



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**

**Ministère de l'enseignement supérieur  
et de la recherche scientifique**



**UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU**

Faculté des Sciences Biologiques  
et des sciences Agronomiques  
Département de Biologie

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Biodiversité et Environnement

### Thème

Etude bibliographique et comparative de l'effet des hydrocarbures sur les propriétés microbiologiques du sol

**Présenté par : M<sup>elle</sup> KEDDACHE Houda  
M<sup>elle</sup> BOUREZEG Samira**

**Devant le jury composé de :**

M <sup>me</sup> Sahmoun Sidi Mansour F.	MAA (UMMTO)	Présidente
M <sup>me</sup> Sadoudi D.	Professeur (UMMTO)	Promotrice
M <sup>me</sup> Chibane G.	MAB (UMMTO)	Co-promotrice
M <sup>elle</sup> Ali Ahmed S.	MAA (UMMTO)	Examinatrice

**Promotion 2019/2020**

## **REMERCIEMENTS**

*Nous tenons d'abord à remercier infiniment notre enseignante promotrice Mme Sadoudi-Ali Ahmed Djamila : Toutes les lettres, tous les mots, voire toutes les phrases nous seront insuffisantes pour vous exprimer notre profonde gratitude.*

*Nous tenons à remercier notre enseignante et co-promotrice Mme Chibane Gouraya pour son aide à la réalisation de notre travail. Nous remercions aussi les membres du jury, qui ont acceptés d'évaluer notre travail.*

*Qu'il nous soit permis de remercier tous les enseignants des départements des sciences biologiques et agronomiques qui ont assuré notre formation.*

## **DEDICACES**

*Avant tout je remercie **ALLAH** pour le tout*

*A ma mère d'esprit Bourezeg Mebareka*

*Aucune dédicace ne saurait mon respect, mon amour éternel et ma  
Considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon  
instruction*

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez  
depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne  
toujours. Puisse dieu le très haut vous accorder sante ; bonheur et  
longue vie*

*A mes chères parents et la flamme de ma vie Bourezeg abedelkader  
et Bourezeg saadia source de tendresse et la force, de courage d'études  
Je vous remercie d'être toujours a mes cote de me soutenir ; aimer ;  
protéger et pour tous ce que vous m'avais fait pour moi et pour vos  
sacrifices.*

*A ma grande mère que dieu l'accorde longue vie. Ainsi que mes  
grands-parents*

*A mes chères sœur : Fatma ;Hana Salssabil*

*A mon cher frère : Salim*

*A mes chère tentes ; et mes chers oncles*

*Sans oublier mes chères cousines : Samia et Imene*

*Et aussi madame et monsieur Moukah Amar et Moukah nadjia*

*A ma chère amie et binôme keddache houda*

*A tout la famille BOUREZEG*

*A toute la promotion biodiversité et environnement*

*A toutes personnes que j'aime.*

*BOUREZEG Samira*

## **DEDICACES**

*Avant tout je remercie ALLAH pour les tout.*

*Je dédie ce modeste travail:*

*À mes chers parents Tahar et Zohra, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*A mes frères :*

*Mélissa, Inas, Aya et Mohammed-Yasser.*

*A mon cher fiancé Bekka Immad et toute sa famille.*

*Mes grands parents surtout ma grande-mère « Meriem »*

*A ma tante Ouarda, mon oncle hocine, mes cousines Ilham, Kamir et toute la famille Keddache.*

*A tous mes ami(e)s spécialement ma cousine et binome Bourezeg Samira. Mes copines Sahridj Naouel, Moussaoui Rayane et mes collègues de travail (Taoues et Nessrine) spécialement Nabila et mon patron Mr K.Kabiche, pour leur appui tout au long de mon parcours universitaire. Sans oublier mes camarades de classe auxquels je souhaite la réussite et le bonheur,*

*Nous remercions tous nos amis en particulier les étudiants de l'option de biodiversité et environnement*

*Enfin, un grand merci, à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible,  
Merci d'être toujours là pour moi.*

*Keddache Houda*

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Phases du sol (Zaboubi, 2007).....	3
<b>Figure 2:</b> Nombre de champignons dans les deux sols contaminé et non contaminé. (Dali et Iddir, 2018).....	23
<b>Figure 3 :</b> Filaments d' <i>Alternaria alternata</i> (Dali et Iddir, 2018).....	24
<b>Figure 4 :</b> <i>Cladosporium sp</i> (Dali et Iddir, 2018).....	24
<b>Figure 5 :</b> Filaments d' <i>Aspergillus nige</i> (Dali et Iddir, 2018).....	24
<b>Figure 6 :</b> Filaments de <i>Mycelia sterillia</i> (Dali et Iddir, 2018).....	25
<b>Figure 7 :</b> Colonies de <i>Penicillium sp</i> (Dali et Iddir, 2018).....	25
<b>Figure 8 :</b> Colonis de <i>Fusarium sp</i> (Dali et Iddir, 2018).....	25
<b>Figure 9 :</b> Nombre de colonies de champignons dans le transect A (Chikhaoui et Hettak, 2019).....	27
<b>Figure 10 :</b> Nombre de colonies de champignons dans le transect B et C (Chikhaoui et Hettak, 2019) .....	27
<b>Figure 11 :</b> Nombre de colonies de champignons dans les trois transects A, B et C (Chikhaoui et Hettak, 2019).....	28
<b>Figure 12:</b> Observation du champignon <i>Rhizopus sp</i> (Chikhaoui et Hettak, 2019) .....	28

# Sommaire

---

Introduction .....	1
Chapitre I : Généralités sur le sol.....	3
1. Définition .....	3
2. Constituants du sol .....	3
3. Propriétés du sol .....	5
Chapitre II : Pollution du sol par les hydrocarbures.....	10
1. Définition .....	10
2. Pollution des sols par les hydrocarbures.....	10
3. Classification des hydrocarbures.....	10
4. Sources des hydrocarbures .....	12
5. Principaux facteurs influençant la migration des hydrocarbures.....	13
6. Devenir des hydrocarbures dans Le sol.....	13
7. Effet éco-toxicologiques des hydrocarbures.....	14
Chapitre III : Microbiologie du sol.....	19
1. Facteurs de dégradation des hydrocarbures.....	19
2. Mécanisme de dégradation des hydrocarbures.....	20
3. Microorganismes dégradant les hydrocarbures.....	20
4. Mycoremédiation.....	22
5. Technique de mycoremédiation.....	22
6. Effet des hydrocarbures sur l'activité des champignons .....	23
7. comparaison des résultats de deux mémoires de fin d'études sur l'activité des champignons.....	29
Conclusion.....	31
Références bibliographiques.....	33

# Introduction

# Introduction

---

Les activités humaines industrielles, économiques et sociales sont à l'origine de la production de composés organiques dont la plupart présente une grande toxicité aux êtres vivants. C'est le cas des hydrocarbures qui peuvent entraîner des catastrophes écologiques irréversibles pouvant avoir un impact direct ou indirect sur l'équilibre de l'écosystème en engendrant une bioaccumulation dans les chaînes alimentaires qui touche l'animal, le végétal et la santé humaine (Soltani, 2004).

Le phénomène de pollution des sols par les hydrocarbures inquiète de plus en plus les sociétés modernes par les nuisances que ces pollutions entraînent aussi bien sur l'altération de l'environnement que sur la santé des organismes vivants.

La dépollution des sols contaminés se fait par de nombreuses méthodes en fonction de la toxicité du polluant et du risque qu'il représente. De nouvelles technologies sont en développement, parmi lesquelles la voie biologique (bioremédiation) qui est en plein essor et suscite de très nombreux travaux de par le monde. Elle fait appel, entre autres, aux micro-organismes pour réduire la toxicité des polluants à risques ou pour les transformer en matières non toxiques (Dali et Iddir, 2018).

La bioremédiation par les microorganismes représente l'un des principaux mécanismes par lesquels les polluants hydrocarbonés peuvent être éliminés de l'environnement (Das et Chandran, 2011).

Des travaux portant sur l'effet de la contamination du sol par les hydrocarbures sur ses propriétés microbiologiques ont été réalisés en Kabylie par Dali et Iddir (2018) et Chikhaoui et Hettak (2019). L'objectif de la présente étude est de faire une synthèse de ces travaux.

Ainsi, nous avons divisé ce travail en trois chapitres. Le premier correspond à des généralités sur le sol. Le deuxième chapitre rapporte des données sur la pollution du sol par les hydrocarbures et le troisième fait référence à la microbiologie du sol puis une synthèse et une comparaison des résultats des travaux de Dali et Iddir (2018) et Chikhaoui et Hettak (2019) en nous intéressons à l'activité des champignons.

Nous terminons notre travail par une conclusion.

