et al., 2002).

La sciure de bois provient d'une menuiserie située à Maâtkas.

### 1.1. Préparation du sol

Les échantillons de sol ont été prélevés le 08/02/2024 au niveau d'une station-service située à Boukhalfa. Le prélèvement a porté sur la couche superficielle (0-15cm) le long d'une diagonale tracée sur une placette se trouvent sous les événements. Le sol y reçoit des gouttelettes de carburants occasionnant une pollution chronique.

Le sol a été tamisé à l'aide d'un tamis à mailles de 5 mm de diamètre pour préserver la structure des agrégats du sol.

Après homogénéisation, le sol est réparti sur 9 boîtes destinées à recevoir différentes doses de fumier. Chaque boîte contient 1kg de sol (Figure 5).

### 1.2. Mise en place de l'essai du compostage

Trois doses de fumier ont été testées : 0, 20 et 40%. Il s'agit d'un témoin sans ajout de fumier de la concentration préconisée par les auteurs (20%) et du double de celle-ci. Le dispositif expérimental comporte trois lots. Les 3 boîtes représentent les répétitions :

- 1<sup>er</sup> lot de 3 boîtes à 0% : 1kg de sol contaminé + 20g de sciure de bois sans fumier
- 2<sup>ème</sup> lot de 3 boîtes à 20% : 1kg de sol contaminé + 20g de sciure de bois + 200g de fumier
- 3<sup>ème</sup> lot de 3 boîtes à 40% : 1kg de sol contaminé + 20g de sciure de bois + 400g de fumier



**Figure 5** : Dispositif expérimental de l'essai de compostage du sol pollué.

### 1.3. Suivi du compostage

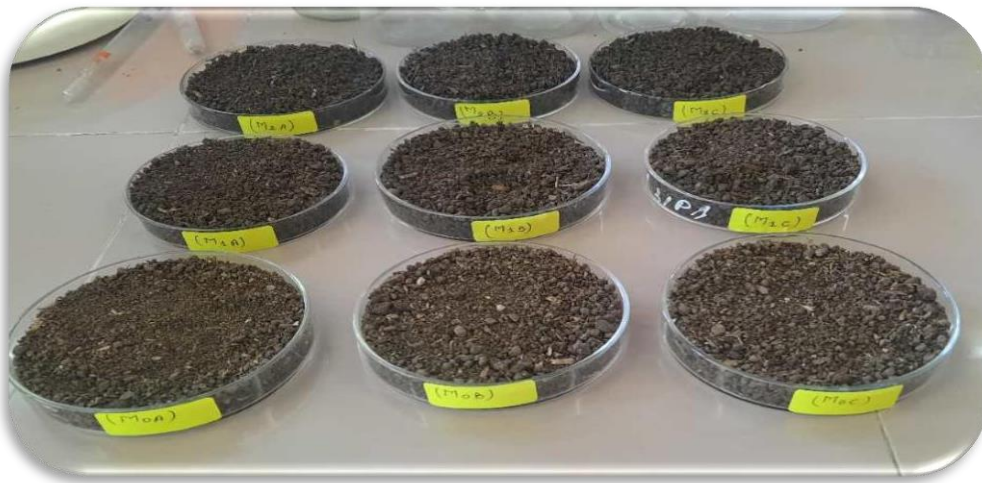
Avec la même quantité d'eau, le sol de toutes les boîtes est arrosé régulièrement, et la terre est retournée quotidiennement pendant 6 semaines pour assurer l'aération du sol à composter.

### 1.4. Évaluation de l'efficacité du compostage

Après 6 semaines, nous avons évalué l'efficacité du traitement par compostage du sol pollué avec ajout de différentes doses de fumier. Cette efficacité a été évaluée par des tests biologiques rapides et d'exécution facile.

### 2.4.1. Test de germination

Nous avons évalué l'efficacité de la décontamination du sol par un test de germination des graines de maïs, qui consiste à mettre dans une boîte de Pétri 100g de sol recouvrant 10 graines de maïs pour chaque répétition (Figure 6). Les boîtes ont été placées à 20°C et humidifiées régulièrement pendant 7 jours. Après germination, le pourcentage des graines germées par rapport aux graines semées (taux de germination ou TG) a été calculé pour chaque pot par la formule suivante :  $TG = (\text{Nombre de graines germées} / \text{Nombre total des graines}) \times 100$



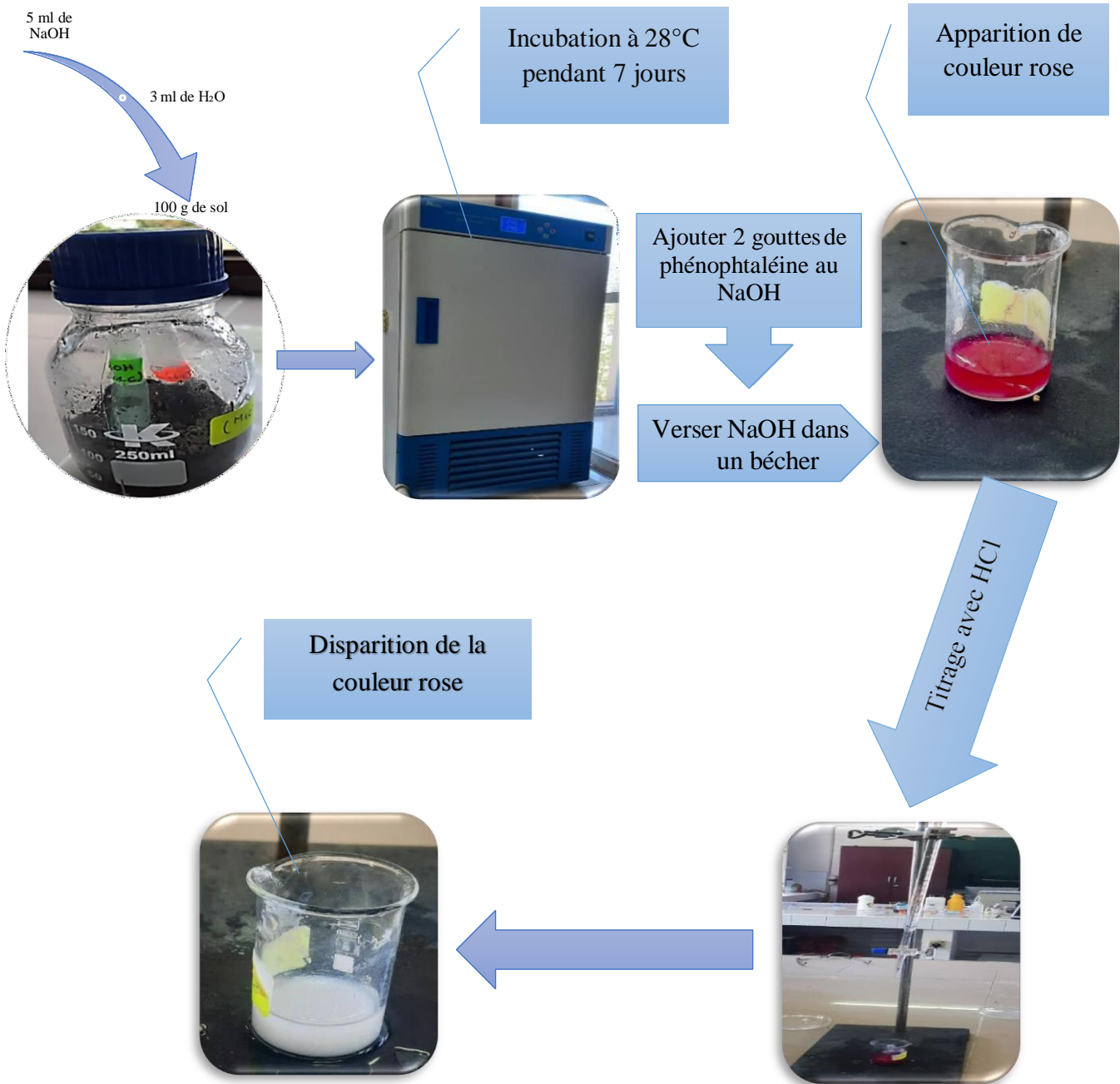
**Figure 6 :** Dispositif du test de germination des graines de maïs.

