

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

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou  
Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques  
Département de Biologie Animale et Végétale**



## **MEMOIRE**

**De fin d'études  
En vue de l'obtention du diplôme de Master**

**Filière : Ecologie et environnement**

**Spécialité : Biodiversité et environnement**

### **Thème**

**Phytoremédiation des sols pollués par les  
hydrocarbures en utilisant *Phaseolus vulgaris* L.,  
*Hordeum vulgare* L., *Triticum durum* L.) à l'ITMA.**

**Réalisé par :**

**M<sup>lle</sup> BELAID Fatima Zohra**

**M<sup>lle</sup> ABDI Sarah**

**Devant le jury :**

**Présidente : M<sup>me</sup> CHAOUCHI N.**

**MCA à l'U.M.M.T.O**

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

**Professeur à l'U.M.M.T.O**

**Co-Promotrice : M<sup>me</sup> CHIBANE G.**

**MAA à l'U.M.M.T.O**

**Examineurs : M<sup>lle</sup> ALI AHMED S.**

**MAA à l'U.M.M.T.O**

**Année universitaire : 2020 /2021**

## ***Remerciements***

*En premier, nous remercions notre promotrice Professeur SADOUDI ALI AHMED Djamilia et notre Co-promotrice Maitre assistante CHIBANE Gouraya pour leur grand soutien au travail*

*On remercie vivement les membres de jury : Mme CHAOUCHI N. MCA à l'UMMTO et Mlle ALI AHMED S. MAA à l'UMMTO, qui nous ont honorés en acceptant de présider et d'examiner respectivement notre mémoire de fin d'études.*

*Nous tenons aussi à remercier le directeur de l'ITMA Monsieur MEZIANI Hocine pour nous avoir donné accès à l'institut, M<sup>elle</sup> HADJAZ Saliha et Madame BEN SGHIR Safia pour leurs efforts fournis durant notre expérimentation et toute l'équipe du service d'exploitation.*

*Enfin, grand merci à nos familles respectives et nos amis qui nous ont aidés.*

*Nous profitons de l'occasion pour remercier tous ceux qui ont collaborés de près ou de loin à la réalisation de ce*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Avant tout à mes chers parents.*

*A mes chères sœurs et mon cher petit frère.*

*À tous mes amis(es) et à toute la promotion de  
biodiversité et environnement.*

*À tous ceux que j'aime et qui me sont chers.*

*Je le dédie aussi à mon binôme*

*BLAID Fatima Zohra.*

**Sarah**

## *Dédicace*

*Je dédie cet humble et modeste travail avec grand  
amour sincérité et fierté :*

*A mes chers parents, source de tendresse, de noblesse et  
d'affection.*

*A mes chers frères Djallal et Redha*

*Atous mes amis(es) et à toute la promotion de  
biodiversité et environnement.*

*Atous ceux que j'aime et qui me sont chers.*

*Je le dédie aussi à mon binôme*

*ABDI Sarah.*

*Fatima Zohra*

***Liste des abréviations :***

**ITMAS** : L'Institut des Technologies et Moyens Agricoles Spécialisés

**HC** : Hydrocarbures.

**H** : Humidité.

**ST** : Sol témoin

**SC** : Sol pollué

**SCH** : Sol cultivé par le haricot.

**SNCH** : Sol non cultivé par le haricot.

**OGM** : Organismes génétiquement modifiée.

## *Liste des figures*

<b>Figure 1</b> : Triangle textural (Source : site web 1) .....	04
<b>Figure 2</b> : Processus influençant le devenir des polluants dans le sol (Maes et <i>al.</i> , 2007) .....	06
<b>Figure 3</b> : Schémas du processus de Phytoremediation (Source : site web 2). .....	10
<b>Figure 4</b> : Localisation par satellite du site d'étude de Boukhalfa, Google maps). .....	13
<b>Figure 5</b> : Le haricot ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.). .....	15
<b>Figure 6</b> :L'orge ( <i>Hordeum vulgar</i> L.).....	16
<b>Figure 7</b> : Blé dur ( <i>Triticum durum</i> L.). .....	17
<b>Figure 8</b> : Source d'hydrocarbure (réservoir de gasoil). .....	18
<b>Figure 9</b> : Le chiendent officinal ( <i>Elymus repens</i> ) .....	19
<b>Figure 10</b> : L'oxalis des bermudes ( <i>Oxalis pes-caprae</i> ) .....	19
<b>Figure 11</b> : La patience crépue ( <i>Oseille crépue</i> ). .....	19
<b>Figure 13</b> :Mesure du pH des trois sols cultivés par le haricot. ....	23
<b>Figure 14</b> :Taux d'humidité du sol témoin et pollué par les HC.....	24
<b>Figure 15</b> :Taux de levée du haricot.....	25
<b>Figure 16</b> :La hauteur moyenne du haricot. ....	26
<b>Figure 17</b> :La biomasse aérienne moyenne du haricot.....	27
<b>Figure 18</b> :La biomasse racinaire moyenne du haricot .....	28
<b>Figure 19</b> :Nombre moyen des feuilles du haricot .....	29
<b>Figure 20</b> :Longueur moyenne de la racine principale du haricot.....	30
<b>Figure 21</b> : Taux d'hydrocarbures dans le sol avant et après la Phytoremediation.....	31
<b>Figure 22</b> : Taux de germination des graines du blé. ....	32
<b>Figure 23</b> :Le jaunissement des plantes d'haricot dans le sol pollué par les HC .....	34
<b>Figure 24</b> : Les taches au niveau des feuilles d'haricot cultivé dans le sol pollué par les HC	35
<b>Figure 25</b> : Les feuilles trouées du haricot cultivé dans le sol pollué par les HC .....	35

*Liste des tableaux*

**Tableau 1** : Caractéristiques physico-chimiques du sol contaminé et du sol non contaminés ..... 18

<b>Introduction générale.....</b>	<b>01</b>
-----------------------------------	-----------

## **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

<b>I.1 Généralités sur le sol.....</b>	<b>03</b>
I.1.1. Définition du sol .....	03
I.1.2. Les fonctions du sol .....	03
I.1.2. Les propriétés physico-chimiques du sol.....	03
I.1.3. Pollution du sol .....	05
I.1.4. Le devenir des Hydrocarbures dans les sols .....	06
<b>I.2. Généralités sur Les hydrocarbures.....</b>	<b>06</b>
I.2.1. Définition des hydrocarbures .....	06
I.2.2. Définition du gasoil.....	07
I.2.3. Les sources de pollution par les hydrocarbures .....	07
<b>I.3. Méthodes de réhabilitation des sols contaminés .....</b>	<b>08</b>
I.3.1. Procédés physiques .....	08
I.3.2. Procédés chimiques.....	08
I.3.3. Procédés thermiques .....	09
I.3.4. Procédés biologiques .....	09
<b>I.4. La Phytoremédiation .....</b>	<b>09</b>
I.4.1. Définition de la Phytoremédiation .....	09
I.4.2. Principe de la Phytoremédiation .....	10
I.4.3. Les différentes techniques de Phytoremédiation .....	11

## **Chapitre II : Description du site d'étude et Matériels et Méthodes**

<b>II.1. Description et localisation de L'Institut des Technologies et Moyens Agricoles Spécialisés</b> .....	13
<b>II.2. Matériels</b> .....	14
II.2.1. Matériel végétal .....	14
II.2.3. Le sol .....	18
<b>III.3. Méthodes</b> .....	18
II.3.1. Préparation du sol et mise en place de l'essai .....	18
II.3.2. Suivi de la culture .....	20
II.3.3. La récolte .....	20
II.3.4. Analyse du sol .....	20
II.3.5. Effet des hydrocarbures sur la croissance du végétal .....	21
II.3.6. Evaluation de la quantité des hydrocarbures dans le sol .....	22
II.3.7. Test de germination .....	22
<b>II.4. Analyses statistiques</b> .....	22

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

III.1. Effet des hydrocarbures sur le sol .....	23
III.1.1. Effet sur le pH du sol .....	23
III.1.2. Effet sur l'humidité du sol.....	24
III.2. Effet des hydrocarbures sur le végétal .....	24
III.2.1. Taux de levée .....	24
III.2.2. Hauteur moyenne des plantes .....	25

III.2.3. Biomasse aérienne .....	26
III.2.4. Biomasse racinaire .....	28
III.2.5. Nombre moyen de feuilles par plante .....	28
III.2.6. Longueur moyenne de la racine principale .....	29
III.3. Efficacité de la phytoremédiation.....	30
III.3.1. Taux des hydrocarbures dans le sol .....	30
III.3.2. Test de germination .....	32
III.4. Evolution des plantes du haricot dans les deux sols.....	32
III.5. Effet des hydrocarbures sur l'aspect des plantes .....	33
Conclusion générale .....	36
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumé	

Les activités humaines, qu'elles soient industrielles, agricoles ou domestiques ont utilisé ou généré, depuis le début du développement industriel, des quantités croissantes de substances ou de déchets qui présentent des risques pour la santé de l'homme et qui peuvent dégrader son environnement (GIRARD, 2005).

La contamination du sol par les hydrocarbures pétroliers est l'un des problèmes environnementaux les plus courants au monde (US EPA,2000). Les hydrocarbures pétroliers totaux (HPT) sont l'un des groupes les plus courants de contaminants organiques persistants (Huang et *al.*, 2005). En général, l'accumulation de contaminants dans les sols peut avoir des effets destructeurs sur l'environnement et la santé humaine. Les contaminants présents dans les sols peuvent entrer dans la chaîne alimentaire et affecter gravement la santé animale et humaine (Khan 2005).

Par conséquent, des solutions appropriées pour l'élimination ou le contrôle de ces contaminants du sol doivent être trouvées. Au cours des trois dernières décennies, diverses technologies d'assainissement physiques, chimiques et biologiques, telles que le traitement thermique, la stabilisation, la solidification et la biorestoration, ont été inventées et utilisées pour réduire les contaminants des sols.

La technique de décontamination par voie biologique appelée la biodécontamination, est une technologie de dépollution réelle qui détruit les composés toxiques, au lieu de les transférer, car parfois la transformation génère le CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O comme sous-produits finaux (Lecomte, 1998).

La phytoremédiation est une technologie verte, qui peut s'avérer une solution prometteuse aux problèmes posés par la décontamination des sols pollués par des hydrocarbures. Elle consiste à évaluer la capacité des plantes à éliminer et /ou atténuer la contamination des sols par les hydrocarbures (Shirdan et *al.*, 2008).

Dans le but d'évaluer l'effet toxique des hydrocarbures sur le sol et les plantes ainsi que d'évaluer la capacité de l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) à décontaminer un sol pollué par les hydrocarbures, nous avons entrepris un essai de Phytoremédiation.

Plusieurs auteurs ont effectués récemment des travaux sur la Phytoremédiation (Ait taye et Titouche, 2011 ; Belkacem et Rouas, 2012 ; Ben Kherfia,2020) et ont abouti à des résultats

satisfaisants au laboratoire. Mais l'efficacité de cette technique n'a pas été testée sur un sol pollué involontairement.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail qui consiste à évaluer l'efficacité de la Phytoremédiation dans le traitement d'un sol pollué par les hydrocarbures (gasoil) cas de l'institut des technologies et moyens agricoles spécialisés de Boukhalfa.

L'objectif principal de notre travail est d'essayer de réhabiliter un sol pollué par un carburant (gasoil) en utilisant la technique de Phytoremédiation. L'étude est réalisée aussi dans le but de tester l'efficacité des légumineuses à tolérer et réhabiliter les sols pollués par les hydrocarbures.

Le présent travail se subdivise en quatre chapitres : Le premier chapitre consiste en un rappel bibliographique sur le sol, les hydrocarbures, la description de certaines techniques de réhabilitation des sols contaminés par les hydrocarbures et la présentation de la technique de Phytoremédiation.

Le deuxième chapitre consiste en la présentation du site d'étude (Institut des technologies et moyens agricoles spécialisés de Boukhalfa) ainsi que le matériel utilisé et les méthodes adoptées pour réaliser ce travail.

Dans le troisième chapitre sont rapporté les résultats obtenus et la discussion des principales observations faites au cours de notre expérimentation notamment :

- ✓ L'étude de quelques paramètres de l'espèce végétale à savoir le taux de levée, la hauteur des plantes, la biomasse aérienne, la biomasse racinaire et le nombre des feuilles.
- ✓ L'étude de quelques paramètres du sol à savoir le pH, l'humidité hygroscopique et la mesure des hydrocarbures dans le sol.