# Chapitre I : Généralités sur le sol

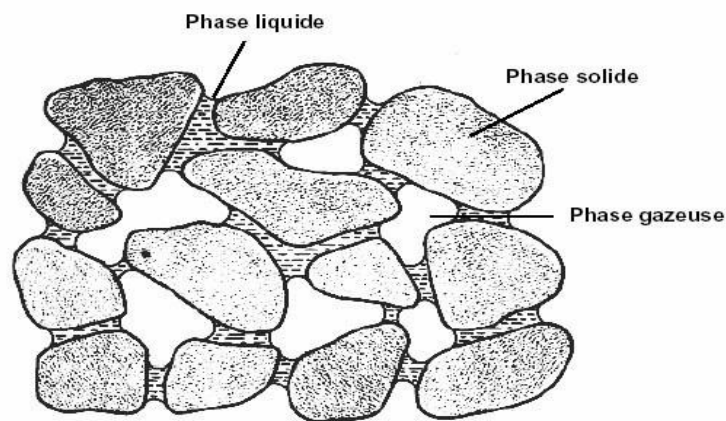
## 1. Définition

Un sol est un système hétérogène et dynamique, principalement composé de particules minérales, de matières organiques, d'eau, d'air et d'organismes vivants.

C'est un milieu biologique où vivent des êtres microscopiques, mais également où se déroulent des phénomènes chimiques et physiques. Ces phénomènes sont qualifiés de systèmes dynamiques et ont lieu essentiellement dans la phase liquide du sol et à son interface avec la phase solide. La connaissance scientifique d'un tel écosystème, pour le moins complexe, constitue un pas important à la compréhension du devenir des polluants organiques et de leur processus de biodégradation (Eldor, 2007).

## 2. Constituants du sol

Le sol est constitué de 3 phases (figure 1) qui sont :



**Figure1:** Les phases du sol (Zaboubi, 2007).

### 2.1. Phase solide

La phase solide est la phase qui contient des éléments solides tels que les minéraux de formes et de compositions différentes tels que le gravier, le sable, les limons et l'argile. Des éléments organiques formés par des résidus, d'origine végétale ou animale en état de décomposition plus ou moins avancée (Zaboubi, 2007).

Les particules de dimension supérieure à 2  $\mu\text{m}$  sont généralement cimentées par un mélange d'argile et d'humus (complexe organo-humique), parfois également par des oxydes et des hydroxydes (Zaboubi, 2007).

## 2.2. Phase liquide

La phase liquide du sol représente l'eau dans laquelle sont dissoutes des substances solubles. Elle se trouve dans les espaces lacunaires entre les particules solides du sol (Zaboubi, 2007). La solution du sol ou l'eau du sol contient des ions minéraux et de petites molécules organiques variant dans leur composition et leur mobilité et même leur fixation sur les particules solides. Cette solution remplit partiellement ou totalement les pores du sol (Morel, 1996).

### La solution du sol contient

- Des anions prédominants :  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$
- Des cations prédominants :  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$
- De la matière organique soluble.
- Des dissolvants gazeux.
- Des pesticides et fertilisants liquides (Mermoud, 2006)

## 2.3. Phase gazeuse

Elle est représentée par l'air qui se trouve dans les espaces vides du sol. Cette phase est composée de tout ce qui est gaz (oxygène <21%, azote : 78-80%, dioxyde de carbone : 0.02%, vapeur d'eau : proche de la saturation, autres gaz : 1%) (Morel, 1996).

La phase gazeuse du sol est l'atmosphère du sol qui se compose des mêmes gaz que l'air ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ..) et surtout des gaz qui résultent de la décomposition de la matière organique et de l'activité biologique dans le sol (Soltner, 1986)

La concentration en  $\text{CO}_2$  dans l'air du sol est plus élevée que celle dans l'air atmosphérique, Cependant, la teneur en  $\text{O}_2$  dans l'air du sol est plus réduite que celle dans l'air atmosphérique. Cette différence est expliquée par les phénomènes de la respiration des micro-organismes vivants du sol et la dégradation de la matière organique dans le sol (Mermoud, 2006).

### **3. Propriétés du sol**

#### **3.1. Propriétés physiques**

##### **3.1.1. Texture**

Elle correspond à la proportion des différents constituants minéraux solides d'un sol (argile, sable, limon). Elle permet de caractériser un sol comme étant à dominance sableuse, argileuse ou limoneuse. Les argiles qui ont moins de millièmes demillimètres se distinguent non seulement par leur petite taille, mais aussi par le fait qu'elles possèdent des charges électriques négatives qui leur permettent de fixer les atomes des métaux libres dans le sol (Ponge et Robert, 1996).

##### **3.1.2. Structure**

Elle traduit la taille et la façon dont les particules terreuses sont disposées les unes par rapport aux autres. Elles peuvent s'assembler en agrégats, de tailles et de formes variables. La stabilité structurale d'un sol exprime la plus ou moins grande cohésion d'assemblage des particules dans les agrégats. La structure d'un sol crée une diversité de tailles de pores dans lesquels vont circuler l'air et l'eau. Un sol bien structuré permet donc un équilibre entre mouvement et rétention de l'eau, des échanges gazeux entre l'atmosphère et les racines, et une bonne pénétration des racines pour chercher les nutriments (Ponge et Robert, 1996).

##### **3.1.3. Porosité**

C'est le volume des vides. Ces derniers sont occupés par l'air ou par l'eau. Elle s'exprime en pourcentage du volume total. La porosité conditionne les capacités d'écoulement et de rétention d'un substrat. Cette porosité permet l'aération et la perméabilité du sol. Pour un bon sol, elle est de l'ordre de 50 à 70% ; si elle est inférieure ou égale à 40%, on peut estimer que le sol est tassé (Duchaufour, 2001).

##### **3.1.4. Perméabilité**

La perméabilité du sol indique sa propriété à transmettre de l'eau vers les couches inférieures. Elle est étroitement dépendante de la texture et de la porosité du sol. Elle est nécessaire au calcul de réseaux de drainage et, en même temps, elle est délicate car elle ne peut intervenir que sur un matériau non remanié (Koller, 2004).

### **3.1.5. Humidité**

L'eau rencontrée dans le sol est enrichie en ions et en molécules minérales et organiques. Elle joue un rôle supplémentaire en mettant en avant sa capacité de transport et son action dans les processus de solubilisation et d'insolubilisation (Dajoz, 2000).

## **3.2. Propriétés chimiques**

### **3.2.1. Potentiel d'hydrogène (pH)**

L'acidité du sol est définie par la concentration des ions H. Le pH exprime l'acidité actuelle qui est le cologarithme de la concentration en ions H de la solution du sol et permet de définir l'état du complexe absorbant et le taux de saturation (Duchaufour, 2001).

Un sol est dit :

\*Acide pour un pH en eau inférieur à 6,8.

\* Neutre pour un pH en eau compris entre 6,8 et 7.

\*Alcalin ou basique pour un pH en eau entre 7 et 7,2 (Bonneau et Souchier, 1979).

### **3.2.2. Pouvoir tampon**

C'est la capacité du sol à réduire ses variations de pH en cas d'apport d'acide ou de base. Il permet d'évaluer le degré d'évolution d'un sol ainsi que sa résistance potentielle aux polluants atmosphériques. Ce pouvoir tampon est plus élevé quand le sol possède une capacité d'échange cationique importante, c'est-à-dire qu'il contient d'avantage d'argile et d'humus comme complexe absorbant (Gobat et *al.*, 2003).

### **3.2.3. Capacité d'échange cationique**

C'est l'aptitude d'un sol à retenir des cations sous forme échangeable. C'est une propriété qui permet de mesurer la fertilité du sol en indiquant la capacité de rétention des éléments nutritifs d'un sol donné (Calvet, 2003).

### **3.2.4. Conductivité électrique**

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol. Elle exprime la concentration des solutés ionisables présents dans l'échantillon c'est-à-dire le degré de salinité (Clément, 2009).

### 3.2.5. Matière organique

La matière organique est composée de débris végétaux de toute nature (feuilles, rameaux morts) ainsi que de débris animaux, qui tombent sur le sol et qui sont décomposés rapidement par l'activité biologique. C'est une source importante d'éléments nutritifs pour les plantes. Sa teneur totale dans le sol renseigne sur son potentiel fertilisant. Le sol devient instable en son absence car elle joue un rôle important dans la formation des agrégats (Clement, 2009).

### 3.2.6. Calcaire total

La détermination du carbonate de chaux total permet une classification des sols en différentes catégories: sols non calcaires, calcaires ou franchement calcaires. L'évaluation du pourcentage de  $\text{CaCO}_3$ , par la mesure volumétrique du  $\text{CO}_2$  dégagé à une température et une pression donnée, permet le calcul du pourcentage de  $\text{CaCO}_3$  selon la réaction suivante (Eskalli, 2015) :



### 3.2.7. Azote total

L'azote d'un sol constitue la réserve globale d'azote contenu dans l'humus et dont la rapidité de mobilisation est très variable suivant le type d'humus (mull, moder, mor). La teneur en azote total est un bon indice de fertilité à condition d'être interprété en fonction du rapport C/N (Clément, 2003)

## 3.3. Propriétés biologiques

Cela concerne les propriétés du sol liées à l'activité microbienne et de la faune dans le sol. Ces organismes comprennent les lombrics, nématodes, protozoaires, champignons, bactéries et différents arthropodes. La biologie du sol joue un rôle essentiel dans la détermination de ses nombreuses caractéristiques (Chaussod, 1996).