### 2.4.2. Activité biologiques globale

Le principe de cette méthode est de mesurer la respiration des microorganismes du sol par la quantification du CO<sub>2</sub> dégagé lors d'une incubation de 7 jours, à une température constante de 28°C.

Dans des flacons de 250 ml contenant 100g de sol composté, ont été placés deux tubes à hémolyse, l'un contenant 3 ml d'eau pour éviter le dessèchement du sol, et l'autre 5 ml d'une solution de NaOH 0,5M pour fixer le CO<sub>2</sub> dégagé par la respiration des microorganismes.

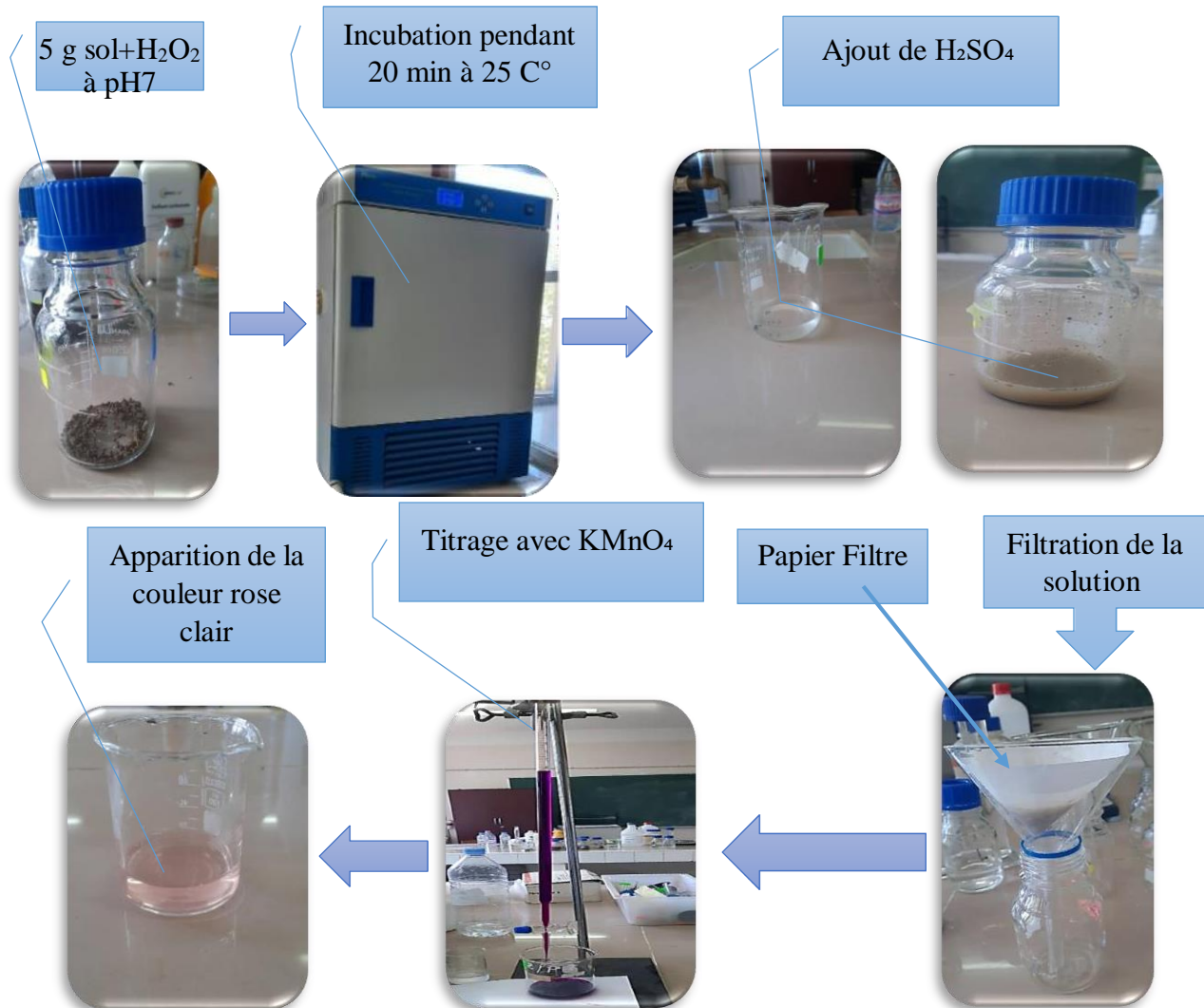
Après incubation, les tubes de NaOH ont été retirés rapidement et fermés. 3 gouttes de chlorure de baryum à 20% ont été incorporées à la soude avant de la transvaser dans un bécher pour titrage. L'excès de soude n'ayant pas fixé le CO<sub>2</sub> a été titré par l'acide chlorhydrique (HCl) 0,25M en présence de quelques gouttes de phénolphtaléine jusqu'à la disparition de la couleur rose (figure7). Un témoin sans sol a été réalisé.