La conclusion générale termine ce travail et synthétise l'ensemble des résultats obtenus dans notre étude. Elle se termine par quelques perspectives de recherche pour sa poursuite en vue de son application à d'autres échelles et milieux.

# Chapitre I Synthèse Bibliographique

---

## I.1. Généralités sur le sol

### I.1.1. Définition :

Le sol est la couche la plus externe, marquée par les êtres vivants, de la croûte terrestre. Il est le siège d'un échange intense de matières et d'énergie entre l'air, l'eau et les roches. Le sol est une partie de l'écosystème qui occupe une position-clé dans les cycles globaux des matières (GOBAT et *al.*, 2003).

### I.1.2. Les fonctions du sol :

Les sols doivent pouvoir accomplir cinq fonctions principales de bases :

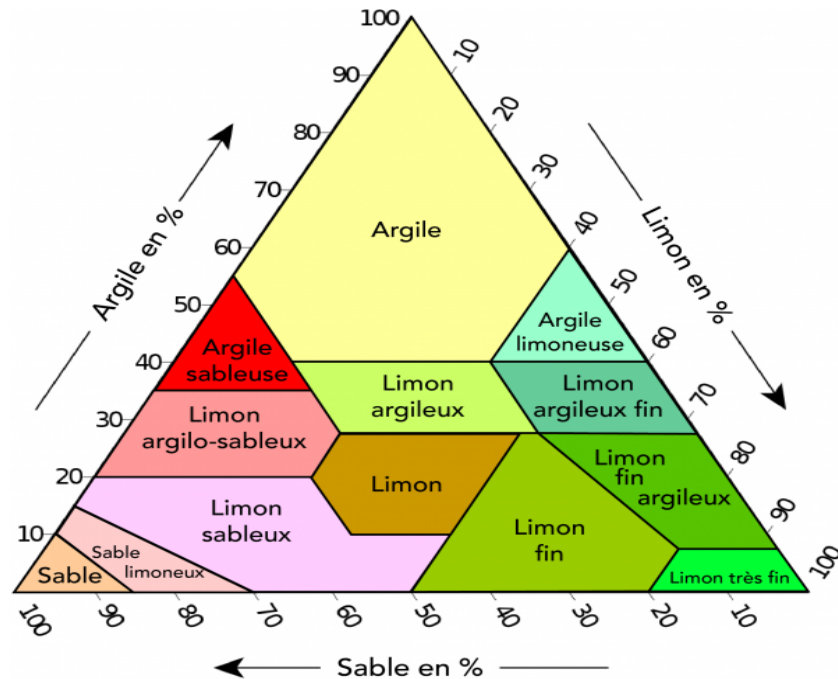
- Offrir un habitat physique, chimique et biologique pour les organismes vivants.
- Réguler les flux d'eau, le stockage et le recyclage des cycles des nutriments et d'autres éléments.
- Maintenir les activités et diversités biologiques pour subvenir à la croissance des plantes à la productivité des animaux.
- Filtrer, tamponner, transformer, immobiliser, détoxifier les substances organiques et inorganiques.
- Fournir un support mécanique aux organismes vivants et à leurs structures.

### I.1.2. Les propriétés physico-chimiques du sol

#### I.1.2.1. Propriétés physiques des sols

- **Texture**

La texture du sol est à la base de presque toutes les autres propriétés, c'est les propriétés du sol qui traduit de manière globale la composition granulométrique de la terre fine (GOBAT et *al.*, 2010).



**Figure 1 :** Triangle textural (Source : site web 1)

- **Structure**

La structure d'un sol est le mode d'assemblage, a un moment donné, de ses constituants solides. La stabilité structurale dépend de la teneur en argile et de la matière organique des sols.

Le complexe argilo-humique joue un rôle structural, ce rôle est plus ou moins important selon les teneurs en eau du sol et varie en fonction du type d'argile. La matière organique augmente la stabilité des agrégats. Une mauvaise structure peut donc empêcher l'écoulement des eaux dans le sol et les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère. Une bonne structure va assurer une grande facilité de circulation d'eau, donc laisse s'écouler l'excès et assure une bonne aération du sol (des racines et une bonne germination faune et flore) (SOLTNER, 2000).

- **Perméabilité**

C'est l'aptitude du sol à passer l'eau vers les couches inférieures donc elle dépend de la texture et de la structure. Sa détermination est nécessaire au calcul du réseau de drainage, mais elle est délicate, quelle que soit la méthode utilise, car elle ne peut intervenir que sur un matériau non remanié (KOLLER, 2004).

- **Humidité du sol**

L'humidité du sol a une influence sur la conductivité et la capacité thermique, donc sur les variations de températures en fonction de la profondeur et du temps pour la pédofaune. L'eau est un facteur primordial, l'excès et l'insuffisance sont néfastes (GOBAT et *al.*, 2003). La capacité de rétention de l'eau dans les sols varie en fonction de la porosité, elle se mesure généralement en pourcentage de l'eau contenue dans un sol par rapport au volume total de terre (RAMADE, 2003).

### I.1.2.2. Propriétés chimiques

- **Capacité d'échange cationique**

C'est la quantité maximale de charge cationique qu'une masse de sol peut fixer et échanger ; autrement dit, elle exprime l'aptitude d'un sol à retenir des cations sous forme échangeable. Elle permet de caractériser la régulation de la composition cationique de la solution du sol (GOBAT, 2003), La CEC est relié à des processus très importants comme la nutrition des végétaux et la rétention de polluants métalliques (CALVET, 2003).

- **Le pH**

Le pH est défini comme le logarithme décimal de la concentration d'une solution en ion H<sup>+</sup>. Il permet d'approfondir les modalités d'interaction entre les ions et les surfaces absorbantes du sol (MIRSAL, 2004).

### I.1.3 Pollution du sol

On dit qu'un sol est pollué lorsqu'il contient une concentration anormale de composés chimiques potentiellement dangereux pour la santé, des plantes ou des animaux. La contamination se fait alors soit par voie digestive (consommation d'eau polluée par exemple), ou par voie respiratoire (poussières des sols pollués dans l'atmosphère). On peut considérer qu'il y a pollution par les hydrocarbures lorsque l'action de ceux-ci peut être considérée comme néfaste sur l'environnement.

Ces contaminants environnementaux constituent une classe de produits chimiques organiques dangereux, et lorsqu'ils sont du type essence ou solvants, ils peuvent engendrer des risques d'explosion ou d'incendie en cas d'accumulation. Comparativement à d'autres hydrocarbures,

ces composés sont assez biodégradables à l'exception toutefois de certains d'entre eux (BTEX par exemple) qui peuvent se révéler toxiques pour la microflore autochtone (KOLLER, 2004).

### I.1.4. Devenir des hydrocarbures dans le sol

Dès que les hydrocarbures se déversent dans le milieu terrestre, ils sont soumis à des processus d'altération et de modification de leurs propriétés physico-chimique initiale (CHALANSONNET et JOYEUX, 2005). Les processus qui entraînent les changements physiques sont notamment l'évaporation, l'adsorption, la percolation, la dissolution dans le sol, ceux qui entraînent les modifications chimiques sont la photo-oxydation, hydrolyse, redox et la biodégradation (BERGUE et MERIENNE, 1986).

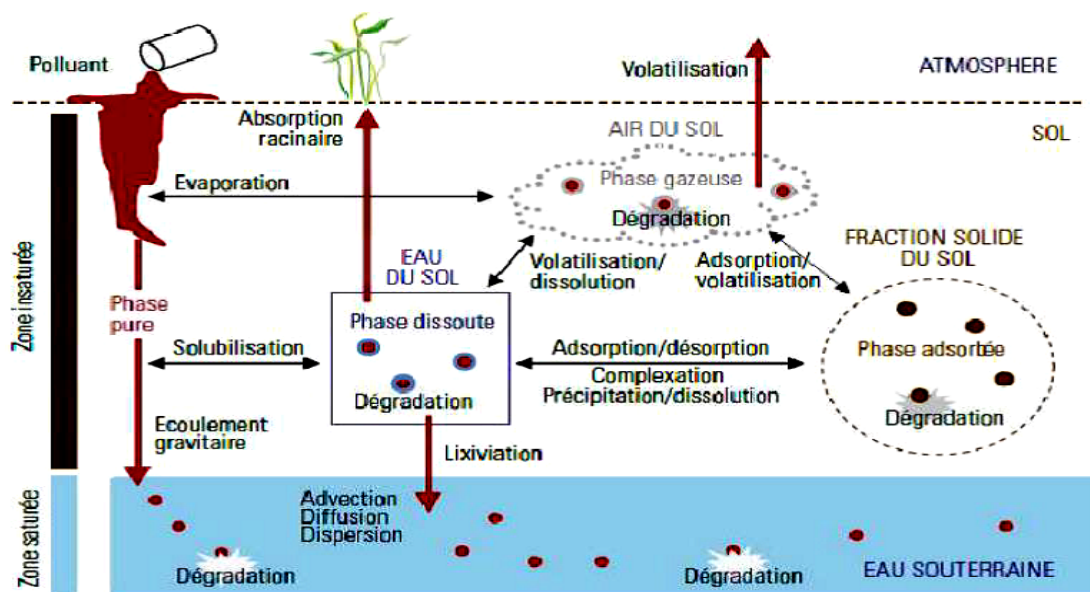


Figure 2 : Processus influençant le devenir des polluants dans le sol (MAES et al., 2007).

## I.2. Généralités sur Les hydrocarbures

### I.2.1. Définition des hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des composés organiques constitués uniquement d'atome de carbone et d'hydrogène, ainsi, ils possèdent une formule brute du type  $C_nH_m$ , avec  $n$  et  $m$  des entiers naturels. Ces composés naissent dans les conditions bien particulières. En effet, ils sont formés par la décomposition d'organismes, enfouis et accumulés (MATHIEU, 2008).

Outre les composés soufrés par exemple, 80% du pétrole sont constitués d'hydrocarbures saturés et aromatiques (TARAYRE, 2012).

## Chapitre I Synthèse Bibliographique

---

Les hydrocarbures regroupent différents produits pétroliers (pétrole brut, pétrole raffiné, kérosène, essences, fuel, lubrifiants, et huiles à moteurs). On définit les hydrocarbures par des familles de dérivés en fonction de leur utilisation, ces familles sont basées sur des coupes de raffinage pétrolier. Il est possible de préciser le nombre d'atomes des molécules et leurs composants (LEMIERE *et al.*, 2001).

### I.2.2 Définition du gasoil

C'est l'un des principaux produits de distillation du pétrole brut (l'intervalle de sa distillation est compris entre 180 et 380°C). Il est, de même composé des trois classes fondamentales d'hydrocarbures (B7 est le gasoil standard, B10 correspond au nouveau gasoil, XTL est un diesel synthétique c'est à dire qu'il n'est pas dérivé du pétrole). Il contient 2000 à 4000 fractions d'hydrocarbures qui ne peuvent être totalement séparées par chromatographie en phase gazeuse (MARCHAL *et al.*, 2003).

### I.2.3 Les sources de pollution par les hydrocarbures

- **Sources naturelles**

Les feux de forêts, les éruptions volcaniques et les fuites des réservoirs naturels ont un important potentiel de production de quantités massives d'hydrocarbures, mais aussi les réactions biogènes dans les plantes et les bactéries, ainsi que les réactions géologiques associées à la production de fuel fossile et minéral (COLIN, 2000).

- **Sources anthropiques**

- **Les activités urbaines**

- en lien avec des activités artisanales ou commerciales utilisant ou engendrant des produits et déchets dangereux au même titre que les activités industrielles.
- par retombées atmosphérique de nombreuses sources de pollution atmosphériques dans les villes ou à leur périphérie comme les usines d'incinération ou les véhicules motorisés.

La pollution 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 (COLIN, 2000).

### -Les activités industrielles

- des accidents, incidents ou anomalies divers, lors de l'extraction du stockage, de la transformation et du transport de matières premières, de produits ou de déchets dangereux, ou lors de la distribution des produits dangereux.
- des transferts de pollution issus des rejets atmosphériques ou aqueux, vers les sols.