La population microbienne du sol constitue le maillon final de la chaîne trophique du sol par laquelle transitent le carbone et les éléments nutritifs des matières organiques avant de redevenir disponible pour les plantes. Elle remplit donc une fonction essentielle et obligatoire

dans le recyclage des matières organiques retournées au sol. C'est une réserve à court terme pour les plantes parce qu'elle contient une certaine quantité d'éléments nutritifs dans sa biomasse. Les microorganismes du sol sont largement hétérotrophes et pour se multiplier, ils dépendent d'une source de matière organique (Chantigny, 2005)

# Chapitre II : Pollution du sol par les hydrocarbures

### 1. Définition des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des molécules composées d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H) dont la formule brute est «  $C_nH_n$  » (Fattal, 2008).

Les hydrocarbures sont des produits chimiques très importants pour l'humanité de par leur abondance ainsi que leur potentiel en énergie (Gaudu, 2014).

### 2. Pollution des sols aux hydrocarbures

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel (dégradation, altération) qui apparaît en totalité ou en partie comme le sous produit de l'action humaine. Les hydrocarbures constituent une classe de produits chimiques, organiques dangereux dont certains de leurs effets toxiques sont reconnus comme fortement cancérigènes, génotoxiques, immunologiques, mutagéniques ou tératogéniques. Les sols contaminés par les hydrocarbures présentent un danger lors d'un contact direct avec l'homme ou l'animal ou lors de leur transfert dans les chaînes alimentaires (Emilian k, 2004).

### 3. Classification des hydrocarbures

Le carbone et l'hydrogène peuvent former des molécules saturées ou insaturées, linéaires ou cycliques. Parmi les molécules cycliques, certaines d'entre elles, grâce à un type particulier d'insaturation, ont des propriétés particulières qui les font classer à part.

Selon Soltani (2004), les hydrocarbures peuvent être classés en quatre familles principales qui sont les hydrocarbures saturés, insaturés, aromatiques et les asphaltènes.

#### 3.1. Hydrocarbures saturés

Les hydrocarbures saturés sont des alcanes: légers, aliphatiques, saturés dont la formule générale est «  $C_nH_{2n+2}$  » (Arnaud, 1983). Les alcanes sont classés comme suit :

##### 3.1.1. Alcanes linaires (n-alcanes)

La longueur de leurs chaînes varie de 7 à 40 atomes de carbones et constituent une des classes les plus abondantes (10 à 40%) des hydrocarbures totaux d'un brut pétroliers (Arnaud, 1983).

### 3.1.2. Alcanes ramifiées

Les plus abondants des alcanes ramifiés sont les iso-alcanes (groupements méthyle en position 2), les autres composés ramifiés antéiso (groupements méthyle en position 3) ou polyramifiés tels que les isoprénoides (ex: pristane phytane) sont beaucoup moins nombreux. Ces composés se trouvent dans le pétrole brut dans des proportions sensiblement égales à celles des n-alcanes (Soltani, 2004). Ils représentent 30% du pétrole brute (Fattal, 2008).

### 3.1.3. Cycloalcanes (cycloparaffine)

Ils renferment des composés cycliques (à 5 ou 6 atomes de c) saturés (Soltani, 2004). Les chaînes hydrocarbonées peuvent se fermer sur elles-mêmes en formant des cycles leur formule générale est  $CH_{2n}$  ou  $C_nH_{2n}$  (Arnaud, 1983).

### 3.2. Hydrocarbures insaturés

Selon Arnaud (1983), ils sont classés en 2 catégories:

\*Alcènes: Ce sont des chaînes carbonées insaturées. Les alcènes présentent un déficit en hydrogène. Ce sont des hydrocarbures présentant une double liaison  $C=C$  dans leur squelette carboné. Leur formule générale est :  $C_nH_{2n}$

\*Alcynes: Ce sont des chaînes carbonées insaturées à triple liaison  $C\equiv C$ . Leur formule générale est  $C_nH_{2n-2}$ .

### 3.3. Hydrocarbures aromatiques

Plusieurs familles d'hydrocarbures aromatiques dont le nombre de noyaux varie de 2 à 6 sont présentes dans le pétrole brut.

Ces composés sont dominés par des composés mono-di et triaromatiques. En général, les hydrocarbures aromatiques sont moins abondants que les alcanes et ne représentent que 10 à 30 % des hydrocarbures totaux d'un brut pétrolier (Soltani, 2004).

### 3.4. Asphaltènes

Ce sont des composés stables à très haut poids moléculaire (Fattal, 2008), Leur structure est peu connue du fait de leur composition chimique complexe à base de cycles aromatiques condensés et de métaux lourds à l'état de trace (Soltani,2004).

### **4. Sources des hydrocarbures**

La pollution des sols par hydrocarbures peut être accidentelle ou chronique.

Les hydrocarbures sont considérés comme étant des polluants à la fois organiques et chimiques (Koller, 2009).

#### **4.1. Sources naturelles**

Ce se sont les incendies de forêt, de prairie, les éruptions volcaniques. Les hydrocarbures sont aussi produits par les végétaux essentiellement les hydrocarbures aliphatiques qui se trouvent dans les cires des végétaux supérieurs ou les algues, et les déchets microbiens (Barriuso et *al.*, 1996)

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

#### **4.2. Source anthropiques**

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

D'après Crepineau et *al.* (2003), au regard des quantités d'hydrocarbures contaminant les sols, leurs concentrations peuvent être importantes à proximité de la source émettrice, elles diminuent de manière exponentielle en fonction de la distance de ce site.

\*Les stations-services contribuent, en grande partie, à la pollution ponctuelle, du fait de l'infiltration des carburants dans les sols lors d'une fuite dans un réservoir ou dans une tuyauterie et aussi en cas d'accident ou pertes lors du remplissage des citernes ou des réservoirs des véhicules. De petites quantités peuvent contaminer la couche supérieure ou inférieure du sol (Bofas, 2004).

### **5. Principaux facteurs influençant la migration des hydrocarbures**

Selon Lemière et *al* (2001), les propriétés du sol et du sous sol qui interviennent dans la migration des hydrocarbures sont:

- les propriétés hydrogéologiques: porosité, perméabilité, milieu karstique, milieu fissuré ;
- les propriétés physiques et chimiques: minéralogie, teneur en eau ;
- les propriétés biologiques: microflore, aptitude de dégradation.

### **6. Devenir des hydrocarbures dans l'environnement**

Le devenir d'un contaminant est contrôlé par les propriétés physiques et chimiques du composé et par la nature et la composition du milieu dans lequel le composé a migré, déplacé, éliminé ou transformé après avoir été répandu dans l'environnement.

Parmi les différentes altérations que peut subir un hydrocarbure, il y'a lieu de citer :

#### **6.1. Volatilisation**

Elle débute après le déversement d'un hydrocarbure et correspond au transfert des composés volatiles plus légers vers l'atmosphère (Neffet *al.*, 2000).

Cette évaporation dépend des conditions météorologiques. En général, plus la vitesse du vent et la température sont élevées plus l'évaporation est rapide (Assia, 2012 in Rouidi, 2014).

#### **6.2. Solubilisation**

Un hydrocarbure est d'autant plus soluble que sa masse moléculaire est faible et que sa polarité est élevée.

Il est important de noter que les hydrocarbures solubles sont parmi les plus dangereux pour l'environnement. Ils sont difficiles à éliminer et sont absorbés par la faune et la flore du sol (Soltani, 2004).

#### **6.3. Sorption**

C'est la capacité de certains corps solides à retenir les molécules d'autres corps (à l'état gazeux ou liquide) à leur surface (Murphy et *al.*, 1990)

#### **6.4. Transformation**

Il peut s'agir d'un phénomène biologique lorsqu'elle fait intervenir la matière vivante ou non biologique (hydrolyse, oxydation et réaction photochimique) (Ali Ahmed, 2011).

### **6.5. Biodégradation**

C'est le processus naturel le plus important dans la dépollution de l'environnement à l'aide des microorganismes (Vogel, 2001).

### **7. Effets écotoxicologiques des hydrocarbures**

La pollution par les hydrocarbures pose d'importants problèmes dans l'environnement vis-à-vis des microorganismes, des plantes, des animaux et de la santé humaine. En raison de leur caractère liposoluble, les hydrocarbures peuvent s'accumuler dans la faune et la flore et tout au long de la chaîne trophique (Ramade, 2007).

Selon Colin(2000) et Zhanget *al.*( 2010), l'existence et l'ampleur de cette action nocive varie selon:

- La nature et la structure chimique des hydrocarbures ;
- La concentration des hydrocarbures ;
- La durée du contact ;
- Les cibles biologiques concernées (degrés de sensibilité).

#### **7.1. Effet sur les propriétés du sol**

##### **7.1.1. Effet sur les propriétés physiques du sol**

Peu d'études ont été réalisées sur l'effet des hydrocarbures sur les propriétés physiques du sol. Néanmoins, quelques observations intéressantes ont été faites par certains auteurs. Ainsi, Rouquerol et *al* (1987), ont montré que les hydrocarbures enrobaient les particules minérales et assuraient leur dispersion.

Sutton et *al* (2013) soutiennent, quant à eux, l'idée que la présence de ces polluants améliore la stabilité structurale du sol, accroît sa rétention en eau et réduit sa mouillabilité.