**Figure 7 :** Protocole de mesure de la respiration microbienne du sol.

## 2.4.3. Activité de la catalase

Elle a été déterminée selon le protocole décrit par Guan (1986). 5g du sol pollué composté ont été placés dans les flacons de 250 ml auxquels ont été ajoutés 2,5 ml de  $H_2O_2$  à 0,3% et 20 ml de tampon phosphate à pH 7. Le mélange réactionnel ont été incubés à 25 °C pendant 20 min. 1,5 ml de la solution de  $H_2SO_4$  à 3mol/l ont été ajoutés au mélange pour arrêter la réaction. Le mélange a été filtré et les filtrats ont été titrés avec une solution de  $KMnO_4$  à 0,02 mol/L, jusqu'à l'apparition d'une couleur rose clair.

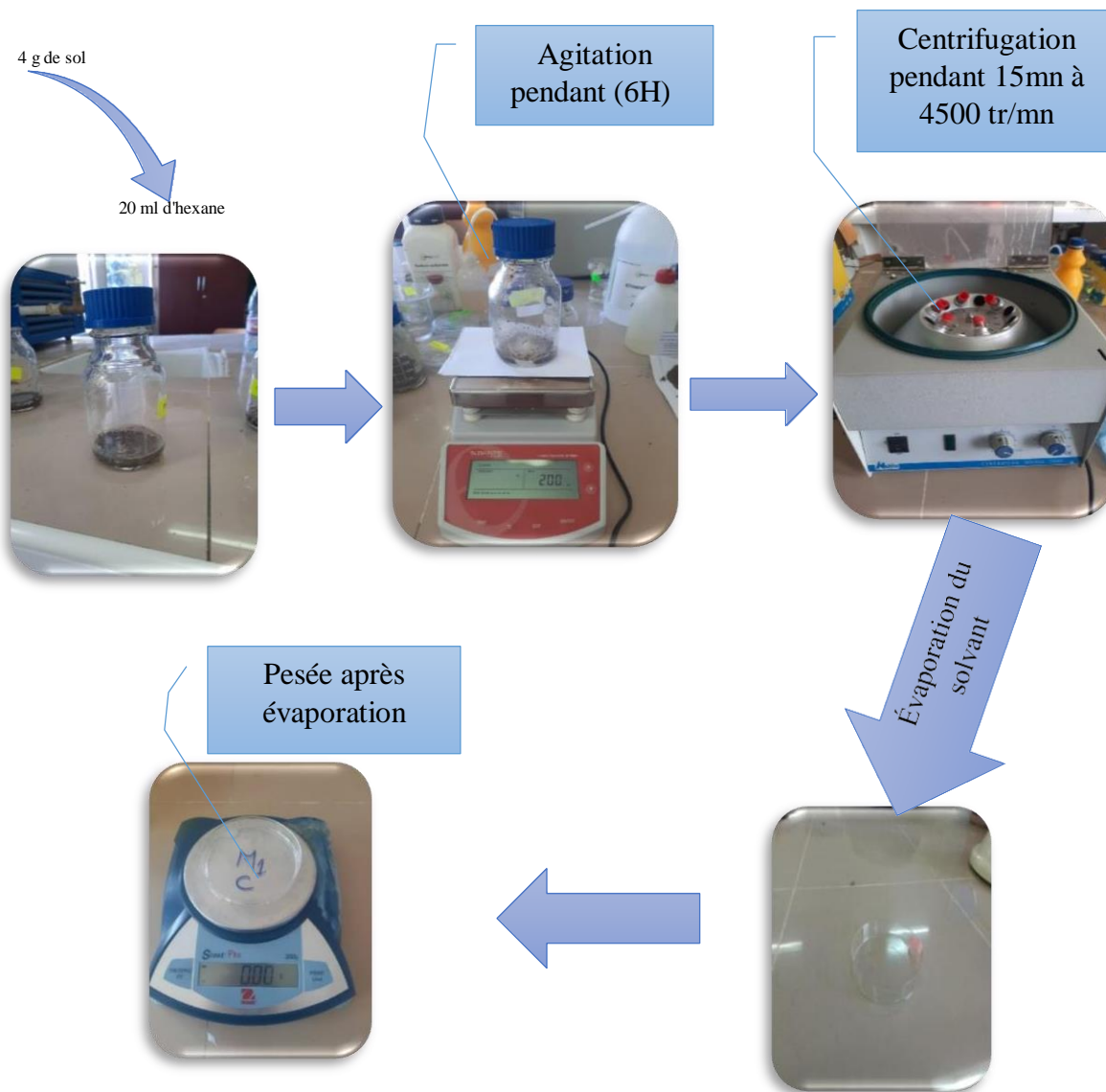


**Figure 8** : Protocole de dosage de l'activité de la catalase.

## 2.4.4. Quantification des hydrocarbures résiduels dans le sol

Le but de cette extraction est d'évaluer la quantité d'hydrocarbures restante dans le sol après traitement. L'extraction se fait en mélangeant du sol de chaque boîte, séché et tamisé à 2mm, avec de l'hexane au rapport 1/5 (masse/volume) dans un flacon de 250ml sous agitation pendant 6 heures.

Après 15mn de centrifugation à 4500trs/mn, le surnageant a été récupéré puis versé dans des boîtes de Pétri, préalablement pesées, et laissé jusqu'à l'évaporation du solvant. La quantité d'hydrocarbures extraits est obtenue par pesée à l'aide d'une balance de précision (fig. 9).