### I.3.Méthodes de réhabilitation des sols contaminés

La décontamination est un ensemble de procédés consistant à épurer ou tout au moins à isoler un milieu ayant été exposé à une pollution chronique ou récurrente qui l'a rendu inutilisable pour les activités domestiques, agricoles ou industrielle. Le traitement concerne des terres excavées ou des sols et nappes phréatiques encore en place (KOLLER ,2004).

#### I.3.1. Procédés physiques

Les procédés physiques sont les méthodes les plus largement utilisées. Le principe consiste à utiliser des fluides (eau ou gaz), comme vecteur pour transporter les polluants vers des points d'extraction ou pour les immobiliser (COLOMBANO *et al.*, 2010). Il existe plusieurs techniques physiques mais la plus utilisée est le lavage des sols qui consiste à extraire les contaminants, grâce à un solvant approprié, avant de les mettre en suspension (PAVEL et GAVRILESCU, 2008).

#### I.3.2. Procédés chimiques

Les traitements chimiques ont pour but de détruire les polluants ou de les transformer en une forme moins nocive pour l'environnement ; et ceci par l'intermédiaire de réactions chimiques se produisant entre le polluant et le réactif ajouté. Ils peuvent être applicables in situ ou après excavation des sols. La majorité des procédés exigent que les sols soient sous forme de boues ou que les contaminants soient mobilisés dans un milieu liquide (MASTEN et DAVIES,1997).

#### I.3.3. Procédés thermiques

## Chapitre I Synthèse Bibliographique

---

Ces technologies sont basées sur un principe qui consiste à utiliser les hautes températures pour détruire les produits polluants, qui sont convertis en gaz carbonique et en vapeur d'eau. Les méthodes de traitements thermiques peuvent être appliquées sur site ou hors site : c'est le cas le plus fréquent, et on distingue trois types dans ce groupe : l'incinération, la désorption thermique et la pyrolyse (LECOMTE, 1998). Elles sont employées pour la décontamination des sols pollués par les produits organiques (PAVEL et GAVRILESCU, 2008).

### I.3.3. Procédés biologiques

Le principe de ces méthodes repose sur une biodégradation naturelle des polluants par l'intervention des micro-organismes (bactéries, champignons...). La décontamination par voie biologique va consister à stimuler ce phénomène naturel pour en augmenter le rendement, afin de détruire, en un minimum de temps, le polluant organique (LECOMTE, 1998).

L'avantage de ces techniques de traitement est de maintenir les propriétés physicochimiques, voir biologique des sols. Ces techniques se sont largement développées durant les dernières années, car elles sont efficaces, peu coûteuses et s'adressent à un grand nombre de polluants organiques ou non (GIRARD *et al.*, 2005).

### I.4. Phytoremédiation

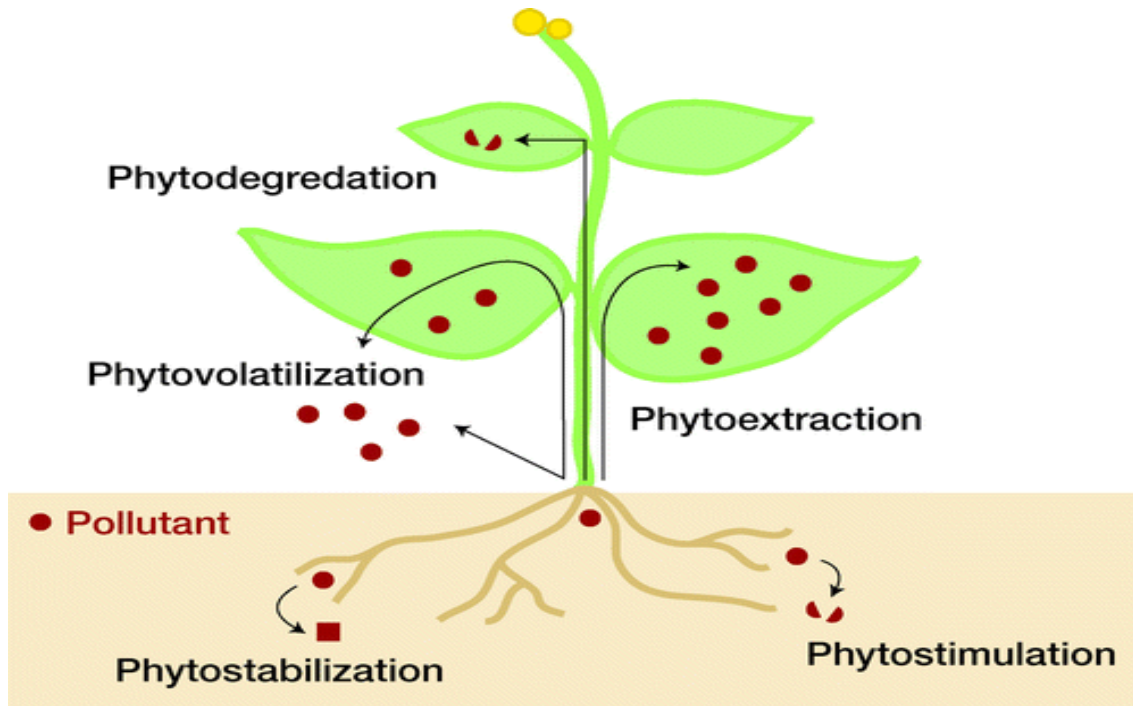
La phytoremédiation est une méthode de réhabilitation *in situ* des sols, non-invasive, basée sur l'exploitation des capacités naturelles de l'environnement à se restaurer lui-même (SHIMP *et al.*, 1993 ; KHAN *et al.*, 2004 ; GIRARD *et al.*, 2005).

C'est une technique efficace et relativement simple à mettre en œuvre (HUANG *et al.*, 2004 ; OLSON *et al.*, 2008 ; WATHARKAR et JADHAV, 2014). En plus d'être reconnue comme un choix économique comparativement aux autres techniques de décontamination, elle est aussi considérée comme la plus esthétique des techniques de réhabilitation, contrairement aux techniques citées ci-dessus sont coûteuses et elles présentent une certaine difficulté de la mise en œuvre (l'excavation, le transport...).

#### I.4.1. Définition de la Phytoremédiation

Selon PILON-SMITS (2005), la Phytoremédiation est l'utilisation des plantes et des microorganismes qui leurs sont associés pour remédier à la pollution de l'environnement. C'est donc un ensemble de techniques *in situ* misant sur les plantes pour extraire, dégrader ou

immobiliser les contaminants dans les sols, les sédiments, les boues ainsi que dans l'eau de surface ou souterraine et dans l'air. Toutefois, il n'en demeure pas moins que la phytoremediation présente des inconvénients tant au niveau de la durée des traitements, relativement longs (5 à 10 ans), qu'au niveau de l'élimination et de la revalorisation des résidus végétaux pollués (ORIGO, 2009).



**Figure 3** : Schémas des mécanismes de Phytoremédiation (Source : site web 2)

### I.4.2. Principe de la Phytoremédiation

La phytoremediation repose essentiellement sur les interactions entre les plantes, le sol et ses micro-organismes. Les plantes vont soit absorber le contaminant pour le métaboliser ou le stocker, soit réduire voire empêcher la libération du contaminant dans d'autres compartiments de l'environnement le dégradera aussi. Certains ont la capacité d'extraire les polluants du sol par les racines et les transférer et les concentre dans d'autres endroits de la plante par exemple les tiges, et les feuilles. Elles sont capables d'absorber différents types de polluants soit organiques ou inorganiques tels que les hydrocarbures, les métaux, les pesticides, les explosifs.

Les plantes peuvent également jouer un autre rôle, c'est d'empêcher la propagation de la pollution par le vent ou la pluie (KOLLER, 2004).

### I.4.3. Les différentes techniques de Phytoremediation

- **Phytoextraction**

Dans la phytoextraction, aussi appelée la phytoaccumulation, les plantes retirent du sol les contaminants et les accumulent dans leurs parties aériennes que l'on peut par la suite récolter, il pourrait s'agir d'éléments-traces métalliques et des métalloïdes biodisponibles, ainsi que certains types de contaminants organiques. La phytoextraction est la méthode de Phytoremédiation la plus utilisée (GHOSH et SINGH, 2005).

- **Phytostabilisation**

La phytostabilisation consiste à utiliser les plantes pour réduire la mobilité et la biodisponibilité des contaminants dans le sol ou la rhizosphère par immobilisation chimique (précipitation, stabilisation, absorption ou piégeage) ou prévention des mouvements latéraux ou en profondeur via l'érosion ou le lessivage (VISHNOI et SRIVASTAVA, 2008). Selon MCGRATH (1998), la phytostabilisation empêche la dispersion des contaminants dans les eaux de surface et les eaux souterraines. Pour éviter que les contaminants ne soient éventuellement relargués dans l'environnement, la phytostabilisation exige un suivi à long terme. Durant la phytostabilisation, il peut y avoir conversion des polluants sous des formes moins biodisponibles.

- **Phytodégradation**

La phytodégradation aussi appelée la phytotransformation, désigne la dégradation des polluants organiques dans la plante elle-même, à travers son activité métabolique au niveau des parties aériennes et/ou racinaires ou en dehors de la plante via la production d'enzymes extra racinaires (exsudats) liées à la dégradation dans la rhizosphère (CRIQUET *et al.*, 2000 ; PILON-SMITS, 2005 ; SCHWITZGUEBEL *et al.*, 2011). Au cours de la rhizodégradation ou la phytostimulation, la dégradation des polluants organiques est effectuée grâce à la stimulation de l'activité des microorganismes présents dans la rhizosphère. La plante fournit la source de carbone nécessaire à la croissance de la microflore rhizosphérique via son exsudation racinaire et permet l'aération du sol (REILLEY *et al.*, 1996) ; ce qui augmente la biodégradation des contaminants du sol (EPA, 2000 ; JONER et LEYVAL, 2003).

- **Phytovolatilization**

La phytovolatilization implique l'utilisation des plantes pour extraire les polluants organiques et certains composés inorganiques du sol en les transformant en une forme volatile, puis les relarguer dans l'atmosphère par transpiration (GHOSH et SINGH, 2005). C'est un mécanisme attrayant parce que les polluants sont ainsi entièrement volatilisés (sous forme de gaz), et il n'est donc pas nécessaire de récolter et de traiter les plantes utilisées. Par contre, le risque du transfert des polluants vers l'atmosphère doit être bien caractérisé avant d'entreprendre la phytovolatilization (SHUBHANGI et SONAL, 2004).





**II.1. Description et Localisation du site d'étude (Institut des Technologies et Moyens Agricoles Spécialisés)**

La station expérimentale est située dans la commune de Boukhalfa en zone de montagne (300 m d'altitude) (Figure 4) à 5 Km du chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou au Nord-Ouest de la ville de Tizi-Ouzou. Sa superficie totale est de 30,67 ha. La station expérimentale est délimitée comme suit :

Au Nord : par la route menant vers Tizirt.

Au Sud : par l'exploitation agricole SBAIHI.

A l'est : par la route reliant Boukhalfa à la ville de Tizi-Ouzou.

A l'ouest : par la route reliant Boukhalfa à Draa Ben Khedda.

Le choix de cette station est justifié par le fait qu'il y a une fuite de carburants (gasoil) lors du remplissage des réservoirs de stockage, ce qui conduit à la contamination des sols et sous solet par la suite à la contamination de l'eau, ça risque de passer dans la chaine trophique parce que, cette station est à proximité d'un cours d'eau et elle est entourée par des terres agricoles.



**Figure 4 :** Localisation par satellite du site d'étude de Boukhalfa (Google maps, 2021).

Notre travail a été réalisé au sein de l'institut des technologies et moyens agricoles de Boukhalfa. Le but étant la mise en œuvre du dispositif expérimental et des techniques d'évaluation de l'effet éco toxicologique des hydrocarbures sur la végétation et le sol et pour évaluer l'efficacité de quelques Légumineuses (le haricot, le pois) et les graminées (l'orge et blé dur) à remédier un sol contaminé par les hydrocarbures. Dans cette partie, nous allons présenter le matériel et les méthodes utilisées, ainsi que le dispositif expérimental adopté.

## **II.2. Matériel**

### **II.2.1. Matériel végétal**

Trois espèces végétales différentes ont été utilisées pour la phytoremediation, à savoir le haricot (légumineuse), l'orge, le blé dur (graminées).