Cependant, d'autres auteurs tel que Onojake et Osuji, (2012) ont démontré que l'humidité et la capacité de rétention de l'eau étaient considérablement réduites par les hydrocarbures.

### 7.1.2. Effet sur les propriétés chimiques du sol

Ces effets consistent en :

- Une augmentation de la concentration du sol en éléments à l'état de traces tels que le manganèse, le zinc, le fer et le plomb (Sauchelli, 1969 in Fezani et Khider, 2007)
- Une augmentation de la conductivité électrique du sol entraînant l'inhibition de certaines plantes très sensibles à la présence des sels (Karaginnidis, 1991).
- Une légère acidification du sol (2 à 3 dixième) qui se traduit par l'apparition de faibles quantités d'acides résultant soit de l'oxydation des n-alcanes, soit celle des composés provenant de la rupture de noyaux aromatique(Bergue et Mérienne,1986).
- Il y'a peu de variations dans la composition chimique en ce qui concerne les éléments majeurs du sol.Toutefois, une teneur en soufre légèrement plus importante peut-être attribuée aux hydrocarbures.
- Une augmentation de la teneur en carbone organique total du sol peut être le résultat de la minéralisation microbienne des composés d'hydrocarbures (Chaineau et *al.*, 1996).
- Une disponibilité réduite d'azote,de phosphore et de cations échangeables (potassium et calcium) suite à ladiminution du pH (Rouquerol et *al.*1987 ; Chaineau et *al.*,1996).

### 7.1.3. Effet sur les propriétés biologiques :

Les effets des hydrocarbures sur l'activité biologique du sol dépend de leur nature, de leur concentration et d'autres facteurs du milieu (Dauchaufour,1991). Les composés organiques peuvent inhiber la croissance des microorganismes et leur métabolisme. Cette inhibition est liée à des interactions avec la membrane cellulaire de ces composés fortement hydrophobes et à la formation de métabolites toxiques (Girart et *al.*, 2005).

### 7.2. Effet sur les microorganismes

Domergueset Mangenot (1970), Rouquerol et *al.* (1987) et Rivière (1998 ) ont affirmé qu'un sol imprégné par des hydrocarbures présente un très grand nombre de germes (bactéries et champignons) avec des coefficients de minéralisation élevés qui tendent à épuiser le sol des éléments nutritifs.

Selon Duchaufour (2001) et Sulauman et *al.* (2015), les hydrocarbures incorporés au sol en quantité limitée n'exercent pas d'action dépressive vis-à-vis des microorganismes du sol.

De ce fait, l'ajout des carburants aux sols peut constituer une source importante de carbone pour la croissance et l'activité microbienne.

D'autres travaux ont révélé des effets dépressifs sur la microflore du sol (effet sur la biomasse et la respiration microbienne (Ifemej et Egbuna, 2016 ; Serrano et *al.*, 2019)). Il est, également, possible que la dégradation des carburants de plus haut poids moléculaire produise des intermédiaires toxiques capables d'inhiber les microorganismes dégradant les hydrocarbures (Agele et *al.*, 2017).

### **7.2.1. Effet sur l'activité enzymatique**

L'activité enzymatique est fonction de la nature du sol et des propriétés des hydrocarbures telles que leur degré de solubilité dans la solution du sol et la quantité de cycles benzéniques dans les molécules (Dick, 1997 ; Maliszewska-Kordybach et Smruzak, 2003).

Il existe deux effets sur l'activité enzymatique: effet stimulant les enzymes et effet inhibiteur des enzymes.

#### **7.2.1.1. Effet stimulant des enzymes**

Plusieurs auteurs affirment qu'une contamination du sol par les hydrocarbures tend à bouleverser l'équilibre biologique du sol. Elle modifie généralement la succession des microorganismes, augmente le nombre de microorganismes grâce à l'adaptation et la forte relation positive qui existe entre les bactéries hétérotrophes (Wyszkowska et *al.*, 2006 , Dindar et *al.*, 2015).

Timmerman et *al.* (2002) confirment qu'une contamination par les hydrocarbures provoque une augmentation significative des activités microbiologiques du sol telle que de la biomasse bactérienne et l'activité enzymatique.

D'après Sulaiman et *al.* (2015), la teneur en hydrocarbures de faible poids moléculaire dans les sols influe positivement sur les microorganismes ainsi que sur la synthèse de la déshydrogénase.

Selon Tang *al.* (2010), les champignons secrètent la peroxydase dans le cas d'une pollution du sol. En cas de contamination chronique par les hydrocarbures, les activités enzymatiques augmentent (Labud et *al.*, 2007).

### **7.2.1.2. Effet inhibiteur des enzymes**

Les résultats obtenus par Gianfreda et *al* (2015) montrent que la contamination par les hydrocarbures inhibait les activités enzymatiques du sol et que l'étendue de cette inhibition augmentait significativement avec l'augmentation des niveaux de carburants.

Dans l'ensemble, lorsque les hydrocarbures (essence, gasoil) sont présents dans le sol, ils créent des conditions inadéquates pour les organismes du sol, principalement en raison de la mauvaise aération, de l'immobilisation des nutriments et de l'abaissement du pH du sol qui aboutit à une réduction du nombre de microorganismes et l'activité enzymatique (Rao et *al.*, 2015).

# Chapitre III :

# Microbiologie du sol

## **1. Facteurs de dégradation des hydrocarbures**

La dégradation des composés organiques dans un sol repose sur l'activité microbienne conduisant à la transformation de ces polluants en produits moins toxiques. La biodégradation est influencée par plusieurs facteurs dont les principaux sont:

### **1.1. Structure et nature du sol**

Selon Girard *et al.* (2005), les agrégats tendent à diminuer l'activité microbienne dans le sol de manière indirecte par un ralentissement de la diffusion de l'oxygène, l'apport des nutriments à l'intérieur de l'unité structurale et par la protection mécanique des substrats qu'elle renferme.

La nature du sol a un important impact sur le degré d'absorption du polluants et des nutriments; le sol doit être suffisamment poreux pour permettre l'injection de la solution nutritive (Lecomte, 1998).

### **1.2. Teneur en oxygène**

Elle est contrôlée par différents facteurs. Un minimum d'espace occupé par l'air (10%) est généralement considéré comme nécessaire pour l'activité microbienne. l'oxygène peut être fourni sous plusieurs formes tels que, l'oxygène pur et le peroxyde d'hydrogène  $H_2O_2$  (Lecomte, 1998).

### **1.3. Potentiel d'hydrogène**

Un pH compris entre 5.5 et 8.5 est nécessaire pour une bonne biodégradation. Les champignons acceptent des conditions plus drastiques que les bactéries. Il est important de noter que les changements de pH peuvent influencer la dissolution ou la précipitation de certains composés dans le sol (Ould Rabah, 2012).

### **1.4. Température**

La température optimale pour la biodégradation des hydrocarbures dans le sol est comprise entre 27° et 28°C. Des températures inférieurs à ces valeurs ralentissent le processus de biodégradation à la fois par la diminution de l'activité microbienne et des taux de biodégradation par l'inhibition de l'activité enzymatique des microorganismes (Atlas, 1981 in Fezani et Khider, 2007).

## 1.5. Nutriments

Les nutriments sont nécessaires pour le développement et l'activité microbienne en particulier l'azote et le phosphore. Ils constituent un facteur clé dans le processus de bioremédiation naturelle des hydrocarbures (Bireche et Berregui, 2014).

## 2. Mécanismes de dégradation des hydrocarbures

### Définition

La biodégradation est définie comme étant la transformation, à l'aide de microorganismes, d'un composé organique métabolisable sous une autre forme plus simple qui peut être moins ou plus toxique que le composé d'origine (biotransformation). Elle aboutit à un produit final qui est le dioxyde de carbone et l'eau (minéralisation) (Kumar et Gopal, 2015).

La biodégradation représente le mécanisme le plus important que subissent les hydrocarbures dans le sol (Kumar et Gopal, 2015).

## 3. Microorganismes dégradants les hydrocarbures

Les microorganismes peuvent dégrader partiellement ou complètement les hydrocarbures pétroliers. Ce sont principalement des bactéries qui participent à cette dégradation. Certains champignons ont aussi montré qu'ils pouvaient dégrader ces composés (Maamar, 2015)

### 3.1. Bactéries

Les bactéries sont les organismes les plus nombreux du sol. Elles sont unicellulaires, parfois mobiles et leur taille peut varier de 0,2 à 10 µm. Les échanges de matériel génétique se produisent par conjugaison ou transformation. Il existe plus de 200 genres de bactéries différents, parmi lesquels, citons : *Pseudomonas*, *Bacillus* et *Clostridium*.

Les bactéries représentent le groupe de microorganismes le plus actif. Leur aptitude à dégrader les hydrocarbures a été démontré et elles permettant d'obtenir des composés simples servant comme source d'énergie (Verdin, 2004).

## 3.2. Champignons

### 3.2.1 Définition

Les champignons sont des microorganismes de quelques micromètres à quelques millimètres de diamètre, ce sont des organismes à caractère polaire et lipophile à fort pouvoir oxydant, qui préfèrent un environnement acide, riche en azote et qui, par co-métabolisme excrètent des enzymes solubles (lignine-péroxydases, peroxyde d'hydrogène, etc). Ils ne résistent pas à des températures supérieures à 50°C, et ont la capacité de dégrader les composés organiques les plus complexes comme la cellulose et la lignine (Haritash et Kaushi.K, 2009).