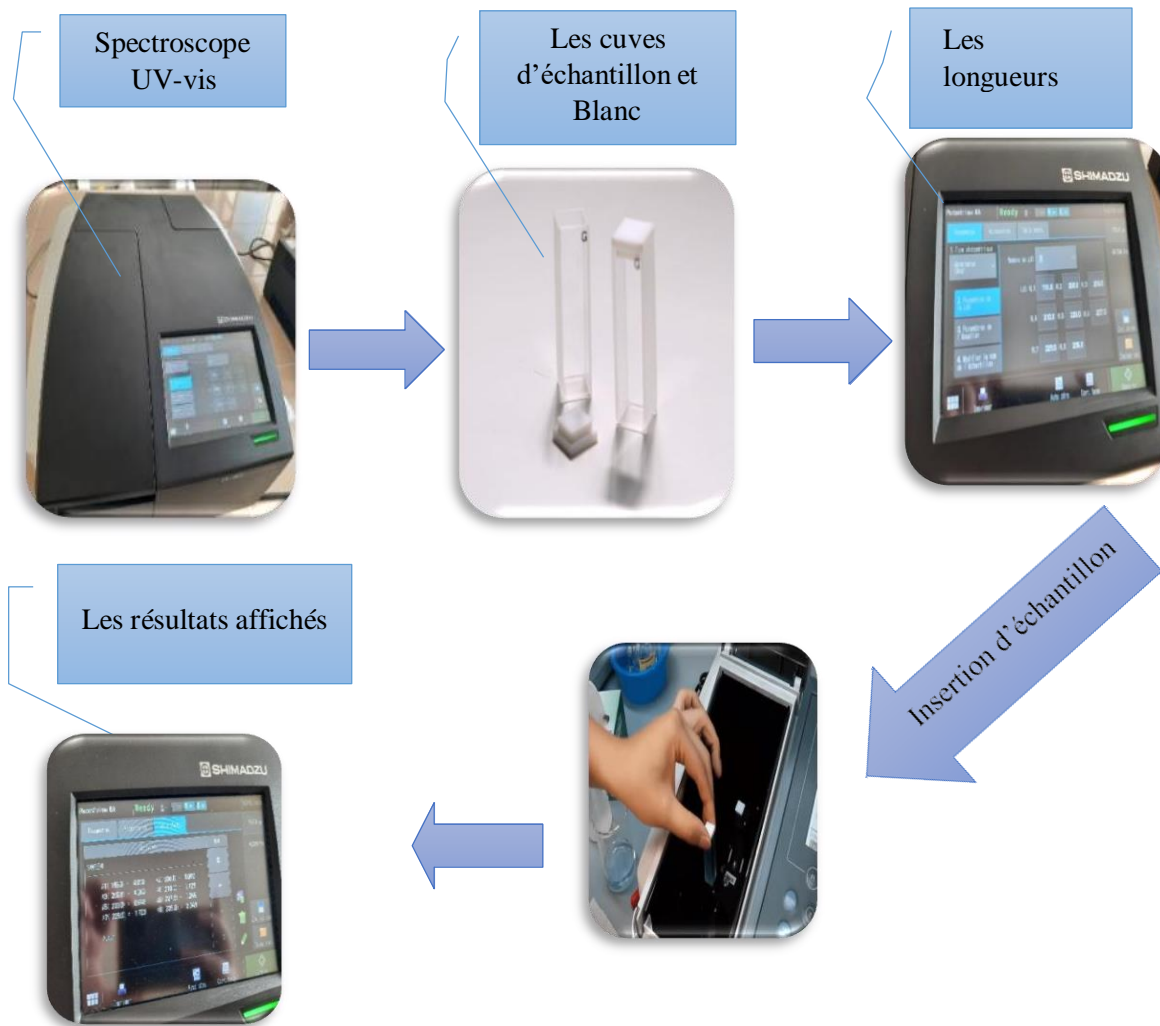


**Figure 9 :** Protocole d'extraction et de quantification des hydrocarbures.

## 2.4.5. Caractérisation des hydrocarbures dans le sol :

Après extraction des hydrocarbures selon le protocole décrit précédemment, ils sont dilués dans l'hexane à un rapport de 1/3, et la solution obtenue est versée dans une cuve destinée à être placée dans le spectrophotomètre UV-visible. Dans une autre cuve, on verse une quantité d'hexane qui est considérée comme étant un blanc.

On place le blanc dans l'UV-vis et on fait varier les longueurs d'ondes correspondant aux absorptions des 16 HAP prioritaires pour l'environnement et la santé humaine. On place nos échantillons adjacents au blanc et on note les absorbances (fig. 10).



**Figure 10** : Schéma du protocole de caractérisation des HAP par spectrophotométrie UV.

### 1.5. Méthodes d'analyse statistique

Les résultats obtenus pour les tests biologiques ont été soumis à une analyse de la variance à un critère de classification (la dose de fumier) réalisée avec le logiciel R.3.4.3. La comparaison des moyennes a été faite par le test de Newman et Keuls. Lorsque les données ne sont pas gaussiennes ou lorsque les variances sont inégales, c'est le test de Kruskal-Wallis qui a été réalisé.

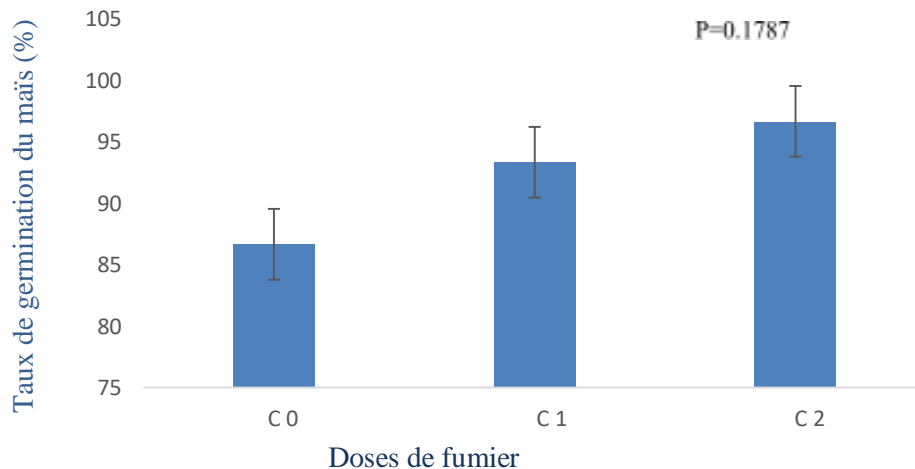
Ce travail consiste à comparer l'efficacité du compostage d'un sol pollué aux carburants avec l'utilisation de trois doses de fumier comme ajout organique. Cette efficacité a été évaluée en utilisant des bio-essais associés à la quantification des carburants résiduels et à l'analyse qualitative des HAP les constituant.

## 1. Résultats

### 1.1. Germination des graines :

Les résultats exposés dans la figure 11 montrent que le taux de germination est élevé dans tous les traitements.

La meilleure germination a été observée dans le sol ayant reçu 40% de fumier (C2) avec un taux de 97%, suivi par le sol traité avec 20% de fumier (C1) ayant donné un taux de 93%. Le taux de germination le plus faible a été observé dans le sol sans ajout de fumier (C0) qui est le témoin, avec 87%.