DUCHAUFFOUR (2001) a préconisé l'utilisation des légumineuses pour réduire la pollution du sol par les hydrocarbures. Elles jouent un rôle primordial dans la dépollution grâce à leurs systèmes racinaires puissants qui procurent au sol une bonne aération et stimulent l'activité microbienne, accélérant par conséquent, les phénomènes de dégradation naturelle. Les graminées quant à elles, sont connues pour être sensibles à la pollution par les hydrocarbures.

- **Le haricot**

Le haricot est une plante herbacée généralement annuelle.

- ❖ **Classification botanique**

Selon CHARLES (1998) et CHAUX ET FOURY (1994), la classification du haricot est la suivante :

Embranchement : Spermaphytes

Classe : Dicotylédones

Ordre : Rosales

Famille : Legumineuses

Genre : *Phaseolus*

Espèce : *Phaseolus vulgaris* L.

### ❖ Caractéristiques du haricot

Il s'agit de plantes lianescentes à croissance indéterminée. Le haricot germe à des températures comprises entre 12 et 35°C. C'est une plante qui a besoin de la lumière. Elle préfère les sols légers, profonds et sains légèrement acides, ayant un pH variant de 6 à 6,8 (RAZANADRAKOTO, 2005).



**Figure 5 :**Plante du haricot(*Phaseolusvulgaris* L.)

### • L'orge

C'est une céréale autogame qui appartient à la famille des Poacées et au genre *Hordeum* (Figure 5).

### ❖ Classification botanique

D'après CRONQUIST (1981), la classification botanique du haricot est comme suit :

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Liliopsida

Sous-classe : Commelinidae

Ordre : Cyperales

Famille : Poaceae

Genre : *Hordeum*

Espèce : *Hordeumvulgar*L.

### ❖ Caractéristiques del'orge:

L'orge est une espèce sensible à la pollution par les hydrocarbures, résistante à la sécheresse et vigoureuse. Il peut être cultivé sur des terres peu propices aux céréales,

Leur système racinaire est composé de deux types de racines ; le premier correspond à la racine ciminale qui se développe dès la germination, et le second correspond aux racines coronaires représentées par les racines des tiges, elles ne se développent qu'à partir du détalage (SIMON, 1972 in Fezani et KHIDER, 2007). Le système aérien de l'orge est constitué par des feuilles rubanées à nervures parallèles présentant une gaine développée et des tiges qui sont des chaumes. Les besoins en eau de l'orge sont estimés à 450-500 mm (MOULE, 1971 in Babas et IKOUR, 2005).



**Figure 6:** L'orge (*Hordium vulgare* L.)

### • Le blé dur

Le blé dur est une espèce autogame appartenant à la famille des Poacées et au genre *Triticum*.

### ❖ Classification botanique

D'après Cronquist (1981), la classification botanique du blé est comme suit :

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Liliopsida

Sous-classe : Commelinidae

Ordre : Cyperales

Famille : Poaceae

Sous-famille : Pooideae

Tribu : Triticeae

Genre : *Triticum*

Espèce : *Triticum durum*L.

### ❖ Caractéristiques du blé dur

L'embryon se développe lorsque les conditions d'humidité et de température sont réunies. Durant cette période de germination, les racines séminales se développent et les premières feuilles appariées.

Le système racinaire du blé dur est assez développé et de type fasciculé. Le système aérien est formé d'un certain nombre de ramifications, ou talles et chaque talle est constituée d'un chaume (figure 7).



**Figure 7** : Blé dur (*Triticum durum*L.)

### II.2.2. Le sol

L'étude expérimentale a été réalisée sur un sol contaminé par les rejets des carburants (gasoil) et un sol non contaminé (témoin éloigné de la source de pollution de 50m) de l'institut des technologies et moyens agricoles à Boukhalfa (tableau 1).

**Tableau 1** : Caractéristiques physico-chimiques du sol contaminé et du sol non contaminés.

Caractéristiques physico-chimiques	Sol pollué	Sol témoin	Source
pH	8.15	7.6	ORIGINAL(2021)
Taux d'humidité	98.86%	96.13%	ORIGINA (2021)
Texture	Limono-argileuse (lourd)	Limono-argileuse	IBARKI et HEASIS(2020)

### II.3. Méthodes

#### II.3.1. Préparation du sol et mise en place de l'essai

- Préparation du sol

Notre étude expérimentale a été menée dans le service d'exploitation ; on a choisi deux parcelles de 12m<sup>2</sup> chacune, et ce choix a été justifié par la présence d'un réservoir du gasoil (Figure 8) :

- Une parcelle dont le sol est polluée par les HC (gasoil) situé à 10 mde la source de pollution.
- Une parcelle dont le sol est non pollué (témoin) situé à 50mde la source de pollution.



**Figure 8 :** Source d'hydrocarbure (réservoir de gasoil).

Ensuite nous avons délimité et clôturé les deux parcelles par un grillage fixé par des piquets. Puis nous avons désherbé les deux sols à l'aide d'une binette et d'un râteau. Où il y'avait certaines espèces (figure 9, 10,11) :



**Figure9 :** Le chiendent officinal (*Elymus repens*)

**Figure10 :** L'oxalis des bermudes (*Oxalis pes-caprae*)



**Figure 11 :** La patience crépue (*Oseille crépue*)

- **Le semis**

Après avoir testé la germination des graines pures sans OGM, en plantant 10 graines d'haricot, et d'orge dans des boites de Pétri contenant des papiers absorbent ; Le taux de germination est calculé comme suit :

Le pourcentage de germination :  $(\text{nombre des graines germées} / \text{nombre total de graines}) * 100$

Ensuite nous avons pris 100 graines des deux espèces (le haricot et l'orge), que nous avons mises dans des pots transparents remplis d'eau pendant 24 heures le 10 avril 2021.

Le 11 avril 2021, nous avons effectué le semis des graines par alignement en laissant 20cm entre chaque graine d'haricot et 15cm entre chaque graine d'orge et cela après avoir divisé chaque parcelle en deux parties : une pour le haricot et l'autre pour l'orge.

### II.3.2. Suivi de la culture

Le suivi des cultures en place a consisté en un arrosage régulier à l'eau de robinet durant toute l'expérimentation. Un désherbage est réalisé à chaque fois que de mauvaises herbes sont observées dans les deux parcelles.

### II.3.3. La récolte

La récolte a eu lieu le 14 juin 2021, elle a été réalisée au début de la floraison du haricot.

### II.3.4. Analyse du sol

- **Mesure du pH**

La méthode la plus exacte pour mesurer le pH d'un sol consiste à utiliser un pH mètre qui donne directement la valeur du pH quand on plonge des électrodes en verre dans une solution obtenue en mélangeant l'échantillon du sol avec de l'eau distillée (DUCHAUFFOUR, 2001).

#### Mode opératoire :

- a) Peser 20g de l'échantillon (pollué et témoin) tamisé à 2 mm.
- b) Ajouter 100ml de l'eau distillée, agiter pendant 10 minutes.
- c) Laisser au repos pendant 2 heures.
- d) Mettre l'électrode dans la solution à analyser puis effectuer la mesure après la stabilisation de l'appareil.

- **Humidité hygroscopique**

- a) Peser 5g de chaque échantillons (pollué et témoin) tamisé à 2 mm.
- b) Sécher à l'étuve pendant 24 heures.

c) Repeser les échantillons après le séchage.

Le taux d'humidité calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux d'humidité (\%)} = \left( \frac{\text{la masse initial} - \text{la masse après le séchage}}{\text{la masse initial}} \right) * 100$$

### **II.3.5. Effet des hydrocarbures sur la croissance du végétal**

- **Taux de levée**

Il consiste à établir un pourcentage de levée dans chaque pot de la troisième semaine, en dénombrant les plantes levées. Il est donné par la formule suivante :

$$\text{Taux de levée \%} = \left( \frac{\text{nombre de plantes levées}}{\text{nombre total de graines semées}} \right) * 100$$

- **Hauteur des plantes**

Elle consiste à mesurer, en centimètres (cm) à l'aide d'une règle graduée, la longueur des plantes. Après 2 semaines de culture, nous avons procédé à mesurer la hauteur des plantes chaque deux jours jusqu'au jour de la récolte.

- **Biomasse aérienne**

Il s'agit de peser la partie aérienne des plants, de chaque sol, à l'état sec. La partie aérienne étant séparée de la partie racinaire et séchée à l'étuve à 105° C pendant 24 heures.

- **Biomasse racinaire**

Il s'agit de peser la partie racinaire des plants, de chaque sol, à l'état sec. La partie racinaire étant séparée de la partie aérienne et séchée à l'étuve à 105° C pendant 24 heures.

- **Nombre moyen de feuilles des différentes plantes**

Après 3 semaines de culture, nous avons procédé au comptage du nombre de feuilles pour chaque plante.

- **Longueur de la racine principale**

Après 3 semaines de culture, nous avons procédé à la mesure de la longueur de la racine principale pour chaque plante.

**II.3.6. Evaluation de la quantité des hydrocarbures dans le sol**

L'évaluation s'effectue par l'extraction des hydrocarbures contenus dans le sol pollué et le sol dépollué cultivé par le haricot. Le but de cette extraction est d'évaluer la quantité des hydrocarbures restante dans le sol après culture en comparaison à celles de ce même sol avant culture (ORIGINAL, 2021)

- a) Peser 10g du sol (pollué et dépollué) séché et tamisé à 2mm.
- b) Ajouter 50ml d'hexane.
- c) Agiter pendant 2 heures.
- d) Après agitation les surnageants sont récupérés à l'aide d'un papier filtre.
- e) Laisser évaporer pendant 24h dans des boîtes de Pétri en verre.
- f) Après évaporation, les quantités d'hydrocarbures extraites sont pesées à l'aide d'une balance de précision.

**II.3.7. Test de germination**

Le but de ce test est d'évaluer l'impact et l'effet de la concentration des HC contenus dans le sol sur la germination des graines de blé et d'évaluer le degré de remédiation dans le sol.

Il consiste à établir un pourcentage de germination en dénombrant les graines germées dans les sols contaminés et traités par phytoremédiation (BERKOUCHE et HADJADJ, 2015). Ce choix s'est porté sur ce végétal en raison de sa bonne faculté germinative et sa sensibilité à la pollution (ALI AHMED, 2011).

Après la récolte, nous avons semé 100 graines de blé dur dans le sol dépollué, avec un arrosage régulier.

Le taux de germination est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux de germination (\%)} = \left( \frac{\text{nombre de graines germées}}{\text{nombre total de graines}} \right) \times 100$$

**II.4. Analyses statistiques**

L'analyse statistique des résultats obtenus a été effectuée avec le logiciel R.3.0.2, la différence est considérée significative pour  $p < 0.05$ .

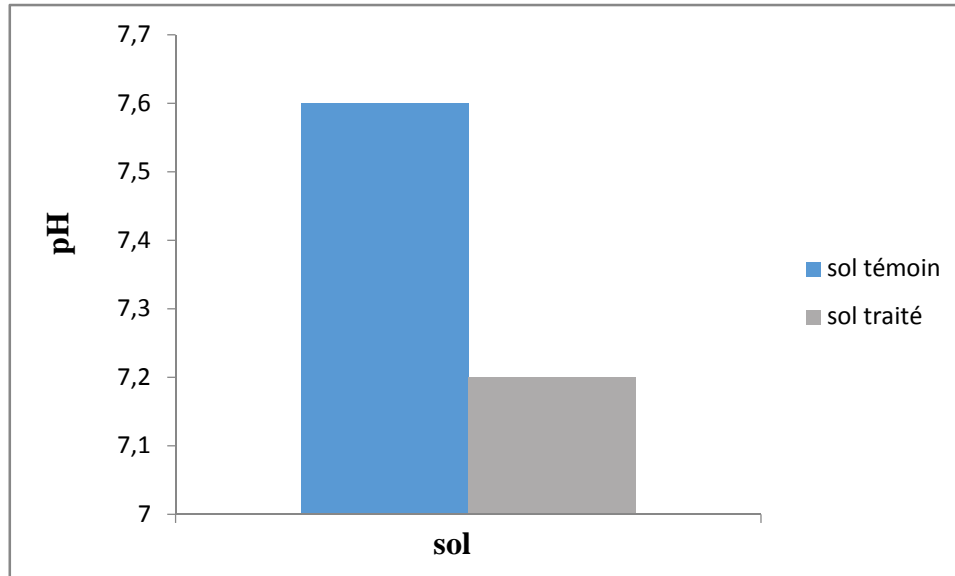
Les résultats de l'effet des hydrocarbures sur les végétaux ont été soumis au test de student pour deux échantillons indépendants ou à son équivalent non paramétrique ; le test de Man-Whitney lorsque les données ne sont pas gaussiennes.