### 3.2.2 Caractéristiques des champignons

Les champignons sont des organismes hétérotrophes, majoritairement aérobies (ils ont besoin d'oxygène pour vivre). Ils se multiplient grâce à des spores mais ils sont immobiles. Ces différentes espèces peuvent être : Saprophytes (se nourrissent de matière organique en décomposition), commensaux (vivent grâce à un hôte sans lui nuire ni lui apporter de bénéfice), symbiotiques (vivent en association avec d'autres êtres vivants avec des bénéfices réciproques), parasites (vivent aux dépens d'autres êtres vivants) et même parfois carnivores (Patricia, 2004

### Remarque

\*De nombreuses études des sols ont démontrées l'utilité et l'efficacité des champignons pour la bioremédiation des sols pollués par les hydrocarbures. Parmi ces champignons les genres: *Amorphoteca*, *Neosartorya*, *Talaromyces*, *Graphium*, *Candida*, *Aspergillus*, *Cephalosporium*, *Pencillium*, *Fusarium*, *Phanerochaete*, *Rhodotorula*, *Sporobolomyces* et *Trichoderma* (Obire, 2008).

\*La technique de remédiation des sols pollués aux hydrocarbures par les champignons est appelée mycoremédiation.

## **4. Mycoremédiation**

### **Définition**

La mycoremédiation (parfois aussi appelée fongoremédiation) est l'ensemble des techniques utilisant une ou plusieurs espèces de champignons pour épurer un milieu (eau, air, sol) ou un substrat de culture d'un ou plusieurs polluants ou éléments chimiques indésirables. La mycoremédiation est considérée comme un moyen d'améliorer les techniques de bioremédiation car les champignons jouent un rôle très important dans le domaine de la dépollution des sols (Fayeulle, 2013).

### **5. Technique de mycoremédiation**

La technique utilise deux des capacités des mycéliums à savoir :

\* Capacité à intimement coloniser le sol, des cadavres, des excréments contaminés (tant que le contaminant n'est pas fongicide) grâce à son mycélium : Les fibres du mycélium, très fines et extrêmement résistantes, forment un réseau pouvant pénétrer profondément dans le sol et s'étendre sur plusieurs centaines de mètres.

\* Sécrétion extracellulaire: Pour assurer sa croissance et franchir les obstacles organiques qu'il rencontre, le mycélium sécrète de puissants enzymes et acides capables de décomposer des molécules très stables telles que la lignine et la cellulose, les deux principales composantes de la fibre végétale. Certains champignons sécrètent des enzymes capables de dégrader d'autres composés organiques également composés de longues chaînes de carbone et d'hydrogène, structurellement proches de nombreux polluants organiques (Fayeulle, 2013).

\*Les champignons sont capables de dégrader les hydrocarbures, ces derniers seront métabolisés et transformés en produits généralement moins toxiques ou moins persistants. Seuls les champignons évolués peuvent jouer ce rôle (Cerniglia, 1997 ; Boonchan et al, 2000).

\*Les champignons peuvent transformer les hydrocarbures de façon métabolique en métabolites moins toxiques par l'action des enzymes : pyroxydase et de monooxygénase (Obire, 2008).

## 6. Effet des hydrocarbures sur l'activité des champignons

L'effet des hydrocarbures sur l'activité des champignons a été démontré, dans notre région, à travers deux mémoires de fin d'études : Dali et Iddir (2018) et Chikhaoui et Hettak (2019).

### 6.1. Travail de Dali et Iddir (2018) : Etude physico-chimique et microbiologique d'un sol pollué par les hydrocarbures avant et après traitement par phytoremediation

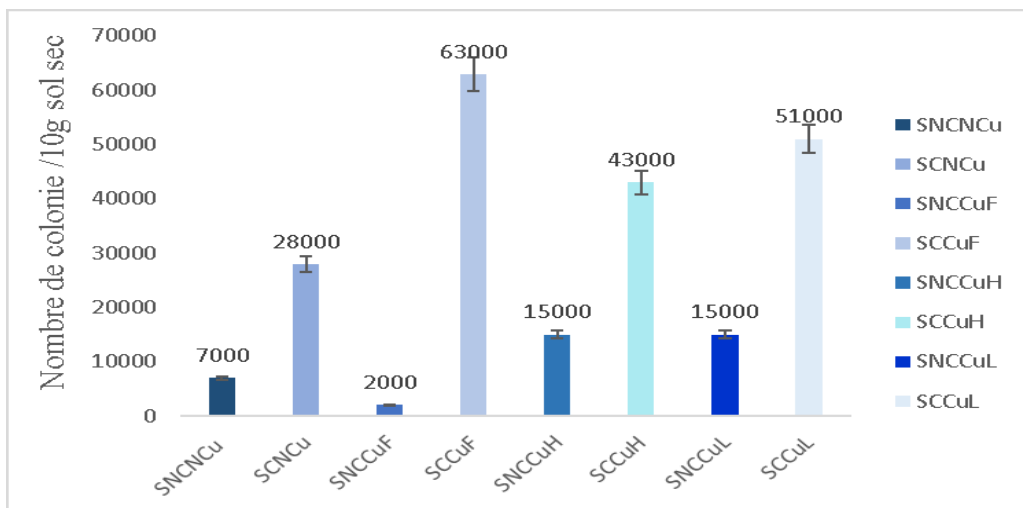
La mise en œuvre des essais a été réalisée au niveau des laboratoires de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'UMMTO

Après l'échantillonnage sur le terrain, le sol été divisé en deux lots, le premier est contaminé avec du pétrole brut (5%) et le second est non contaminé.

Les résultats obtenus montrent que :

\*le nombre de champignons dans le sol contaminé « SN » est de  $28 \times 10^3$  colonies/10 g sol sec (Figure 2). Ce nombre est supérieur à celui du sol non contaminé « SNC » ( $7 \times 10^3$  colonies/10 g sol sec). Cette différence est très hautement significative ( $P = 8.024 \times 10^{-5}$ ). Ceci est peut-être expliqué par l'utilisation du pétrole par les champignons comme source de nutriment et par leur adaptation aux hydrocarbures dans l'environnement.

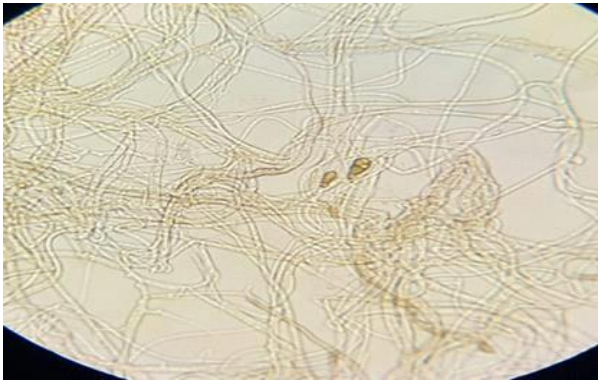
SNCN: sol non contaminé, non cultivé. SCNC : sol contaminé, non cultivé. SNCC: sol non contaminé, cultivé. SCC: sol contaminé et cultivé.



**Figure 2** : Nombre de champignons en colonie / 10 g sol sec dans les deux sols (contaminé et non contaminé).

\* Les espèces de champignons) identifiées par Dali et Iddir (2018) :

*Alternaria alternata* (figure 3)



**Figure 3** : Filaments d'*Alternaria alternata*

*Cladosporium sp* (Figure 4)



**Figure 4** : colonies de *Cladosporium sp*

*Aspergillus niger* (Figure 5)



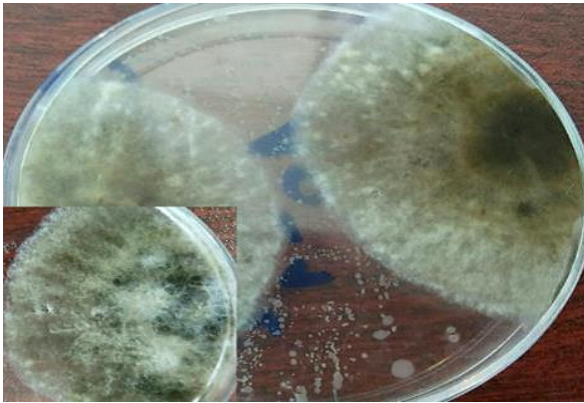
**Figure 5** : Filaments d'*Aspergillus nige*

***Mycelia sterillia* (Figure 6)**



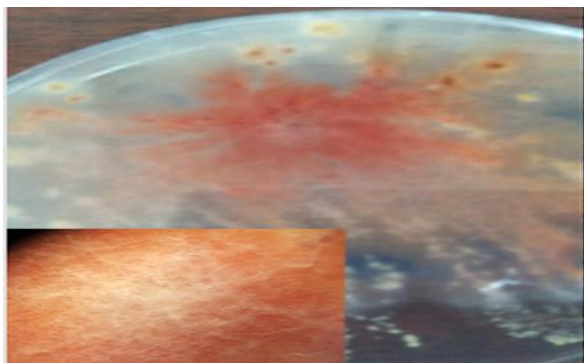
**Figure 6 :** Filaments de *Mycélia sterillia*

***Penicillium sp* (Figure 7)**



**Figure 7 :** Colonies de *Penicillium sp*

***Fusarium* (Figure 8)**



**Figure 8 :** Colonies de *Fusarium*

### 6.1.2.2. Discussion

Après l'identification des champignons il a été constaté la présence de *Fusarium sp*, *Aspergillus niger*, *Penicilium sp*, *Cladosporium sp* dans des sols contaminés, cette présence révèle peut-être la dégradation du pétrole brut.