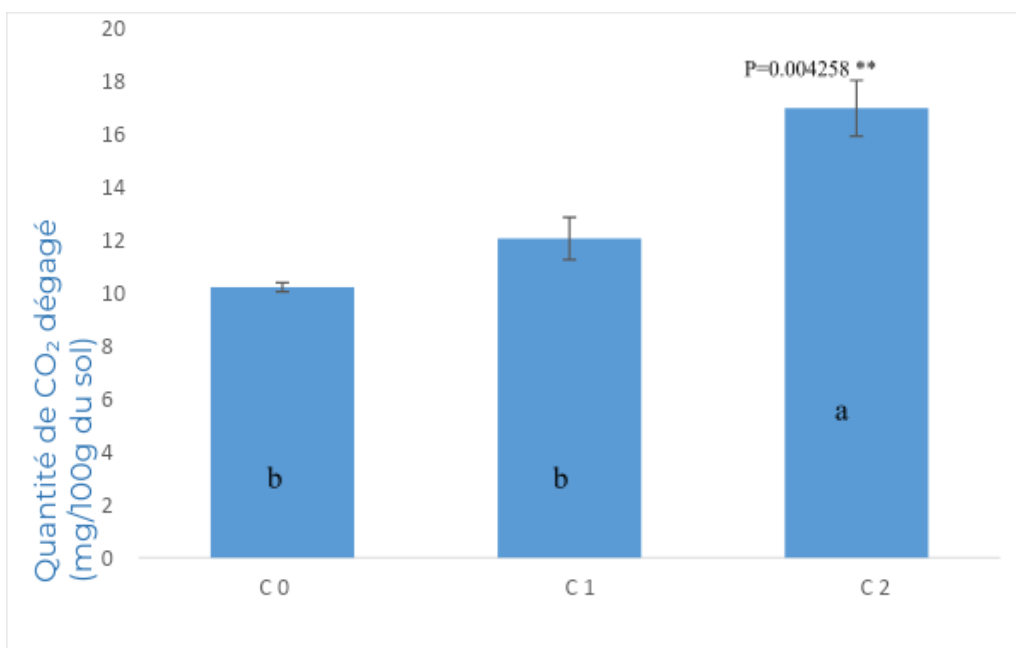
**Figure 11 :** taux de germination des graines de maïs.

Le test de Kruskal-Wallis appliqué au taux de germination montre que les différences observées entre les trois doses de fumiers ne sont pas significatives ( $p$ -value= 0,1787). L'ajout de fumier avec les doses C1 et C2 a eu le même effet que le témoin sur la germination des graines de maïs (annexe 1).

### 1.2. Respiration microbienne :

Les résultats du test respirométrique, exprimés en quantité cumulée de dioxyde de carbone dégagé dans les différents sols traités et non traités sont illustrés dans la figure 12.

Nous constatons que la quantité de CO<sub>2</sub> dégagée est plus élevée dans le sol avec ajout de 40% de fumier (C2) atteignant 16,94 mg/100g de sol, suivi par celui traité avec 20% (12,02mg de CO<sub>2</sub>). Nous avons enregistré la plus faible quantité de CO<sub>2</sub> dégagé dans le sol n'ayant pas reçu de fumier.



**Figure 12** : respiration microbienne du sol selon la dose de fumier ajoutée.

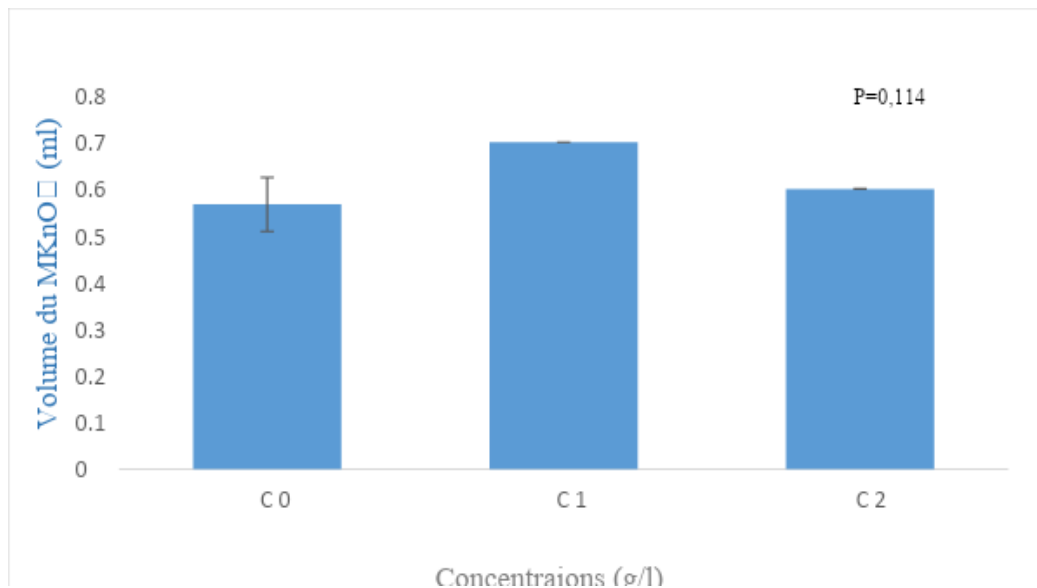
Les résultats de l'anova ont donné une p-value de 0,004258, ce qui signifie que les différences observées sont hautement significatives entre les trois doses de fumier. Il y a donc un effet significatif de l'ajout de fumier sur l'activité biologique globale (annexe 2).

D'après le test Newman et Keuls (annexe 3), les ajouts sont classés dans trois groupes homogènes, le groupe "a" qui contient 40% de fumier (C2), et le groupe "b" renfermant le sol C1 qui contient 20% de fumier et C0 qui est le témoin avec des moyennes respectives de 12,020 et 10,193.

### 1.3. Activité enzymatique :

Les résultats de la mesure de l'activité de la catalase exprimée en quantité de  $\text{KMnO}_4$  en fonction des différentes doses de l'ajout du fumier aux sols sont illustrés par la figure 13.

Nous remarquons que la plus grande activité enzymatique est obtenue dans le sol C1 avec un volume de 0,7 ml, suivie du sol C2 avec un volume de 0,6 ml. La valeur la plus faible est observée dans le sol C0 avec un volume de 0,5 ml.