## Chapitre III Résultats et discussion

### III.1. Effet des hydrocarbures sur le sol

#### III.1.1. Effet sur le pH du sol

La figure 13 représente le potentiel d'hydrogène des sols témoin, traité et pollué par les HC.



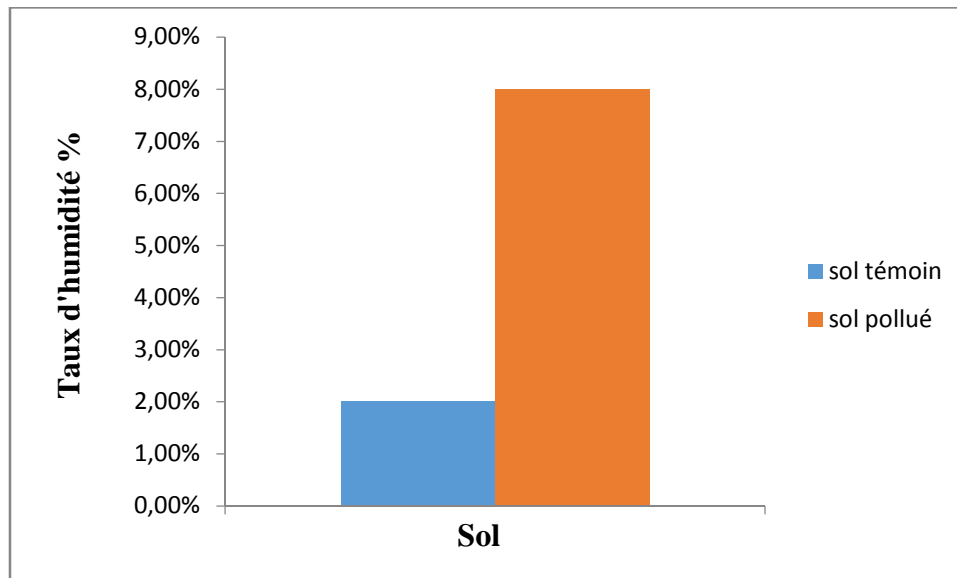
**Figure 13 :** Mesure du pH des deux sols cultivés par le haricot.

D'après cette figure, le sol témoin il est légèrement alcalin avec un pH de 7.6 et le sol traité qui est acide avec un pH de 7.2. D'après nos résultats, nous pouvons remarquer que le pH du sol traité est inférieur au pH du sol témoin. Selon MOREL (1990) *in* MEKERRI et TAZEBOUDJT, (2017), le pH du sol est modifié par la présence de racines vivantes et dépend de la plante et de son environnement physico-chimique, d'après NJOKU *et al.* (2009) *in* ZEBICHE et SEMAANI, (2015), la diminution du pH est due à la dégradation des hydrocarbures et pourrait être provoquée par l'accumulation des acides organiques produits lors de cette dégradation dans le sol.

## Chapitre III Résultats et discussion

### III.1.2. Effet sur l'humidité du sol

La figure 14 représente le taux d'humidité du sol témoin et pollué par les HC.



**Figure 14 :** Taux d'humidité des deux sols non cultivé.

Selon les résultats de la figure 14, le taux d'humidité dans le sol pollué est (8%) et (2%) sol témoin.

Cette différence du taux d'humidité s'explique par le fait que les hydrocarbures empêchent l'eau de s'évaporer.

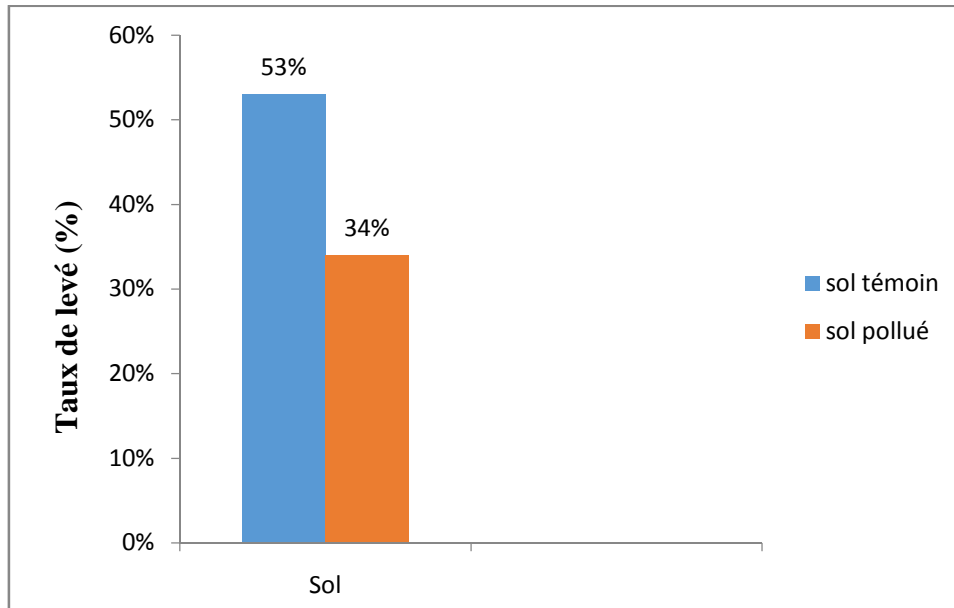
Il apparaît une différence des teneurs en eau entre la zone témoin et la zone polluée qui peut indiquer que l'huile gêne les mouvements d'eau aussi bien l'infiltration que l'évapotranspiration (DEGRANGES *et al.*, 1977).

### III.2. Effet des hydrocarbures sur le végétal

Dans le but d'évaluer l'effet des hydrocarbures sur le végétal, nous avons comparé la croissance du haricot dans un sol contaminé par les hydrocarbures et dans un sol non contaminé.

#### III.2.1. Taux de levée

La figure 15 représente le taux de levée du haricot dans les différents sols.



**Figure 15 :** Taux de levée du haricot.

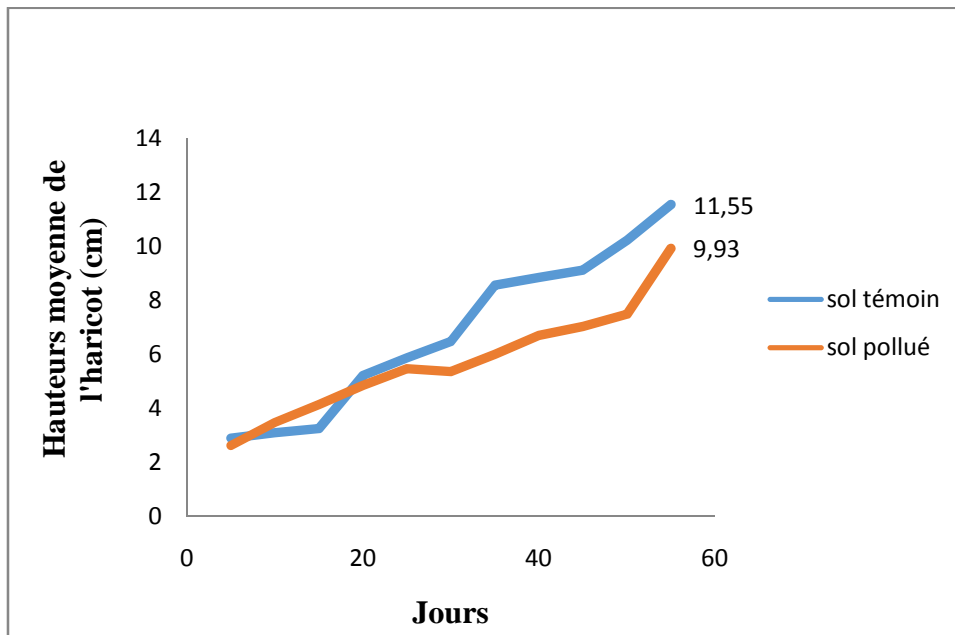
La levée des graines du haricot a été observée dès le cinquième jour après le semis dans le sol témoin et après le sixième jour dans le sol pollué. Le levé de ces graines a atteint 53% dans le sol témoin et 34% dans le sol pollué.

Nous avons remarqué la pourriture de certaines graines dans le sol pollué. Ce qui explique la diminution du taux de levée dans le sol pollué par rapport au sol témoin.

Après avoir comparé ces résultats, nous constatons que le pétrole induit une inhibition des graines ; qui peut être due à l'atteinte de l'embryon de la graine ou encore aux modifications des caractéristiques physico-chimiques du sol. D'après d'UDO et FAYEMI (1995 in ZEBICHE et SEMAANI, 2015), les hydrocarbures peuvent entrer dans les graines, empêcher les réactions métaboliques et tuer l'embryon par une toxicité aiguë directe. Il y a également une forte évidence que l'inhibition de la germination soit corrélée à l'hydrophobie des hydrocarbures qui empêche et/ou réduit les échanges d'eau et de gaz surtout l'oxygène.

### III.2.2. Hauteur moyenne des plantes

La figure 16 représente l'évolution du haricot tout les cinq jours (annexe 3) dans les sols témoin et pollué par les hydrocarbures.



**Figure16** : La hauteur moyenne du haricot.

Au bout de 55 jours le haricot a atteint une hauteur de 11,55 cm dans le ST et 9,93cm dans le SP. Il est à remarquer que les moyennes des hauteurs du haricot dans le sol témoin est supérieure et augmente pendant toute la durée de la culture. Par contre, dans le sol pollué, nous avons observé un rythme de croissance moins important.

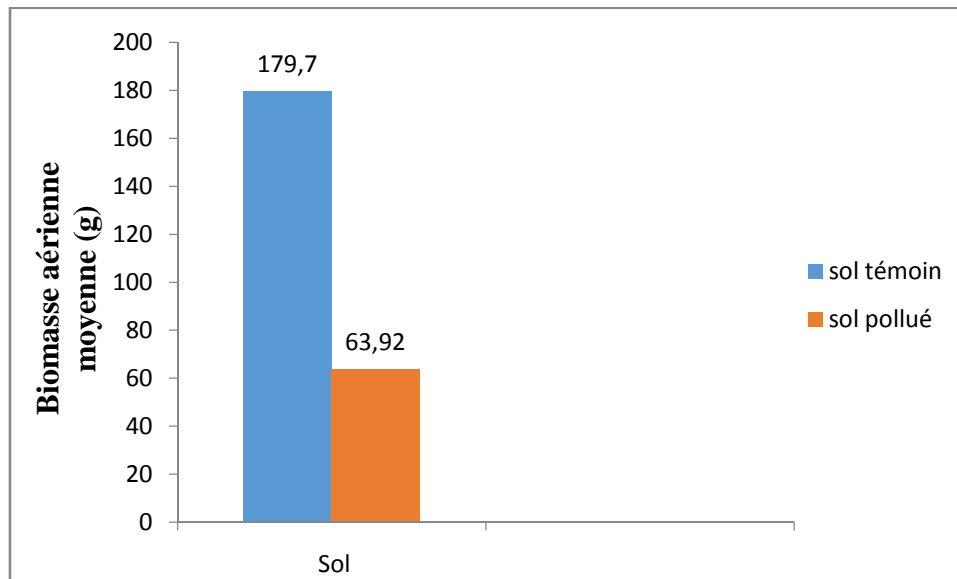
Le test de Mann-Whitney pour le facteur contamination a montré qu'il n'y a pas une différence significative entre les deux sols ( $P=0.22$ ). Cela signifie que le gasoil n'a pas d'effet négatif sur la hauteur des plantes.

Cette réduction serait due à un manque d'assimilation d'eau et d'éléments nutritifs et au changement des propriétés de sol. En effet selon CHAINEAU et *al.* (1996), les hydrocarbures peuvent provoquer une diminution de la teneur du sol en phosphore et une augmentation en carbone organique total.