Selon les travaux de Obire (2008), concernant la microflore fongique, les espèces connues pour leurs dégradations du pétrole à 5% , sont : *Aspergillus sp*, *Cladosporium sp*, *Fusarium sp*, *Geotrichum sp*, *Mucor sp*, *Penicillium sp* et *Candida sp*.

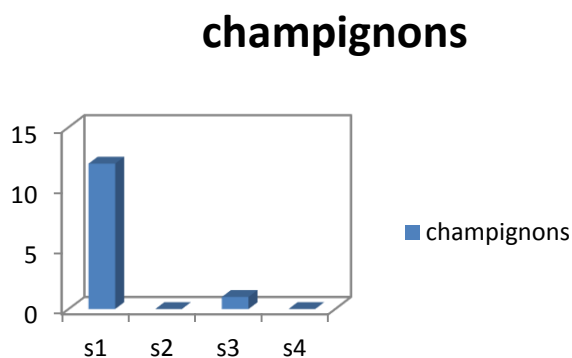
Cependant, ces auteurs ont constaté que le nombre des bactéries est supérieure à celui des champignons, ceci peut être dû à l'effet du pH basique du sol.

Selon Dedier (2016), Les champignons sont souvent plus tolérants aux conditions acides (pH<5) que les bactéries (pH de 6 à 8).

### 6.2. Travail de Chikhaoui et Hettak (2019) : Effet des hydrocarbures sur les propriétés physiques chimique et microbiologique du sol des station service.

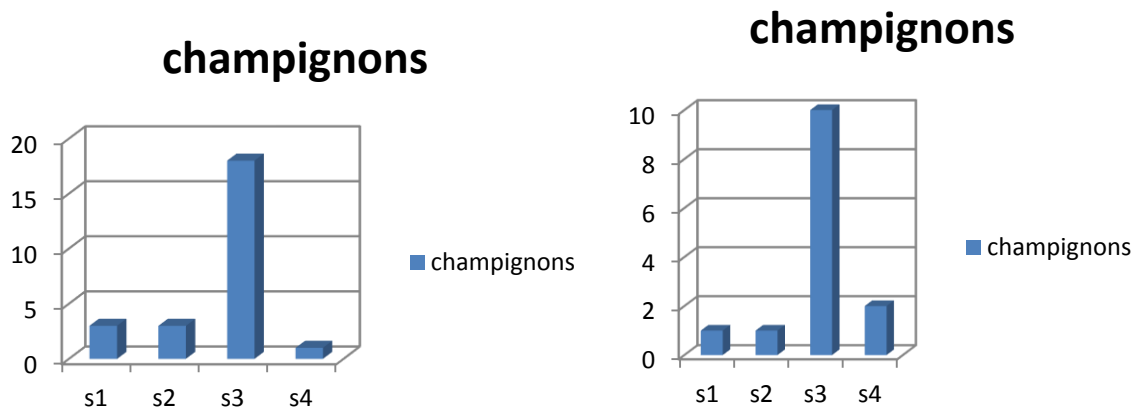
L'échantillonnage a été effectué dans la station service Freha par le choix de 3 transects. Chaque transect été subdivisé en 4 strates selon un gradient de pollution : strate 1,2,3 et 4 (strate 1 étant la plus proche de la source de pollution, la strate 4: est la plus loin de la source de pollution), les analyses ont été effectués au niveau des laboratoires de la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques de l'UMMTO

Les résultats obtenus par ces auteurs font ressortir qu'il y'a une chute de la quantité de colonies fongiques dans la strate 3 et l'absence de colonies dans les deux strates (2 et 4). Par contre, le nombre de colonies de champignons est élevé dans la strate 1 (Figure 9).



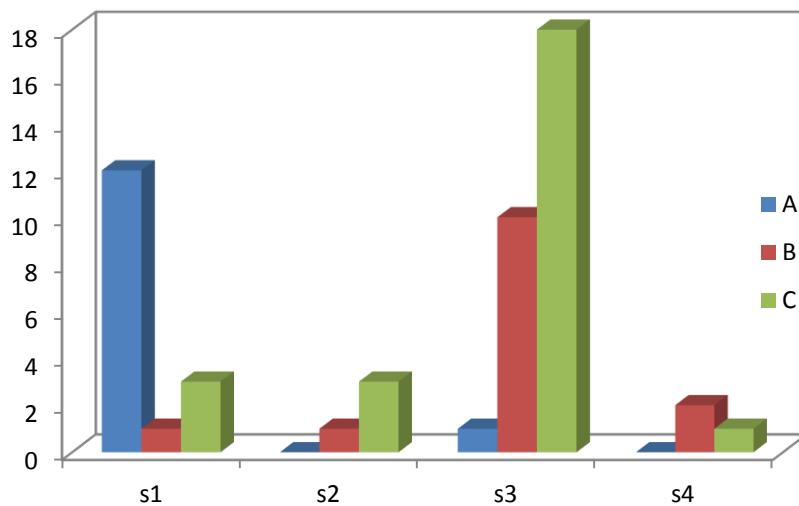
**Figure 9** : Nombre de colonies de champignons dans le transect A.

La strate 3 marque le nombre le plus important de colonies dans les deux transects B et C, qui est de 10 et 18 colonies, par rapport aux trois autres strates des deux transects (Figure 10).



**Figure 10 :** Nombre de colonies de champignons dans le transect B et C.

La superposition des résultats obtenus dans les trois transects montre que la strate 1 du transect A renferme le nombre le plus important de colonies de l'ordre de 12 par rapport à la strate 1 des transects B et C. Le nombre de colonies dans les strates 2 et 3 du transect C est élevé par rapport aux strates des transect A et B. 4ème strate du transect B présente un nombre élevé de colonies par rapport aux deux transects (Figure 11)



**Figure 11 :** Nombre de colonies de champignons dans les trois transects A, B et C

**Les espèces de champignons identifiées par Chikhaoui et Hettak (2019) :**

A l'aide de microscope à grossissement t (\*100 ) et (\*400), quelques espèces de champignons sont isolées des sols étudiés : *Rhizopus sp* (Figure 12).



**Figure 12:** *Rhizopus sp*

**6.2.2. Discussion**

Les résultats obtenus par Chikhaoui et Hettak (2019) sont en concordance avec ceux de Degranges et *al* (1977) selon lesquels, le nombre de champignons de la parcelle polluée ne présente pas des variations importantes, par contre celui de la parcelle non polluée est réduit sensiblement. Après dénombrement des colonies des champignons il ressort que le nombre de colonies fongiques est faible par rapport aux bactéries, Ce résultat est similaire à ceux de Dari (2013). Cependant, les champignons résistent mieux que les bactéries a la sécheresse et à l'acidité (Dommergues et Mangenot,1970). En effet, plusieurs champignons poussent bien à pH compris entre 4 et 5 (Singh,2006). Les valeurs de pH enregistrées par Chikhaoui et Hettak (2019) sont entre 7 et 8 ; le pH alcalin du sol expliquerait la faible densité des champignons par rapport aux bactéries.

## 7. Comparaison

Les deux travaux ont eu les mêmes résultats concernant le nombre de champignons qui est plus important dans le sol contaminé par rapport au sol non contaminé.

\* Les deux travaux ont confirmé que les champignons sont plus tolérants aux conditions acides ( $\text{pH} < 5$ ) que les bactéries ( $\text{pH}$  de 6 à 8).

\*Le nombre de champignons identifiés par Dali et Iddir (2018) est plus important que ceux identifiés Chikhaoui et Hettak (2019). Cela peut être justifié par le fait que les premiers auteurs ont isolé les champignons à partir de sols après un test de phytoremediation au laboratoire alors que les seconds ont isolé les champignons directement à partir de sols des stations-services.

# Conclusion et Perspectives

## Conclusion

---

Le présent travail consiste en une étude bibliographique et comparative de deux mémoires de fin d'étude ayant traité de l'effet des carburants sur les propriétés microbiologiques du sol.

Au terme de cette étude, nous pouvons conclure que l'action des carburants se traduit par une modification remarquable de la qualité biologique du sol.

D'après cette étude, nous pouvons conclure que la pollution des sols par les hydrocarbures exerce des effets sur les propriétés biologiques du sol, qui se traduisent par une action positive sur les microorganismes, ce qui signifie que les populations indigènes sont aptes à se multiplier en cas de pollution, car les carburants peuvent être utilisés comme source d'énergie.

Les résultats du dénombrement des différents groupes microbiens, montrent que le nombre de microorganismes varie considérablement d'une culture de champignons à une autre, le maximum, est enregistré dans le sol contaminé par rapport au sol non contaminé.