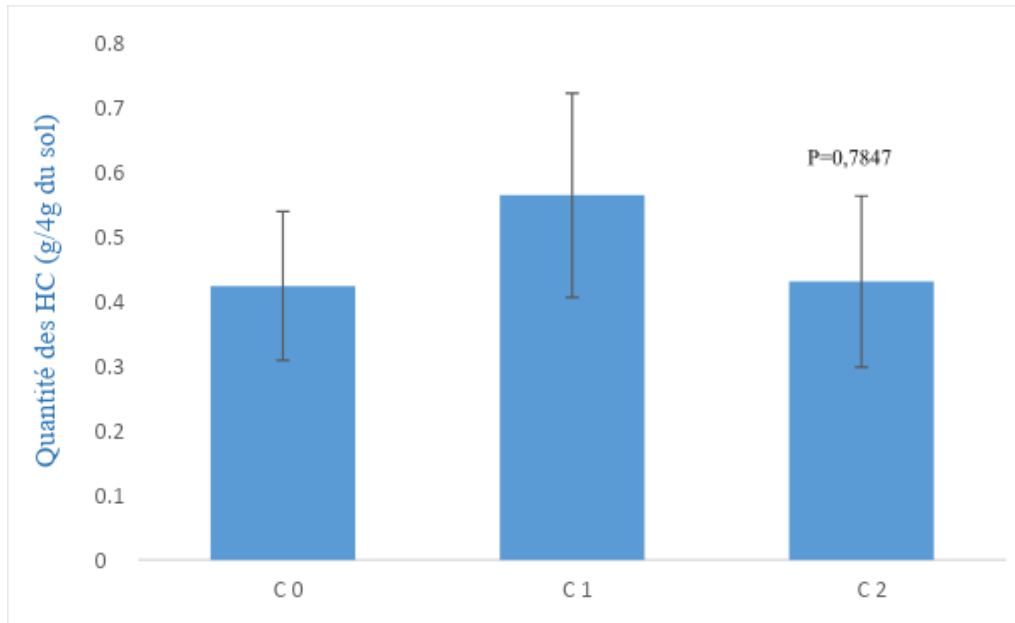


**Figure 13 :** activité de la catalase dans les sols traités avec différentes doses de fumier.

Les résultats du test de Kruskal-Wallis montrent que les différences ne sont pas significatives ( $p$ -value = 0,114) entre les trois doses de fumier (annexe 4).

### 1.4. Quantification des hydrocarbures résiduels :

La figure 14 donne la quantité des hydrocarbures restants dans les sols traités et le sol témoin après compostage. Ces résultats montrent que les quantités d'hydrocarbures diffèrent légèrement d'un sol à l'autre, la valeur la plus élevée (0,563g/4g de sol) étant obtenue dans le sol traité avec C1, suivi du sol C2 à 40% d'ajout organique avec 0,43g/4g de sol. Dans le sol C0 qui est le témoin, une quantité de 0,42g/4g de sol a été enregistrée.



**Figure 14 :** Quantité d'hydrocarbures dans le sol ayant reçu différentes doses de fumier.

D'après les résultats de l'Anova (Annexe 5), les différences observées entre les trois doses de fumier n'étaient pas significatives ( $p\text{-value}=0,7847$ ), ce qui signifie qu'il n'y a pas d'effet de la dose de fumier sur la quantité d'hydrocarbures.

### 1.5. Analyse qualitative des hydrocarbures dans le sol :

L'analyse qualitative des hydrocarbures par spectroscopie UV a permis d'identifier les HAP présents dans les sols traités avec l'ajout de fumier et le sol non traité.

Nous remarquons que les HAP présents dans le sol C0 qui est le témoin sont : benzène, fluorène, naphthalène, acénaphène, fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, pyrène, phénanthrène, benzo(b)fluoranthène, Chrysène et benzo(a)anthracène avec des valeurs d'absorbance plus élevées, suivie par le C2 contenant les HAP : benzène, fluorène, acénaphylène, dibenzo(a,h)anthracène, indéno(1,2,3-c,d)pyrène.

Les absorbances enregistrées par le sol traité avec 40% de fumier montrent que cette dose a induit une moindre décontamination par rapport au sol C1 avec 20% de fumier dans lequel un seul le benzo(g-h-i) pérylène a été détecté à 210 nm avec une absorbance supérieure aux autres traitements (tableau I).

**Tableau I :** Résultats obtenus par la spectroscopie UV.

HAP	L. onde (nm)	Sol (C0)	Sol (C1)	Sol (C2)
Benzène	200	2,79	2,70	2,79
Fluoréne	205	2,98	2,82	2,98
Benzo(g-h-i) pérylène	210	2,02	2,88	1,00
Naphtaléne	220	0,86	0,54	0,62
Acénaphténe	227	1,42	1,00	0,76
Acénaphtyléne	229	1,60	1,10	1,78
Fluoranthéne	236	2,53	1,66	2,24
Benzo(k)fluoranthéne	238	2,74	1,90	2,71
Pyréne	241	3,36	2,23	3,27
Phénanthréne	251	3,90	2,24	3,08
Benzo(b)fluoranthéne	256	3,65	2,41	3,12
Chryséne	268	3,19	1,98	2,37
Benzo(a)anthracéne	286	2,21	1,39	1,54
Dibenzo(a,h)anthracéne	297	1,80	1,17	2,02
Indéno(1,2,3-c,d)pyréne	300	1,67	1,08	1,87

## 2. Discussion

Notre étude sur l'efficacité des doses de fumier dans le processus de compostage des sols pollués par les carburants a révélé que l'ajout de cet engrais organique, quelle que soit la dose, a favorisé une bonne germination des graines de maïs. Cela indique une réduction de la toxicité des sols contaminés. Eghaball (1999) a montré que l'utilisation de fumier composté et de fumier de bovin constituait une excellente source de nutriments, car contenant 25% de matière organique, il peut améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol. Selon l'étude de Bouacem et Chabane (2022), l'ajout de fumier et de grignon d'olive a permis une germination de plus de 95% des graines.

Dans l'étude de l'activité biologique, nous avons constaté une libtion de CO<sub>2</sub> dans tous les sols traités, avec une respiration plus intense dans ceux contenant 20 et 40% de fumier. Ainsi, l'augmentation de la quantité de fumier stimule l'activité des microorganismes présents dans le sol. Ces résultats sont en accord avec ceux de Maliszewska-Kordybach et Smreczak (2003).