Aussi d'après CHAINEAU et *al.* (1996), la hauteur des plantes diminue avec l'augmentation de la concentration en hydrocarbures. Cela est dû à la phytotoxicité des hydrocarbures qui inhibent, pour une longue période, le développement de la végétation.

### III.2.3. Biomasse aérienne

La figure 17 représente la biomasse aérienne moyenne du haricot dans les sols pollué et témoin.



**Figure 17 :** La biomasse aérienne moyenne du haricot.

D'après le graphique, nous observons que le haricot présente une biomasse aérienne de 179,7g dans le sol témoin et une biomasse inférieure de 63.92g dans le sol pollué. Ces résultats montrent que le haricot présente un poids remarquable malgré la présence du gasoil, ce qui explique sa tolérance à la pollution.

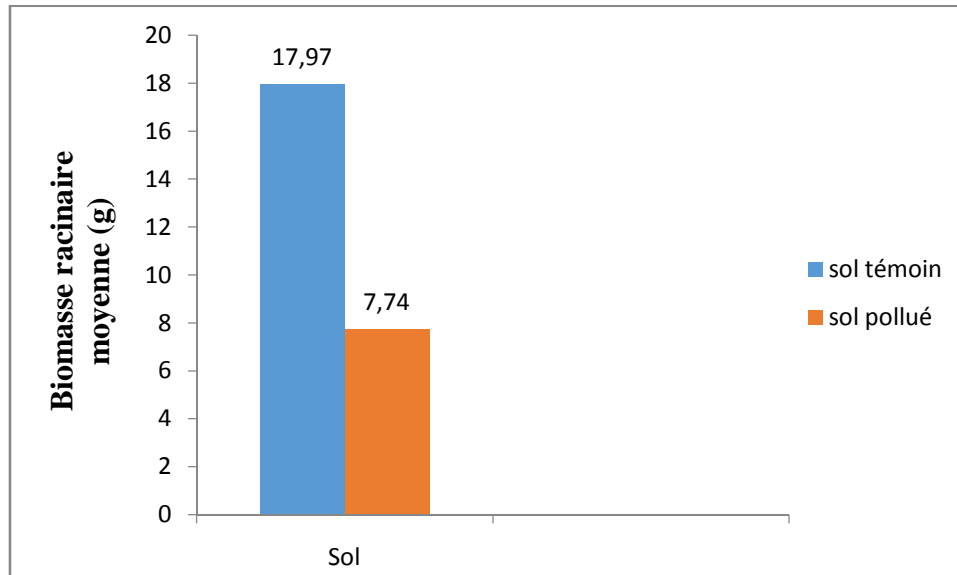
L'effet néfaste des hydrocarbures sur la biomasse végétale est probablement dû à la perturbation de la nutrition hydrominérale du végétal. Ainsi qu'à l'inhibition de la croissance racinaire qui peut mener à une basse absorption de l'eau induisant une diminution du développement du végétal. En effet, l'accroissement des racines permet à la plante de pourvoir à ses besoins en azote sachant que l'azote est l'un des éléments essentiels pour la croissance des végétaux. La biomasse végétale étant un critère de mesure du rendement au niveau d'un sol contaminé par les hydrocarbures.

D'après MOROT (1997) a noté que la nutrition azotée limitait généralement la croissance, le développement et le rendement du végétal. Cette réduction de la biomasse végétale nous laisse penser aussi au sol qui est la source d'une grande partie des éléments nécessaires au développement des végétaux, le changement de ses propriétés (changement de la teneur en humidité, en pH et en matière organique) influence la croissance végétale.

## Chapitre III Résultats et discussion

### III.2.4. Biomasse racinaire

La figure 18 représente la biomasse racinaire moyenne du haricot dans les sols pollués et témoins.



**Figure 18 :** La biomasse racinaire moyenne du haricot

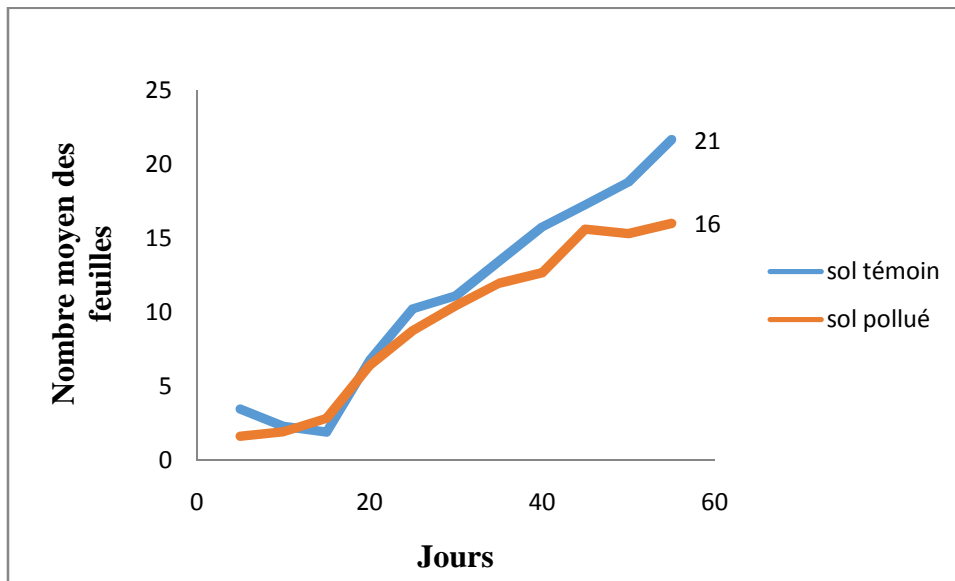
Il ressort de la figure 18 que le haricot présente une biomasse racinaire de 17,97g dans le sol témoin et de 7,74 dans le sol pollué.

D'après ces résultats, la biomasse racinaire du haricot a été affectée par la présence du gasoil dans le sol, cela peut être dû à l'effet des carburants sur la croissance des racines ou bien au changement des propriétés du sol et/ou à la diminution des éléments nutritifs qui sont essentiels pour leur développement, et peut mener à une faible absorption de l'eau ce qui induit une diminution du développement du végétal.

D'après CHAINEAU *et al.* (1997) l'effet toxique des hydrocarbures sur la partie racinaire s'exprime par un retard significatif de la croissance, cette diminution se traduit par la réduction du poids sec.

### III.2.5. Nombre moyen de feuilles par plante :

La figure 19 représente le nombre moyen des feuilles par plante du haricot dans le sol témoin et le sol pollué par les hydrocarbures.



**Figure 19 :** Nombre moyen des feuilles du haricot

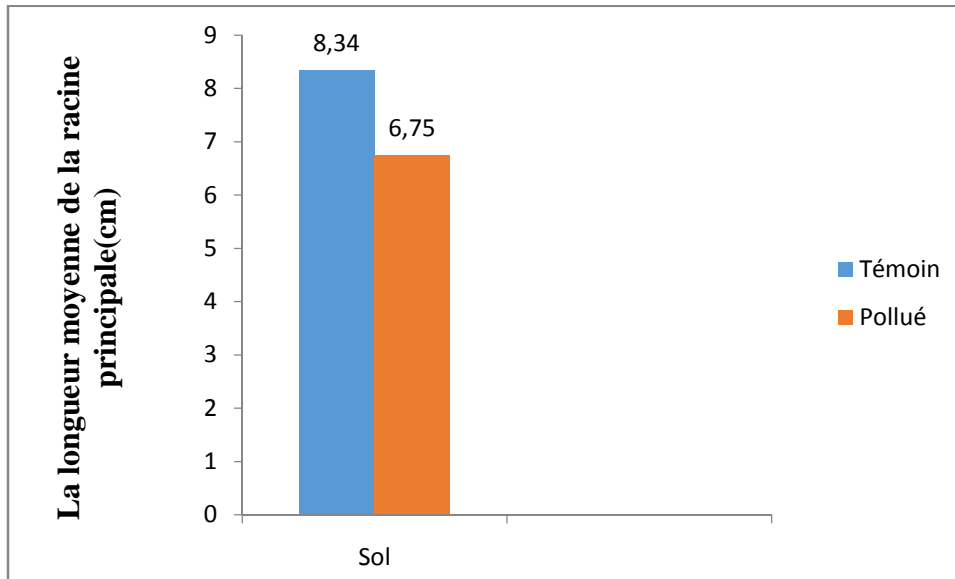
Au bout de 55 jours de culture, le haricot a atteint en moyenne, 21 feuilles dans le sol témoin et 16 dans le sol pollué. Nous avons remarqué, aussi, qu'au bout de la croissance, les feuilles des plantes sont petites. Ces résultats peuvent être induits par la présence des HC ce qui influe sur le développement du système foliaire.

Le test de Mann-Whitney pour le facteur contamination a montré qu'il n'y a pas une différence significative entre les deux sols ( $P=0.47$ ). Cela signifie que le gasoil n'a pas d'effet négatif sur le nombre de feuille.

CHAIANEU *et al.* (2000) notent que la pollution du sol par les hydrocarbures entraîne une faible infiltration de l'eau dans le sol, ce qui affecte le développement des feuilles, Cela est dû à la phytotoxicité des hydrocarbures qui inhibent, pour une longue période, le développement de la végétation.

### III.2.6. Longueur moyenne de la racine principale

La figure 20 représente la longueur moyenne de la racine principale du haricot dans les sols pollué et témoin.



**Figure 20** : Longueur moyenne de la racine principale du haricot.

La longueur de la racine principale du haricot est de 8.34 cm et 6.75 cm respectivement dans le sol témoin et le sol pollué.

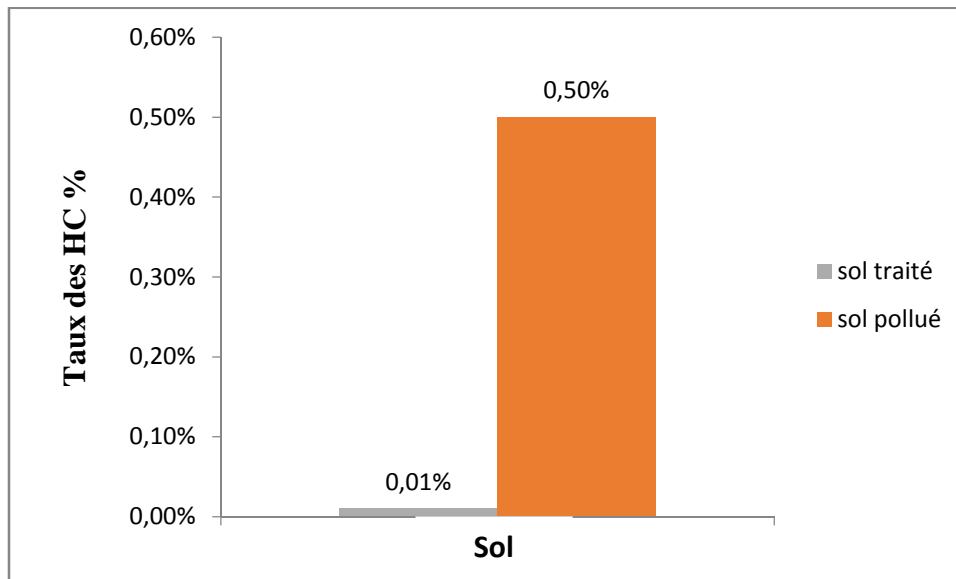
Ces résultats montrent que le milieu favorable pour la croissance des racines est le sol non pollué où nous avons remarqué la présence d'un système racinaire très développé avec de nombreuses ramifications tandis que les cultures des sols pollués comportent une partie racinaire moins développée et moins ramifiée, ce qui explique la diminution du volume racinaire dans le sol pollué. L'atteinte des racines peut être due au changement des propriétés du sol et/ou à la diminution des éléments nutritifs qui sont essentiels pour leur développement.

Selon Norini (2007), la diminution de la croissance racinaire peut être due aux propriétés hydrophobes des hydrocarbures qui peuvent limiter l'effet bénéfique de l'association plante-micro-organismes qui est basée sur les flux de substance solubles. Cette atteinte des racines ne permet pas à la plante d'augmenter sa surface de contact avec le milieu de culture pour optimiser la nutrition minérale.

### III.3. Efficacité de la Phytoremediation

#### III.3.1. Taux des hydrocarbures dans le sol

La figure 21 représente le taux des hydrocarbures dans le sol pollué par les HC avant et après la phytoremediation.