Les genres de champignons identifiés sont *Aspergillus*, *Alternaria*, *Fusarium* et *Cladosporium*. Ces derniers sont retrouvés au niveau des sols contaminés.

D'après les résultats obtenus, nous avons pu identifier le rôle des microorganismes, dans la dépollution des sols pollués, qui se traduit par l'élévation de leurs biomasses dans les sols contaminés par rapport aux sols non contaminés, ces êtres vivants jouent un rôle très important en décomposant les hydrocarbures.

La biodégradation exige des conditions favorables du milieu (pH, matière organique, températures, humidité).

Nous concluons également que l'activité enzymatique du sol s'avère être un paramètre très utile pour l'évaluation des effets des hydrocarbures sur le sol. Ce sont des indicateurs pertinents de la pollution des sols aux hydrocarbures

## Conclusion

---

A travers cette étude, nous constatons que la méthode de traitement biologique s'avère être une solution efficace dans la dégradation des hydrocarbures, du fait qu'elle ne demande pas trop d'appareillage, ni de grand budget.

Cependant, il est recommandé de prendre en considération d'autres points pour approfondir cette méthode à grande échelle.

Il serait aussi important de connaître les mécanismes enzymatiques impliqués dans la dégradation et la transformation des hydrocarbures.

## Références bibliographiques

---

- Abbia S., Guitoun L., 2016. Etude des caractérisations de quelques souches bactériennes hydrocarbonoclastes sahariennes. Mémoire de master. Université Kasdi Merbah Ouargla. 40p.
- Aberkane M., Ayache R., 2018. Essai de bioremédiation du sol polluée au gasoil par des bactéries hydrocarboclastes. Memoir de master en sciences biologique, Université des Frères Mentouri, Constantine. 49p.
- Agele S.O., Adeyemo A.J., Bamiduro I., 2017. Dynamics of Chemical and Biological Properties of Organically Amended Petroleum Hydrocarbon Polluted Soil as Affected by Incubation Periods. J. Bioremediat Biodegrad. Vol. 8. N°2: 389-405.
- Ali-Ahmed S., 2011. Essai de réhabilitation d'un sol contaminé par les hydrocarbures à l'aide des tensioactifs obtenus par voie biologique. Mémoire de Magister en sciences agronomiques Institut National de Recherche Argonomique d'Alger. 135 p.
- Amiri N., 2013. Effets des hydrocarbures sur quelques propriétés du sol et essai de décontamination biologique. Mémoire d'ingénieur d'état en biologie, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou. 45 p.
- Araud P., 1983. Chimie organique. Edition DUNOD, Paris. 208p.
- Barriuso E., Calvet R., Schiavon M., Soulas G., 1996. Les pesticides et les polluants organiques des sols. Etude et gestion des sols. Vol. 3. N° 4: 279-296.
- Bergue J.M., Mérienne D., 1989. La pollution des sols par les hydrocarbures. Bul, liaison labo P.et ch.vol.1946. p:66-75.
- Bireche Y., Berregui F., 2014. Effets de la salinité sur l'activité des bactéries hydrocarbonoclastes .Mémoire de master académique. Microbiologie appliquée: Université Kasdi Merbah. Ouargla, 64p.
- Bocard C., 2006. Marées noires et sols pollués par des hydrocarbures. Enjeux environnementaux et traitement des pollutions. Edition Technip. Paris. 297p.
- Bofas, Directive Bofas., 2004. Assainissement des sols des stations-service en Belgique. 153p.
- Bonneau M., Souchier B et Coll., 1979. Pédologie; 2, Constituants et propriétés du sol, Paris, Masson, XVIII et 459 p.
- Boonchan S., Britz F.L., Stanley G.A., 2000. Degradation and mineralization of highmolecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons by defined fungal-bacterial cocultures. Applied and Environmental Microbiology. Vol 66: 1007-1019 .

## Références bibliographiques

---

- Boudерhem A., 2011. Utilisation des souches bactériennes telluriques autochtones dans labiodétection et la bioremédiation des sols pollués par les hydrocarbures. Mémoire de Magister. Université Kasdi Merbah-Ouargla. 91p.
- Calvet R., 2003. Le sol : propriétés et fonctions. France Agricole Editions. 455p.
- Cerniglia, C. E. 1997. Fungal metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons: Past, present and future applications in bioremediation. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. p: 324-333.
  
- Chaîneau C.H., Morel J.L., Oudot J., 1996. Land treatment of oil based drill Cuttings in an agricultural soil. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 25. N° 4: 858-867.
- Chaîneau C.H., Morel J.L., Oudot J., 2000. Biodegradation of fuel oil hydrocarbons in the rhizosphere of maize. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 29: 568-578.
- Chantigny M. et Angers D., 2005. Activité microbologique et qualité du sol. *Agriculture et agroalimentaire Canada*. 10p
  
- Chaussod R., 1996. La qualité biologique des sols : évaluation et implication. *Laboratoire de microbiologie des sols, INRA*. 261p
- Clément M., 2009. Les principaux sols du monde. *Editions Tech & Doc*. 233p.
  
- Colin F., 2000. Pollution localisée des sols et sous-sols par les hydrocarbures et les solvants chlorés. *Edition Tec et Doc*. Paris. 417p.
- Crepineau C., Rychen G., Feidt C., Le roux Y., Lichtfouse E., Laurent F., 2003. Contamination of pastures by polycyclic aromatic hydrocarbons (pahs) in the vicinity of a highway. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 51. N° 16.
- Dajoz R., 2000. Précis d'écologie. Ed. DUNOD. 8<sup>ème</sup> édition, Paris. 542p.
- Dali M., Iddir O., 2018. Étude physico-chimique et microbologique d'un sol pollué par les hydrocarbures avant et après traitement par phytoremediation .Mémoire de master en écologie et environnement. Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. 69p.
- Dari R., 2013. Dénombrement de la biomasse microbienne des sols arides exemple d'un sol salé sous deux types de cultures. Mémoire d'ingénieur d'état en Agronomie. Université de Kasdi Merbah. Ouargla. 52p.

## Références bibliographiques

---

- Dawson J.J.C., Godsiffe E.J., Thompson I.P., Ralebitso-Senior T.K., Killam K.S., Paton G.I., 2007. Application of biological indicators to assess recovery of hydrocarbon impacted soils. *Soil Biology and Biochemistry* .Vol. 39. N°1:164-177.
- Duchaufour P., 1991. *Pédologie sol, végétation et environnement*. Ed Masson. 289p.
- Degranges P., Gagalski T., Leleu M., Greffard J. 1970. *Devenir des hydrocarbures dans les sols*. Bureau de recherche géologique et minière département minéralogie géochimie et analyse. Orléans. France. 31p.
- Dick R.P., 1997. Soil Enzyme Activities as Integrative Indicators of Soil Health. *Biological Indicators of Soil Health*. C.E. Pankhurst, B.M. Doubeet V.V.S.R. Gupta. United Kingdom, Cab international: 121-156
- Dindar E.F., Sagban O., Baskaya H.S., 2015. Variations of soil enzyme activities in petroleum-hydrocarbon contaminated soil. *International journal of Biodeterioration & Biodegradation*. Vol. 105: 268-275.
- Dommergues Y., Mangenot F., 1970. *Ecologie microbienne du sol*. Edition Masson. Paris. 796p.
- Duchaufour P., 2001. *Introduction à la science du sol. Sol, végétation et environnement*. 6ème édition. MASSON. Paris Milan Barcelone. 498p.
- Edlor A., 2007. *Soil microbiology. Ecology and Biochemistry*. Academic Press; 3<sup>rd</sup> edition. 552p.
- Fattal P., 2008. *Pollution des cotes par les hydrocarbures*. Presse universitaire de Rennes. 498p.
- Fayeulle A., 2013. *Etude des mécanismes intervenant dans la biodégradation des hydrocarbures aromatiques polycycliques par les champignons saprotrophes telluriques en vue d'application en bioremédiation fongique de sols pollués*. Ecole doctorale 104. 204.
- Gaudu F., 2014. *Bioremédiation des sols pollués aux hydrocarbures*. Mémoire de master 2 En biologie, gestion marketing. Université de Rennes. 127p.
- Gianfreda L., Rao M. A., Piotrowska A., Palumbo G., Colombo C., 2005. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. *Science of the Total Environment*. Vol. 34: 265– 279
- Girad C.M., Walter CH et Berthelin J., 2005. *Sols et environnement* Ed DUNOD, Paris (France). 529 p.
- Gobat J.M., Aragono M. et Mathey W., 2003. *Le sol vivant* Ed. LAUSANNE. 569p