Concernant l'activité enzymatique du sol, les résultats indiquent que la dose n'a pas eu d'effet significatif sur la catalase. Mohsenzadeh et al. (2012) ainsi que Khan et Anjaneyulu (2006) sont parvenus à la même conclusion.

Par ailleurs, nous avons constaté que la quantité d'hydrocarbures résiduels n'était pas significativement différente entre les trois doses de fumier. Cela pourrait indiquer que les différences observées dans les tests de toxicité seraient dues à une modification qualitative plutôt que quantitative des hydrocarbures. Les fractions les plus toxiques auraient été transformées en produits moins toxiques.

L'analyse qualitative par spectroscopie UV a montré que l'ajout de fumier pouvait influencer la concentration des HAP dans le sol, bien que l'efficacité de la décontamination puisse varier selon la proportion de fumier utilisé et le type de HAP. Le sol traité avec 20% de fumier a montré une meilleure réduction des HAP par rapport à celui traité avec 40% de fumier, suggérant qu'une proportion moyenne de fumier pourrait être plus efficace pour la décontamination des sols contaminés par des hydrocarbures. Les résultats de cette étude sont en accord avec d'autres études qui ont montré que l'ajout de fumier pouvait réduire la concentration des HAP dans le sol. Wang et al. (2016) ont rapporté que l'amendement du sol avec du compost de fumier a réduit de 30% la concentration des HAP totaux dans un sol contaminé par le pétrole.

## **Conclusion générale**

---

Notre travail a porté sur l'effet de différentes doses de fumier sur le compostage d'un sol pollué aux carburants.

Au vu des résultats obtenus, l'ajout de fumier lors du compostage a amélioré la qualité du sol.

Les graines de maïs ont eu une bonne germination dans le sol quelle que soit la dose du fumier appliquée. Ceci indique une bonne efficacité du compostage.

L'efficacité a été meilleure avec l'ajout du fumier, ce qui s'observe clairement dans les résultats de l'activité biologique via le dégagement de CO<sub>2</sub> qui a été intense dans tous les sols avec une activité significativement plus élevée dans les sols ayant reçu les deux doses de fumier 20 et 40%.

Pour ce qui est de l'activité de la catalase, aucune différence significative n'a été observée entre les différentes doses de fumier.

La quantité de carburants résiduels était quasiment là 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, notamment avec la dose C1.

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

- Étudier l'impact à long terme de l'ajout de fumier sur la dynamique des hydrocarbures dans le sol.
- Explorer d'autres types de matières organiques tels que le fumier d'ovins, les fientes de volailles pour le compostage et comparer leur efficacité avec celle du fumier.
- Investiguer les mécanismes biochimiques sous-jacents à l'amélioration de la qualité du sol par le compostage avec ajout de fumier.
- Déterminer la dose optimale de fumier qui aboutirait à la meilleure décontamination du sol.
- Évaluer l'efficacité du compostage avec ajout de la dose optimale de fumier dans des conditions de terrain réelles et variées.

# Références bibliographiques

---

## A

- **Alrumman S.A., Standing D.B., Paton G.L., 2015.** Effect of hydrocarbon contamination on soil microbial community and enzyme activity. *Journal of King Saud University\_Science*. 27 : 31-41.
- **Ali Ahmed S., 2022.** Optimisation de quelques techniques de décontamination de sols pollués aux hydrocarbures. Réalisation de bio-essais. Thèse de Doctorat Es Science. UMMTO. 129 p.
- **Andreoni V., Cavalca L., Rao M.A., Nocerino G., Bernasconi S., Dell'Amico E., Colombo M., Gianfreda L., 2004.** Bacterial communities of PAHS polluted soils, *Chemosphere*. 57. 401-412.

## B

- **Benyahia N., 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) du 28-29 Janvièra Lausanne. Suisse. 8p.
- **Bouacem L., Chabane C., 2022.** effet de l'ajout organique sur l'efficacité de décontamination, par compostage, d'un sol pollué aux carburants. Mémoire de master UMMTO. 23p.

## C

- **Carnicer P., 2007.** La pollution ponctuelle des sols : Le cas des stations-service dans la Région de Bruxelles-Capitale. Mémoire. Diplôme d'Études Spécialisées en Gestion de l'Environnement. Université Libre de Bruxelles. 154 p.
- **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.

## Références bibliographiques

---

- **Chaineau C.H., Morel J.L., Oudot J., 1996.** Land treatment of oil based drill Cuttings in an agricultural soil. *Journal of Environmental Quality*. 25(4) : 858-867.
- **Colombo M., Gianfreda L., 2004.** Bacterial communities of PAHS polluted soils, *Chemosphere*. 57 : 401-412.
- **Colin F., 2000.** Pollution localisée des sols et sous-sols par les hydrocarbures et par lessolvants colorés. Ed. TEC et DOC. 417p.

### *D*

- **Démusère R., 2011.** Développement d'un indice mesurant la stabilité enzymatique relative des sols pour évaluer l'impact d'une contamination organique complexe sur la qualité des sols dans un contexte de remédiation. Mémoire en Génie chimique. Université de Montreal. 188p.
- **Denes J., 2014.** Modélisation couplée des phases de traitement par compostage et de recyclage agricole des matières organiques. Sciences de l'environnement. Doctorat Science de l'Environnement, Institut Supérieur des Sciences Agronomiques Agro-Alimentaires, Horticoles et du Paysage. France. 22p.

### *E*

- **Eyheraguibel B., 2004.** Caractérisation des substances humiques biomimétiques : Effets sur les végétaux. Thèse de doctorat : Institut National Polytechnique De Toulouse (France). 231p.
- **Eghball B., 1999.** Liming Effects of Beef Cattle Feedlot Manure or Compost. Departement of Agronomy and USDA-ARS. University of Nebraska-Lincoln, NE. *Commn. Soil. Science plant anal*, 30 (19 and 20) : 2563-2570.

### *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 de l'INA-PG, UMR INRA-INAPG Environnement et Grandes Cultures, 388p.

## Références bibliographiques

---

- **Francou C., 2004.** Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets Gestion de l'Environnement. Université Libre de Bruxelles. 154p.
- **François, P., Keerchove, V., & Macary, H. 2022.** Guide de la fertilisation organique à la Réunion : Fiche matière organique fumier de bovin. CIRAD, 6p.

### ***H***

- **Hogg, D., Favoino, E., Nielsen, N., Thompson, J., Wood, K., Penschke, A., & Papageorgiou, S. 2002.** Economic analysis of options for managing biodegradable municipal waste. Final report to the European Commission. Bristol : Eunomia, 239p.