**Figure 21 :** Taux d'hydrocarbures dans le sol avant et après la phytoremediation.

Selon les résultats obtenus, nous constatons qu'il y'a une forte diminution du taux d'hydrocarbures dans le sol qui a été traité (0.01%) par rapport au sol pollué (0.50%) ; ce qui explique que le haricot est hyper accumulateur et capable de biodégrader les hydrocarbures.

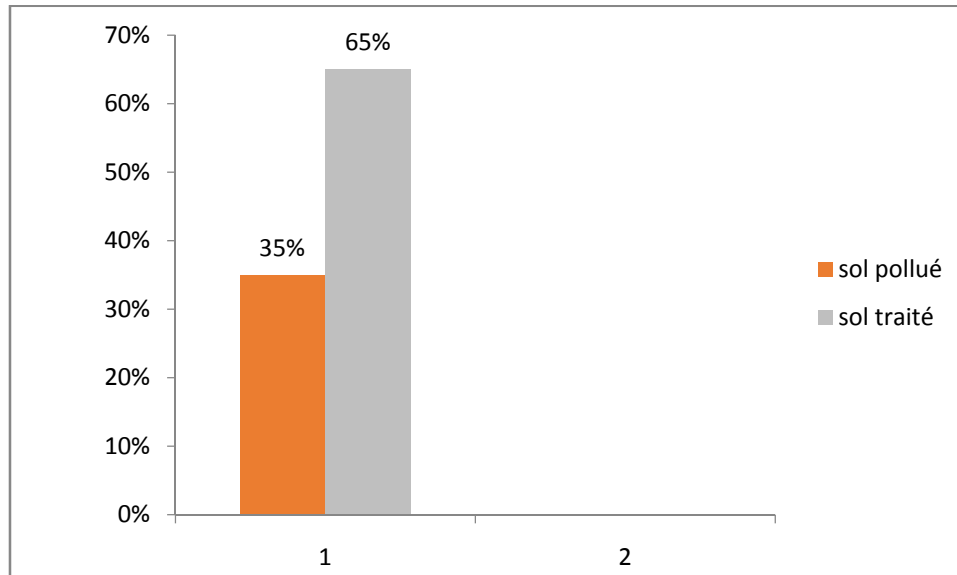
En effet, dans les sols, les hydrocarbures subissent une élimination progressive sous l'influence de processus abiotiques (volatilisation, oxydation, ...) ou biotiques (dégradation et différence microbiennes), et en présence des plantes, une stimulation et une accélération de la dissipation des hydrocarbures peut être observée, résultant souvent d'une augmentation du nombre de bactéries dégradantes (MOREL, 2002).

De même, lorsque les exsudats racinaires sont la seule source de carbone, la dégradation des hydrocarbures est plus rapide, démontrant ainsi le rôle majeur des composés exsudés ; d'après MOREL (2002), la rhizosphère est un habitat favorable aux micro-organismes capables de dégrader les composés organiques récalcitrants. Par effet direct, les exsudats augmentent les populations microbiennes et leur activité dégradante et induisent des processus de dégradation. Les plantes pourraient également déstocker le polluant en l'absorbant par les racines et en le transportant vers la partie aérienne. Elles libèrent des émulsifiants qui aideraient à la mise en solution des hydrocarbures et leur dégradation ultérieure. Les racines libèrent des enzymes, provoquant la fragmentation de certains agrégats qui sont alors plus facilement dégradés par les micro-organismes selon MOREL (2002).

## Chapitre III Résultats et discussion

### III.3.2. Test de germination

La figure 22 représente le taux de germination des graines du blé dur (*Triticum durum* L.) dans le sol pollué après phytoremediation.






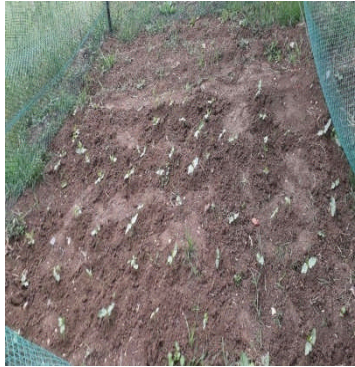


**Figure 22 :** Taux de germination des graines du blé dur dans les deux sols.

Le taux de germination des graines du blé dura atteint un taux élevé de 65% dans le sol traité par la technique de phytoremediation par *Phaseolus vulgaris* L.

D'après ces résultats, nous supposons que l'élévation du taux de germination du sol traité par phytoremediation peut être due à la biodégradation des carburants par *Phaseolus vulgaris* L, par des bactéries, entraînant une diminution de leur toxicité vis-à-vis des graines de blé.

### III.4. Evolution des plantes du haricot dans les deux sols

La culture de l'orge n'a pas réussi en raison des conditions défavorables (hors sa saison).

Type du sol La semaine	Sol pollué	Sol témoin
Troisième semaine		
Sixième semaine		
Huitième semaine		

### III.5. Effet des hydrocarbures sur l'aspect des plantes

La figure 23 représente le jaunissement des plantes d'haricot cultivé dans le sol pollué par les HC.



**Figure 23 :** Le jaunissement des plantes d'haricot dans le sol pollué par les HC.

La figure 24 représente une plante d'haricot cultivé dans le sol pollué par les HC présentant des taches au niveau du feuillage.



**Figure 24 :** Les Taches au niveau des feuilles d'haricot cultivé dans le sol pollué par les HC.

La figure 25 représente une plante d'haricot cultivé dans le sol pollué par les HC qui présente des trous au niveau des feuilles.



**Figure 25 :** Les feuilles trouées du haricot cultivé dans le sol pollué par les HC.

On remarque que les feuilles des plantes du haricot ont été affectées par la présence des hydrocarbures (gasoil) dans le sol en présentant des jaunissements (figure 22), des tâches (figure 23) et des trous (figure 24). Selon RAYMOND et *al.* (1975) in Norini (2007) ces signes de toxicité peuvent être dus à la diminution de la photosynthèse, soit par altération des réactions métaboliques en inhibant la synthèse de chlorophylle ou bien par un manque d'éléments essentiels pour ce processus, qui seront lessivés par les hydrocarbures ou immobilisés et donc non assimilables, en tenant compte du fait que l'assimilation du nitrate a lieu principalement dans les feuilles et les racines. Selon NJOKU et *al.* (2009), la pollution du sol par les hydrocarbures entraîne une faible perméabilité et une faible infiltration de l'eau dans le sol, qui affecte le développement des feuilles.

Le présent travail à été mené en vue de mettre en évidence l'effet qu'engendrent les hydrocarbures sur le sol et la végétation, d'approfondir nos connaissances sur l'action écotoxique des polluants organiques et de faire un essai de phytoremédiation pour évaluer l'efficacité de cette technique.

D'après les résultats obtenus au cours de notre travail, nous pouvons conclure que l'action des hydrocarbures se traduit par :

-Une diminution du rendement végétal confirmé par le taux de levée, la biomasse racinaire, la biomasse aérienne qui diminuent. Cela a été observé en comparant un sol témoin avec un sol contaminé par le gasoil.

-Une dissipation des hydrocarbures dans le sol dépollué (cultivé par le haricot) qui s'est traduite par la diminution du pH, la diminution des hydrocarbures dans le sol et l'élévation du taux de germination.

En effet, les espèces de légumineuses, qui ont une capacité de dépollution importante, en dégradant les hydrocarbures ce qui induirait des changements des propriétés physiques et chimiques du sol, permettant un développement normal de la végétation.

Dans le but d'améliorer le rendement de la phytoremédiation et pour compléter ce travail, nous proposons quelques perspectives de recherche à savoir :

- ✓ Utilisation d'autres plantes en vue de tester leur capacité de phytoremédiation.
- ✓ Réaliser une étude sur les micro-organismes du sol pour comprendre les processus de dégradation éventuelle.
- ✓ Etudier les relations sol-plante-micro-organismes, ainsi que les mécanismes enzymatiques impliqués dans la dégradation et la transformation des hydrocarbures.
- ✓ Récupérer les hydrocarbures des plantes après la phytoremédiation dans le but d'étudier les mécanismes par les quels elles décontaminent le sol.
- ✓ Remplacer les plantes alimentaires par des plantes ornementales.

## Références bibliographiques

---

- ✓ **ALI AHMED S.2011.**Essai de réhabilitation d'un sol contamine par les hydrocarbures à l'aide de tensioactifs obtenus par voie BIOLOGIQUE. Thèse de magistère, école nationale supérieure agronomique, 99 pages.
- ✓ **BEN KHERFIA I. 2020.** Contribution à l'étude de la biodégradation des hydrocarbures par le processus de la phytoremédiation, Mémoire de Master en Microbiologie Appliquée, Université Mohamed Khider, Biskra, 81p.
- ✓ **Bergue J.M et Merienne D. 1986.** La pollution des sols par les hydrocarbures, 65p.
- ✓ **BERKOUCHE H et HADJADJ H.2015.** Essai de phytoremédiation d'un sol pollué aux hydrocarbures en utilisant la fève, le pois et l'orge, Mémoire de Master en Protection de l'environnement, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 49p.
- ✓ **CALVET R., 2003.** Le Sol, Propriété Et Fonction, Phénomènes Physiques Et Chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole, 511 P
- ✓ **CHANEAU, C.H., MOREL J.L., OUDOT J., 1996.** Biodegradation of fuel oil hydrocarbons in the rhizosphere of maize. International phytoremediation conference, May 8-10, Arlington, VA. International business communication, Southborough, MA.
- ✓ **CHALANSONET S., JOYEUX G. 2005.** Comportement des hydrocarbures, marrés noires et environnement. Institut d'océanographie, éd 408p.
- ✓ **CHAUX ET FOURY. 1994.** Production des légumières. Edition Tec et Doc paris, 47.
- ✓ **COLIN F.2000.**Pollution localisée des sols et sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés. Edition TEC et DOC, 417p.
- ✓ **COLOMBANO S., SAADA A., GUERIN V., BATAILLARD P., BELLENFANT G., BERANGER S., HUVBE D., BLANC C., ZORNING C. et GIRARGEAU L.2010.**Quelle technique pour quel traitement-analyse couts bénéfices : rapport annuelle juin 2010 : BRGM/RP-58609-FR, 403p.
- ✓ **CRIQUET S., JONER E.J., LEGLIZE P., LEYVAL C.2000.** Anthracene and mycorrhiza affect the activity of oxidoreductases in the roots and the rhizosphere of Lucerne (*Medicago sativa L.*).Biotechnol. Lett.Vol.22, 1737p.
- ✓ **DEGRANGES P, GUGALSKI T, LELEU M, GREFFARD J. 1977.** Devenir des hydrocarbures dans les sols.
- ✓ **DUCHAUFFOUR P., 2001.** Introduction à la science du sol : sol, végétation et environnement. 6ème édition MASSON, Paris Milan Barcelone. 498 p.
- ✓ **GHOSH M., SNIGH S.2005.** A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products .Asian Jenergy.Vol.6.N°4,18p.
- ✓ **GIRARD C. 2005.** Sol et environnement. Edition DUNOD, Paris, 529p.