## Références bibliographiques

---

- Gruyer N., Groleau P., Ouellet A., & Dupont R., 2015. Hydrocarbures pétroliers : caractéristiques, devenir et criminalistique environnementale. Études GENV222 et GENV23, Évaluation environnementale stratégique globale sur les hydrocarbures. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. 55p.
- Hadjou O., Rabhi S., 2015. Essai de bioremédiation d'un sol polluée aux hydrocarbures par la bioaugmentation et la biostimulation . Memoire de master en sciences biologiques. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 30p.
- Haritash AK, Kaushik CP., 2009. Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a review. J Hazard Mater. 169:1-15.
- Ifemeje J.C., Egbuna C., 2016. Effect of Crude Oil Pollution on Soil and Proximate Composition of Cassava from Owaza in Ukwa West Local Government Area of Abia State, Nigeria. International Journal of Innovation and Applied Studies. Vol. 15 N°1: 202-324.
- Jouanin F., 2004. Etude de la mobilité des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) contenus dans un sol industriel pollué . Thèse de doctorat , Ecole doctorale de chimie de Lyon. 209 p.
- Koller E., 2004. Traitement des pollutions industrielles (eau, air, déchets, sols, boues). Edition DUNOD, Paris. 424p.
- Koller E., 2004. Traitement des pollutions industrielles (eau, air, déchets, sols, boues). Collection Technique et ingénierie , 2<sup>ème</sup> Edition. 576p
- Kumar B.L., Gopal Sai DV R., 2015. Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment. Biotech. 5:867–876.
- Lecomte P., 1998. Les sites pollués: traitement des sols et des eaux souterraines. 2<sup>ème</sup> Edition Lavoisier TET et DOT. 204 p.
- Lemiére B., Jeannot R., Chiron S., avec la collaboration d'Augustin F, Darmendrail D., 2001. Guide morphologique pour l'analyse des sols pollués. Edition BRGM. 25p.
- Lemiére B., Seguin J. J., Le Guern C., Guyonnet D., Baranger Ph., Darmendrail D., Conil P., 2001. Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Application dans un Contexte d'Evaluation Détaillée des Risques pour les ressources en eau. Rapport du BRGM/RP-50662-FR. 103p.
- Maamar A., 2015. Etude de la biodégradation du pétrole brut par le peuplement fongique du port d'Oran . Mémoire de Magistère en science de l'environnement marin. Université d'Oran. 128p.

## Références bibliographiques

---

- Makhloufi H., Matmer R., 2018. Etude de l'effet de la contamination du sol par carburants sur les propriétés biologiques. Mémoire de master en sciences biologiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 43p.
- Maliszewska-Kordybach B., Smreczak B., 2003. Changes of Soil Microbial Properties in the Course of PAH Dissipation in Soils Artificially Contaminated with These Compounds. *Polycyclic Aromatic Compounds*. Vol. 23: 1-21.
- Mermoud A., 2006. Cours de physique du sol: Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. 23p.
- 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. *Iranian J. Environ. Health Sci. Eng.* Vol. 9.N°1: 26.
- Morel R., 1996. Les sols cultivés. Institut national agronomique de Paris-Grignon. 2<sup>ème</sup> édition. 398p
- Neff J.M., Stanley O., Gardiner W., Stejskal I., 2000. Effects of weathering on the toxicity of three offshore Australian crude oils and a diesel fuel to marine animals. *Environmental toxicology and chemistry*. Vol.19: 1809-1821.
- Obire M.A., and Puthetti R.R., 2008. The Impact of Human Activities on Drinking Water Quality. *Journal of Basic and Applied Biology*: 52-58.
- Onojake M.C., Osuji L.C., 2012. Assessment of the physio chemical properties of hydrocarbon contaminated soil. *Archives of Applied Science Research*. Vol. 4. p: 48-58.
- Pagotto C., 1999. Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier. Thèse de doctorat. Université de Poitiers. Ecole des Mines de Nantes. 316 p.
- Pascal Fokou M., 2017. Bioremediation augmentée des sols contaminés aux hydrocarbures lourds par ajout de substrats organiques. Mémoire en génie de l'environnement, Université du Québec. 73p.
- Patej S., 2002: Etude de scénarios dangereux en stations-service. Rapport final de l'INERIS DRA 40862. 38p.
- Patricia L., 2004. Etude de la diversité génétique et fonctionnelle de champignons du sol présentant une activité laccasique : mise au point d'outils moléculaires et application à l'étude comparative de sols agricoles et forestiers. Université de Lorraine. 198p
- Ramade F., 2007. Introduction à l'écotoxicologie. Fondements et applications.

## Références bibliographiques

---

- Edition Tec et Doc. Lavoisier. 618p.
- Rao M.A., Scelza R., Acevedo F., Diez M.C., Gianfreda L., 2015. Enzymes as useful tools for environmental purposes. *Chemosphere*. Vol. 107:145–162.
  - Rouquerol T., Amir H., Amir A., 1987. Effets de l'épandage de résidus pétroliers de raffinerie sur l'évolution de la matière organique. L'activité de la densité microbienne d'un sol agricole. *Revue d'écologie et de biologie du sol*. Vol. 24. N°2: 137-156.
  - Saad DJ., Dendani T., 2016. Les effets des hydrocarbures sur quelques propriétés chimiques et biologiques du sol. Cas de station-service de fréha. *Memoir de master en sciences biologiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou*. 43p.
  - Saada A., Nowak C., Coquereau N., 2005. Etat des connaissances sur l'atténuation naturelle des hydrocarbures, rapport intermédiaire, résultat de la phase 1. *Rapport BRGM/RP-53739-FR*. 107p.
  - Serrano A., Tejada M., Gallego M., Gonzalez J.L., 2009: Evaluation of soil biological activity after a diesel fuel spill. *Science of The Total Environment*. Vol. 407. N°13: 456-461
  - Soltner D., 1986. *Le climat*. Saint-Gemmes-Sur-Loire, Sciences et Techniques Agricoles France. 314p.
  - Soutter M., Mermoud A et Musy., 2007. *Ingénierie des eaux et du sol. Processus et aménagements*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne. 312 p.
  - Sutton B.N., Maphosa F., Morillo A.J., Abu Al soud W., Langenhoff A.M., Grotenhuis T., Rijnaarts H.M., Smidt H., 2013. Impact of Long-Term Diesel Contamination on Soil Microbial Community Structure. *Appl. Environ. Microbiol.* Vol. 79.N°2: 619-630.
  - Sulaiman A., Alrumman S.A., Dominic B., Standing A., Graeme I.P., 2015. Effects of hydrocarbon contamination on soilmicrobial community and enzyme activity. *Journal of King Saud University – Science*.Vol. 27: 31-40.
  - Tang L., Niu X., Sun Q., Wang R., 2010. Bioremediation of petroleum polluted soil by combination of ryegrass with effective microorganisms. *J Environ Technol Engin.* Vol. 3: 80-86.
  - Timmerman M.D., Fuller L.G., Burton D.L., 2002. The effects of a crude oil spill on microbiological indices of soil biological quality. *Department of Soil Science, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada*.Vol.41: 173-180.
  - Turgay O.C., Erdogan E.E., Karaca A., 2010. Effect of humic deposit

## Références bibliographiques

---

- (leonardite) on degradation of semi-volatile and heavy hydrocarbon and soil quality in crude-oil contaminated soil. *Environ.Monit. Assess.* Vol. 170: 45–58
- Verdin A., Lounes A-Hadj Sahraoui et Durand R., 2004. Les agents de la bioremédiation des sols pollués par les hydrocarbures polycycliques aromatiques. Laboratoire de mycologie/phytopathologie/Environnement (M.P.E)- Calais. Université du Littoral (U.L.C.O) cote d'Opale. 8p.
  - Wyszowska J., Kucharski M., Kucharski J., 2006. Application of the activity of soil enzymes in the evaluation of soil contamination by diesel oil. *Polish Journal of Environmental Studies.* Vol.15.N° 3: 501-506.
  - Zaboubi S., 2007. Effets comparatifs de deux outils aratoires (disques-dents) et de différents précédents culturaux sur les propriétés d'un sol cultivé en céréales dans la région de Timgad. Mémoire de Magister en sciences agronomiques. Université de Batna. 199p

## **Résumé :**

La pollution des sols par les hydrocarbures constitue une menace important pour l'environnement et la santé humaine. Des solutions efficaces doivent, donc, être appliquées rapidement afin de restaurer l'équilibre naturel.

Le présent travail fait appel à la capacité des microorganismes à dégrader ces polluants en composés moins toxiques.

La synthèse des deux études réalisées dans notre région relatives à l'étude de l'effet des hydrocarbures sur les propriétés du sol notamment les propriétés microbiologiques a révélé que les carburants affectent positivement le nombre de champignons. Le travail réalisé au laboratoire a permis d'identifier plusieurs espèces de champignons par rapport au travail réalisé sur le terrain.

D'après ces résultats, nous pouvons conclure que l'évaluation de la qualité microbiologique du sol s'est révélée assez satisfaisante pour la quantification de l'impact des carburants sur le sol.

**Mots clés:** hydrocarbures, sol, pollution, champignons.

## **Abstract :**

Pollution of soils poses a significant threat to the environment and human health. Effective solutions must therefore be applied quickly in order to restore the natural balance.

This work calls on the ability of microorganisms to break down these pollutants into less toxic compounds.

The synthesis of the two studies carried out in our region relating to the study of the effect of hydrocarbons on soil properties, particularly microbiological properties, revealed that fuels positively affect the number of fungi. The work done in the laboratory has identified several species of fungi compared to the work done in the field.

From these results we can conclude that the evaluation of the microbiological quality of the soil has been found to be quite satisfactory for the quantification of the impact of fuels on the soil.

**Keywords:** hydrocarbons, soil, pollution, fungi.