### ***I***

- **Inbar Y., Chen Y., Hadar Y., 1990.** Humic substances formed during the composting of organic-matter. Soil Science Society of America Journal, 54(5) : 1316-1323.

### ***K***

- **Koller E., 2009.** Traitement de pollutions industrielles. Eau, Air, Déchets, Sol, Boues. Edition Dunod. Paris. Série Environnement et sécurité. 366p.
- **Khan, Z., & Anjaneyulu, Y. 2006.** Bioremediation of contaminated soil and sediment by composting. Remediation, 16(3), 25-33. <https://doi.org/10.1002/rem.20089>.

### ***L***

- **Lashermes, G. 2010.** Évolution des polluants organiques au cours du compostage de déchets organiques : approche expérimentale et modélisation. Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, AgroParisTech, 256p.
- **Leclerc B., 2001.** Guide des matières organiques. Institut Technique Agriculture Biologique, tomes 1 et 2, 238p.

## Références bibliographiques

---

- **Lemunier M., 2006.** Evaluation de la survie de bactéries pathogènes en composts au cours du compostage et du stockage : rôle de la fraction biotique du compost. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne. 153 p.
- **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'Evaluation Détaillée des Risques pour les ressources en eau. Rapport du BRGM/RP-50662-FR. 103p.
- **Lin C., Cheruiyot N.K., Bui X.T., Ngo H.H., 2022.** Composting and its application in bioremediation of organic contaminants. *Bioengineered*, 13(5) : 1073-1089.
- **Lounes, Y., & Loutis, M. 2021.** Étude de l'efficacité de variétés de légumineuses dans la décontamination d'un sol pollué aux carburants. Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 59p.

## M

- **Maliszewska-Kordybach, B., & Smreczak, B. 2003.** Habitat function of agricultural soils as affected by heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons contamination. *Environment International*, 28(8), 719-728. Soil Science and Land Reclamation Department, Institute of Soil Science and Plant Cultivation.
- **Mason I.G., 2006.** Mathematical modelling of the composting process : A review. *Waste Management*, 26(1) : 3-21.
- **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.
- **Mohsenzadeh, F., Chehregani Rad, A., Akbari, M., 2012 :** Evaluation of oil removal efficiency and enzymatic activity in some fungal strains for bioremediation of petroleum-polluted soils. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 9(26), 1-8.

# Références bibliographiques

---

## O

- **Oliveira, S., Santos, J., Pereira, M. et Silva, F. 2020.** Caractérisation de la composition chimique de la sciure de bois. *Journal de Fr Journal des études environnementales*,35p.

## P

- **Patej S., 2002.** Etude de scenarios dangereux en stations-service. Rapport final. Direction des risques accidentels. INERIS. DRA-40862 : 9-12.
- **Pulgarin A., 2012.** Méthodes pour la datation des hydrocarbures déversant dans l'environnement. Essai présenté au centre universitaire de formation en environnement Université de Sherbook. 79p.

## R

- **Ramade F., 1992.** Précis d'éco toxicologie. Edition Masson, Paris, 300p.
- **Rhbal, H., Souabi, S., Safi, M., Terta, M., Arad, M., Anouzla, A., & Hafidi, M. 2020.** Décontamination des sols pollués par les hydrocarbures. *Scientific Study & Research: Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 21(1) : 1-16.

## 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(3), 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 polycyclicaromatichydrocarbons in soil under oxygen deficient conditions. *Soil Biology and Biochemistry*. 34 (5) : 733-735.

## V

- **Van De Kerkhove J M., 1990.** Evolution De La Maturité De Trois Déchets Urbains En Cours De Compostage. Institut National Polytechnique De Lorraine. 13 p.

## Références bibliographiques

---

### W

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

# Annexes

---

## Annexe 1 : test de germination des graines de maïs.

### Kruskal-Wallis rank sum test Taux de Germination (TG)

data: TG by Dose

Kruskal-Wallis chi-squared = 3.4444, df = 2, p-value = 0.1787

## Annexe 2 : test de l'activité biologique (respirométrique)

### Analysis of Variance Table Activité Biologique Globale (ABG)

Response: ABG

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dose	2	73.061	36.530	15.508	0.004258 **
Residuals	6	14.133	2.356		

## Annexe 3 : groupe homogène de l'activité biologique

### Test de Newman-Keuls

#### ABG groups

C2	16.94000	a
C1	12.02000	b
C0	10.19333	b

## Annexe 4 : test de l'activité de la catalase

### Kruskal-Wallis rank sum test Catalase (CAT)

data : CAT by Dose

Kruskal-Wallis chi-squared = 4.3429, df = 2, p-value = 0.114

# Annexes

---

## Annexe 5 : La quantification des hydrocarbures

### Analysis of Variance Table Quantité d'hydrocarbures résiduels (HC)

Response: HC

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Dose	2	0.03742	0.018711	0.2525	0.7847
Residuals	6	0.44453	0.074089		

## **Résumé**

Le présent travail a pour objectif de tester l'effet de différentes doses de fumier sur l'efficacité de la décontamination d'un sol pollué aux hydrocarbures prélevé dans une station de service par le compostage.

Les résultats obtenus montrent que le compostage a donné une bonne germination des graines de maïs avec ou sans ajout de fumier, une activité semblable de la catalase, indiquant une réduction de la toxicité dans le sol. Cependant, la respiration microbienne du sol a été plus intense dans les sols traités avec 20 et 40% de fumier. Ce qui laisse supposer que l'apport de fumier décontamine mieux le sol. La quantité d'hydrocarbures résiduels n'étant pas influencée par les ajouts du fumier, ces derniers auraient induit une modification qualitative par la transformation des fractions toxiques, notamment la dose de 20%. Cela suggère que l'ajout de fumier à 20% est plus efficace.

**Mots clés :** sol, carburants, compostage, doses de fumier

## **Abstract**

This study aims to test the effect of different doses of manure on the efficiency of decontaminating hydrocarbon-polluted soil collected from a service station through composting. The results show that composting resulted in good germination of maize seeds with or without the addition of manure, and a similar catalase activity, indicating a reduction in soil toxicity. However, soil microbial respiration was more intense in soils treated with 20% and 40% manure, suggesting that the addition of manure better decontaminates the soil. Since the residual hydrocarbon content was not influenced by the manure additions, the latter likely induced a qualitative modification by transforming the toxic fractions, particularly at the 20% dose. This suggests that the addition of 20% manure is more effective.

**Keywords :** soil, fuels, composting, manure doses