## Références bibliographiques

---

- ✓ **GOBAT J.M, ARGANO M, MATTHEY W. 2003.** Le sol vivant .France.
- ✓ **GOBAT J.M, ARGNO M Et MATHEY W. 2010.** Le Sol Vivant Bases De Pédologie Biologie Des Sols (3eme Ed., Vol.1).Italie, Revu Et Augmentée, 60p.
- ✓ **HUANG X.D., EL-ALAWI Y., PENROSE D. M., GILICK B.R., GREENBERG B. M. 2004.** A multi-process phytoremediation system for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soils. Environmental pollution.vol.130.N°3,476p
- ✓ **IBBARI K et KACED M.2020.** Effet des fertilisant organiques et minérales sur la production, la protection et la qualité chez une variété de tomate Hybride (Kawa) cultivée sous serre. Mémoire de Master. Protection des végétaux, Tizi-Ouzou, Université Mouloud Mammeri, 79p.
- ✓ **JONER E.J.,LEYVAL C.2003.**Phytoremediation of organics pollutants using mycorrhizal plants .A new aspect of rhizosphère interactions .Agronomie.Vol.23, 502p.
- ✓ **KHAN F.I., HUSAIN T., HEJAZI R .2004.** An overview and analysis of site remediation technologies. Journal of Environmental Management.Vol.71.N°2,122p.
- ✓ **KOLLER E. 2004.** Traitement des pollutions industrielle (eau, air ; déchet, sol, boues). Edition DUNOD. Paris, 424p.
- ✓ **LECOMTE P. 1998.** Les sites pollués, Traitement des sols et des eaux souterraines. 2<sup>ème</sup> édition. Edition TEC et DOC. Paris, 204p.
- ✓ **MAES E., SCHADECK S., BRAHY V.2007.** Sol5- la contamination locale des sols, 500p.
- ✓ **MAHDAOUI K et BENYAHIA N.2012.** La pollution des sols par les hydrocarbures, Mémoire de fin de cycle. Université ABDERRAHMANE Mira, Bejaia, 60p.
- ✓ **MARCHAL R., PENET M., SOLANO-SERENA F., VANDECASTELE J. P. 2003.** Gasoline and diesel oil Biodegradation. Oil &Gas science and Technology-Rev.IFP, Vol 58.Edition technip, 448p.
- ✓ **MASTEN S.J., DAVIES S.H.R.1997.** Efficacy of in-situ ozonation for the remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons contaminated soils, J.Contam.Hydrol.Vol.28, 335p.
- ✓ **MATHIEU S.2008.**Analyse historique des accidents dans les dépôts hydrocarbures, 25p.
- ✓ **MEKERRI K ET TAZEBOUDJT A. 2017.** Effets de deux espèces de légumineuses (Fève et Haricot) sur les propriétés physico-chimiques et biologiques de sols contaminés par le pétrole brut. Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 56p.
- ✓ **MOREL J.L. 2002.** La Phytoremédiation des sols contaminés. Laboratoire sols et environnement de l'ENSAIA, 66p.

## Références bibliographiques

---

- ✓ **NJOKU N., AKINOLA O., OBOH B.O., 2009.** Phytoremediation of crudeoilcontamineds oil. Edition mars land press, 85p.
- ✓ **NORINI M-P., 2007.**Eco dynamique des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des communautés microbiennes dans les sols à pollution mixte (HAP, métaux) avant et après traitement par biopile et par désorption thermique. Thèse de Doctorat, université Henri Poincaré, Nancy I, 75p.
- ✓ **OLSON P.E.,JOERNM., DUTEAU N.M.,PILON-SMITS E.,REARDON K.F. 2008.** Effects of Agronomic practices on phytoremediation of an aged PAH-contaminated soil. Journal of environmental quality .Vol.37.N°4,1446p.
- ✓ **ORIGO N.2009.**Approche socio-spatiale de la réhabilitation des sites industriels pollués Paris, Université Paris IV-Sorbonne, 393p.
- ✓ **PAVEL et GAVRILESCU, 2008.**Overview of ex situ décontamination techniques for soilclean up, p 815.
- ✓ **PILON-SMITS.E.2005.**Phytoremediation.Annu.Rev.Plant Biol.Vol.56, 39p.
- ✓ **RAMADE. 2003.** Eléments d'écologie. Ed. DUNOD-Paris, 690p.
- ✓ **RAZANADRAKOTO, N. Y. (2005).** Optimisation et diffusion de la culture de haricot suivant les techniques agro écologiques dans la région de Mangaroo. Mémoire d'ingénieur, Université d'Antananarivo école supérieure des sciences agronomiques, département agriculture, 123 p.
- ✓ **REILLEY K. A., BANKS M. K., SCHWAB A. P. 1996.** Organic chemicals in the environment dissipation of polycyclic aromatic hydrocarbons in rhizosphere.J.Environ quality.Vol.25, 219p.
- ✓ **SCHWITZGUEBEL J. P., COMINO E.,PLATA N., KHALVATI M. 2011.** Is phytoremediation a sustainable and reliable approach to clean-up contaminated water and soil in Alpine areas.Vol.18, 856p.
- ✓ **SHIMP J.F.,TRACY J.C., DAVIS L.C.,LEE E.,HUANG W.,ERICKSON L.E.,SCHNOOR J.L.1993.**Beneficial effects of plants in the remediation of soil and groundwater contaminated with organic materials .Critical reviews in environmental science and technology.vol.23.N°1,77p.
- ✓ **SHIRD, R., ZAND, A., BIDHENDI, G., MAHRDADI, N.2008.** Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils with emphasis in the effect of petroleum hydrocarbons in the growth of plant species, article. Vol: 89(Number 1), 89 p.

## Références bibliographiques

---

- ✓ **SHUBHANGI S., SONAL J. 2004.** A review on phytoremediation of heavy metals from soil by using plants to remove pollutants from the environment .International journal of Advanced Research.Vol.2, 203p.
- ✓ **SOLTNER D. 1987.**Les bases de la production végétale, tome1, coll., Sciences et techniques agricoles, 446p.
- ✓ **SOLTNER D.2000.** Le sol et son amélioration .Sainte gemmes sur Loire.
- ✓ **TARAYRE C.2000.** Bioremediation de sols pollués aux hydrocarbures. Edition Universitaire Européennes, 116p.
- ✓ **WATHARKAR A. D., JADHAV J. P., 2014.** Detoxification and decolorization of a simulated textile dye mixture by phytoremediation using *Petunia grandiflora* and *Gailardia grandiflora*. A plant–plant consortial strategy. Ecotoxicology and environmental safety.Vol. 10,8p.
- ✓ **YENNEK M. et ZAUCHE M.2017.** Optimisation mathématique des paramètres de la biostimulation d'un sol pollué aux carburants, Mémoire de Master en Protection de l'environnement, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 31p.
- ✓ **ZEBICHE B et SEMAANI L.2015.**Effet de la concentration du pétrole brut sur la croissance du pois (*Pisumsativum*) et de la luzerne (*Medicagosativa L.*)Essai de Phytoremédiation. Mémoire de master, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 35p.

## Annexes

### Annexe1. Tableau de classe texturale du sol.

Texture du sol	Sable	Limon (silt)	Argile	Classe texturale
Sol sableux (Texture grossière)	86 – 100	00 – 14	00 – 10	Sable
	70 – 86	00 – 30	00 – 15	Sable limoneux
Sol limoneux (modérément grossière)	50 – 70	00 – 50	00 – 20	Limon sableux
Sol limoneux (Texture moyenne)	23 – 52	28 – 50	07 – 27	Limon
	20 – 50	74 – 88	00 – 27	Limon silteux
	00 – 20	88 – 100	00 – 12	Limon très fin (silt)
Sol limoneux (modérément fine)	20 – 45	15 – 52	27 – 40	Limon argileux
	43 – 80	00 – 28	20 – 35	Limon sablo-argileux
	00 – 20	40 – 73	27 – 40	Limon silto-argileux
Sol argileux (Texture fine)	45 – 65	00 – 20	35 – 53	Argile sableuse
	00 – 20	40 – 60	40 – 60	Argile silteuse
	00 – 45	00 – 40	40 – 100	Argile

### Annexe 2. Résultats des mesures

#### Annexe2.1. Hauteurs des plants d'haricot cultivé sur le sol pollué et témoin en (cm).

Durée	5 <sup>ème</sup> jour	10 <sup>ème</sup> jour	15 <sup>ème</sup> jours	20 <sup>ème</sup> jours	25 <sup>ème</sup> jours	30 <sup>ème</sup> jours	35 <sup>ème</sup> jours	40 <sup>ème</sup> jours	45 <sup>ème</sup> jours	50 <sup>ème</sup> jours	55 <sup>ème</sup> jours
<b>Pollué</b>	2.61	3.46	4.13	4.85	5.46	5.36	6	6.70	7.03	7.48	9.93
<b>Témoin</b>	2.89	3.09	3.25	5.21	5.86	6.48	8.56	8.84	9.12	10.22	11.55

#### Annexe2.2. Nombre de feuille des plantes d'haricot cultivé sur le sol pollué et témoin.

Durée	5 <sup>ème</sup> jour	10 <sup>ème</sup> jour	15 <sup>ème</sup> jours	20 <sup>ème</sup> jours	25 <sup>ème</sup> jours	30 <sup>ème</sup> jours	35 <sup>ème</sup> jours	40 <sup>ème</sup> jours	45 <sup>ème</sup> jours	50 <sup>ème</sup> jours	55 <sup>ème</sup> jours
<b>Pollué</b>	1.62	1.92	2.83	6.39	8.76	10.44	11.96	12.67	15.62	15.31	16
<b>Témoin</b>	3.46	2.29	1.90	6.73	10.24	11.11	13.45	15.78	17.26	18.79	21.67

## Annexes

---

### Annexe3. Résultats des analyses statistiques

**Annexe3.1.** Analyse de la variance pour la hauteur des plantes d'haricot cultivé sur le sol pollué et témoin.

```
> t.test(hauteur[sol=="T"], hauteur[sol=="P"], var.equal=F)

      Welch Two Sample t-test

data:  hauteur[sol == "T"] and hauteur[sol == "P"]
t = 0.78257, df = 17.443, p-value = 0.4444
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -1.471933  3.213037
sample estimates:
mean of x mean of y
 6.829358  5.958806
```

**Annexe3.1.** Analyse de la variance pour le nombre de feuille des plantes d'haricot cultivé sur le sol pollué et témoin.

```
> wilcox.test(feuille~sol)

      Wilcoxon rank sum test

data:  feuille by sol
W = 49, p-value = 0.4779
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

## Résumé

Le présent travail a pour objectifs de tester l'efficacité d'une espèce végétale (le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) pour la décontamination d'un sol contaminé par le gasoil et de mettre en évidence l'effet de cette pollution sur le végétal (taux de levée, hauteur de plantes, longueur de la racine principale, nombre de feuilles, biomasse aérienne et biomasse racinaire) et les paramètres physico-chimiques du sol (pH, humidité).

Les résultats obtenus ont montré que le gasoil affecte la biomasse racinaire et la biomasse aérienne et le taux de levée de cette espèce tandis qu'ils n'ont exercé aucun effet significatif sur la hauteur et le nombre de feuilles.

D'après les résultats du test de germination réalisé après Phytoremédiation sur des graines de blé, nous pouvons conclure que *P vulgaris* . a été efficace dans la décontamination du sol, elle a donc un bon potentiel phytoremédiateur du sol pollué par le gasoil.

**Les mots clés :** *Phaseolus vulgaris* , gasoil, phytoremédiation, pollution.

## Abstract

The objectives of this work are to test the effectiveness of a plant species (the bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the decontamination of a soil naturally contaminated by diesel and to highlight the effect of this pollution on the plant (emergence rate, height of plants, length of the main root, number of leaves, above-ground biomass and root biomass) and the physicochemical parameters (pH, humidity).

The results obtained showed that these fuels affected the root biomass and aboveground biomass and the emergence rate of this species while they had no significant effect on the height and the number of leaves.

From the results of the germination test carried out after Phytoremediation on wheat seeds, we can conclude that *Phaseolus vulgaris* L. was effective in decontaminating the soil, so it has good phytoremediation potential in soil polluted by diesel.

**Key words:** *phaseolus vulgaris* L, diesel, Phytoremediation, contamination.

## ملخص

يهدف هذا العمل إلى اختبار فعالية نوع نباتي فاصوليا (*Phaseolus vulgaris* L) في تطهير التربة الملوثة طبيعياً بالمازوت وإبراز تأثير هذا التلوث على النبات (معدل ظهور النباتات، وطول النباتات و الجذر الرئيسي وعدد الأوراق والكتلة الحيوية فوق الأرض والكتلة الحيوية للجذور) والمعايير الفيزيائية والكيميائية (الحامضية والرطوبة).

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن هذه الأنواع من الوقود قد أثرت على الكتلة الحيوية للجذور والكتلة الحيوية فوق سطح الأرض ومعدل ظهور هذه الأنواع بينما لم يكن لها تأثير معنوي على الارتفاع وعدد الأوراق.

من نتائج اختبار الإنبات الذي تم إجراؤه بعد المعالجة النباتية على بذور القمح، يمكننا أن نستنتج أن *Phaseolus vulgaris* L. كان فعالاً في تطهير التربة، لذلك لديها إمكانات جيدة للمعالجة النباتية في التربة الملوثة بالمازوت

**الكلمات الأساسية:** *Phaseolus vulgaris* L, المازوت ، التلوث ، المعالجة النباتية.